



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Aplicación de la metodología RCM, para incrementar la disponibilidad de los equipos
Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Industrial

AUTORES:

Juan Calos Chapoñan Silva (ORCID: 0000-0002-3638-1218)

Freddy Robert Fuertes Gaspar (ORCID: 0000-0002-9586-3129)

ASESOR:

Mg. Fernando Guillermo Arce Vizcarra (ORCID: 0000-0002-5343-3753)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Empresarial y Productiva

LIMA – PERÚ

2019

Dedicatoria

Agradezco a Dios por brindarme toda la fortaleza para seguir avanzando profesionalmente, a mi familia por seguir apoyándome a pesar de todas las adversidades que se nos presenta.

Juan Carlos Chapoñan Silva

Freddy Robert Fuertes Gaspar

Agradecimiento

Agradezco al ingeniero Percy Maldonado Martínez por habernos brindado la confianza de realizar el desarrollo de nuestra investigación en su empresa.

Agradezco a la universidad Cesar vallejo y su plana de docentes de la carrera de ingeniería industrial ´por brindar sus conocimientos y valores en el desarrollo de nuestra investigación.

Juan Carlos Chapoñan Silva

Freddy Robert Fuertes Gaspar

Página del jurado

Declaratoria de autenticidad

Declaración de autenticidad

Yo Chapoñan Silva, Juan Carlos con D.N.I. N° 40743687 y Fuertes Gaspar, Freddy Robert con D.N.I. 43465441, con el propósito de cumplir con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, declaramos bajo juramento que toda la información, datos, documentos de esta tesis es veraz y auténtico.

De tal manera, asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como la información aportada por lo cual sometemos a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 01 de diciembre de 2019



Chapoñan Silva Juan Carlos



Fuertes Gaspar Freddy Robert

Presentación

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presentamos ante ustedes la Tesis titulada “Aplicación de la metodología RCM, para incrementar la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019”, cuyo objetivo fue determinar si la aplicación de la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa materia de estudio, y que sometemos a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial. La investigación consta de siete capítulos, en el primer capítulo se presenta la realidad problemática de la investigación, igualmente se describen los trabajos previos de las variables materia de estudio y se detallan las bases teóricas vinculadas al tema de investigación. Por otra parte, se formula el problema, se justifica el estudio y se indica las hipótesis y los objetivos, en el segundo capítulo se aborda el método de investigación, asimismo se describe las variables de estudio y la operacionalización de las mismas. Por otro lado, se determina la población, la muestra y las técnicas e instrumentos de medición, los cuales permiten la recolección de datos. En el tercer capítulo, se da a conocer los resultados del estudio a través de tablas y figuras, donde se expone la descripción de cada uno de las tablas estadísticas desarrolladas. En el cuarto capítulo, se contrastan los resultados con la opinión de otros autores, de acuerdo con las dimensiones y las definiciones de las variables. En el quinto capítulo se presenta cada una de las conclusiones del trabajo. En el sexto capítulo se precisan las recomendaciones sobre la base de los objetivos general y específicos. Por último, en el capítulo séptimo se ubican las referencias correspondientes a las citas realizadas a lo largo de esta investigación.

Juan Carlos Chapoñan Silva

Freddy Robert Fuertes Gaspar

Índice

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Página del jurado	iv
Declaratoria de autenticidad	vi
Presentación	vii
Índice	viii
Índice de tablas	ix
Índice de Figuras	x
Resumen	xi
Abstract	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MÉTODO	36
2.1 Tipo y diseño de investigación	36
2.2 Operacionalización de variables	36
2.3 Población, muestra y muestreo	40
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	40
2.5 Procedimiento	41
2.6 Método de Análisis de datos	49
2.7 Aspectos éticos	49
III. RESULTADOS	50
IV. DISCUSIÓN	59
V. CONCLUSIONES	61
VI. RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS	63
ANEXOS	68

Índice de Tablas

Tabla 1. Análisis de Pareto	6
Tabla 2 Matriz de operacionalización de las variables.....	39
Tabla 3 Resumen de registro de datos de disponibilidad y tiempos de Chillers	45
Tabla 4 Matriz de operacionalización de las variables.....	47
Tabla 5 Nivel de gestión de la variable independiente.....	50
Tabla 6 Estadísticos descriptivos de la variable dependiente.....	51
Tabla 7 Análisis de normalidad de la variable dependiente.....	53
Tabla 8 Análisis estadísticos de muestras relacionadas de la hipótesis general	55
Tabla 9 Análisis estadísticos de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°1 .	56
Tabla10 Análisis estadísticos de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°2.	57

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de Ishikawa de la baja disponibilidad de equipos Chillers.....	4
Figura 2 Diagrama de Pareto	7
Figura 3 Confiabilidad.....	16
Figura 4 Pasos para implementar.....	18
Figura. 5 Fases para RCM	22
Figura. 6. Chiller, elementos básicos.....	25
Figura. 7 Características de aire acondicionado	26
Figura 8 Ausencia de fichas de registro.....	42
Figura 9 Personal sin experiencia.....	43
Figura 10 Falta de indicadores de gestión	43
Figura 11 Carencia de metodologías en el trabajo	44
Figura 12 Registro de capacitación sobre métodos de trabajo.....	46
Figura. 13 Nivel de disponibilidad en la empresa (periodo)	51
Figura. 14 Histograma de los datos muestrales del nivel de disponibilidad de equipos (pre-test).....	54
Figura. 15 Histograma de los datos muestrales del nivel de la disponibilidad de equipos Chillers (post-test).....	54

Resumen

La presente investigación denominada Aplicación de la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019, tuvo como objetivo general determinar si la aplicación de la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa materia de estudio. Dicho análisis fue posible a través del estudio de las dimensiones tiempo promedio entre reparaciones, tiempo promedio entre fallas, disponibilidad de los equipos chillers.

La metodología utilizada fue de enfoque cuantitativo, aplicada, de nivel explicativo, de diseño cuasi-experimental. Respecto al estudio, el problema principal se centró en la baja disponibilidad de los equipos chillers de la empresa analizada. La población y muestra estuvieron conformadas por 03 equipos chillers. Las técnicas empleadas fueron la observación por parte del equipo investigador y el análisis documental. Se obtuvo como resultado que la disponibilidad fue incrementada, esto a razón de que el tiempo promedio entre fallas fue incrementado, y el tiempo promedio entre reparaciones fue reducido de manera satisfactoria.

Finalmente, se concluye que la aplicación de la metodología RCM sí logro incrementar la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019. Dado que, en relación a la contrastación de hipótesis general, se evidenció que la disponibilidad de los equipos chillers previo a la mejora aplicada era deficiente y posterior a la mejora se incrementó, lo cual se pudo contrastar con los niveles de significancia obtenidos de $p\text{-valor} < 0.05$, lo que permite rechazar la hipótesis nula, e inmediatamente aceptar la hipótesis alterna o del investigador.

Palabras clave: Metodología RCM, disponibilidad, equipos chillers.

Abstract

The present research called Application of the RCM methodology to increase the availability of Chillers equipment in the company Intecserin S.A.C, Lima-2019, had as a general objective to determine if the application of the RCM methodology to increase the availability of Chillers equipment in the company matter of study. This analysis was possible through the study of the dimension's average time between repairs, average time between failures, availability of chiller equipment.

The methodology used was quantitative approach, applied, explanatory level, quasi-experimental design. Regarding the study, the main problem focused on the low availability of the chiller equipment of the company analyzed. The population and sample were made up of 03 chiller teams. The techniques used were the observation by the research team and the documentary analysis. It was obtained as a result that the availability was increased, this is because the average time between failures was increased, and the average time between repairs was satisfactorily reduced.

Finally, it is concluded that the application of the RCM methodology did increase the availability of Chillers equipment in Intecserin S.A.C, Lima-2019. Given that, in relation to the general hypothesis test, it was evidenced that the availability of the chillers equipment prior to the applied improvement was deficient and after the improvement was increased, which could be contrasted with the levels of significance obtained from p-value <0.05 , which allows to reject the null hypothesis, and immediately accept the alternate or investigator hypothesis.

Keywords: RCM methodology, availability, chillers equipment.

I. INTRODUCCIÓN

Realidad problemática

Según ACR Latinoamérica (2019) el mantenimiento basado en fiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés) ha influenciado en el tratamiento de equipos industriales como los sistemas de aire acondicionado y refrigeración. Su desarrollo estuvo dedicado inicialmente al sector aviación, también fue usada por el campo militar y posteriormente se abrió paso en el sector industrial; su objetivo consiste en incrementar la fiabilidad de los equipos disminuyendo el tiempo de paro por averías no previstas y reduciendo, paralelamente, los costos por mantenimiento. Por tanto, la metodología RCM se presenta como una propuesta innovadora capaz de sacar a flote todos los fallos potenciales que podrían tener los equipos de aire acondicionado y refrigeración.

Sobre el uso de los equipos de aire acondicionado en el mundo, la empresa Gree Electric Appliances Inc. (2017) menciona que existen alrededor de 60 millones de sus aparatos de aire acondicionado instalados por todo el mundo, lo cual se estima que se cuadriplique en los próximos 30 años debido al ensanchamiento de las clases medias en los países en vías de desarrollo. Además, se calcula que el frío artificial consume un 20% de la energía total consumida por los edificios, casas y centros comerciales.

Sin embargo, para Whirlpool Corporation (2017) existen aspectos negativos en la composición tecnológica que perjudica el ambiente, tales como el uso de hidroclorofluorocarbonos e hidrofluorocarbonos al punto que se estima que para el año 2050 la exposición de estos gases representará el 10% de las emisiones de CO₂. Algunas propuestas para reducir el daño potencial consisten en controlar los efectos magneto-calóricos, electro-calóricos, elastocalóricos y baro-calóricos mediante la aplicación de campos magnéticos, eléctricos, de esfuerzo o presión hidrostática, respectivamente.

Complementariamente, la Organización de los Estados Americanos (2016) expone la relación entre la ola de calor en el Caribe y el aumento del consumo de energía por los equipos de acondicionamiento de temperatura y ventilación; en el transcurso de los últimos años se observó que el consumo de energía de la región alcanzó los 1550 gigavatios debido a la ola de calor de más de 40°, e n países como Chile, Guatemala Honduras y República Dominicana. Por tanto, los expertos recomiendan adquirir equipos eficientes con alto rendimiento y de bajo consumo, además de realizar un mantenimiento constante para su desempeño óptimo.

Según Concytec (2019) comunica sobre la premiación realizada por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec) a 14 empresas que se acogieron a la Ley N° 30309 durante el 2018; la norma tiene como finalidad incentivar la inversión en desarrollo e innovación tecnológica a cambio de una reducción en los impuestos de hasta el 175% del valor de la inversión realizada. La norma, puesta en vigencia desde el 2016, ha calificado y autorizado, hasta la fecha, 60 proyectos que promueven el uso tecnológico y nuevas metodologías.

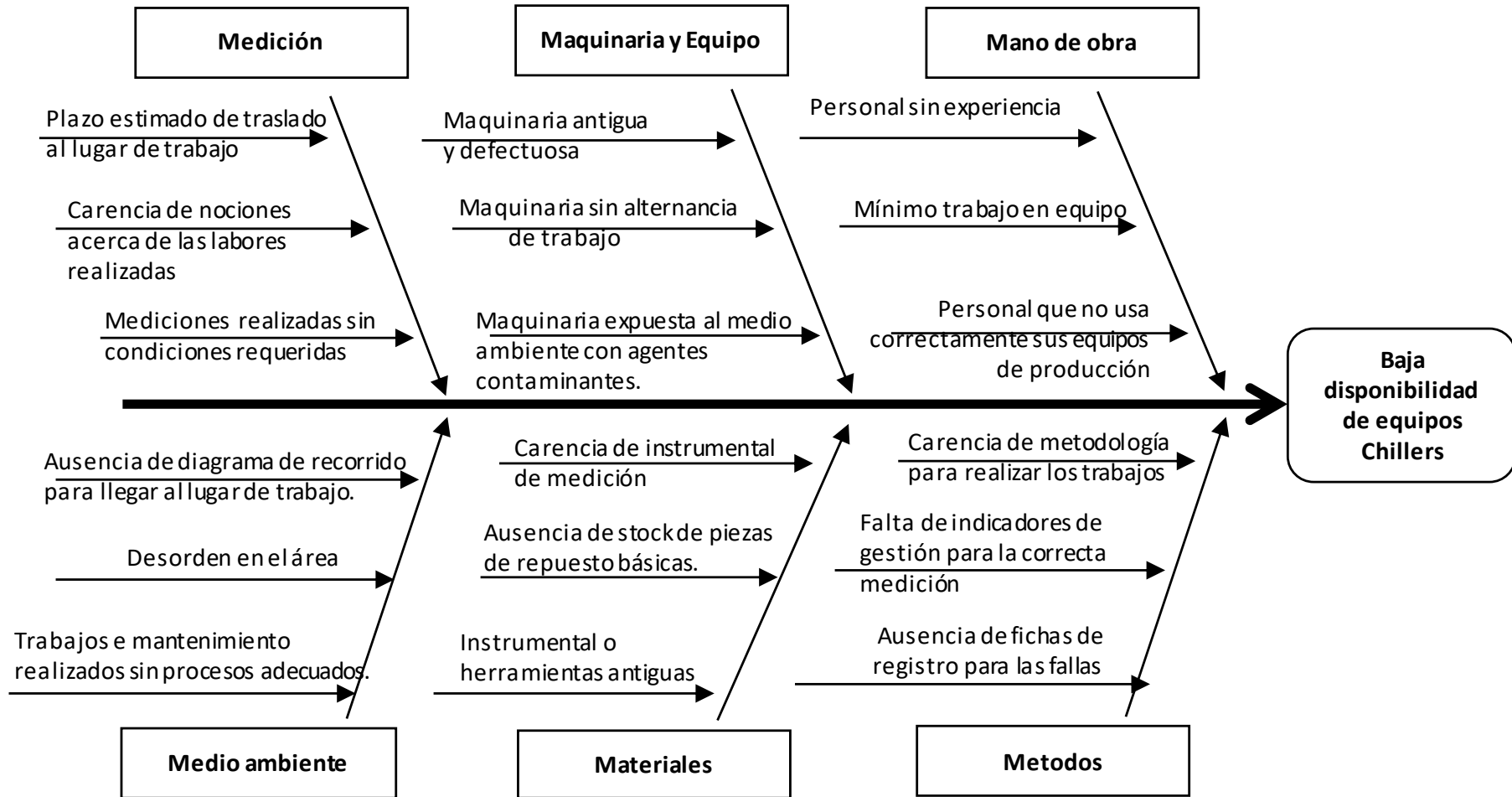
El Ministerio de la Producción (2017) informa sobre la reducción de emisión en gases de efecto invernadero como consecuencia de los avances tecnológicos de los sistemas de aire acondicionado, donde los aparatos pueden deshumedecer el ambiente e incluso servir de calefacción. Adicionalmente, los equipos de aire acondicionado han evolucionado en su consumo de energía, al punto que estos son capaces de reducir su consumo entre 30% y 50% gracias a sistemas sofisticados, los cuales requieren un mantenimiento particular. De esta manera, se promueve el uso del aire acondicionado en favor del bienestar de la población

Por otro lado, el portal de la empresa Friotemp (2017) hace de conocimiento público la importancia de brindar un mantenimiento a los equipos de aire acondicionado a fin de evitar la propagación de enfermedades que se podría causar por la suciedad que pueden acumular los equipos. Además, para alcanzar una buena calidad del aire y una buena duración a los equipos, se debe realizar un

mantenimiento preventivo basado en la limpieza del dispositivo panel y el filtro puesto que puede ser ahí donde se acumulen ácaros, bacterias y hongos. Las medidas de prevención y limpieza deben realizarse mínimamente de manera mensual, y en caso los equipos se encuentren en una zona muy expuesta a la suciedad, el mantenimiento debería ser semanal.

Sobre la realidad problemática local se mencionan las actividades de la empresa denominada Ingeniería y Tecnología Servicios Integrales - Intecserin S.A.C., comenzó sus actividades en el año 2015 ,la cual se constituye como una empresa dedicada a la instalación, reparación y mantenimiento de equipos de aire acondicionado de alta tecnología a nivel doméstico ,comercial e industrial , la misma se ubica en el distrito de Magdalena del Mar, Lima, Perú; entre sus actividades recientes se puede encontrar el cambio de la unidad condensadora de un chiller enfriado por aire marca york , limpieza química a la unidad condensadora enfriada por agua de un chiller marca Carrier y reparación de fuga de gas refrigerante a un chiller enfriado por aire marca Mc Quay. Para la realización del estudio se ha diagnosticado como problema principal que las empresas que desean contratar los servicios de reparación poseen una baja disponibilidad en sus equipos de aire acondicionados, para lo cual se ha realizado un análisis causa – efecto mediante un diagrama de Ishikawa, donde se propone que las principales dimensiones del problema se encuentran en la medición del trabajo, la maquinaria utilizada, falencias en la mano de obra, medio ambiente, problemas con la disposición de los materiales y deficiencias en la metodología de trabajo.

Figura 1. Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto) de la baja disponibilidad de equipos Chillers



En el diagrama de Ishikawa mostrado se observa que cada dimensión contiene potenciales causas específicas, las cuales fueron determinadas por los trabajadores de la empresa Intecserin S.A.C.; donde, los problemas relacionados a las medidas se dan por no estimar un tiempo de traslado hacia el lugar de trabajo y otras mediciones mal elaboradas, mientras que los problemas relacionados a las maquinas surgen debido a su antigüedad, la no alternancia al tiempo de trabajo y la exposición a ambientes contaminantes. Sobre las causas específicas que generan problemas en los materiales, se considera la carencia de buenos instrumentos y repuestos, mientras que la metodología presente deficiencias debido a la falta de indicadores y la ausencia de fichas para el registro de fallas; también, se determinó que la mano de obra presenta inconvenientes debido a la falta de experiencia del personal trabajador, falta de supervisión en el tiempo de trabajo y el mal uso de equipos de protección. Como parte del análisis previo para la realización del diagrama de Pareto, se presenta la siguiente tabla con la puntuación de las causas ya expuesta:

Tabla 1. Análisis de Pareto

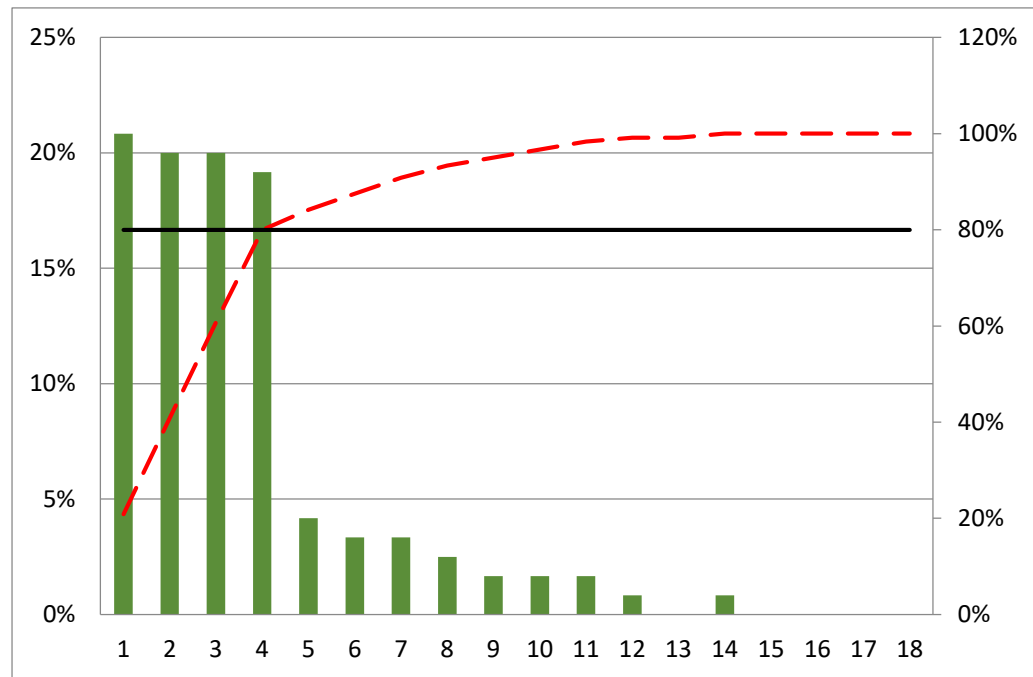
N°	Descripción	E1	E2	E3	E4	E5	Punt.	Frec. Rela.	Frec. Acum.
1	Carencia de metodología para realizar los trabajos	5	5	5	5	5	25	21%	21%
2	Falta de indicadores de gestión para la correcta medición	5	5	5	5	4	24	20%	41%
3	Personal sin experiencia	5	5	5	5	4	24	20%	61%
4	Ausencia de fichas de registro para las fallas	5	5	4	5	4	23	19%	80%
5	Maquinaria antigua y defectuosa	2	1	1	1	0	5	4%	84%
6	Carencia de instrumental de medición	1	1	1	0	1	4	3%	88%
7	Ausencia de diagrama de recorrido para llegar al lugar de trabajo.	1	1	1	1	0	4	3%	91%
8	Carencia de nociones acerca de las labores realizadas	1	1	0	0	1	3	3%	93%
9	Mediciones realizadas sin condiciones requeridas	1	0	0	1	0	2	2%	95%
10	Instrumental o herramientas antiguas	0	1	0	0	1	2	2%	97%
11	Mediciones realizadas sin las adecuaciones requeridas	1	0	0	1	0	2	2%	98%
12	Desorden en el área	0	0	1	0	0	1	1%	99%
13	Mínimo trabajo en equipo de trabajadores	0	0	0	0	0	0	0%	99%
14	Maquinaria sin alternancia de trabajo (24 horas de uso sin descanso).	0	1	0	0	0	1	1%	100%
15	Plazo estimado de traslado al lugar de trabajo	0	0	0	0	0	0	0%	100%
16	Maquinaria expuesta al medio ambiente con agentes contaminantes.	0	0	0	0	0	0	0%	100%
17	Ausencia de stock de piezas de repuesto básicas.	0	0	0	0	0	0	0%	100%
18	Personal que no usa correctamente sus equipos de producción.	0	0	0	0	0	0	0%	100%
TOTAL							120	100%	

Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra el análisis de Pareto realizado para determinar aquellas causas que representan el 80% del problema de la baja disponibilidad de los equipos de aire acondicionado, donde se observa que la falta de metodología para la realización del trabajo representa el 21% del problema, seguido del 20% determinado por la ausencia de indicadores de gestión que impiden realizar una correcta medición de los resultados; además, la falta de experiencia del personal y la ausencia de fichas de registro para las fallas representan, en conjunto, el 39% del problema diagnosticado. Estas cuatro causas determinan el 80% del total del problema, y sobre ellas deberá tomarse las medidas del caso.

A modo de ilustración, se presenta la siguiente figura que resume la realidad problemática local de la empresa Intecserin S.A.C., la cual busca resolver los problemas de la disponibilidad de los equipos de aires acondicionado:

Figura 2 Diagrama de Pareto



Elaboración propia

En la figura anterior se muestra el Diagrama de Pareto, el cual muestra que 4 de las 18 causas representan el 80% del problema de la baja disponibilidad de equipos de aire acondicionado, lo cual se observa gráficamente en el punto de intersección entre la línea roja punteada y la línea negra horizontal.

Trabajos previos

Trabajos previos internacionales

(Blecua, 2017, p.1) se plantea como objetivo principal establecer las bases científicas para implantar un plan de mantenimiento basado en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés), tal metodología permitirá garantizar la disponibilidad de los equipos y su actividad productora. La metodología de la investigación se sostuvo sobre un diseño no experimental y del tipo descriptivo, la población y la muestra, equivalentes, fueron establecidas por las máquinas del taller mecánico. Los resultados de la investigación dieron a conocer las diferentes causantes de problemas para la eficiente disponibilidad de maquinaria de la maquina curvadora, los cuales se deben a errores humanos, recorridos incompletos del motor de grupo hidráulico de presión, rodamientos del soporte deslizante roto, rotura del mandril, rotura del piñón y cremallera, falla de apertura de mordaza en automático. Mientras que en la maquina grúas se tiene que los problemas de disponibilidad se deben a errores humanos, fallo en la botonera vía radio y fallo en el carro de la grúa. Con ello se ha verificado que la propuesta de mejora en la disponibilidad basada en la metodología RCM permitirá incrementar la disponibilidad de las maquinas pertenecientes al taller mecánico de la Escuela Naval Militar a través del desarrollo de un plan de mantenimiento del taller.

(Gandur, 2017, p.5) tuvo como principal objetivo la mejora de la disponibilidad de los aires acondicionados en el área mencionada. Para ello, se realizó un inventario de los equipos existentes, luego se identificaron los puntos críticos, se planteó la propuesta para su correcta implementación. La investigación fue de carácter cuantitativo, de tipo aplicado y descriptivo, además guarda un enfoque cuasi-experimental (puesto que se presentan los resultados luego de la implementación). Las herramientas empleadas fueron el análisis modal de fallos (AMFE), la metodología RCM; se usaron hojas de datos para la información de los datos recolectados. Los resultados encontraron la presencia de 53 fallas en los aires acondicionados, en donde el tiempo de la frecuencia de dichas fallas varía

entre 3 meses y un año. Además, se logró una jerarquización de los elementos o circuitos que se encuentran en un estado grave; se detallaron los flujos y procesos para realizar el mantenimiento de manera eficiente. Se concluye que la metodología permite identificar los fallos a tiempo y brinda un programa para el mantenimiento de equipos y maquinarias, lo cual reduce costos y mejora la vida útil de los aires acondicionados.

(Vishnu y Regikuman, 2016, p.1080) tuvo como principal objetivo mostrar la importancia de la metodología RCM (incluido sus herramientas para el mantenimiento) en la mejora de la disponibilidad de equipos en una planta procesadora industrial, que cuenta con altos estándares para la producción. En este sentido, se empleó la metodología RCM para la elegir cual sería la mejor forma para el mantenimiento de equipos y se consideró un análisis histórico con datos proporcionados. La investigación fue de carácter cuantitativo, con un enfoque descriptivo, de tipo aplicado y de diseño cuasi- experimental (en tanto que se muestran los resultados luego de la mejora en la empresa). Las herramientas usadas fueron la observación directa, el análisis documental y dichas de recolección de datos; la población y muestra estuvieron constituidas por diez maquinarias dispuestas para el estudio. Los resultados mostraron, luego de haber diseñado los diagramas de procesos para el desarrollo del mantenimiento, que los indicadores de MTTF (expresado en días), MTTR (en horas) y disponibilidad (en porcentaje) habían mejorado considerablemente. De manera general se observó una mejora de 75% en la disponibilidad que en los equipos ahora era superior al 98.8%. Por ejemplo, el equipo Conveyor alcanzó un tiempo medio entre fallas de 109 días, un tiempo medio de reparaciones de 4 horas y una disponibilidad del 99.84%. Se concluye que la metodología RCM sí ha logrado mejorar la disponibilidad de los equipos, empleando el método de mantenimiento más efectivo para cada máquina, considerando los datos históricos; además los costos en los que se ha incurrido para su aplicación están compensados con el costo de mantenimiento y reparaciones no previstas.

(Raffo, 2016, p.4) tuvo como principal objetivo realizar una propuesta respecto al mantenimiento de los aires acondicionados basado en la metodología RCM, la

cual influye en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. Para ello se realizó un diagnóstico funcional de los equipos a emplear. La investigación guardó un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y aplicado, además tuvo un diseño pre-experimental; la población y muestra fueron 16 equipos. Las herramientas empleadas fueron la revisión bibliográfica, la observación directa, el análisis documental de la información proporcionada por la empresa, las fichas de datos; para la presentación de datos se usaron tablas y gráficos del programa Excel. Los resultados mostraron, en primer lugar, la clasificación de la criticidad de los 16 equipos, donde 3 de ellos se encontraban en un estado altamente crítico, luego 9 tenían un estado semi-crítico y 4 de ellos no presentaban criticidad. Se menciona además que los equipos de alta criticidad solo funcionaban al 30% de su capacidad normal, lo cual influyó de manera directa en el proceso de producción. El tiempo medio entre reparaciones para los equipos fue de 1,460 horas al año, el tiempo de mantenimiento para las maquinarias se calculó en un total de 505 horas al año. Se concluye que la metodología cuenta con las herramientas necesarias para identificar las causas que ocasionan fallas, además de brindar lineamientos para el mantenimiento, lo que permitiría reducir los costos de mantenimiento en 50%; por lo que se recomienda su aplicación en otras áreas con maquinarias en defecto.

(Tencio, 2016, pp. 135) se utilizó una metodología de diseño no experimental y del tipo descriptivo. Para ello se determinó como población a la totalidad de equipos pertenecientes a la empresa dedicados a la refrigeración y aire acondicionado. Seguidamente, se establecieron como principales instrumentos de recolección de datos a los registros administrativos, indicadores y el software Microsoft Access para su procesamiento. A su vez, las principales técnicas consistieron en la observación directa y la encuesta. Los resultados muestran que en la empresa se detectaron problemas en los empaques, el motor abanico, la resistencia de puertas, las cortinas plásticas, las bisagras, el compresor, el termómetro digital, entre otros similares. Se analizó de manera que el diseño del sistema de gestión de mantenimiento permitió generar un impacto positivo en el ahorro de costos por mantenimiento. Ello se evidenció al realizar el flujo de caja proyectado, el cual generó un valor de ₡ 8'958,203.70 cólones costarricenses en un plazo de 3 años, en ese sentido el TIR calculado fue de 89%; ambos valores

indicaron la viabilidad del proyecto. Finalmente, se recomienda realizar capacitaciones a los trabajadores a fin de que adopten como hábito las actividades establecidas para la mejora en el mantenimiento de los equipos; también se propone la revisión de los repuestos utilizados y realizar un nuevo análisis de Pareto a fin de confirmar las tendencias en las problemáticas presentadas en la empresa.

Trabajos previos nacionales

(Mayorca, 2019, p. 3) El propósito académico principal fue mostrar el incremento de la disponibilidad de los varios tipos de maquinaria mediante la eliminación del desgaste en el sistema de motor, hidráulico y de transmisión. El trabajo se realizó sobre una metodología de diseño experimental, de nivel descriptivo y del tipo cuantitativo aplicado, donde se estableció como población a la totalidad de máquinas de los 4 diferentes tipos que posee la PYME, los cuales también fueron seleccionadas como muestra. Además, para la realización de la recolección de información se utilizaron instrumentos tales como las fichas técnicas, los reportes de averías y los registros de operarios, mientras que las principales técnicas utilizadas fueron la observación directa y la entrevista. Los resultados de la investigación mostraron que se obtuvieron avances en la mejora del tiempo de reparación medio de la maquinaria de 5 horas a 3.5 horas, lo cual a su vez mejora el tiempo medio entre fallas pasando de 68.3 a 92.82. Además, se da un aumento de la disponibilidad de la maquinaria, pasando de 81.1 % antes de la mejora a una disponibilidad del 93.1% posterior a la implementación de la propuesta. Análogamente, las paradas no programadas se redujeron de 75 % a un 31.2 %; mientras que el porcentaje de repuestos en malas condiciones se redujo de 80% a 0%. Asimismo, el nivel de cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo paso de 25 % a un 93 % luego de haberse implementado la propuesta. Finalmente, con un costo del proyecto de S/ 64,003.00 soles se proyectó alcanzar un valor actual neto positivo de S/ 175,142.00 y una tasa interna de retorno de 44.23 % para un periodo de 18 meses, por lo que la propuesta de mejora es totalmente viable.

(Marchena, 2018, p.15) tuvo como objetivo principal el uso de la metodología RCM para la mejora de la disponibilidad de los equipos, lo cual se vio reflejado en la disponibilidad. Para ello se realiza un análisis de la situación inicial, se identificaron los puntos críticos, se planteó la propuesta basada en la metodología RCM, para luego implementarla y medir su impacto. La investigación guardó un enfoque cuantitativo, de carácter aplicado y explicativo (dado que se relata y ejecuta en la realidad de una empresa). Adicionalmente, tuvo un diseño cuasi-

experimental (mide los resultados luego de la implementación); las herramientas a emplear fueron las fichas de registro de datos, el análisis documental de la información histórica de las maquinarias, la revisión bibliográfica. La población y muestra fueron 12 meses de evaluación. Luego de la implementación, los resultados mostraron la comparación de los escenarios pre y post, de manera inicial, la disponibilidad promedio en tres meses entre septiembre y noviembre (12 semanas) fue del 75 %, con un MTBF de 20 horas y un MTTR entre 4 y 12 horas. Luego en los meses de febrero, marzo y abril el MTBF pasó a 46 horas y un MTTR entre 3 y 5 horas, para obtener una disponibilidad promedio de 93.9 %. Adicionalmente, se determinó un ratio costo-beneficio de 1.15, lo cual demostró la viabilidad de las mejoras. Se concluye que la metodología RCM logra mejorar la disponibilidad de los equipos, por lo que se recomienda su implementación en otras áreas; además se sugiere llevar un mejor control interno para el procesamiento de datos y realizar capacitaciones.

(Vilca, 2018, pp. 11) tuvo el objetivo principal de proponer un plan de mantenimiento en base a la metodología RCM para mejorar la disponibilidad de equipos del sistema de carga y transporte de una empresa minera durante el año 2018. Para ello se utilizó una metodología de diseño no experimental, de carácter descriptivo y del tipo aplicada. Además, para la recolección de información se utilizaron instrumentos tales como los formatos de uso, las fichas técnicas y los registros de operarios; como técnicas, la encuesta, la entrevista y la observación directa. La población estuvo determinada por la totalidad de máquinas pertenecientes al sistema de carga y transporte de la empresa en mención, lo cual, a su vez, representará la muestra. Dentro de los resultados se encontró que durante el año 2016 y 2017, se generó un sobrecosto por mantenimiento a los equipos con valores de \$19,400 y \$31,800 dólares, respectivamente; por lo que con la propuesta de implantación se proyecta reducir tales montos significativamente debido al uso eficiente de los instrumentos, el análisis de criticidad y las actividades de mantenimiento. Finalmente, se recomienda mantener en monitoreo los objetivos planteados por la propuesta y realizar mejoras continuas para evitar las paradas no programadas y reducir los costos de mantenimiento.

(Merma, 2018, p.5) tuvo como principal objetivo demostrar que la aplicación de la metodología RCM logra mejorar la disponibilidad de los equipos. En este sentido se realizó una evaluación inicial de los factores críticos que influyen en los equipos, se planteó la propuesta basada en RCM y luego de aplicarla se mostraron los resultados. La investigación fue de carácter cuantitativo, aplicado y de diseño cuasi-experimental (un análisis post); la población y muestra estuvo constituida por 27 palas hidráulicas. Las herramientas empleadas fueron los diagramas de flujo, el análisis documental de la información proporcionada por la empresa y fichas de datos para la recolección; además, se emplearon cuadros y graficas de Excel para la presentación de resultados. Los resultados señalaron que luego de la implementación la disponibilidad de los equipos mejoró en 84.6 %, luego el tiempo promedio entre fallas fue de 6000 horas; además, el tiempo medio para las reparaciones fue de 30 días. Otra información importante fue que gracias a la metodología se redujeron los costos de mantenimiento en la empresa en 5 % (aproximadamente USD \$3,500 dólares al mes). Se concluye entonces que la metodología empleada mejora la disponibilidad de los equipos, además de generar beneficios económicos en la empresa, incrementa la producción en extracción de minerales y reduce los costos operativos. Finalmente, se recomienda realizar constantes capacitaciones al personal respecto al tema de mantenimiento, la revisión de las estrategias planteadas para una cultura de cuidado y aplicar este mecanismo a otras áreas con problemas.

(Prado, 2018, p.6) tuvo por objetivo principal demostrar de qué forma la aplicación del RCM mejora la gestión disponibilidad de los equipos y su mantenimiento en la empresa. El tipo de investigación que se realizó fue aplicado, el diseño del estudio fue pre-experimental, porque se pretendió aplicar una metodología del mantenimiento centrado en los equipos; además cuenta con un enfoque cuantitativo. Para esta investigación se determinó que la población corresponda al registro de producción durante un periodo de 40 semanas y la muestra no probabilística se constituyó por el análisis de pre y post test a las 20 semanas antes y 20 semanas después. Los resultados determinaron, respecto al índice de mantenimiento programado, que el porcentaje promedio antes fue de 37.56 % y después de haber aplicado la implementación, el porcentaje promedio

sube a 90.20 % de cumplimiento al mantenimiento programado. En otras palabras, el resultado de la implementación de la mejora hizo que se aumentara considerablemente el cumplimiento al mantenimiento programado en un 52.64 %. Se concluye que la metodología del RCM ayuda a mejorar la gestión del mantenimiento, dado que los indicadores de MTBF (tiempo medio entre fallas) finalizó en 29, 46 fallas/hora y El MTTR (tiempo medio) finalizó con 0.94 horas/falla, obteniéndose así la disminución de tiempo de 0.54 horas. Como recomendación se resalta hacer un seguimiento mensual a los indicadores es de gran importancia, para mantener la sostenibilidad en los resultados obtenidos respecto a la gestión de mantenimiento.

Teorías relacionadas al tema

Metodología RCM

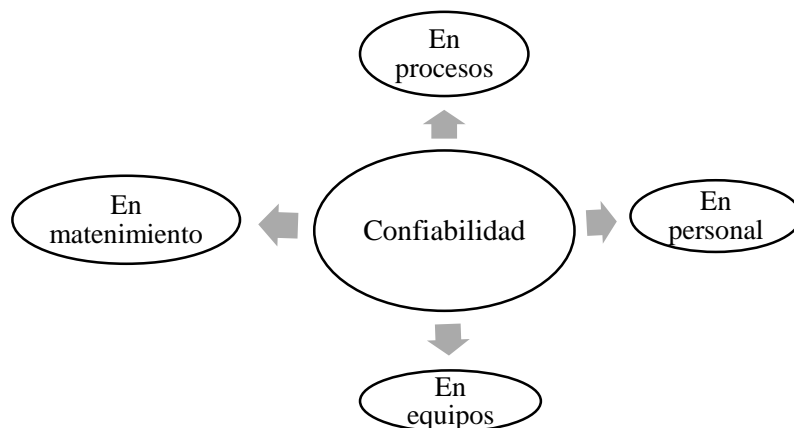
Definición de confiabilidad y disponibilidad

La disponibilidad puede ser comprendida como la medida de tiempo en la que un equipo realiza operaciones, es decir es el funcionamiento normal de un equipo en el proceso operacional bajo condiciones normales y controladas. También es comprendida como un objetivo clave en el plan de mantenimiento, pues permite el análisis de los equipos que puedan estar afectando la productividad (Gupta y Mishra, 2016, p. 133). La confiabilidad como base para el mantenimiento cuenta con un equipo multidisciplinario que busca mejorar las operaciones de un sistema ya establecido de trabajo, a través de la efectividad de actividades acorde a los riesgos identificados (Awad y Afif, 2016, p. 436).

La confiabilidad operacional es aplicada a casos relacionados con:

- Elaboración de planes de mantenimiento de equipos estáticos y dinámicos
- Solución de problemas en equipos que afecten las operaciones
- Fijación de tareas para minimizar los riesgos de proceso
- Establecer procedimientos operacionales

Figura 3 Confiabilidad



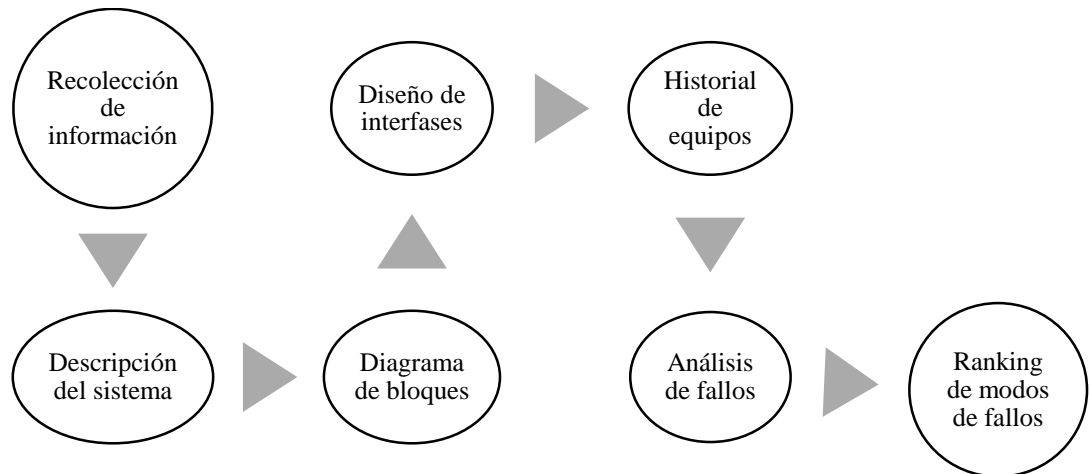
Elaboración propia

Pasos para a implementación RCM

Par la implementación de la metodología RCM se debe contar con una serie de pasos a realizar (Afzali, Keynia y Rashidinejad, 2019, p. 704)

- Elección de sistemas de recopilación de información: se identifica el nivel de análisis, se define la información necesaria que sea útil para el desarrollo de los siguientes pasos y se define los límites del sistema, cabe resaltar que en este primer paso se encuentran límites físicos primarios.
- Descripción del sistema: es este punto se recoge toda la información sobre la constitución y funcionamiento del sistema.
- Diagrama de bloques funcional: es una representación de las funciones del sistema donde los bloques son visualizados como subsistemas funcionales.
- Interface de entrada/salida: es este paso se describe los elementos que intervienen en el proceso, estos son: energía eléctrica, señales de calor, líquidos, gases etc.
- Historia del equipo: el historial del equipo permite identificar las fallas que se han presentado en los últimos años, en la mayoría de casos esta información remite de las tareas de mantenimiento.
- Análisis del modo de fallo y efectos: se define los modos, causas y consecuencias que presenta cada falla funcional, tomando en cuenta el nivel de componente, sistema y planta.
- Ranking de los modos de fallo: este paso consiste en realizar una clasificación de los fallos con el fin de asignar los recursos de mantenimiento.

Figura 4 Pasos para implementar



Elaboración propia

Ventajas y desventajas

La implementación de la metodología RCM cuenta con ventajas y desventajas, las cuales serán listadas a continuación:

Ventajas:

- Es un programa de mantenimiento eficiente
- Minimiza los costos de mantenimiento
- Reducción de frecuencia de reparaciones
- Reducción de la probabilidad de falla
- Incrementa la fiabilidad de los componentes
- Realiza análisis de causa raíz (Sinha y Mukhopadhyay, 2015, p.33)

Desventajas

- Costos en formación y capacitación del personal
- No gestiona el uso de técnicas acorde a la condición
- Los recursos implementados no están bien justificados (Mishra, 2018, p.906)

Objetivos del RCM

La base del RCM es el cuestionamiento de las actividades de mantenimiento para así ordenarlas de manera coherente y normativa. Se recomienda hacer un

reconocimiento de los activos de la empresa que intervendrán en el proceso y realizar las siguientes preguntas (Braglia, Castellano y Gallo, 2019, p.615).

- ¿Cuáles son las funciones que cumplen los equipos en análisis?
- ¿Cuáles son las fallas relacionadas con estas funciones? (fallas técnicas y funcionales)
- ¿Cuáles son las causas que se producen de estas fallas?
- ¿Cuáles son los efectos de cada falla?
- ¿Qué consecuencias traen estas fallas?
- ¿De qué manera se puede prevenir cada falla?
- ¿Qué acciones se deben realizar para controlarlas fallas difíciles de prevenir?

Luego de haber realizado las anteriores interrogantes, se pueden mencionar algunos de los objetivos de la metodología RCM (Yssaad y Abene, 2015, p.353)

- Eliminar las fallas de las maquinas
- Reducir los costos de reparación
- Planificar las necesidades de mantenimiento
- Trabajo articulado con el área de producción y mantenimiento

Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es útil para establecer un método que ayude a establecer los parámetros para jerarquizar los procesos, sistemas y equipos pertenecientes a una organización compleja; se podrá subdividir los elementos de manera que pueda ejercerse un control y sea auditable (Tang, Liu, Jing, Yang y Zou, 2017, p.1298). Asimismo, se podrá clasificar los equipos según sus niveles de criticidad como sigue a continuación:

- Equipos críticos: Se refiere a los equipos que ante un fallo o paro influyen significativamente en la producción de la organización.
- Equipos importantes: Se refiere a los equipos que ante un fallo o paro afectan la producción, pero su reemplazo es manejable.
- Equipos prescindibles: Se refiere a los equipos que no tienen una influencia significativa en los resultados productivos de la empresa.

Adicionalmente, los aspectos que influyen en un desperfecto o fallo del equipo son resultado de un mal manejo realizado en las operaciones de producción, donde deberá establecerse la influencia del fallo en la producción; además, el análisis de la criticidad debe considerar la calidad del equipo, el mantenimiento que se realiza y el nivel de peligrosidad que representa para el trabajador (Pourahmadi, Fotuhi y Dehghanian, 2017, p.940).

Fases para el RCM

La metodología de Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés), necesita del cumplimiento de fases específicas para lograr los objetivos propuestos (Piason, Biscaro, Leao y Sanches, 2016, p.43). A continuación, se muestran las 8 fases básicas para su desarrollo:

Fase 0 Inventario y registro de los equipos: Se deberá realizar el registro completo de los equipos de manera que se obtenga un inventario ordenado, la clasificación debe realizarse por tipo, modelo y serie, además deberán establecerse criterios propios de la organización a fin de poder identificar de manera eficaz los elementos a analizar.

Fase 1 Registro de funciones y componentes de los equipos: Consiste en el registro de las funciones que desempeñan los equipos y las partes que se involucran; las funciones a definir deberán ser especificadas para un determinado periodo de tiempo, de manera que pueda verificarse si el equipo está cumpliendo con el rendimiento esperado. Además del parámetro tiempo podrán establecerse otras unidades de medida, tales como presión, temperatura, vibración, o cualquier unidad que sea medible.

Fase 2 Identificación de modos de fallo: A fin de evitar confusiones, los modos de fallo deben entenderse como aquellos desperfectos que se dan alrededor de un fallo funcional, por lo que en un fallo funcional pueden presentarse varios modos de fallo. A modo de ilustración, para una sola máquina pueden presentarse diferentes modos de fallo en un momento que desencadenen un fallo funcional.

Fase 3 Identificación de disponibilidad de equipos: Otra actividad importante recae en el registro de los tiempos de operación de los equipos, es decir, los tiempos donde los equipos se encuentren activos y disponibles. Para tal efecto se deberá controlar los tiempos de paro debido al mantenimiento realizado a los equipos, de manera que pueda restarse los tiempos utilizados para los mantenimientos preventivos y correctivos al tiempo total de disponibilidad.

Fase 4 Evaluación de criticidad de equipos: Se clasificarán las consecuencias que podrían causar los daños de los equipos en caso no se realizase mantenimiento, en base a ese análisis se asignará un nivel de gravedad el cual puede ser crítico, importante o tolerable (Emovon, Norman, Murphy y Okwu, 2018, p.4).

Fase 5 Determinación de las medidas de prevención: Luego de haber analizado los fallos y clasificarlos según su criticidad, se establecerán las medidas que permitan reducir o eliminar el origen de los fallos y sus efectos; las medidas de prevención pueden ser de 5 tipos y se muestran a continuación:

- a. Actividades de mantenimiento periódicas: Pueden consistir en inspecciones, lubricación de equipos, verificación de instrumentos, mantenimiento sistemático o condicional, entre otros.
- b. Mejoras en el equipo o instalación: Pueden ser, desde cambios en los componentes de los equipos hasta una variación en el ambiente de trabajo. Estas mejoras estarán en función del análisis realizado en cada equipo.
- c. Capacitación de los trabajadores: Esta actividad puede realizarse como respuesta a un evento inesperado como una falla o el deterioro de algún equipo, de manera que pueda corregirse la actividad humana que impida el desarrollo de tal desperfecto; también, la capacitación podrá realizarse con un enfoque preventivo, de manera que el trabajador adquiriera el conocimiento de la falla antes de que esta suceda.
- d. Actualización de instrucción para la operación: Consiste en la reestructuración de las instrucciones a fin de que pueda establecerse una actividad homogénea alrededor de las actividades con las máquinas. Si bien es una actividad económica, pues solo implica el cambio del manual y su

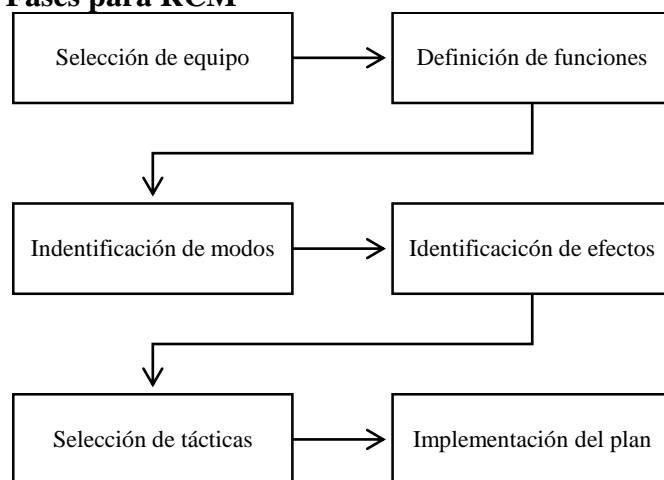
difusión, es de difícil aplicación puesto que requiere de un compromiso global de los trabajadores.

- e. Actualización de instrucciones para el mantenimiento: Consiste en la reformulación de las instrucciones al personal que realiza el mantenimiento de manera que pueda orientarse de manera eficiente en base a los niveles de tolerancia y ajustes establecidos por el fabricante.

Fase 6 Asociación de medidas preventivas según criticidad: Las medidas preventivas que posean características similares respecto a su criticidad pueden asociarse de manera que pueda establecerse el plan de mantenimiento de manera ordenada y a su vez minimizar los fallos presentados en los equipos. Además, como resultado de la asociación de medidas preventivas podrán identificarse posibles mejoras y enfocar las capacitaciones más urgentes que requiera el personal (Sana et al., 2018, p.24).

Fase 7 Ejecución de plan de mantenimiento: La última fase consiste en la difusión de las actividades que permitirán controlar los fallos identificados y los beneficios sociales y económicos que ello conlleva. Seguidamente, para la ejecución de las actividades pertenecientes al plan de mantenimiento debe corroborarse que se cuente con todos los elementos técnicos y operativos para alcanzar los resultados esperados; además, se dará a conocer las capacitaciones y la programación para el plan de mantenimiento basado en confiabilidad.

Figura. 5 Fases para RCM



Elaboración propia

Dimensiones de la variable independiente

Para el desarrollo de las dimensiones correspondientes a la metodología RCM se ha tomado como referencia las tareas del mantenimiento, el mantenimiento centrado en la confiabilidad y la confiabilidad operacional; cada uno de ellos cuenta con una explicación y la expresión matemática a emplear en las siguientes líneas:

Tareas de mantenimiento

Las tareas o labores de mantenimiento se encuentran definidas por el conjunto de actividades a realizar para el cuidado del equipo. Para ello es necesario previamente haber conformado un equipo con un enfoque selectivo para el trabajo, los cuales se encuentren orientados a seguir una determinada estructura de trabajo y procedimientos (Rafo, 2016, p.60).

La fórmula se muestra a continuación:

$$= (\%) \text{ Porcentaje de cumplimiento de tareas de mantenimiento}$$

Mantenimiento centrado en la confiabilidad

Esta técnica se encuentra determinada por el análisis sistemático y objetivo de los equipos para el desarrollo de un plan de mantenimiento, por tanto, para su evaluación se deben considerar las inspecciones integrales y detalladas a realizar. (Begazo, 2019, p.10).

La fórmula es la siguiente:

$$= \text{N}^\circ \text{ de inspecciones integrales y detalladas}$$

Confiabilidad operacional

Este se define como el proceso para la mejora del sistema de proceso productivo, en el cual se desea mejorar la confiabilidad en el uso de los equipos, debe ser realizado de forma sistemática para asegurar su efectividad. De manera práctica será medido por el número de eventos detectados en un mes (Cerrón, 2016, p.15).

Su expresión es la siguiente:

$$= \text{N}^\circ \text{ de eventos detectados por mes}$$

Variable dependiente Disponibilidad de aire acondicionado

Definición de acondicionamiento de aire

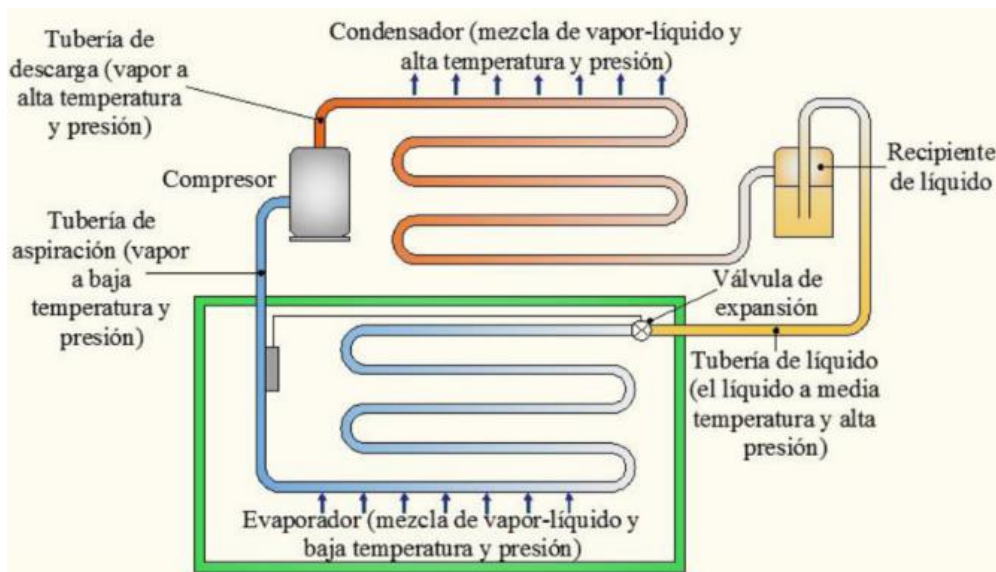
La disponibilidad del aire acondicionado en un equipo chiller, es un elemento fundamental para el acondicionamiento del aire en las instalaciones de toda empresa donde laboran e interactúan diariamente los colaboradores. De manera general, se puede mencionar que el acondicionamiento del aire posee dos funciones específicas, la primera se refiere generar una ambiente de comodidad para el ser humano y sus actividades (lo cual involucra los procesos productivos de la empresa); y la segunda menciona el mantenimiento al nivel alcanzado por el primer punto, es decir el control de la frialdad o calor por ejemplo en condiciones de trabajo, donde muchas veces por el tipo de maquinarias a usar se filtra polvo, o se genera un ambiente inadecuado para el trabajo (Kabeel, El-Samadony y Khiera, 2017, p. 208). Con los avances tecnológicos, se ha logrado una evolución en los sistemas de aire acondicionado, pudiendo ser de carácter autónomo, cuando el ser humano lo programa para condiciones de frío o caliente; o centralizado, cuando forman parte de un sistema inteligente (Davis & Gertler, 2015, p.5964).

Un chiller consiste en un equipo completo de refrigeración que cumple la función específica de proporcionar agua fría para los distintos procesos industriales (Pérez, 2015, parr.2). Un Chiller se encarga de refrigerar el agua que pasa a través de la sección del evaporador de la máquina para que luego, una vez que el agua regrese del evaporador o Barril de enfriamiento, la temperatura del agua descienda. Y así sea circulada nuevamente a través del edificio adquiriendo de nuevo la temperatura alta (Tomczyk, Silberstein, Whitman, & Johnson, 2016, p.1465).

Un chiller se compone de ocho elementos básicos que se mencionan y detallan a continuación: Evaporador, a través de este componente se transporta el refrigerante en las condiciones adecuadas de baja presión y alta temperatura, porque consiste en una superficie que proporciona calor desde el local climatizado hacia el vapor refrigerante. Tubería de aspiración o succión, componente que cumple la función de llevar el vapor de baja presión desde el evaporador hasta el conducto de aspiración del compresor. Compresor, se encarga del aumento de

temperatura y de la presión del vapor de baja presión recibido hasta que este a través de un medio condensante pueda llegar a ser condensado. Tubería de descarga, componente encargado de llevar el vapor de alta temperatura y de alta presión desde el conducto de descarga del compresor hasta el condensador. Condensador, se encarga de transportar el refrigerante en su fase líquida y en condiciones de presión alta y temperatura baja. Depósito de líquido, este componente del chiller se encarga de recibir y mantener al refrigerante líquido condensado para que el evaporador disponga de un suministro constante de líquido, de acuerdo al requerimiento. Tubería de líquido, componente que cumple la función de llevar el refrigerante líquido hacia la válvula de expansión. Por último, se cuenta con el componente denominado Válvula capilar o de expansión, esta se encarga regular el volumen del refrigerante líquido que ingresa hacia el evaporador y de disminuir la presión del previamente mencionado refrigerante (Tornero, 2015, p.53-54).

Figura. 6. Chiller, elementos básicos.

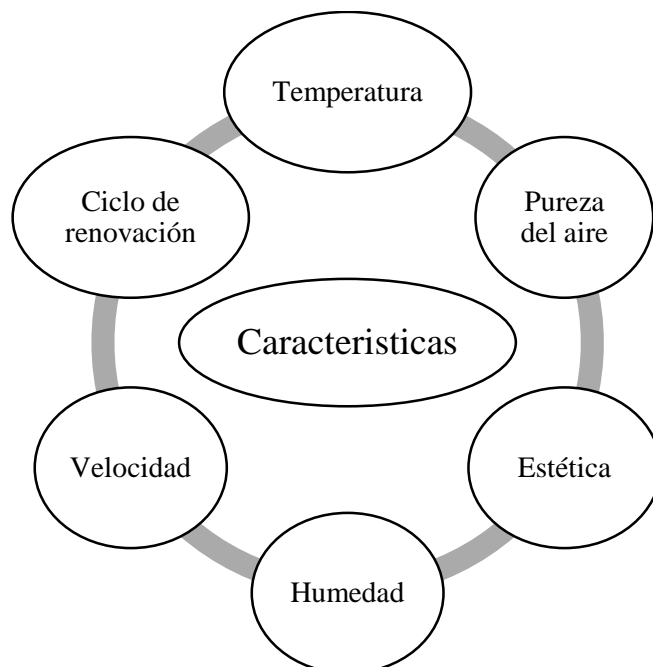


Fuente: Caracterización de equipos y elementos en instalaciones de climatización

Características

Los sistemas de aire acondicionado cuentan con características para el desarrollo de la climatización del ambiente, las cuales pueden ser reguladas de acuerdo a las necesidades que se presenten. La primera característica es la temperatura, la cual es fundamental para que se origine un ambiente adecuado para el ser humano y las funciones más comunes en este tema se refieren a la refrigeración y a la calefacción. La segunda en mención es la velocidad a la que circula el aire, este factor se relaciona con la sensación térmica que el medio (la cual no debe ser ni muy rápida ni tan lenta). Otras características son la humedad, que se relaciona con el intercambio del líquido con el ambiente; luego la limpieza del aire (para la eliminación de partículas y el proceso de filtrado del aire); además de la renovación del aire que brinda por la circulación (por la generación de aire contaminante, y finalmente, hasta características estéticas para un mejor diseño e iluminación de los equipos. (Wang, Xu, Pan y Xia, 2016, p. 849).

Figura. 7 Características de aire acondicionado



Elaboración propia

Objetivos

El acondicionamiento de aires cuenta con múltiples objetivos, los cuales se agruparán de acuerdo al ambiente en donde se encuentre en equipo y el uso que se le pretenda dar. Para el caso de las empresas industriales, de manera general se puede mencionar que el objetivo principal del acondicionamiento de aire es la implementación de ambientes adecuados para el trabajo, considerando las necesidades respecto a temperatura del ser humano y de las maquinarias. Un aspecto importante a considerar previamente son las contraindicaciones, puesto que es importante mantener el equilibrio en los sistemas, esto se da cuando se abusa del uso de este elemento, que puede llegar a causar ambientes deficientes (Shiraz, Taylor, Morrison y White, 2017, p. 284). A continuación, se presenta el detalle de algunos objetivos:

- La generación de ambientes favorables para el trabajo del hombre
- Impulsar ambientes propicios para la conservación de los insumos o productos que almacene la empresa.
- Lograr el acondicionamiento industrial y condiciones de salud
- Adecuar el ambiente para la viabilidad tecnológica y productiva en la empresa o área donde funcione.

Clasificación

En este punto se plantea la clasificación de los aires acondicionados respecto al grado de descentralización que estos tengan en la distribución del espacio; entonces se cuenta con los sistemas unitarios y los centralizados.

- Sistemas unitarios: Son aquellos que se emplean en los sistemas domésticos, vale decir, en los hogares. Estos equipos brindan condiciones de refrigeración, ventilación y calefacción, alcanzan una potencia aproximada entre 2,000 y 8,000 frigorías/horas (Rastogi, Chauhan, Vaish, Kisahn, 2015, p.264). A continuación, se listan los más usados en el mercado:

- Sistemas de compacto: Contiene todos los elementos dentro del mismo sistema, para la simplicidad de su uso y es usado para el sector industrial (sea de tipo aire-aire o aire-agua).
 - Sistemas de aire perdido: Estos sistemas acopian el aire que se encuentra en el exterior para la renovación del aire dentro del ambiente a mejorar.
 - Sistemas tipo ventana: Son instalados en paredes y cuentan con una compuerta para la renovación del aire, su eficiencia de carácter energético es mejor que el aire perdido.
 - Equipos portátiles: No llegan a realizar grandes cambios en el ambiente, sino que equilibran el aire de manera focalizada hacia un usuario en particular a través de la circulación.
 - Sistemas partidos o Split: Este tipo de equipos cuenta con dos espacios, uno se encarga de condensar el aire y comprimirlo, y el otro de lo evapora mediante la válvula de expansión.
- Sistemas centralizados: Como su nombre lo indica, cuentan con una central en donde se origina el frío, que posteriormente se distribuye por los canales adecuados en el ambiente. Cuentan con un sistema condensador y compresor, en términos de potencia estos equipos pueden alcanzar hasta 200,000 frigorías/horas y el sistema de fluidos es el responsable de llevar este aire a su destino (Lee, Lam, Lee y Chan, 2016, p.420). La división de este tipo de sistemas es la siguiente:
 - Sistemas de aire: La base para la distribución del frío o calor es el mismo aire, este sistema se recomienda por su alta efectividad en términos de renovación y ventilación, aunque presenta deficiencias en términos de regulación en temperatura y en la rapidez de su distribución. Posee cuatro aplicaciones: el doble conducto, la batería de calor, el caudal variable y por by-pass.

- Sistemas de agua: La base en este sistema es el agua, aquí no se produce la renovación de aire, pero si encuentra fortalezas en el control de la temperatura. Se dividen en paneles para suelo o techo, convectores y radiadores.
- Sistemas de aire –agua: Aquí tanto el aire como el agua son elementos importantes para el fluido y la distribución del frío, en tanto que combina de manera equilibrada las ventajas de los dos sistemas anteriores. Su mecanismo permite que el vapor sea absorba el calor de la corriente de agua y a través de ella se dé el enfriamiento.

Dimensiones de la variable dependiente

La disponibilidad de los equipos de aire acondicionado en estudio, se encuentra determinada por las dimensiones que este posee, las cuales son expresiones cuantitativas (mayormente en minutos u horas) que refieren el grado de la disponibilidad del equipo, lo cual es útil para la toma de decisiones en búsqueda de mejores resultados. Las dimensiones de disponibilidad, tiempo medio entre fallos y tiempo medio entre reparaciones se presentan a detalla y con su respectiva formula en las siguientes líneas:

Disponibilidad

Se encuentra determinada por la presencia del equipo listo para ser usado en el proceso productivo, lo cual es medido en horas. Su fórmula se expresa de la siguiente manera (Qamar, 2018, p.704):

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

Tiempo promedio entre fallas

El término MTBF se relaciona al tiempo que demora un equipo (en este caso el chiller de aire acondicionado) en presentar fallas o algún inconveniente, se calcula a través de la siguiente formula (Stamantis, 2017, p.252):

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ Horas de operación}}{\text{N}^\circ \text{ Paradas correctivas}}$$

Tiempo promedio entre reparaciones

También conocido por las siglas de MTTR, se refiere al tiempo promedio en el cual la maquinaria puede ser reparada o arreglada para su funcionamiento en la planta; su fórmula es la siguiente (Stamantis, 2017, p.302):

$$\frac{\text{Tiempo Total repar. correct}}{\text{N}^\circ \text{ reparaciones correctivas}}$$

Formulación del problema

Problema general

¿Cómo la aplicación de la metodología RCM, incrementa la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019?

Problemas específicos

¿De qué manera la aplicación de la metodología RCM, incrementa el tiempo promedio entre fallas de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019?

¿De qué manera la aplicación de la metodología RCM, disminuye el tiempo promedio para la reparación de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019?

Justificación del estudio

Justificación teórica

La teoría referida a la confiabilidad de equipos (RMC) siempre será un tema de interés dentro de la comunidad académica en Ingeniería, debido a que siempre se desea conocer más a fondo los medios para un mejor funcionamiento en distintas maquinarias y reducir sus fallos, y es labor de la Ingeniería Industrial mejorar y optimizar los procesos en una compañía, en este caso específico incrementar la disponibilidad de los equipos Chillers de la empresa.

Justificación practica

El presente trabajo se realiza en la realidad de una empresa que presenta problemas en la disponibilidad de los equipos. En este sentido, con la implementación de la metodología RCM se brinda una solución en este tema de los aires acondicionados, como parte de la búsqueda de la mejora continua, el cual también es de alto interés por las empresas. Por los motivos expuestos la investigación cuenta con justificación práctica.

Justificación metodológica

Como parte de la presente investigación se emplean múltiples herramientas y formatos (que han sido aprendidos en el transcurso de la carrera de Ingeniería Industrial) como parte de la aplicación de la metodología RCM en el área correspondiente para la mejora de la disponibilidad de los aires acondicionados; el correcto empleo de estas herramientas llevará al éxito el trabajo a realizar. Entonces es posible afirmar que la investigación cuenta con una justificación metodológica.

Justificación económica

Las empresas han sido diseñadas para la obtención de utilidades para sus accionistas, por lo que siempre se encuentran en búsqueda de elementos que mejoren los procesos para abaratar costos. En esta línea, la implementación de la metodología RCM permitirá incrementar la disponibilidad de los equipos de aire acondicionado, por lo que se generará una reducción en los costos de

mantenimiento, lo cual al representar un ahorro y una mejora en los beneficios. Entonces se sostiene que la investigación cuenta con justificación económica.

Justificación social

El mundo se encuentra en un constante cambio, por lo que el ser humano que habita en él también lo está. Las nuevas tecnologías han permitido el desarrollo de equipos y maquinarias que hacen la vida más simple (como los aires acondicionados); lamentablemente muchos de estos elementos representan un daño al medio ambiente y a la sociedad. La búsqueda de una mejora en los equipos representa una mirada hacia el cambio, un incremento en la calidad de vida de las personas (que a su vez representan la mano de obra); por lo que la investigación cuenta con justificación social.

Hipótesis

Hipótesis general

La metodología RCM incrementa la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019.

Hipótesis específicas

La metodología RCM incrementa el tiempo promedio entre fallas de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019.

La metodología RCM disminuye el tiempo promedio para la reparación de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019.

Objetivos

Objetivo general

Determinar si la aplicación de la metodología RCM incrementa la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019.

Objetivos específicos

Determinar si la aplicación de la metodología RCM incrementa el tiempo promedio entre fallas de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019.

Determinar si la aplicación de la metodología RCM disminuye el tiempo promedio para la reparación de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima-2019.

II. MÉTODO

2.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo

La investigación realizada posee, en primer lugar, enfoque cuantitativo, debido a que los resultados que se muestran son de un carácter numérico y cuantificable de cierta forma. Además, de tipo aplicada, puesto que se busca dar solución a un problema de la realidad empresarial, mediante el uso de una metodología para incrementar la disponibilidad de los equipos chillers.

Nivel de investigación

Es de nivel descriptivo y causal, en tanto que se caracteriza y describen las variables de estudio, y explicativa dada por la aplicación de la metodología RCM, que constituye la causa para la mejora de la disponibilidad de los aires acondicionados de la empresa en estudio (Fernández, Hernández y Baptista, 2017, p.27).

Diseño

Luego también presenta un diseño cuasi- experimental (pre y post), en tanto que se comparan los escenarios antes y después de la implementación de la mejora, adicionalmente es aplicada por se efectúa en la realidad de una empresa que se dedica al sector de estudio (Valderrama, 2013, p.65)

2.2 Operacionalización de variables

En este punto se procede a relatar la conceptualización de las variables en términos de operacionalización, es decir de acuerdo al rol que cada una de ellas desarrolla en la investigación.

VARIABLES:

- Variable independiente: Metodología RCM (Mantenimiento basado en Confiabilidad)
- Variable dependiente: Disponibilidad de equipos Chiller

Operacionalización:

Variable independiente: Metodología RCM (Mantenimiento basado en Confiabilidad)

El mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) como base para el mantenimiento cuenta con un equipo multidisciplinario que busca mejorar las operaciones de un sistema ya establecido de trabajo, a través de la efectividad de actividades acorde a los riesgos identificados (Awad y Afif, 2016, p. 436).

Dimensión n°1: Tareas de mantenimiento

Las tareas de mantenimiento permiten reducir (evitar, eliminar, minimizar) dichas consecuencias. Estas tareas pueden ser tareas preventivas, tareas predictivas, tareas de búsqueda de fallas, operar hasta fallar o cambio de especificaciones (Rafo, 2016, p.60).

Dimensión n°2: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Es una técnica para elaborar acciones de mantenimiento en una instalación, fue desarrollada para donde no se obtienen los resultados adecuados para la seguridad tras comprobarse excelentes resultados (Begazo, 2019, p.10).

Dimensión n°3: Confiabilidad operacional

La confiabilidad operacional es la capacidad de una instalación o sistema (integrados por procesos, tecnología y gente), para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico (Cerrón, 2016, p.15).

Variable dependiente: Disponibilidad de los equipos Chillers

La disponibilidad puede ser comprendida como la medida de tiempo en la que un equipo realiza operaciones, es decir es el funcionamiento normal de un equipo en el proceso operacional bajo condiciones normales y controladas (Gupta y Mishra, 2016, p. 133).

Dimensión n°1: Disponibilidad

Se encuentra determinada por la presencia del equipo listo para ser usado en el proceso productivo, lo cual es medido en horas. Su fórmula se expresa de la siguiente manera (Qamar, 2018, p.704).

Dimensión n°1: Tiempo promedio entre fallas (MTBF)

El término MTBF se relaciona al tiempo que demora un equipo en presentar fallas o algún inconveniente, se calcula a través de la siguiente formula (Stamantis, 2017, p.252).

Dimensión n°2: Tiempo promedio entre reparaciones (MTTR)

El término por sus siglas de MTTR, se refiere al tiempo promedio en el cual la maquinaria puede ser reparada o arreglada para su funcionamiento en la planta; su fórmula es la siguiente (Stamantis, 2017, p.302).

Tabla 2 Matriz de operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO
Metodología RCM	El mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) como base para el mantenimiento cuenta con un equipo multidisciplinario que busca mejorar las operaciones de un sistema ya establecido de trabajo, a través de la efectividad de actividades acorde a los riesgos identificados (Awad y Afif, 2016, p. 436).	Esta metodología, con la ayuda de algunas herramientas, se basa en la detección y eliminación de residuos en los procesos que generan valor en las empresas, analizando su confiabilidad. Esta variable será quien ejerza e influya en mejoras sobre la disponibilidad de los equipos (finalidad de la investigación), en análisis de sus dimensiones permitirán modificar la variable dependiente	Tareas de mantenimiento	(%) Porcentaje de cumplimiento de tareas de mantenimiento	Razón	Ficha de observación
			Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	N° de inspecciones integrales y detalladas	Razón	Ficha de observación
			Confiabilidad operacional	N° de eventos detectados por mes	Razón	Ficha de observación
Disponibilidad de equipos Chiller	La disponibilidad puede ser comprendida como la medida de tiempo en la que un equipo realiza operaciones, es decir es el funcionamiento normal de un equipo en el proceso operacional bajo condiciones normales y controladas (Gupta y Mishra, 2016, p. 133).	La disponibilidad en los es uno de los principales objetivos luego de un programa de mantenimiento, puesto que los procesos productivos requieren en gran medida su presencia, y los equipos de aire acondicionado no son la excepción. En el presente trabajo para que la disponibilidad mejore se emplea la metodología RCM la cual influye sobre la disponibilidad, el tiempo promedio entre fallas y el tiempo promedio entre reparaciones,	Disponibilidad (D)	$\frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$	Razón	Ficha de observación
			Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	$\frac{N^{\circ} \text{ Horas de operación}}{N^{\circ} \text{ Paradas correctivas}}$	Razón	Ficha de observación
			Tiempo promedio entre reparaciones (MTTR)	$\frac{\text{Tiempo Total repar.correct}}{N^{\circ} \text{ reparaciones correctivas}}$	Razón	Ficha de observación

Elaboración propia

2.3 Población, muestra y muestreo

Población

La población como unidad de análisis para la presente investigación corresponde a indicadores de los servicios de mantenimiento en el periodo de 12 meses del chillers industrial de la empresa materia de estudio.

N= 3 equipos de aire acondicionado

Muestra

La muestra está constituida por una parte o sección de la población que guarda características en común, y que se utiliza para la investigación.

La muestra para la presente investigación será similar a la población encontrada. En esta medida, la muestra corresponderá a indicadores de los servicios de mantenimiento en el periodo de 12 meses del chillers industrial de la empresa materia de estudio.

N = 3 chillers de aire acondicionado

Criterios de inclusión:

- Equipos de baja disponibilidad.
- Equipos que presentan fallas recurrentes.

Criterios de exclusión:

- Equipos de aire acondicionado nuevos o instalados recientemente.
- Equipos pertenecientes a terceros o en calidad de alquilados.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas: Observación

En el trabajo a realizar será necesario el uso de técnicas para la recolección de los datos. Estos elementos son los que ayudan al investigador para hacerse con la información necesaria en el desarrollo de las mejoras o procesos que desee aplicar, considerando la extracción y almacenamiento de dichos datos. Como ejemplos más usados se menciona la ficha de recolección de datos, las encuestas,

formularios, etcétera. La observación directa es la técnica por la cual el investigador aprecia la realidad acontecida en su entorno, luego de ello, procede a analizar y evaluar los contenidos vertidos en ella, los elementos que yacen sobre sí y los aspectos a mejorar. Esta técnica además permite involucrar a los investigadores con los procedimientos y objetos a mejorar (Valderrama, 2013, p.195).

Instrumentos: Ficha de recolección de datos

Las fichas de recolección de datos son aquellos formatos que son empleados para llenar la información de interés por parte del investigador. Para nuestra investigación las fichas consideraran información sobre el tiempo, los procedimientos, el área, entre otros (Baena, 2014, p.65).

2.5 Procedimiento

Para el desarrollo de la presente investigación, se ha considerado los siguientes pasos necesarios para su realización, a saber: se observaron in situ las actividades a realizarse en el área de mantenimiento de la empresa de estudio, a través del uso de fichas de observación se recolectaron los datos necesarios referentes a los indicadores establecidos en las variables de estudio. Asimismo, se eligió el programa estadístico SPSS v.25 y el programa de hoja de cálculo Excel adecuados para organizar, procesar y tabular los datos recopilados, se exploraron los datos mediante un análisis descriptivo e inferencial, se aplicaron pruebas estadísticas para la contrastación de hipótesis, se realizaron análisis adicionales para la mejora en el proceso estudiado, y se prepararon los resultados de la variable dependiente para presentarlos en tablas, gráficas, respectivamente.

En el área de mantenimiento de la empresa en estudio, se observa mediciones mal elaboradas, como la antigüedad de las máquinas que se utilizan para llevar a cabo los procesos operativos en la planta, la exposición constante a un ambiente altamente contaminado, carencia de buenos instrumentos que influyan al manejo correcto y reparación eficiente de las máquinas; todo ello contribuye al uso de una ineficiente metodología. Complementariamente, para una mirada general del asunto se realiza una

explicación más detallada de las causas que determinan el 80% del problema que consiste en la baja disponibilidad de equipos Chillers.

Identificación de las causas raíz del problema

- Ausencia de fichas de registro para las fallas

No se encuentran fichas de registro que permitan observar los tiempos que se utilizan para el diagnóstico y reparación de las fallas en los equipos. Esto impide realizar un control adecuado a las operaciones que se realizan en el área, además que con la ausencia de los registros y la información que deberían manifestar, se dificulta establecer medidas de mejora. Por tanto, la ausencia de fichas de registro afecta a la disponibilidad de los equipos Chillers en la medida que su no uso impide que se puedan supervisar las operaciones en base a información estándar, lo que en consecuencia genera un menor rendimiento.



Figura 8 Ausencia de fichas de registro
Elaboración propia

- Personal sin experiencia

El personal que realiza el diagnóstico y reparación de los equipos Chillers no posee experiencia adecuada que les permita un trabajo veloz y eficiente; además, la falta de experiencia pone en riesgo su integridad física puesto que muchos no utilizan el equipo de protección adecuado, y, en consecuencia, generando retrasos en las labores que le corresponden. Por tanto, se generan retrasos y reprocesos debido a la falta de experiencia de los trabajadores, ello influye directamente en la baja disponibilidad de los equipos.



Figura 9 Personal sin experiencia
Elaboración propia

- Falta de indicadores de gestión para la correcta medición

A su vez, se detectó la falta de indicadores de gestión dentro de la empresa analizada, ello sucede como consecuencia a la inexistencia de fichas de registro en las labores de diagnóstico y reparación de los equipos Chillers. La falta de indicadores también está referida a los tiempos y tareas que cumple el personal en la designación de sus tareas, así como en el nivel de insumos que utiliza y otros gastos en los que se incurre. Esta es una causa determinante para el problema de baja disponibilidad de equipos puesto que funciona como una venda para la empresa, ello debido a que dificulta la visión sobre la dinámica productiva y económica de la empresa y deja a libre determinación el trabajo y los recursos que se utilizan.



Figura 10 Falta de indicadores de gestión
Elaboración propia

- Carencia de metodología para realizar los trabajos

El poco desarrollo de una metodología para la realización de los trabajos de diagnóstico, reparación y mantenimiento de los equipos Chiller impide que la disponibilidad de los equipos aumente, puesto que caen en desperfecto cada cierto tiempo a pesar de que el servicio ha sido realizado exitosamente. En contraposición, una metodología adecuada permitiría que las reparaciones y el mantenimiento realizado garanticen la disponibilidad de los equipos por un periodo considerable. Por tanto, la carencia de metodología para realizar el trabajo no solo significa una baja disponibilidad de los equipos Chillers, sino que también representa una pérdida de recursos considerable.



Figura 11 Carencia de metodologías en el trabajo
Elaboración propia

Es por ello que, en miras de obtener una mejora en la productividad de la empresa, se implementará la metodología RCM, para ello Intecserin S.A deberá seguir los siguientes pasos:

- Definir el área en estudio, en este caso se seleccionará el área de producción, ya que de allí parten los procesos operativos ineficientes.
- Se delegará funciones de trabajo a un grupo de colaboradores, donde de acuerdo a sus actividades diarias, se identifiquen el uso de malas herramientas, así como su causa y efecto.
- Se seleccionarán los métodos y tácticas que contribuyan al desarrollo de un óptimo sistema.

- Se implementará la metodología RCM

Aplicación de la metodología RCM

1. En primera instancia, se buscó recolectar información precisa sobre los indicadores propuestos para analizar la disponibilidad y sus componentes. Para ello, se utilizaron los formatos de registro: Se registrará e identificará información útil con ayuda de los formatos que se muestran en la siguiente tabla resumida (Ver completo en Anexo 3):

Tabla 3 Resumen de registro de datos de disponibilidad y tiempos de Chillers

LOG O	Disponibilidad, MTBF, MTTR						Código: 02-MANT			
							Versión: 01			
							Página: 01 de 01			
Encargado										
Variable Dependiente						Fórmulas				
Disponibilidad						Tiempo promedio entre fallas		Tiempo promedio entre reparaciones		
						MTBF		MTTR		
N°	MES	EQUIPO	DISPONIBILIDAD	MTBF	MTTR	N° Horas de operación	N° Paradas correctivas	Tiempo Total reparación correctiva	N° reparaciones correctivas	
1	Dic-15	Chiller 1	82.56%	40.91	8.64	450	11	95	11	
2	Ene-16	Chiller 1	79.82%	48.33	12.22	435	9	110	9	
3	Feb-16	Chiller 1	85.00%	42.5	7.50	425	10	75	10	
4	Mar-16	Chiller 1	84.85%	44.8	8.00	448	10	80	10	
5	Abr-16	Chiller 1	83.64%	46	9.00	460	10	90	10	
6	May-16	Chiller 1	83.93%	47	9.00	470	10	90	10	
7	Jun-16	Chiller 1	87.13%	48.89	7.22	440	9	65	9	
8	Jul-16	Chiller 1	88.70%	50.56	6.44	455	9	58	9	
9	Ago-16	Chiller 1	90.68%	62.57	6.43	438	7	45	7	
10	Set-16	Chiller 1	92.31%	70	5.83	420	6	35	6	
11	Oct-16	Chiller 1	94.58%	87.2	5.00	436	5	25	5	
12	Nov-16	Chiller 1	96.39%	120	4.50	480	4	18	4	

Elaboración propia

Donde se muestran las maquinarias que se encuentran en mal estado, el número de tareas de mantenimiento, las inspecciones del mantenimiento centrado en confiabilidad y los eventos detectados en la confiabilidad operacional. A partir de los datos mencionados, se definirá la magnitud del problema y se precisarán los límites del sistema, ello se observa en el cálculo de los indicadores MTBF y MTTR, los cuales muestran el tiempo promedio entre fallas y los tiempos promedio de reparaciones, respectivamente.

2. Posteriormente, se elaboraron los Diagramas de Operación de Procesos y Diagrama de Actividades de Procesos de la situación actual para analizar el flujo de actividades que se realiza en torno al proceso de reparación y mantenimiento de Chillers. Se contabilizan 20 actividades y un tiempo de 2840 minutos; obsérvese en el Anexo 5 y 7.
3. Asimismo, se realizaron actividades de capacitación donde se expusieron los métodos de recuperación de refrigerante en los Chillers basados en la metodología RCM, a fin de estandarizar los procedimientos y resolver las causas previamente identificadas.

REUNIÓN ()		CAPACITACIÓN ()		ENTRENAMIENTO ()		SIMULACRO DE EMERGENCIA ()	
REGISTRO DE INDUCCIÓN, CAPACITACIÓN, ENTRENAMIENTO Y SIMULACROS DE EMERGENCIA							
RAZÓN SOCIAL O DENOMINACIÓN SOCIAL INGENIERIA Y TECNOLOGIA SERVICIOS INTERNACIONALES S.A.S.		RUC 2099020089	DOMICILIO (Dirección, ciudad, provincia y organizaciones) 20. San Antonio de Guayaquil, San Antonio de Guayaquil, Guayas, Ecuador	ACTIVIDAD ECONÓMICA Mantenimiento e instalación de Equipos de Aire Acondicionado	Nº TRABAJADORES EN EL CENTRO LABORAL		
TÍTULO: Métodos de recuperación de refrigerante en el Chiller							
TEMA: Métodos de recuperación de refrigerante en el Chiller							
LUGAR: Jose Carlos Chapona Silva							
CAPACITADOR O ENTRENADOR: Jose Carlos Chapona Silva							
FECHA: 11-08-19							
APELLIDOS Y NOMBRES DE LOS CAPACITADOS		Nº DNI	ÁREA	HORA INICIAL	HORA FINAL	Nº DE HORAS	
Naranjo Hernán José		4620732	SERVICIOS	8:00	12:00	4	
López Raúl José		322504	SERVICIOS	8:00	12:00	4	
López Andrés Ernesto		292449	SERVICIOS	8:00	12:00	4	
López María Juan		44953753	SERVICIOS	8:00	12:00	4	
RESPONSABLE DEL REGISTRO:							
Nombre y Apellido:		Cargo:		Fecha:		Firma:	

Figura 12 Registro de capacitación sobre métodos de trabajo

Elaboración propia

4. Posterior a ello, se utiliza un formato de RCM para determinar el número de actividades cumplidas correspondientes a las tareas de mantenimiento ordinarias; además, se contabiliza el número de inspecciones que se realizan en base a la metodología RCM en aplicación; y finalmente, se registra el número total de eventos sobre confiabilidad operacional. A continuación, se muestra una tabla resumen (Ver completo en Anexo 2):

Tabla 4 Matriz de operacionalización de las variables

LO GO		Metodología RCM, tareas de mantenimiento, confiabilidad operacional							Código: 01-MANT		
									Versión: 01		
									Página: 01 de 01		
Variable Independiente			Fórmulas								
Metodología RCM			Tareas de mantenimiento			Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad			Confiabilidad operacional		
			TM			RCM			CO		
Nº	MES	Equipo	Tareas Cumplidas	Total de Tareas	Resultado	Inspecciones Realizadas	Total Inspecciones	Resultado	Eventos Detectados	Total de Eventos	Resultado
1	Dic-15	Chiller 1	25	45	56%	8	35	23%	40	60	66.67%
2	Ene-16	Chiller 1	27	45	60%	10	35	29%	41	60	68.33%
3	Feb-16	Chiller 1	29	44	66%	10	35	29%	39	60	65.00%
4	Mar-16	Chiller 1	27	43	63%	12	35	34%	40	60	66.67%
5	Abr-16	Chiller 1	23	42	55%	14	35	40%	38	60	63.33%
6	May-16	Chiller 1	22	40	55%	15	35	43%	41	60	68.33%
7	Jun-16	Chiller 1	25	37	68%	17	27	63%	37	50	74.00%
8	Jul-16	Chiller 1	27	34	79%	18	27	67%	33	40	82.50%
9	Ago-16	Chiller 1	24	30	80%	20	27	74%	26	30	86.67%
10	Set-16	Chiller 1	21	25	84%	22	27	81%	19	22	86.36%
11	Oct-16	Chiller 1	18	20	90%	23	27	85%	18	20	90.00%
12	Nov-16	Chiller 1	17	18	94%	25	27	93%	17	18	94.44%

Elaboración propia

Finalmente, con los registros obtenidos se establece la propuesta de los formatos DAP y DOP de la situación posterior a la mejora lograda, los cuales consisten

en la combinación y eliminación de actividades que se consideren innecesarias, además de la reducción de tiempos en base a la nueva metodología de trabajo que se considere oportuna. En consecuencia, el tiempo total del proceso se redujo a 1580 minutos, manteniendo vigentes las 20 actividades previamente determinadas; ello se muestra en el Anexo 6 y 8. A modo de que las mejoras realizadas sean permanentes, se incorpora de manera complementaria a las actividades establecidas el uso de ATS, la cual deberá ejecutarse de modo complementario, pues un aspecto vinculado a la seguridad del trabajador mientras lleva a cabo el mantenimiento de las chiller.

2.6 Método de Análisis de datos

En primer lugar, como parte de la investigación se aplicará estadística descriptiva para caracterizar la situación actual de la empresa, para ello se empleará la observación directa y el análisis documental de la información brindada por la empresa, luego se utilizará la revisión bibliográfica para la parte teórica. Asimismo, se hará uso de estadística inferencial, para lo cual se emplearán programas especializados, tales como SPSS y Excel para las pruebas estadísticas necesarias y para la presentación de dichos datos en formatos didácticos y fáciles de explicar mediante tablas y gráficos, respectivamente.

2.7 Aspectos éticos

En esta sección es relevante sostener que la presente investigación ha sido realizada con honestidad, sin haber incurrido en el plagio o copia textual de algún otro documento, además se han realizado las citas correspondientes para proteger y resguardar la propiedad intelectual de los autos que han servido de referencia. La información proporcionada por la compañía ha sido empleada solo para fines académicos, sin tener alguna mala intención, ni para su comercialización. Finalmente, se han respetado los principios de la normativa brindada por la Universidad Cesar Vallejo y las bases del ISO 690.

III. RESULTADOS

Análisis estadístico descriptivo de la variable dependiente

Análisis descriptivo

a. Disponibilidad de los equipos Chillers - Variable dependiente

Para medir esta variable se ha de tener en cuenta la disponibilidad, tiempo promedio entre fallas y tiempo promedio entre reparaciones. Será necesario obtener información de un escenario anterior y posterior de la implementación del método RCM con el fin de obtener un correcto análisis descriptivo.

Tabla 5 Nivel de gestión de la variable independiente

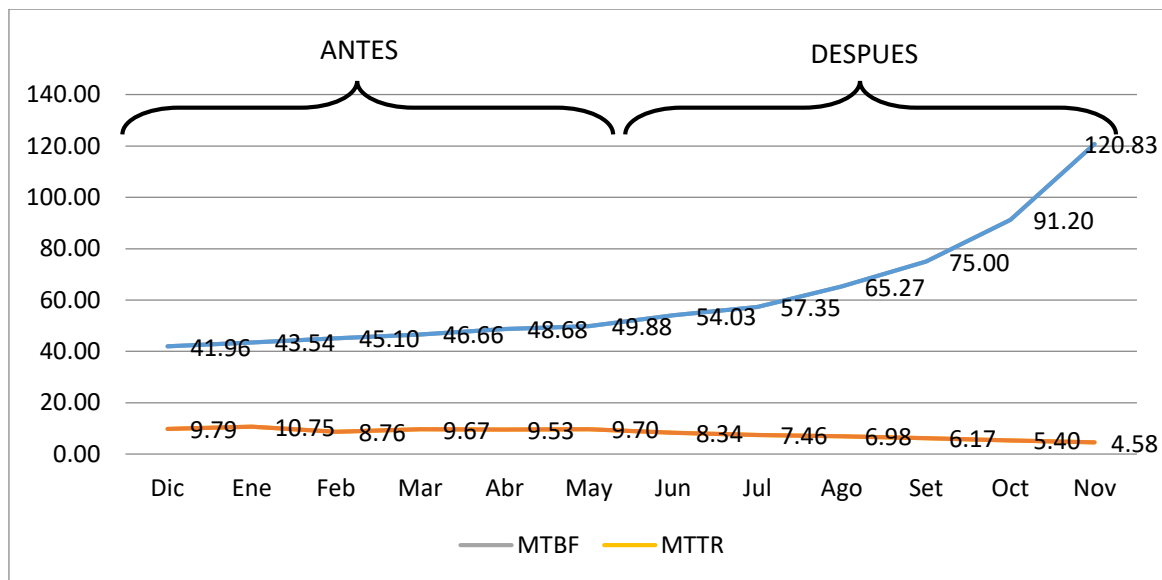
Escenario	MES	DISPONIBILIDAD	MTBF	MTTR
Pre-Test	Dic-15	81%	41.96	9.79
	Ene-16	80%	43.54	10.75
	Feb-16	84%	45.10	8.76
	Mar-16	83%	46.66	9.67
	Abr-16	84%	48.68	9.53
	May-16	84%	49.88	9.70
Post- Test	Jun-16	87%	54.03	8.34
	Jul-16	89%	57.35	7.46
	Ago-16	90%	65.27	6.98
	Set-16	92%	75.00	6.17
	Oct-16	94%	91.20	5.40
	Nov-16	96%	120.83	4.58

Elaboración propia.

De la tabla anterior, se puede comparar los escenarios antes y después de la implementación de mejora basada en la metodología RCM. Durante los meses de diciembre y mayo el valor de la disponibilidad se encontraba entre 80% y 84%, luego de la mejora dicho factor incrementó hasta el 96% en el último periodo de medición. También se observa que el tiempo medio entre fallas mejoró considerablemente, dado que al inicio de las evaluaciones era de 41.96 y en el último periodo alcanzó el valor de

120.83. Situación similar se muestra para el tiempo medio entre reparaciones paso de ser de 9.79 a 5.48. Para apreciar mejor dichos cambios se presenta la siguiente figura.

Figura. 13 Nivel de disponibilidad en la empresa (periodo)



Elaboración propia

En la figura anterior se observan los cambios en el MTBF y el MTTR para la empresa en análisis durante los periodos de diciembre a mayo para el escenario pre-test y de junio a noviembre para el post-test. Los resultados indican que el tiempo medio entre reparaciones incrementó, lo que refiere una mayor disponibilidad de los equipos; luego el tiempo medio entre fallas disminuyó, lo cual certifica nuestra afirmación. Mediante la siguiente tabla se muestran los estadísticos descriptivos para la variable dependiente.

Tabla 6 Estadísticos descriptivos de la variable dependiente

		Descriptivos		
	Escenario	Estadístico	Error estándar	
Disponibilidad	Pre-test	Media	,8267	,00715
		Mediana	,8350	
		Varianza	,000	
		Desviación estándar	,01751	
	Post-test	Media	,9133	,01358
		Mediana	,9100	
		Varianza	,001	
		Desviación estándar	,03327	

MTBF	Pre-test	Media	45,9700	1,23626
		Mediana	45,8800	
		Varianza	9,170	
		Desviación estándar	3,02821	
	Post-test	Media	77,2800	10,29170
		Mediana	70,1350	
		Varianza	635,515	
		Desviación estándar	25,20942	
MTTR	Pre-test	Media	9,7000	,25974
		Mediana	9,6850	
		Varianza	,405	
		Desviación estándar	,63624	
	Post-test	Media	6,4883	,56398
		Mediana	6,5750	
		Varianza	1,908	
		Desviación estándar	1,38145	

Elaboración propia con SPSS 25.

Análisis inferencial

Prueba de normalidad

a) Disponibilidad de los equipos Chillers - Variable dependiente

Tabla 7 Análisis de normalidad de la variable dependiente

Pruebas de normalidad							
	Escenario	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad	Pre-test	,277	6	,168	,800	6	,059
	Post-test	,156	6	,200*	,981	6	,955
MTBF	Pre-test	,148	6	,200*	,971	6	,900
	Post-test	,203	6	,200*	,894	6	,342
MTTR	Pre-test	,277	6	,166	,907	6	,419
	Post-test	,139	6	,200*	,986	6	,977

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Elaboración propia con SPSS 25

H0: Los datos muestrales de la disponibilidad de los equipos Chillers provienen de población con distribución normal.

H1: Los datos muestrales de la disponibilidad de los equipos Chillers no provienen de población con distribución normal.

Decisión.

Si la significancia < 0.05 se rechaza H0 y se acepta H1 debido a que los datos muestrales pre-test y post-test están conformada por 6 datos cada una será conveniente utilizar la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk. Se observa que la significancia (pre-test) = $0.059 > 0.05$; en tanto que la significancia (post-test) = $0.955 > 0.05$. Entonces no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, los datos muestrales tienen distribución normal. En la siguiente figura se observa que la dispersión de los datos muestrales del histograma de la disponibilidad de los equipos Chillers (pre-test) se encuentran centrados. Es decir, los datos muestrales de la disponibilidad de los equipos Chillers tienen distribución normal.

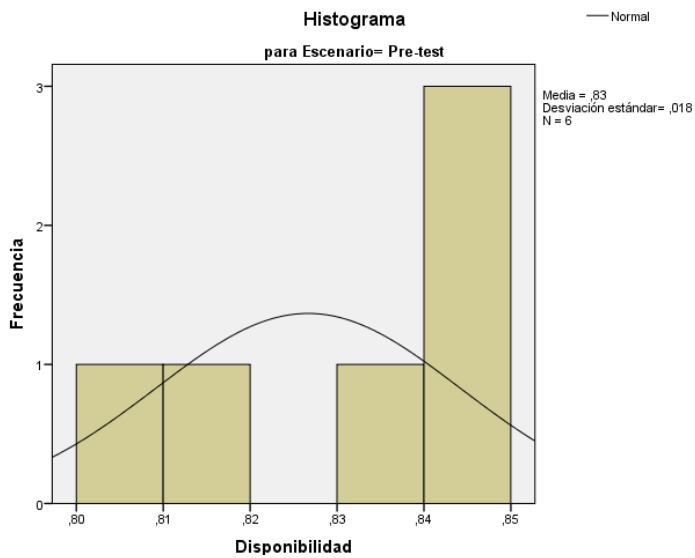


Figura. 14 Histograma de los datos muestrales del nivel de disponibilidad de equipos (pre-test)

Elaboración propia con SPSS 25

En la Figura siguiente, se observa que la dispersión de los datos muestrales del histograma de la disponibilidad de equipos (post-test) se encuentran centrados. Es decir, los datos muestrales de la disponibilidad de equipos Chillers tienen distribución normal.

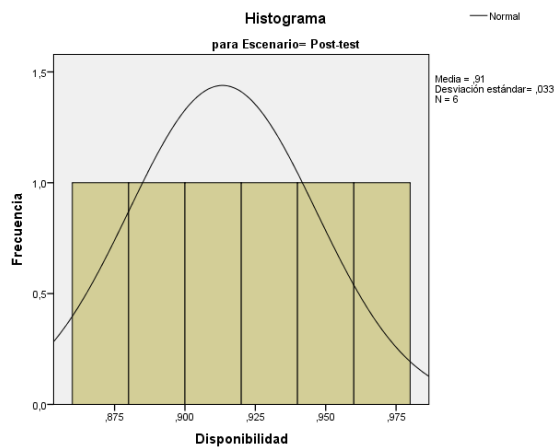


Figura. 15 Histograma de los datos muestrales del nivel de la disponibilidad de equipos Chillers (post-test)

Elaboración propia con SPSS 25

Contrastación de hipótesis

Hipótesis general

Ho: La aplicación de la metodología RCM no incrementa la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C

Ha: La aplicación de la metodología RCM incrementa la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C.

Tabla 8 Análisis estadísticos de muestras relacionadas de la hipótesis general

Prueba de muestras emparejadas								
	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Pre-test disponibilidad & post-test Disponibilidad	- ,08667	,02338	,00955	- ,11120	-,06213	- 9,080	5	,000

Elaboración propia con SPSS 25

Regla de decisión:

Ho: μ Disponibilidad de equipos Chillers antes \geq μ Disponibilidad de equipos Chillers después

Ha: μ Disponibilidad de equipos Chillers antes $<$ μ Disponibilidad de equipos Chillers después

De las tablas anteriores, queda demostrado estadísticamente que la media del nivel de disponibilidad de equipos Chillers antes fue de 0.8267 es menor que la media de la disponibilidad de equipos Chillers después, 0.9133. Por consiguiente, no se cumple Ho: μ Disponibilidad de equipos Chillers antes \geq μ Disponibilidad de equipos Chillers después, en tal razón se rechaza la hipótesis nula que indica que la Aplicación de la metodología del RCM no incrementa la disponibilidad de equipos Chillers de la empresa Intecserin S.A y se acepta la hipótesis de investigación o alterna, por lo cual Aplicación de la

metodología del RCM incrementa la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.

Hipótesis específica N°1

Ho: La Aplicación de la metodología RCM no incrementa el tiempo promedio de fallas de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C

Ha: La aplicación de la metodología RCM si incrementa el tiempo promedio de fallas de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C.

Tabla 9 Análisis estadísticos de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°1

Prueba de muestras emparejadas								
	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Pre-test MTBF & Post-test MTBF	- 31,31000	22,38902	9,14028	-54,80584	-7,81416	- 3,425	5	,019

Elaboración propia con SPSS 25

Regla de decisión:

Ho: μ Tiempo promedio de fallas antes \geq μ Tiempo promedio de fallas después

Ha: μ Tiempo promedio de fallas $<$ μ Tiempo promedio de fallas después

De las tablas anteriores, queda demostrado estadísticamente que la media del nivel de tiempo promedio de fallas antes (45.97) es menor que la media del tiempo promedio de fallas después (77.28). Por consiguiente, no se cumple Ho: μ tiempo promedio de fallas antes \geq μ tiempo promedio de fallas, en tal razón se rechaza la hipótesis nula que indica que la aplicación de la metodología del RCM no incrementa el tiempo promedio de fallas en la empresa Intecserin S.A y se acepta la hipótesis de investigación alterna, por lo cual

la Aplicación de la metodología del RCM incrementa el tiempo promedio de fallas en la empresa Intecserin S.A.

Hipótesis específica N°2

Ho: La Aplicación de la metodología RCM no disminuye el tiempo promedio entre reparaciones de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C

Ha: La aplicación de la metodología RCM si disminuye el tiempo promedio entre reparaciones de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C.

Tabla 10 Análisis estadísticos de muestras relacionadas de la hipótesis específica N°2

Prueba de muestras emparejadas								
	Diferencias emparejadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior				Superior
Pre-test MTTR & Post-test MTTR	3,21167	1,39481	,56943	1,74790	4,67543	5,640	5	,002

Elaboración propia con SPSS 25

Regla de decisión:

Ho: μ Tiempo promedio de reparación antes \leq μ Tiempo promedio de reparación después

Ha: μ Tiempo promedio de reparación antes $>$ μ Tiempo promedio de reparación después

De las tablas anteriores, queda demostrado estadísticamente que la media del nivel de μ Tiempo promedio de reparación antes (9.7) es mayor que la media del μ Tiempo promedio de reparación después (6.48). Por consiguiente, no se cumple Ho: μ Tiempo promedio de reparación antes \leq μ Tiempo promedio de reparación después. En tal razón

se rechaza la hipótesis nula que indica que la aplicación de la metodología del RCM no disminuye el tiempo promedio de reparación de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A, y se acepta la hipótesis de investigación o alterna, por lo cual aplicación de la metodología del RCM disminuye el tiempo promedio de reparación de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.

IV. DISCUSIÓN

En la presente sección se muestra la discusión de resultados, lo cual refiere una comparación entre los hallazgos de trabajos mencionados en los antecedentes y los resultados encontrados en la presente investigación.

Primera discusión

En primer término, a nivel internacional se mencionó en el trabajo de Visnu y Regijuman (2016) una mejora en la disponibilidad, la cual alcanzó un valor de 98.9%. El notable incremento de la disponibilidad por el empleo de la metodología RCM también es observado en el trabajo de Blecua (2017) para maquinas curvadoras es España y en Tencio (2016) se calculan beneficios económicos (TIR de 89%) para las mejoras por dicha metodología en equipos de refrigeración en Costa Rica. Luego, a nivel nacional se cuenta con la investigación de Mayorca (2019), donde el empleo de la metodología RCM permitió un incremento de la disponibilidad a 93.1%; de manera similar en Merma (2018) se observan mejoras en la disponibilidad de equipos dada la implementación del RCM, la cual mejoró en 84.6%. Análogamente en la investigación de Marchena (2018) se mejoró la disponibilidad hasta el 93.9% y en el trabajo de Prado (2018) se determinó una mejora en dicho indicador del 90.2%. En nuestro caso se determinó una disponibilidad luego de la mejora de 96% en los equipos chillers.

Segunda discusión

Ahora se procederá a mostrar la comparación de resultados del tiempo medio entre fallas (MTBF). En el ámbito internacional, en el trabajo de Visnu y Regijuman (2016) el tiempo medio entre fallas fue de 109 días; otro resultado similar se halló en Raffo (2016) donde el tiempo medio entre fallas fue medido en 1,460 horas al año; luego a nivel nacional Mayorca (2019) además el tiempo medio entre fallas paso de 68.3 a 92.82 horas, en tanto en Marchena (2018) el MTBF fue de 46 horas; para Merma (2018) el tiempo promedio entre fallas fue de 6,000 horas y en Prado (2018) el MTBF fue de 29.46 fallas por hora. En nuestro trabajo se halló que el tiempo promedio entre fallas (MTBF) paso de ser 41.96 a 120.83 horas.

Tercera discusión

Por último, se mencionará la comparación de resultados del tiempo promedio para las reparaciones (MTTR). A nivel internacional se cuenta con el trabajo de Visnu y Regijuman (2016), quienes determinaron que el tiempo medio de reparación para sus equipos fue de 4 horas y con la investigación de Raffo (2016), donde el tiempo para las reparaciones fue de 505 horas en un año. En el ámbito nacional se comenta en la investigación de Mayorca (2019) que el tiempo medio de reparación fue de 5 a 3.5 horas; de manera similar en Marchena (2018) se mejoró el MTTR a 3 horas. En el trabajo de Merma (2018) se observa una disminución en el tiempo medio para las reparaciones, el cual fue 30 días. Luego en la investigación de Prado (2018) se determinó el MTTR fue de 0.94 fallas por hora. En nuestro trabajo se halló que el tiempo medio entre reparaciones mejoró de 9.79 a 4.58 horas.

V. CONCLUSIONES

En el presente capítulo se mostrarán las conclusiones a las que llega la investigación luego de haber realizado los cálculos necesarios en la parte de resultados. Para ello, se toma como referencia los objetivos planteados al inicio de la investigación.

- De acuerdo al objetivo general se puede concluir que la aplicación de la metodología RCM incrementa la disponibilidad de los equipos en la empresa Intecserin S.A., lo cual se respalda con el análisis del escenario pre y post donde se señala que antes de la mejora este indicador era de 81 % y luego fue de 96 % Adicionalmente, en el análisis estadístico, se encontró una significancia de $0.00 < 0.05$, lo cual confirma la afirmación planteada. De acuerdo a los objetivos específicos se puede concluir lo siguiente:
- De acuerdo con el primer objetivo específico, se concluye que la aplicación de la metodología RCM incrementa el tiempo promedio entre fallas de los equipos chillers, dado que en el escenario inicial se determinó que este fue de 41.96 horas y luego llegó a ser de 91.20 horas en el análisis post-test. De forma complementaria, el análisis estadístico inferencial determinó una significancia de $0.019 < 0.05$, lo cual respalda la presente conclusión.
- Según el segundo objetivo específico, se concluye que la aplicación de la metodología RCM disminuye el tiempo promedio para la reparación de equipos chillers, en tanto que en el escenario pre-test este valor fue de 9.79 y en el escenario post-test alcanzó la cifra de 4.58. Además, en el análisis estadístico inferencial, se determinó una significancia de $0.002 < 0.05$, lo que demuestra la hipótesis del investigador y reafirma la postura señalada.

VI. RECOMENDACIONES

Como parte final del trabajo de investigación, se procede a relatar las recomendaciones, de acuerdo con los objetivos específicos y considerando los resultados encontrados.

- De manera general se recomienda implementar la metodología RCM en otras áreas que posean equipos con falencias en su disponibilidad, en tanto que se logró demostrar la eficiencia de esta herramienta. Respecto a los objetivos específicos se pueden señalar las siguientes recomendaciones.
- Se recomienda mejorar el plan de mantenimiento de equipos, para así incrementar el tiempo promedio de entre fallas de los mismos. En este sentido, con un mejor plan, que considere elementos nuevos posteriores a esta investigación, permitirá que las maquinarias de la empresa tengan un tiempo más largo sin presentar fallas o problemas.
- Se recomienda la adquisición de manuales y realizar capacitaciones para un mejor desempeño en la reparación de equipos. Un novedoso sistema permitirá que la maquinaria que ingrese a reparación se sitúe en dicha área el menor tiempo posible; este es un factor decisivo en la disponibilidad de los equipos para sus labores en el proceso de enfriamiento.

REFERENCIAS

1. ACR Latinoamérica. (07 de 08 de 2019). ACR Latinoamérica. Recuperado el 18 de 09 de 2019, de <https://www.acrlatinoamerica.com/201908078896/articulos/aire-acondicionado-y-ventilacion/metodologias-de-mantenimiento-en-hvac-r.html>
2. Afzali, P., Keynia, F., & Rashidinejad, M. (2019). A new model for reliability-centered maintenance prioritisation of distribution feeders. *Energy* Vol 171 N° 15, 701-709; <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.040>.
3. Awad, M., & Afif, R. (2016). Reliability centered maintenance actions prioritization using fuzzy inference systems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* Vol. 22 N° 4; ISSN: 1355-2511, 433-452; <https://doi.org/10.1108/JQME-07-2015-0029>.
4. Baena Paz, G. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F.: Grupo Editorial Patria.
5. Begazo Carreño, V. (2019). *Investigación para la mejora del mantenimiento preventivo utilizando la herramienta RCM para optimizar el servicio de mantenimiento a viviendas*. Arequipa: Universidad Católica San Pablo.
6. Blecua Barrios, S. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM, en equipos de taller mecánico, con el criterio de máxima disponibilidad*. Celta de Vigo, España: Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar.
7. Braglia, M., Castellano, D., & Gallo, M. (2019). A novel operational approach to equipment maintenance: TPM and RCM jointly at work. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* Vol. 25 N° 4, 612-634; <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2016-0018>.
8. Cerron Romero, J. (2016). *Influencia del RCM en la disponibilidad de los elevadores de cangilones de la refinería Votorantim - Cajamarquilla S.A.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
9. Concytec. (22 de 07 de 2019). Concytec. Recuperado el 18 de 09 de 2019, de <http://portal.concytec.gob.pe/index.php/noticias/1833-concytec-distingue-a-empresas-que-accedieron-a-beneficios-tributarios-para-desarrollar-ciencia-y-tecnologia>
10. Davis, L., & Gertler, P. (2015). Contribution of air conditioning adoption to future energy use under global warming. *PNAS* Vol 112 N° 19, 5962-5967; <https://doi.org/10.1073/pnas.1423558112>.

11. Emovon, I., Norman, R., Murphy, A., & Okwu, M. (2018). Application of wasap in ehancing realibility centered maintenance for ship sistem maintenance. *Journal of Engineering and Technology* Vol 9 N°1, 2-16; ISSN: 2180-3811.
12. Friotemp. (31 de 04 de 2017). Friotemp. Recuperado el 18 de 09 de 2019, de <https://www.friotemp.com.pe/blog-que-tan-importante-es-limpiar-el-aire- acondicionado.html>
13. Gandur, F. (2017). Adaptación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en un sistema critico de aire acondicionado de la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB). Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Bolivariana.
14. Gree Electric Appliances Inc. (2017). Catalog - Air Conditioning. Zhuhai, China: <https://www.greeproducts.es/pdf/Catalogo-Gree-2017-2018.pdf>.
15. Gupta, G., & Mishra, R. (2016). A SWOT analysis of reliability centered maintenance framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* Vol 22 N°2, 130-145; ISSN: 1355-2511.
16. Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). Metodologia de la investigacion. Mexico D.F.: Mac Graw-Hill Internacional Editores S.A.
17. Kabeel, A., El-Samadony, Y., & Khiera, M. (2017). Performance evaluation of energy efficient evaporatively air-cooled chiller. *Applied Thermal Engineering* Vol 122 N° 25, 204-213; <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.103>.
18. Lee, P., Lam, P., Lee, W., & Chan, E. (2016). Analysis of an air-cooled chiller replacement project using a probabilistic approach for energy performance contracts. *Applied Energy* Vol 171 N° 1, 415-428; <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.035>.
19. Marchena, F. (2018). Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm) para aumentar la productividad del área de producción de tableros de la empresa Sertes S.A.C, Lima, 2018. Lima, Perú: Universidad César Vallejo.
20. Mayorca , R. (2019). Propuesta de mejora de la disponibilidad de maquinaria pesada en una PYME utilizando el RCM. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
21. Merma, J. (2018). Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM2) en las palas hidraulicas PC4000-6 Komatsu para el incremento de la disponibilidad. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.

22. Ministerio de la Producción. (19 de 09 de 2017). Recuperado el 30 de 09 de 2019, de <https://www.produce.gob.pe/index.php/k2/noticias/item/619-ministerio-de-la-produccion-al-2040-peru-reducira-totalmente-el-uso-de-gases-hcfc-que-danan-la-capade-ozono>
23. Mishra, G. (2018). Identification of Critical Components Using ANP for Implementation of Reliability Centered Maintenance. *Procedia CIRP Vol 69*, 905-908; <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.122>.
24. Organización de los Estados Americanos. (2016). Grupo de Trabajo en Eficiencia Energética - Resumen Ejecutivo. Washington D.C. , Estados Unidos: http://www.oas.org/en/sedi/dsd/Energy/OEA_resumenEjecutivo_page.pdf.
25. Pérez, D. (2015). Puesta en marchay regulación de instalaciones frigoríficas. Málaga, España: IC Editorial.
26. Piason, D., Biscaro, A., Leao, F., & Sanches, J. (2016). A new approach for reliability-centered maintenance programs in electric power distribution systems based on a multiobjective genetic algorithm. *Electric Power Systems Research Vol 137*, 41-50; <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.03.040>.
27. Pourahmadi, F., Fotuhi, M., & Dehghanian, P. (2017). Application of Game Theory in Reliability-Centered Maintenance of Electric Power Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications Vol 53 N° 2*, 936 - 946; DOI: 10.1109/TIA.2016.2639454.
28. Prado, N. (2018). Aplicación del RCM para mejorar la gestión de mantenimiento de la empresa Industrias del papel S.A, Chaclacayo, 2018. Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo.
29. Qamar , E. (2018). Handbook of RAMS in Railway Systems: Theory and Practice. Nueva York, Estados Unidos: CRC Press.
30. Rafo, J. (2016). Propuesta de estrategia de mantenimiento para sistemas de aire acondicionado de alta criticidad, mediante la aplicación de la metodología RCM en el marco de una politica de confiabilidad operacional. Santiago de Chile, Chile: Universidad Tecnica Federico Santa María.
31. Rastogi, M., Chauhan, A., Vaish, R., & Kishan, A. (2015). Selection and performance assessment of Phase Change Materials for heating, ventilation and air-conditioning applications. *Energy Conversion and Management Vol 89 N°1*, 260-269; <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.09.077>.

32. Sana, M., Saleem, U., Farooq, M., Qamar, A., Mehmood, M., & Zafar, S. (2018). Identification of Failure Modes on Electrostatic Chuck through Reliability Centered Maintenance: A Case Study. *A. Physical and Computational Sciences* Vol 55 N° 2, 21-32; <http://www.paspk.org/index.php/PPASA/article/view/5>.
33. Shiraz, A., Taylor, R., Morrison, G., & White, S. (2017). A comprehensive, multi-objective optimization of solar-powered absorption chiller systems for air-conditioning applications. *Energy Conversion and Management* Vol 132 N° 15, 281-306; <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.039>.
34. Sinha, R., & Mukhopadhyay, A. (2015). Reliability centered maintenance of cone crusher: a case study. *International Journal of System Assurance Engineering and Management* Vol 6 N°1; ISSN: 0975-6809, 32–35; <https://doi.org/10.1007/s13198-014-0240-7>.
35. Stamantis, D. (2017). *The OEE Primer: Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability and Maintainability*. Nueva York: CRC Press.
36. Tang, Y., Liu, Q., Jing, J., Yang, Y., & Zou, Z. (2017). A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. *Energy* Vol 118 N°1, 1295-1303; <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011>.
37. Tencio , A. (2016). *Diseño del sistema de gestión de mantenimiento de equipos de refrigeración y aire acondicionado en Poulton Ingeniería*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
38. Tomczyk, J., Silberstein, E., Whitman, B., & Johnson, B. (2016). *Refrigeration and Air Conditioning Technology*. Boston, USA: Cengage Learning.
39. Tornero, T. (2015). *Caracterización de equipos y elementos en instalaciones de climatización*. Madrid, España: Editorial Elearning.
40. Valderrama, S. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: cuantitativa, cualitativa y mixta*. Lima: Editorial San Marcos; ISBN:6123028782.
41. Vilca, P. (2018). *Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para la mejora de la disponibilidad de los equipos del sistema de carga y transporte en una empresa minera*, Lima 2018. Lima, Perú: Universidad Privada del Norte.
42. Vishnu, C., & Regikumar, V. (2016). Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study. *Procedia Technology* Vol 25, 1080-1087.

43. Wang, R., Xu, Z., Pan , Q., & Xia, Z. (2016). Solar driven air conditioning and refrigeration systems corresponding to various heating source temperatures. *Applied Energy* Vol 169 N° 1, 846-856; <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.049>.
44. Whirlpool Corporation. (2017). Air Conditioning - Catalog. Michigan, Estados Unidos: https://www.whirlpool.es/assets/pdf/Catalogo_Aires_Whirlpool_2017.pdf.
45. Yssaad , B., & Abene, A. (2015). Rational Reliability Centered Maintenance Optimization for power distribution systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* Vol 73, 350-360; <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.05.015>.

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de Consistencia	69
Anexo 2 Formato de registro variable independiente	70
Anexo 3 Formato de registro de variable dependiente.....	72
Anexo 4 Características del Chiller.....	74
Anexo 5 Diagrama de Actividades del proceso	75
Anexo 6 Diagrama de actividades del proceso	76
Anexo 7 Diagrama de Operaciones del proceso	77
Anexo 8 Diagrama de Operaciones del Proceso	78
Anexo 9 Análisis del Modo y Efectos de Fallas (AMFE) de Chillers	79
Anexo 10 Programa de mantenimiento aplicado	82
Anexo 11 Trabajos recomendados basado en RCM para equipos Chillers.....	83
Anexo 12 Registro de capacitacion basado en RCM para equipos Chillers.....	85
Anexo 13 Registro de reporte de fallas basado en RCM para equipos chiller.....	86
Anexo 14 Registro de reporte de mantenimiento basado en RCM para equipos chiller.....	87
Anexo 15 Registro de reporte de mantenimiento basado en RCM para equipos chiller.....	88
Anexo 16 Registro de reporte de mantenimiento basado en RCM para equipos chiller.....	89

Anexo 1
Matriz de Consistencia

Título: Aplicación de la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin S.A.C, Lima, 2019.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensión	Indicador	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable independiente: Metodología RCM (Mantenimiento basado en Confiabilidad)	Tareas de mantenimiento	Porcentaje de cumplimiento de tareas de mantenimiento	Tipo: Descriptiva, causal, longitudinal Diseño: Investigación cuasi-experimental (pretest-postest) Población: 03 equipos Chillers. Muestra: 03 equipos Chiller. La muestra será igual a la población. Muestreo no probabilístico por conveniencia. Técnica Análisis documental Observación directa
¿En qué medida la metodología RCM permite incrementar la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin, Lima, 2019?	Determinar en qué medida la metodología RCM para incrementar la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin, Lima, 2019.	La metodología RCM permite incrementar la disponibilidad de los equipos Chillers en la empresa Intecserin, Lima, 2019		Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	N° de inspecciones integrales y detalladas	
Problemas Específicos	Objetivos específicos	Hipótesis Específicas	Confiabilidad operacional	N° de eventos detectados por mes		
¿En qué medida la metodología RCM aumenta el tiempo promedio entre fallas de los equipos Chillers en la empresa Intecserin, Lima, 2019?	Determinar en qué medida la metodología RCM aumenta el tiempo promedio entre fallas de los equipos en la empresa Intecserin, Lima, 2019?.	La metodología RCM permite aumentar el tiempo promedio entre fallas de los equipos en la empresa Intecserin, Lima, 2019?	Variable dependiente: Disponibilidad de equipos Chiller	Disponibilidad (D)	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	
				Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	$\frac{N^{\circ} \text{ Horas de operación}}{N^{\circ} \text{ Paradas correctivas}}$	

¿En qué medida la metodología RCM reduce el tiempo promedio para la reparación de los equipos Chillers en la empresa Intecserin, Lima, 2019?	Determinar en qué medida la metodología RCM reduce el tiempo promedio para la reparación de los equipos Chillers en la empresa Intecserin, Lima, 2019?	La metodología RCM permite reducir el tiempo promedio para la reparación de los equipos Chillers en la empresa Intecserin, Lima, 2019?		Tiempo promedio entre reparaciones (MTTR)	$\frac{\text{Tiempo Total repar. correct}}{\text{N}^\circ \text{ reparaciones correctivas}}$	Instrumento Ficha de observación
--	--	--	--	---	--	-------------------------------------

Anexo 2 Formato de registro variable independiente

LOGO		Metodología RCM, tareas de mantenimiento, confiabilidad operacional							Código: 01-MANT		
									Versión: 01		
									Página: 01 de 01		
Encargado											
Variable Independiente			Fórmulas								
Metodología RCM			Tareas de mantenimiento			Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad			Confiabilidad operacional		
			TM			RCM			CO		
N°	MES	Equipo	Tareas Cumplidas	Total de Tareas	Resultado	Inspecciones Realizadas	Total Inspecciones	Resultado	Eventos Detectados	Total de Eventos	Resultado
1	Dic-15	Chiller 1	25	45	56%	8	35	23%	40	60	66.67%
2	Ene-16	Chiller 1	27	45	60%	10	35	29%	41	60	68.33%
3	Feb-16	Chiller 1	29	44	66%	10	35	29%	39	60	65.00%
4	Mar-16	Chiller 1	27	43	63%	12	35	34%	40	60	66.67%
5	Abr-16	Chiller 1	23	42	55%	14	35	40%	38	60	63.33%
6	May-16	Chiller 1	22	40	55%	15	35	43%	41	60	68.33%
7	Jun-16	Chiller 1	25	37	68%	17	27	63%	37	50	74.00%
8	Jul-16	Chiller 1	27	34	79%	18	27	67%	33	40	82.50%
9	Ago-16	Chiller 1	24	30	80%	20	27	74%	26	30	86.67%
10	Set-16	Chiller 1	21	25	84%	22	27	81%	19	22	86.36%
11	Oct-16	Chiller 1	18	20	90%	23	27	85%	18	20	90.00%

12	Nov-16	Chiller 1	17	18	94%	25	27	93%	17	18	94.44%
13	Dic-15	Chiller 2	26	47	55%	7	35	20%	41	60	68.33%
14	Ene-16	Chiller 2	24	45	53%	9	35	26%	41	60	68.33%
15	Feb-16	Chiller 2	27	46	59%	10	35	29%	40	60	66.67%
16	Mar-16	Chiller 2	26	44	59%	11	35	31%	42	60	70.00%
17	Abr-16	Chiller 2	24	43	56%	13	35	37%	39	60	65.00%
18	May-16	Chiller 2	25	45	56%	16	35	46%	38	60	63.33%
19	Jun-16	Chiller 2	27	41	66%	18	27	67%	35	50	70.00%
20	Jul-16	Chiller 2	29	38	76%	20	27	74%	32	40	80.00%
21	Ago-16	Chiller 2	30	35	86%	23	27	85%	25	30	83.33%
22	Set-16	Chiller 2	28	32	88%	24	27	89%	19	22	86.36%
23	Oct-16	Chiller 2	23	25	92%	25	27	93%	18	20	90.00%
24	Nov-16	Chiller 2	15	16	94%	26	27	96%	17	18	94.44%
25	Dic-15	Chiller 3	23	44	52%	9	35	26%	39	60	65.00%
26	Ene-16	Chiller 3	22	45	49%	11	35	31%	38	60	63.33%
27	Feb-16	Chiller 3	28	47	60%	12	35	34%	41	60	68.33%
28	Mar-16	Chiller 3	26	44	59%	12	35	34%	40	60	66.67%
29	Abr-16	Chiller 3	28	45	62%	14	35	40%	39	60	65.00%
30	May-16	Chiller 3	26	43	60%	15	35	43%	37	60	61.67%
31	Jun-16	Chiller 3	29	39	74%	17	27	63%	36	50	72.00%
32	Jul-16	Chiller 3	27	35	77%	18	27	67%	32	40	80.00%
33	Ago-16	Chiller 3	24	30	80%	20	27	74%	25	30	83.33%
34	Set-16	Chiller 3	24	26	92%	22	27	81%	19	22	86.36%
35	Oct-16	Chiller 3	22	24	92%	23	27	85%	18	20	90.00%
36	Nov-16	Chiller 3	20	21	95%	25	27	93%	16	17	94.12%

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3 Formato de registro de variable dependiente

LOGO	Disponibilidad, MTBF, MTTR					Código: 02-MANT			
						Versión: 01			
						Página: 01 de 01			
Encargado									
Variable Dependiente					Fórmulas				
Disponibilidad					Tiempo promedio entre fallas		Tiempo promedio entre reparaciones		
					MTBF		MTTR		
N°	MES	EQUIPO	DISPONIBILIDAD	MTBF	MTTR	N° Horas de operación	N° Paradas correctivas	Tiempo Total reparación correctiva	N° reparaciones correctivas
1	Dic-15	Chiller 1	82.56%	40.91	8.64	450	11	95	11
2	Ene-16	Chiller 1	79.82%	48.33	12.22	435	9	110	9
3	Feb-16	Chiller 1	85.00%	42.5	7.50	425	10	75	10
4	Mar-16	Chiller 1	84.85%	44.8	8.00	448	10	80	10
5	Abr-16	Chiller 1	83.64%	46	9.00	460	10	90	10
6	May-16	Chiller 1	83.93%	47	9.00	470	10	90	10
7	Jun-16	Chiller 1	87.13%	48.89	7.22	440	9	65	9
8	Jul-16	Chiller 1	88.70%	50.56	6.44	455	9	58	9
9	Ago-16	Chiller 1	90.68%	62.57	6.43	438	7	45	7
10	Set-16	Chiller 1	92.31%	70	5.83	420	6	35	6
11	Oct-16	Chiller 1	94.58%	87.2	5.00	436	5	25	5

12	Nov-16	Chiller 1	96.39%	120	4.50	480	4	18	4
13	Dic-15	Chiller 2	79.56%	47.50	12.20	475	10	122	10
14	Ene-16	Chiller 2	80.70%	48.50	11.60	485	10	116	10
15	Feb-16	Chiller 2	82.80%	51.89	10.78	467	9	97	9
16	Mar-16	Chiller 2	81.45%	56.00	12.75	448	8	102	8
17	Abr-16	Chiller 2	83.79%	57.50	11.13	460	8	89	8
18	May-16	Chiller 2	83.62%	60.00	11.75	480	8	94	8
19	Jun-16	Chiller 2	86.96%	66.71	10.00	467	7	80	8
20	Jul-16	Chiller 2	88.01%	68.14	9.29	477	7	65	7
21	Ago-16	Chiller 2	89.57%	73.00	8.50	438	6	51	6
22	Set-16	Chiller 2	91.70%	75.50	6.83	453	6	41	6
23	Oct-16	Chiller 2	93.67%	88.80	6.00	444	5	30	5
24	Nov-16	Chiller 2	95.89%	122.50	5.25	490	4	21	4
25	Dic-15	Chiller 2	81.44%	37.46	8.54	487	13	111	13
26	Ene-16	Chiller 3	80.03%	33.79	8.43	473	14	118	14
27	Feb-16	Chiller 3	83.65%	40.92	8.00	491	12	96	12
28	Mar-16	Chiller 3	82.60%	39.17	8.25	470	12	99	12
29	Abr-16	Chiller 3	83.42%	42.55	8.45	468	11	93	11
30	May-16	Chiller 3	83.60%	42.64	8.36	469	11	92	11
31	Jun-16	Chiller 3	85.64%	46.50	7.80	465	10	78	10
32	Jul-16	Chiller 3	88.89%	53.33	6.67	480	9	60	9
33	Ago-16	Chiller 3	90.94%	60.25	6.00	482	8	48	8
34	Set-16	Chiller 3	93.16%	79.50	5.83	477	6	35	6
35	Oct-16	Chiller 3	94.94%	97.60	5.20	488	5	26	5
36	Nov-16	Chiller 3	96.77%	120.00	4.00	480	4	16	4

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4 Características del Chiller.

INTECSERIN SAC		CARACTERÍSTICAS DEL CHILLER	Código	CH-1-2010
			Versión	4
MODELO			Aprobado	15/01/2019
30RBB190 64-4-71				
MARCA	CARRIER			
SERIE	12110Q74014			
AÑO DE FAB.	2010			
CAPACIDAD	190 T.R.			
REFRIGERANTE	410A			
CONDENSADOR	Enfriado por aire			
EVAPORADOR	Enfriado por agua de casco y tubo			
COMPRESORES	8 compresores tipo scroll			
VOLTAJE	460			
FASES	3			
HERTZ	60			
Max. Amperaje compresor	65			
Max. Amperaje Rotor bloqueado	260			
Aceite	POE 160SZ			
Cantidad de refrigerante circuito A	39 Kg			
Cantidad de refrigerante circuito A	39 Kg			
Test de presión en Alta	656 psi			
Test de presión en Baja	445			

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5 Diagrama de Actividades del proceso

Diagrama DAP										
Diagrama Núm.:	Hoja N° de	Resumen								
Objeto: Proceso de reparación de fuga de gas en chiller Carrier 30RBB19064-4-71 Actividad: Método: Actual/Propuesto Lugar: Operario (s): 3 Técnicos	Ficha núm.:	Actividad	Actual	Propuesta	Economía					
		Operación	16		-16					
		Transporte	1		-1					
		Espera	0		0					
		Inspección	0		0					
		Almacenamiento								
		Combinada	0		0					
		Distancia (m)			0					
Tiempo (min-hombre)		2840		-2840						
Descripción	Cantidad	Tiempo	Servicio						Observaciones	
			<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Coordinar con el encargado de mantenimiento para la autorización de trabajo a realizar	1	60							X	
Llenado de ATS (Análisis de seguridad en el trabajo)	1	30							X	
Traslado de herramientas a la sala de los chillers	1	60				X				
Deshabilitar desde el panel de control el circuito de refrigeración (B) a intervenir	1	15	X							
Desconexión eléctrica de los 4 compresores del circuito B	1	15	X							
Evacuación de refrigerante remanente del circuito de refrigeración B	1	180	X							
Presurización con gas nitrógeno al circuito de refrigeración B	1	30	X							
Chequeo de fugas con espuma de detergente al circuito de refrigeración B	1	90	x							
Evacuación del gas nitrógeno del circuito B	1	60	X							
Reparación de fuga con soldadura blanda(plata) en la unidad condensadora	1	60	X							
Presurización con gas nitrógeno del circuito B	1	840	X							
Evacuación del gas nitrógeno del circuito B	1	40	X							
Cambio de filtro cerámico en la línea de alta presión del circuito B	1	40	X							
Cambio de aceite a los 4 compresores del circuito B	1	90	X							
Evacuación y deshidratación de aire con bomba de vacío en el circuito B	1	840	x							
Recarga de refrigerante R-410A	1	120	X							
Conexión eléctrica de los 4 compresores del circuito B	1	15	X							
Habilitar desde el panel de control el circuito de refrigeración (B)	1	15	X							
Puesta en marcha y toma de parámetros	1	180							X	
Orden y limpieza	1	60	X							
Total	20	2840	16	0	0	1	0	3		

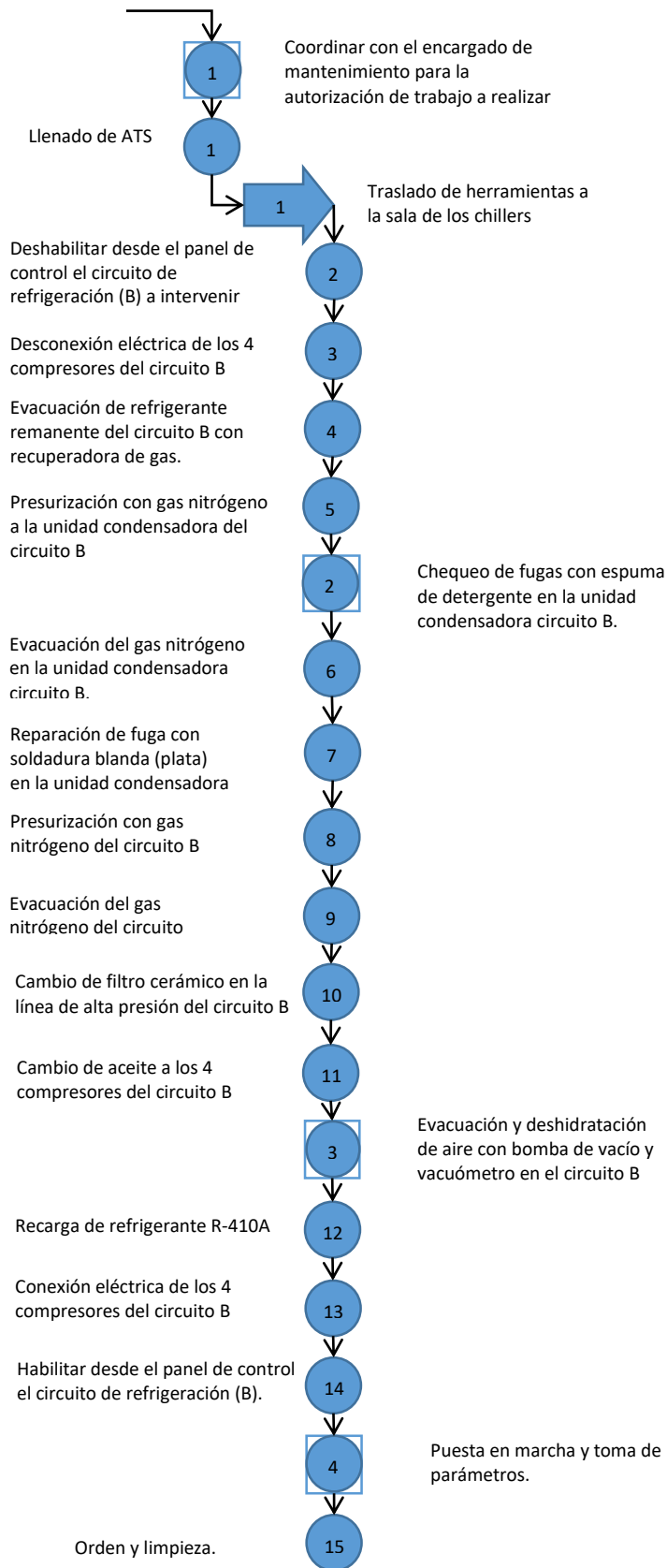
Fuente Elaboración propia

Anexo 6 Diagrama de actividades del proceso

Diagrama DAP									
Diagrama Núm.:		Hoja N° de		Resumen					
Objeto: Proceso de reparación de fuga de gas en chiller Carrier 30RBB19064-4-71		Actividad		Actual	Propuesta	Economía			
Actividad:		Operación		15		-15			
Método: Actual/Propuesto		Transporte		1		-1			
Lugar:		Espera		0		0			
		Inspección		0		0			
		Almacenamiento		0		0			
		Combinada		4		-4			
Operario (s): 3 Técnicos		Distancia (m)				0			
Ficha núm.:		Tiempo (min-hombre)		1580		-1580			
Descripción		Cantidad	Tiempo	Símbolo					Observaciones
				○	□	◇	↶	▽	⊗
Coordinar con el encargado de mantenimiento para la autorización de trabajo a realizar		1	60						
Llenado de ATS (Análisis de seguridad en el trabajo)		1	30						
Traslado de herramientas a la sala de los chillers		1	60						
Deshabilitar desde el panel de control el circuito de refrigeración (B) a intervenir		1	15						
Desconexión eléctrica de los 4 compresores del circuito B		1	15						
Evacuación de refrigerante remanente del circuito B con recuperadora de gas		1	90						
Presurización con gas nitrógeno a la unidad condensadora del circuito B		1	15						
Chequeo de fugas con espuma de detergente en la unidad condensadora circuito B		1	45						
Evacuación del gas nitrógeno en la unidad condensadora circuito B		1	30						
Reparación de fuga con soldadura blanda (plata) en la unidad condensadora		1	60						
Presurización con gas nitrógeno del circuito B		1	480						
Evacuación del gas nitrógeno del circuito B		1	40						
Cambio de filtro cerámico en la línea de alta presión del circuito B		1	40						
Cambio de aceite a los 4 compresores del circuito B		1	90						
Evacuación y deshidratación de aire con bomba de vacío y vacuómetro en el circuito B		1	180						
Recarga de refrigerante R-410A		1	60						
Conexión eléctrica de los 4 compresores del circuito B		1	15						
Habilitar desde el panel de control el circuito de refrigeración (B)		1	15						
Puesta en marcha y toma de parámetros		1	180						
Orden y limpieza		1	60						
Total		20	1580	15	0	0	1	0	4

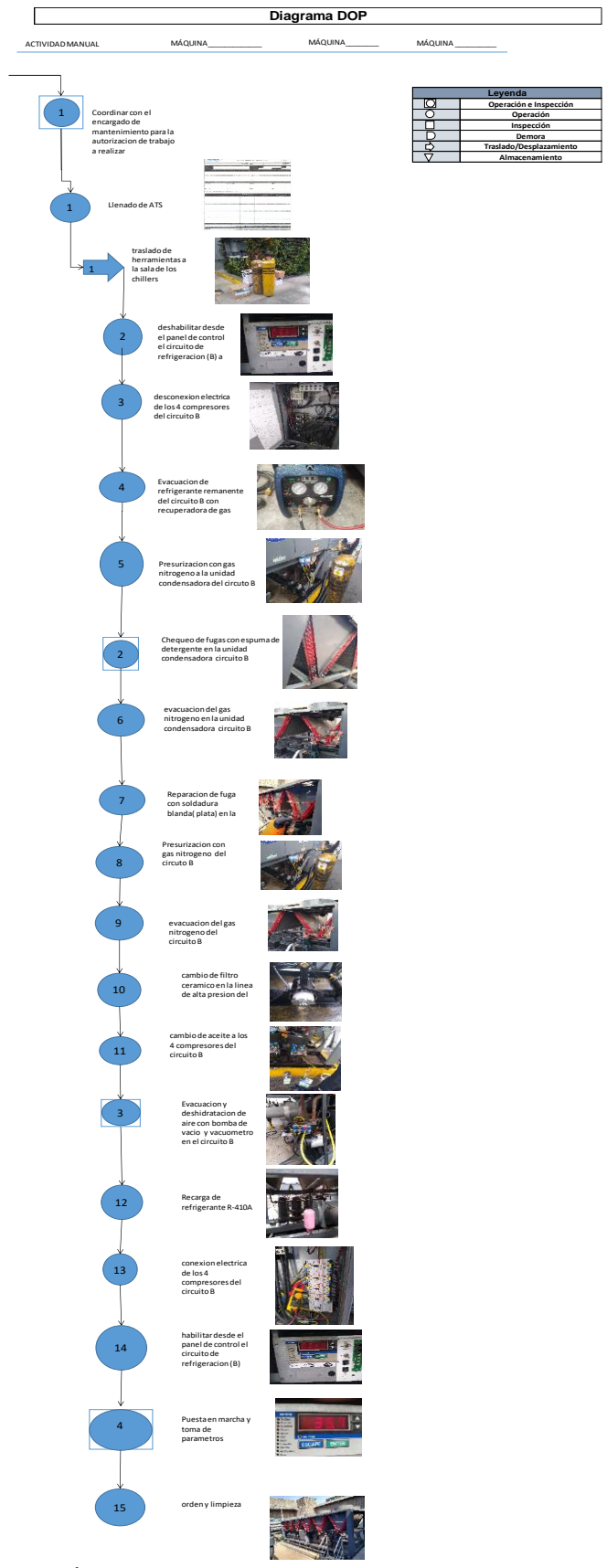
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7 Diagrama de Operaciones del proceso



Fuente: Elaboración propia

Anexo 8 Diagrama de Operaciones del Proceso



Fuente: Elaboración propia

Anexo 9 Análisis del Modo y Efectos de Fallas (AMFE) de Chillers

Equipo: Sistema de refrigeración generadora de agua helada (Chiller)		Función: Distribuir agua helada a los equipos de aire (fan coil, manejadoras de aire, equipos de precisión, split ductos, decorativos) entre 6° C y 12 °C				
Descripción	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	TIPO DE FALLA	Tarea de mantenimiento
Condensador de aire (serpentín)	Condensar el refrigerante mediante un ventilador, extrayendo su calor y cambiándolo de su estado gaseoso a líquido, manteniendo a una presión de trabajo modulante entre (200-420psi)	No condensa el refrigerante	Condensador sucio	Alta presión en el circuito de refrigeración, parada del chiller.	MECÁNICA	Mantenimiento mensual del condensador
			Condensador deteriorado (Fisuras en las tuberías, codos)	Baja presión en el circuito de refrigeración	MECÁNICA	Cambio de unidad condensadora cada 5 años que es el tiempo de vida útil de la unidad
ventilador del condensador	Extraer el aire caliente del condensador	No extrae el aire caliente del condensador	Bobinado eléctrico quemado	alta presión en el circuito de refrigeración, parada del chiller	ELÉCTRICA	Rebobinado eléctrico. Megado eléctrico mensual
			Sistema mecánico con desgaste	alta presión en el circuito de refrigeración, parada del chiller	ELÉCTRICA	cambio de rodamientos cada 8760 horas de trabajo o una vez al año
Compresor	Comprime el refrigerante que viene del evaporador en su estado gaseoso a una presión de baja de 120 psi, originando el aumento de presión del gas refrigerante a 400 psi que va hacia el condensador	No comprime el gas refrigerante	Bobinado eléctrico quemado	chiller no enfría y se alarma por falla en el compresor	ELÉCTRICA	Cambio de compresor
			Falta de aceite	Alarma de alta temperatura mecánica en el compresor	MECÁNICA	Cambio de aceite cada 8760 horas de trabajo o una vez al año
			Espirales con desgaste mecánico	exceso de vibración y ruido y las presiones de trabajo están fuera de rango	MECÁNICA	Cambio de compresor
Evaporador de casco y tubo (Cooler)	Evapora el refrigerante mediante la transferencia de calor entre el agua y el gas refrigerante, cambiándolo el	No evapora el refrigerante	Evaporador sucio o lleno de aceite	Alarma de baja presión y congelamiento en el cooler	MECÁNICA	Limpieza con producto químico Opteon SF79

	refrigerante de su estado líquido a gaseoso, manteniendo a una presión de trabajo modulante entre (80-120psi)		Evaporador deteriorado (fisuras en el condensador)	Alarma de baja presión y congelamiento en el cooler	MECÁNICA	Reparación de fuga en el cooler
Transductor de alta presión	Medir la presión y temperatura del refrigerante en el lado de alta presión	No Mide la presión y temperatura del refrigerante en el lado de alta presión	Transductor Descalibrado	presiones de trabajo en alta están fuera de rango	ELÉCTRICA	Comprar mensualmente con un manómetro analógico si coincide con el valor que muestra el transductor
Transductor de baja presión	Medir la presión y temperatura del refrigerante en el lado de baja presión	No Mide la presión y temperatura del refrigerante en el lado de baja presión	Transductor Descalibrado	presiones de trabajo en baja están fuera de rango	ELÉCTRICA	Comprar mensualmente con un manómetro analógico si coincide con el valor que muestra el transductor
Sensor de Temperatura de succión	Medir la temperatura de succión en el lado de baja presión	Medir la temperatura de succión en el lado de baja presión	Sensor descalibrado	temperatura de succión fuera de rangos	ELÉCTRICA	Verificar con la tabla de ohmios y temperatura coincide con el sensor mensualmente
Sensor de Temperatura de entrada de agua helada	Medir la temperatura de entrada de agua helada	No mide la temperatura de entrada de agua helada	Sensor descalibrado	temperatura de ingreso de agua helada fuera de rango	ELÉCTRICA	Verificar con la tabla de ohmios y temperatura coincide con el sensor mensualmente
Sensor de Temperatura de salida de agua helada	Medir la temperatura de salida de agua helada	No mide la temperatura de salida de agua helada	Sensor descalibrado	temperatura de salida de agua helada fuera de rango	ELÉCTRICA	Verificar con la tabla de ohmios y temperatura coincide con el sensor mensualmente
Dispositivo de expansión Electrónica (EXV)	Disminuye la presión de un fluido pasando de un estado de más alta presión y temperatura uno de menor presión y temperatura. Al producirse la expansión del líquido en un ambiente de menor presión, se evapora parcialmente	No realiza la expansión de refrigerante líquido en el evaporador	Bobinado eléctrico quemado	Alarma de alta presión originando fisuras en el condensador	ELÉCTRICA	cambio de válvula de expansión electrónica

	reduciéndose la temperatura al absorber calor latente de él mismo. A su salida se pretende tener un aerosol, pequeñas gotas de refrigerante en suspensión, que facilite la posterior evaporación		Sistema mecánico averiado	Alarma de baja presión y congelamiento en el cooler	MECÁNICA	cambio de válvula de expansión electrónica
Filtro deshidratador (FD)	Retiene las impurezas y humedad en el circuito de refrigeración	No retiene impurezas	Filtro saturado de humedad e impurezas	Alta presión en el circuito de refrigeración, parada del chiller	MECÁNICA	Cambiar cuando la diferencia de presión sea mayor a 15 psi
Contactores de compresores	cerrar contactos para la puesta en marcha del compresor al recibir una señal de 110 voltios que manda la tarjeta de control	No cierra contactos para la puesta en marcha del compresor	Bobinas quemadas	compresor no funciona	ELÉCTRICA	Reemplazo del contactor
			Contactos eléctrico soldados	Sobre corriente en el compresor	ELÉCTRICA	Reemplazo del contactor cuando se cambia el compresor
Tarjeta de control	Procesar la información emitida por las entradas analógicas (traductor de presión, sensores,) y las convierte en señales digitales para accionar cada elemento eléctrico-mecánico del chiller)	No procesa la información del chiller	Tarjeta de control averiada	el chiller no enfría	ELÉCTRICA	Reemplazo de tarjeta de control
Sensor de flujo de agua	Enviar la señal de flujo de agua a la tarjeta de control	No Enviar la señal de flujo de agua a la tarjeta de control	Paleta mecánica averiada	No hay flujo de agua en el sistema y se apaga el chiller	MECÁNICA	Reemplazo de sensor de flujo
Tarjeta SPM (Modulo de protección de desplazamiento)	El dispositivo controla el compresor, contactor y el calentador del cárter del compresor. El módulo SPM también monitorea la temperatura del motor del compresor y el interruptor de alta presión del circuito.	Compresor no enciende y no se produce el proceso de refrigeración.	Tarjeta electrónica averiada	falta de comunicación de tarjeta y compresor no enciende	ELÉCTRICA	Cambio de tarjeta SMP

Fuente: Elaboración propia

Anexo 10 Programa de mantenimiento aplicado

	Mantenimiento de chiller enfriado por aire	Frecuencia de ejecución
Nro.	Procedimientos	
1	Aplicación del test de control del chiller.	semanal
2	Resolución de alertas de memoria.	diaria
3	Verificación de los parámetros de operación del chiller (presión, temperatura, voltaje, amperaje, niveles, etc.) Llenado de protocolo.	diaria
4	Verificación de suministro correcto de energía (desbalance).	diaria
5	Revisión de niveles de aceite de los compresores circuito A y B.	semanal
6	Revisión de los transductores de presión, sensor de temperaturas y switches de protección.	semanal
7	Medición comparativa de temperatura de agua con el microprocesador.	semanal
8	Comprobación de arranque secuencial del chiller.	semanal
9	Medición de caudales y caída de presión en el cooler.	mensual
10	Limpieza de unidad condensadora a presión con hidrolavadora.	mensual
11	Ajuste de elementos de accionamiento en máxima demanda.	semanal
12	Revisión de elemento de protección contra falta de flujo de agua.	semanal
13	Calibración y comprobación de lecturas de los sensores de temperatura.	mensual
14	Regulación del Ramp loading control.	semanal
15	Limpieza externa del chiller y sala de máquinas.	mensual
16	Limpieza de tarjetas electrónicas.	mensual
17	Ajuste de conexionado eléctrico de control.	mensual
18	Aplicación de solvente dieléctrico y silicona en sistema eléctrico de fuerza y mando.	mensual
19	Medición de voltaje de los transformadores de fuerza y mando.	mensual
20	Limpieza interna del gabinete de control.	mensual

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11 Trabajos recomendados basado en RCM para equipos Chillers

Equipo	Chiller			
Modelo	30RBB19064-4-61			
Costo unitario del chiller	\$300,000.00			
TRABAJOS RECOMENDADOS BASADOS EN RCM SEGÚN ORDEN DE PRIORIDAD				
EQUIPO	ITEM	DESCRIPCION	PRIORIDAD	COSTO (Sin IGV)
CHILLER 1	1	- Reemplazo de 2 helices rajadas.	43,800 horas	\$908.00
	2	- Reemplazo de contactores de 6 ventiladores cktA	35,040 Horas	\$990.00
	3	- Reemplazo de Contactor compr. A1	35,040 Horas	\$650.00
	4	- Reemplazo de válvulas in/out de cooler.	56,940 Horas	\$974.29
	5	- Reemplazo tarjeta SPM B4	48,180 horas	\$390.00
	6	- Reemplazo de Contactor comp. B1	35,040 Horas	\$650.00
	7	- Flow switch electro-mecánico	26,280 Horas	\$440.00
	8	- Cambio de compresor B2 fatigada mecánica	61,320 Horas	\$14,705.43
	9	- Cambio de aceite a 8 compresores	8,760 Horas	\$2,000.00
			Sub-Total	\$21,707.72

EQUIPO	ITEM	DESCRIPCION	PRIORIDAD	COSTO (Sin IGV)
CHILLER 2	1	- Cambio de compresor B2 fatigada mecánica	61,320Horas	\$14,705.43
	2	- Reemplazo de Serpentes ckt, B.	43,800 horas	\$37,791.00
	3	- Reemplazo de válvulas in/out de cooler.tipo lug 6".	56,940 Horas	\$974.29
	4	- Reemplazo de contactores de 6 ventiladores cktA	35,040 Horas	\$990.00
	5	- Reemplazo de tarjeta SPM A2	48,180 horas	\$390.00
	6	- Flow switch electrónico + cable.	48,180 horas	\$954.00
	7	- Reemplazo de Contactor comp. A1	35,040 Horas	\$650.00
	8	- Circuito A: Reemplazo de 2 hélices rajadas.	43,800 horas	\$908.00
	9	- Cambio de aceite a 8 compresores	8,760 Horas	\$2,000.00
			Sub-Total	\$59,362.72

EQUIPO	ITEM	DESCRIPCION	PRIORIDAD	COSTO (Sin IGV)
CHILLER 3	1	- Cambio de compresor B2 fatigada mecánica	61,320Horas	\$14,705.43
	2	- Cambio de compresor B3 fatigada mecánica	61,320Horas	\$14,705.43
	3	- Reemplazo de Serpentes ckt, A.	43,800 horas	\$37,791.00
	4	- Reemplazo de válvulas in/out de cooler.	56,940 Horas	\$974.29
	5	- Flow switch electrónico + cable.	48,180 horas	\$954.00
	6	- Reemplazo de contactores de 6 ventiladores cktA	35,040 Horas	\$990.00
	7	- Reemplazo de Serpentes ckt, B.	43,800 horas	\$37,791.00
	8	- Cambio de aceite a 8 compresores	8,760 Horas	\$2,000.00
			Sub-Total	\$109,911.15


NOTA: Los siguientes presupuestos y precios son referenciales.

Juan Chapoñan
Silva

Supervisor de
Servicios
INTECSERIN
SAC

Telf. 966704338


Anexo 12 Registro de capacitación basado en RCM para equipos chillers

		SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO		Código: SGSST-F-03	
		REGISTRO DE INDUCCIÓN, CAPACITACIÓN, ENTRENAMIENTO Y SIMULACROS DE EMERGENCIA			
DATOS DEL EMPLEADOR:					
RAZÓN SOCIAL O DENOMINACIÓN SOCIAL	RUC	DOMICILIO (Dirección, distrito, provincia y departamento)		ACTIVIDAD ECONÓMICA	Nº TRABAJADORES EN EL CENTRO LABORAL
INGENIERIA Y TECNOLOGIA SERVICIOS INTEGRALES S.A.C.	20600383095	Jr. Salaverry Clemente Markah n° 459 dpto. 101 Magdalena del Mar - Lima - Lima		Mantenimiento e Instalación de Equipos de Aire Acondicionado	
MARCAR (X)					
INDUCCIÓN ()		CAPACITACIÓN ()		ENTRENAMIENTO ()	
SIMULACRO DE EMERGENCIA ()					
TEMA:	Metodos de Recuperación de Refrigerante en el Chiller				
LUGAR:					
CAPACITADOR O ENTRENADOR:	Juan Carlos Chapoan Silva				
FECHA:	11-08-19	HORA INICIAL:	HORA FINAL:	Nº DE HORAS	
APELLIDOS Y NOMBRES DE LOS CAPACITADOS		Nº DNI	ÁREA	FIRMA	OBSERVACIONES
Navarro Hurtado Jeremy		46503738	Servicios		
Cortez Rendon Clemente		32286206	Servicios		
Rugo Martinez Ramiro		2724918	Servicios		
Lazo Chica Juan		40453453	Servicios		
RESPONSABLE DEL REGISTRO					
Nombres y Apellidos:			Cargo:	Fecha:	Firma:

Anexo 13 Registro de Reporte de fallas basado en RCM para equipos chillers

		REPORTE DE FALLA	
		N° correlativo: _____ Fecha: ____ / ____ / ____	
Empresa/Institución: _____			
Dirección: _____			
Correo: _____			
Teléfono: _____ Anexo: _____ Celular: _____			
Marca de Equipo		Carrier	
Modelo/Descripción de Equipo		Chiller enfriado por aire 30RBB19064-4-61	
N° de Serie:		12110Q74014	
SINTOMAS:			
Temperatura de salida de agua helada en 54° F (44° F es la que debe registrar)			
Baja presión en el circuito de refrigeración B			
Manchas de aceite en la unidad condensadora			
Pérdida de eficiencia de la unidad			
PRUEBAS			
Medición con manómetros la presión de gas refrigerante al circuito B			
Medición de voltaje y corriente a los 4 compresores del circuito B			
Lecturas de temperaturas de entrada y salida de agua helada			
Chequeo de fugas en la unidad condensadora y evaporadora			
Chequeo de ventilador del condensador			
Chequeo de circulación de agua en el cooler			
Chequeo de la válvula de expansión electrónica			
RESULTADO DESPUES DE LAS PRUEBAS DE DIAGNOSTICO:			
Se observó que existe fuga de gas refrigerante en la unidad condensadora la cual origina la parada del circuito B. Se recomienda la reparación de la fuga y considerar el cambio del condensador por encontrarse deteriorado.			
_____		_____	
Nombre	Firma	Sello	

Anexo 14 Registro de Reporte de mantenimiento basado en RCM para equipos chillers


		CONTROL DE MANTENIMIENTO DE CHILLER							Código FRT 21
		PROCESO DE RECURSOS TECNOLÓGICOS							Versión 03
Cliente	Chiller N°	1	Marca	Carrier	Modelo	30RBB19064-4-61	SERIE	12110Q74014	
DATOS DE FUNCIONAMIENTO		VOLTAJE		L1-L2	450 VLT.	L1-L3	451 VLT	L2-L3	450VLT
Circuito de Refrigeracion A		CORRIENTE			Circuito de Refrigeracion B	CORRIENTE			
		L1	L2	L3		L1	L2	L3	
Compresor 1	28.9 amp.	29 amp.	38 amp.	Compresor 1	29.9 amp.	30 amp.	30 amp.		
Compresor 2	28.3 amp	28.4 amp.	28.3 amp	Compresor 2	29.3 amp	29.4 amp.	29.3 amp		
Compresor 3	29.3 amp	29.4 amp.	28.7 amp.	Compresor 3	28.3 amp	28.4 amp.	28.3 amp.		
Compresor 4	29.6amp	27.4 amp.	29.6 amp	Compresor 4	28.6amp	28.4 amp.	29.7 amp		
Vent.Cond 1	5.13amp	5.2 amp	5.4 amp	Vent. Cond 1	5.1 amp	5.0 amp	5.3 amp		
Vent.Cond 2	5.2 amp.	5.1amp	5.2amp.	Vent. Cond 1	5.1 amp.	5.2amp	5.1amp.		
Bomba Primaria 1	14 amp	14.2amp	14.7amp	Bomba Primaria 2	14.5amp	14amp	15amp		
Bomba secundaria 1	18amp	19amp	17amp	Bomba Secundaria 2	18amp	18amp	19amp		
		PRESION		TEMP.			PRESION	TEMP.	
Presión evaporación		117.2 psi			Presión evaporación		116.2 Psi		
Temperatura de evaporación				39.6 °F	Temperatura de evaporación			36 °F	
Presion de condensacion		323.7 psi			Presion de condensacion		303 psi		
Temperatura condensación				101 °F	Temperatura condensación			95.8 °F	
Temperatura de succion				51.2°F	Temperatura de succion			49°F	
temperatura de Sobrecalentamiento				11.5°F	temperatura de Sobrecalentamiento			11 °F	
Temperatura de entrada de agua helada				49° F	Temperatura de entrada de agua helada			49° F	
Temperatura de salida de agua helada				44°F	Temperatura de salida de agua helada			44°F	
Temperatura de aire exterior				70°F	Temperatura de aire exterior			70°F	
% de apertura de la valvula de expansion		55		%	% de apertura de la valvula de expansion		60	%	
MATERIALES Y REPUESTOS UTILIZADOS							SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	
Cant					Cant				
8 Galones	aceite sintetico pollester Emkarate RL 32H								
77 Kg	Refrigerante R-410A								
1 Unidad	Filtro ceramico D-48								
40 m3	Gas Nitrogeno								
5 Galones	producto quimico Opteon SF79								
10 Unidad	Soldadura de plata %								
USUARIO							Fecha		
FIRMA									

Anexo 15 Registro de Reporte de mantenimiento basado en RCM para equipos chillers

	CONTROL DE MANTENIMIENTO DE CHILLER	Código FRT 21
		Versión 04
PROCESO DE RECURSOS TECNOLÓGICOS		Pág. 1 de 2

Fecha	D / M / A	MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO CONTRATADO	
Ubicación		Correctivo <input checked="" type="checkbox"/>	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
Tipo de equipo	Chiller			
Marca	Carrier			
Modelo	30RBB19064-4-61	Preventivo <input type="checkbox"/>	PROVEEDOR	
N° de Serie	12110Q74014			
N° inventario			CELULAR	
N° Solicitud				
Técnico:		Técnico de Apoyo:		
TRABAJOS REALIZADOS MANTENIMIENTO PREVENTIVO				
Lavado Condensador	<input type="checkbox"/>	Inspección y ajuste de bomba condensados	<input type="checkbox"/>	
Limpieza y ajuste de componentes eléctricos	<input type="checkbox"/>	Limpieza y ajuste de rejillas y difusores	<input type="checkbox"/>	
Inspección y ajuste de transmisión potencia	<input type="checkbox"/>	Lavado/cambio filtros aire evaporador o UMA	<input type="checkbox"/>	
Limpieza y ajuste de bandeja y tubo drenaje	<input type="checkbox"/>	Ajuste de Carga Refrigerante	<input type="checkbox"/>	
Lubricación de Rodamientos	<input type="checkbox"/>	Lavado Evaporador	<input type="checkbox"/>	
TRABAJOS REALIZADOS MANTENIMIENTO CORRECTIVO				
Recupera refrigerante	<input checked="" type="checkbox"/>	Cambio/ recarga de aceite	<input checked="" type="checkbox"/>	
Corrección de fuga	<input checked="" type="checkbox"/>	Cambio de filtro cerámico	<input checked="" type="checkbox"/>	
Presuriza con Nitrógeno, hace barrido	<input checked="" type="checkbox"/>	Lim	<input checked="" type="checkbox"/>	
Vacío hasta 500 micrones	<input checked="" type="checkbox"/>	Limpieza química con refrigerante líquido Option Sion	<input checked="" type="checkbox"/>	
Carga de refrigerante	<input checked="" type="checkbox"/>	Pruebas de funcionamiento y operación	<input checked="" type="checkbox"/>	
OTRA ACTIVIDAD O AMPLIE INFORMACIÓN:				

Anexo 16 Registro de Reporte de mantenimiento basado en RCM para equipos chillers

		FICHA TECNICA DE MANTENIMIENTO DE CHILLER	
MANTENIMIENTO:	Chiller enfriado por aire con compresores scroll		
LOCALIZACIÓN:			
UNIDAD:	Chiller	MODELO: 30RBB19064-4-61	SERIAL: 12110Q74014
FECHA:			
COMPAÑÍA:			
NOMBRE TECNICO:			FIRMA DEL TECNICO: _____
NOMBRE DE INGENIERO QUE SUPERVISÓ:			FIRMA DEL INGENIERO: _____
TIPO DE MANTENIMIENTO:	PREVENTIVO <input checked="" type="checkbox"/>	CORRECTIVO <input checked="" type="checkbox"/>	
DESCRIPCIÓN	ACTIVIDAD REALIZADA, indicar SI O NO	OBSERVACIONES	
LIMPIEZA			
Limpieza Serpentin Condensador	SI		
Limpieza Serpentin Evaporador	SI		
Lavado o Cambio de Filtros (anotar especifici	SI		
ÁREA MECANICA			
Lubricador de motores	SI		
Cambio de bandas	no		
Ajuste chumaceras	si		
Otros (anotar especificamente cual)			
ÁREA ELECTRONICA			
Toma medidas de voltaje	SI		
Toma medidas de amperaje	SI		
Revisión de contactores	SI		
Revisión de relevadores	SI		
Revisión de capacitores	SI		
Revisión de sensores de temperatura	SI		
Revisión de sensores de humedad	SI		
Revisión de sensores de presión	SI		
Otros (anotar especificamente cual)	SI		
ÁREA HIDRAULICA			
Presión del refrigerante	SI		
Niveles de aceite	SI		
Reparación fugas de refrigerante	NO		
Carga de aceite	NO		
Carga de gas refrigerante	NO		
Otros (anotar especificamente cual)			
OTRAS OBSERVACIONES GENERALES:	Presiones de trabajo ligeramente elevadas debido al deterioro de la unidad condensadora		
FIRMA DEL TÉCNICO		NOMBRE Y FIRMA DE PERSONA QUE RECEPCIONA	