

**MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM),  
PARA MAQUINAS FABRICADORA DE HIELO POLARES P-180**

**NASSER SALDAÑA QUINTERO**

**WILLIAM ARMANDO URREGO LEAL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**BUCARAMANGA**

**2013**

**MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM),  
PARA MAQUINAS FABRICADORA DE HIELO POLARES P-180**

**NASSER SALDAÑA QUINTERO**

**WILLIAM ARMANDO URREGO LEAL**

**Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: DANIEL ORTIZ PLATA**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**BUCARAMANGA**

**2013**

## **AGRADECIMIENTOS**

En esta monografía expreso mi agradecimiento a: A Dios Todo Poderoso, por encausarme siempre por el camino del bien, del compromiso y de la honestidad.

A mi familia por su acompañamiento y apoyo en todos mis proyectos, en especial a mi madre Amelia Rosa Quintero por alentarme siempre en seguir adelante.

A mi esposa Maritza por su paciencia y entendimiento en todo este tiempo.

A nuestro director de monografía, ingeniero Daniel Ortiz Plata, por dedicarle tiempo en orientarnos en la construcción del documento de la monografía.

Al ingeniero Fernando Vargas por su apoyo en los permisos para poder asistir a clases y lograr alcanzar mi objetivo.

***Nasser Saldaña Quintero***

En esta monografía expreso mi agradecimiento a: A Dios Todo Poderoso, por encausarme siempre por el camino del bien, del compromiso y de la honestidad.

A mis padres Luis Urrego y Maria Sorelly por su acompañamiento y apoyo en todos mis proyectos.

A nuestro director de monografía, ingeniero Daniel Ortiz Plata, por dedicarle tiempo en orientarnos en la construcción del documento de la monografía.

***William Urrego Leal***

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	13
1. ASPECTOS GENERALES.	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	14
1.2 OBJETIVOS.	16
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO.	17
2 MARCO TEÓRICO	19
2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	19
2.2 MÁQUINA FABRICADORA DE HIELO POLARES P-180.	25
2.2.1. PRINCIPIO BÁSICO DE REFRIGERACIÓN.	25
2.2.2 DATA SHEET DE LA MÁQUINA FABRICADORA DE HIELO POLARES P-180.	26
2.2.3 CICLO DE REFRIGERACIÓN DE LA MÁQUINA FABRICADORA DE HIELO.	27
2.2.4 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA FABRICADORA DE HIELO P-180.	29
2.2.5 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA Y CONTROL.	50
3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.	51
3.1 DEFINICIÓN DE FRONTERAS E INTERFACES.	51
3.2 CONTEXTO OPERACIONAL.	51
3.3 DEFINICIÓN DE FUNCIONES.	53
3.4 ANÁLISIS FMEA Y DEFINICIÓN DE TAREAS.	59
3.5 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES POR CRITICIDAD.	71
3.6 PLAN DE MANTENIMIENTO.	73
3.7 FORMATO DE INTERVENCIONES.	76
4. CONCLUSIONES.	79
BIBLIOGRAFÍA	80

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Diagrama ciclo básico de refrigeración.	26
Figura 2. Diagrama ciclo de refrigeración máquina fabricadora de hielo Polares P-180.	28
Figura 3. Bomba Eléctrica, Bolla mecánica y recipiente acumulador de agua.	29
Figura 4. Flautas.	30
Figura 5. Condensador.	31
Figura 6. Evaporador.	32
Figura 7. Ubicación de la válvula de expansión termostática.	34
Figura 8. Válvula de expansión termostática.	34
Figura 9. Compresor hermético Tecumseh.	35
Figura 10. Válvula solenoide Emerson.	37
Figura 11. Deposito acumulador de hielo.	38
Figura 12. Filtro deshidratador.	39
Figura 13. Motor eléctrico Emerson.	40
Figura 14. Contactor eléctrico de 3 polos.	41
Figura 15. Relay on delay.	42
Figura 16. Conexiones eléctricas de un relé de 14 pines.	43
Figura 17. Relé de 14 pines.	43
Figura 18. Temporizador programable.	44
Figura 19. Final de carrera.	45
Figura 20. Breakermatic.	46
Figura 21. Tanques filtrantes de agua	47

Figura 22. Filtros purificadores de agua.	48
Figura 23. Ciclo de funcionamiento de la máquina fabricadora de hielo.	49
Figura 24. Diagrama eléctrico máquina fabricadora de hielo.	50
Figura 25. Diagrama de frontera e interfaces para la máquina de hielo Polares P-180.	51
Figura 26. Distancias mínimas para el encerramiento de la máquina de hielo polares P-180.	52
Figura 27. Equipo de trabajo RCM.	60
Figura 28. Grafico de criticidad de componentes de la máquina.	72

## LISTA TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Características técnicas y funciones componentes máquina fabricadora de hielo Polares P-180.	53
Tabla 2. Matriz de riesgo.	61
Tabla 3. Análisis FMEA y definición de tareas para máquinas fabricadoras de hielo polares P-180.	62
Tabla 4. Criticidad de componentes.	71
Tabla 5. Plan de mantenimiento para máquinas fabricadoras de hielo polares P-180.	73
Tabla 6. Formato de intervenciones.	77
Tabla 7. Check list.	78

## RESUMEN

**TITULO:** MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM, PARA MÁQUINAS FABRICADORA DE HIELO POLARES P-180.\*

**AUTORES:** NASSER SALDAÑA QUINTERO\*\*  
WILLIAM ARMANDO URREGO LEAL\*\*

**PALABRAS CLAVES:** MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD, MÁQUINA FABRICADORA DE HIELO POLARES P-180, REFRIGERACIÓN, MANTENIMIENTO.

**DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:** La presente monografía es una propuesta de mantenimiento preventivo y correctivo para máquinas fabricadoras de hielo Polares P-180. El plan de mantenimiento esta soportado en la metodología del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), con el fin de minimizar las fallas catastróficas, prevenir daños que pueden acarrear tiempos muertos, costos operacionales y mejorar de esta manera la confiabilidad de estos equipos.

Se presenta descripción de datos operacionales, descripción de componentes y sus funciones, fallas funcionales, modos y efectos de falla de los componentes de la máquina. Bajo estos parámetros se estableció un modelo de diagrama de decisiones, se establecieron diferentes tareas de mantenimiento, para eliminar o mitigar las consecuencias de las fallas de estos componentes.

En el desarrollo de la metodología del RCM se incluye la recolección de datos de diseño, operacionales, análisis de modos de falla y efectos de falla para los componentes de la máquina. Se establecen las tareas necesarias para eliminar o mitigar las consecuencias de las fallas siguiendo el diagrama lógico de decisiones. Adicionalmente se establece un formato de intervenciones y un chek list con el propósito de llevar un registro de la acciones aplicadas a la máquina y de esta manera llevar hojas de vida de la máquina y mejorar continuamente el plan de mantenimiento.

Como resultado de este estudio, se presenta un plan de mantenimiento preventivo y correctivo final, consolidando 37 tareas que tienen como fin garantizar la disponibilidad de las máquinas fabricadoras de hielo Polares P-180.

---

\* Monografía

\*\* Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.  
Director: Daniel Ortiz Plata. Ingeniero Mecánico. Especialista en Gerencia de Mantenimiento

## SUMMARY

**TITLE:** MODEL RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE FOR ICEMAKER MACHINES POLARES P-180.

**AUTHORS:** NASSER SALDAÑA QUINTERO  
WILLIAM ARMANDO URREGO LEAL

**KEY WORDS:** RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE, ICEMAKER MACHINES POLARES P-180, REFRIGERATION, MAINTENANCE

**DESCRIPTION OR CONTENT:** This monograph is a maintenance proposal for preventive and corrective maintenance for Polar Ice Machine P -180. The maintenance plan is supported on the methodology of RCM (Reliability Centered Maintenance), in order to minimize catastrophic failures, preventing damage that can lead to downtime, operating costs and thereby improve the reliability of these devices.

We present operational data description, description of components and their functions, functional failures, failure modes and effects of the components of the machine. Under these parameters established a decision tree model, by setting different maintenance tasks to eliminate or mitigate the consequences of failure of these components.

In the development of the RCM methodology includes data collection design, operational analysis, failure modes and failure effects for the components of the machine. Tasks are established to eliminate or mitigate the consequences of failures following the decision logic diagram. Additionally, establishing a format interventions and chek list in order to keep track of the actions on the machine and in this way bring resumes machine and continuously improve the maintenance plan.

As a result of this study, we present a plan of preventive and corrective maintenance end, consolidating 37 tasks that are intended to ensure the availability of the Polar Ice Machine P -180

---

\* Monograph

\*\* Faculty of engineering Physical-Mechanical. Specializing in Maintenance Management.  
Director: Daniel Ortiz Plata. Mechanical Engineer. Specializing in Maintenance Management.

## INTRODUCCIÓN

En la presente monografía se muestra una propuesta de plan de mantenimiento, sobre la base de una estrategia de mantenimiento aplicando la metodología RCM, de máquinas fabricadoras de hielo Polares P-180, con el cual se busca minimizar las fallas y aumentar la disponibilidad de la máquina.

En el desarrollo de la metodología del RCM se incluyó la recolección de datos de diseño, operacionales, análisis de modos de falla y efectos de falla para los componentes de la máquina. Se establecen las tareas necesarias para eliminar o mitigar las consecuencias de las fallas siguiendo el diagrama lógico de decisiones. Adicional se establece un formato de intervenciones y un chek list con el propósito de llevar un registro de la acciones aplicadas a la máquina y de esta manera llevar hojas de vida de la máquina y mejorar continuamente el plan de mantenimiento.

# 1 ASPECTOS GENERALES

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La disponibilidad y confiabilidad de las máquinas fabricadoras de hielo dependen en gran medida del estado de sus componentes. Adicional a esto el hielo proveniente de estas máquinas es utilizado para el consumo humano, por esta razón es necesario que estas máquinas produzcan hielo con altos estándares de higiene con el objeto de prevenir daños potenciales a la salud. Para tal fin es necesario desarrollar modelos de gestión de mantenimiento acertados que permitan garantizar altos niveles de confiabilidad y así obtener cero interrupciones en el funcionamiento de las máquinas ni causar daños colaterales a las personas. Este es el caso de las máquinas fabricadoras de hielo P-180 que tiene como función producir 90 Kg/h de hielo en altas condiciones higiénicas y a un bajo costo.

En el caso de las máquinas fabricadoras de hielo las cuales poseen componentes tan diversos como sus modos de falla, advierten diversas fuentes de fallas funcionales que se traducen en incertidumbre operativa y fallas aleatorias en su operación.

En el año 2010 las empresas mineras o contratistas mineras de la región del Cesar (Gecolsa Caterpillar, Drummond, Prodeco, La vale, La francia, etc.) adquirieron máquinas fabricadoras de Hielo Polares P-180 creando la necesidad de la gestión de mantenimiento para este activo. En el caso de las Empresas mineras, el hielo es una necesidad y una obligación ya que dentro del pliego de peticiones de los sindicatos está estipulado que las empresas deben suministrar y mantener a lo largo de la operación el hielo en los diferentes puntos de las minas, campamentos, talleres, oficinas, comedores, centros de producción etc.

En los diferentes proyectos carboníferos del departamento del Cesar no se ha establecido un programa de mantenimiento directamente enfocado a sostener la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas fabricadoras de hielo los cuales buscan asegurar la normal producción de hielo. Para tal fin es necesario construir un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, que permita identificar factores críticos de los sistemas de la máquina, modos de falla, componentes críticos, rondas predictivas y mantenimientos programados.

Las empresas mineras que poseen estas máquinas tienen actualmente un plan de mantenimiento basado en tareas de mantenimiento preventivo y correctivo de emergencia. A continuación se muestran algunos aspectos que tiene el sistema actual de mantenimiento.

- No se generan informes de intervenciones a los equipos ni se tienen hojas de vida de los equipos.
- No existe la trazabilidad de fallas ni reposición de componentes
- No se hacen inspecciones predictivas con monitoreo de variables críticas como presión, consumo energético, temperatura etc.
- No se tienen claro las frecuencias de reposición de partes por tipo, horas de operación, o vida útil.
- No se tienen catálogos donde se tengan especificaciones técnicas, fallas funciones, causa y efectos de las fallas, posibles soluciones.
- No se tiene especificado un stock con mínimos y máximos de repuestos.

## 1.2 OBJETIVOS

**1.2.1 Objetivos Generales:** Proponer un modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad, RCM, para máquinas fabricadoras de hielo Polares P-180.

### 1.2.2 Objetivos Específicos:

- Realizar el análisis funcional y de sus fallas, identificando y describiendo las funciones de los componentes, los requerimientos de operación y las formas como puedan fallar las funciones de los componentes de la máquina fabricadora de hielo.
- Seleccionar los componentes críticos y no críticos para el funcionamiento adecuado de las máquinas fabricadoras de hielo.
- Realizar la selección de las tareas de mantenimiento utilizando la técnica del diagrama de decisiones de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los componentes de la máquina fabricadora de hielo.
- Establecer un plan maestro de mantenimiento basado en RCM para los componentes de la máquina fabricadora de hielo.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

Polares es una empresa Colombiana ubicada en la ciudad de Bogotá que se dedica a fabricar y vender máquinas fabricadoras de hielo penetrando en el mercado, ganando terreno a las máquinas americanas. En el caso de la máquina P-180 su principal competidor es la máquina marca Manitowoc modelo i-1400 la cual tiene las mismas características técnicas pero la ventaja de la P-180 es que su costo es de aproximadamente 25% por debajo de la i-1400. La desventaja de las máquinas Polares radica en que la empresa Polares solo vende máquinas fabricadoras de hielo pero no tiene servicio de instalación ni de mantenimiento y es aquí donde nace la necesidad de vender un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad a las empresas o clientes que adquieren estas máquinas.

Con la elaboración del presente modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad se pretende asegurar su continua operatividad reduciendo las paradas por fallas en la máquina y reduciendo los costos de operación. Además de la confiabilidad y disponibilidad de la máquina se busca establecer un plan de mantenimiento que genere tareas que tengan como prioridad la salud humana, ya que estas máquinas producen hielo que tiene como finalidad el consumo humano.

Un programa de gestión de activos puede asegurar la funcionalidad y disponibilidad de los componentes de la máquina lo que restaría probabilidades de falla en componentes importantes, impactos al ambiente y lesiones a personas.

Una estrategia de mantenimiento efectiva basado en un modelo de RCM no solamente permitirá asegurar la disponibilidad y confiabilidad de la máquina sino que a su vez permitirá una respuesta oportuna ante una falla de componentes

esenciales reduciendo inversiones de tipo correctivos mayores. Adicional a esto, dado que los costos de producción del hielo están distribuidos de la siguiente manera: Costos de consumo energético: 50%, costos de mantenimiento: 45% y costo de agua 5%. Es concluyente que el mantenimiento basado en confiabilidad ayudara por medio de monitoreo y tareas de mantenimiento a reducir la variable de Kw/h, por consiguiente reducir los costos de consumo energético.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), o Reliability Centred Maintenance (RCM), ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años. El proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico. El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metalmecánica, etc. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM. Según esta norma, las 7 preguntas básicas del proceso RCM son:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

El RCM muestra que muchos de los conceptos del mantenimiento que se consideraban correctos son realmente equivocados. En muchos casos, estos conceptos pueden ser hasta peligrosos. Por ejemplo, la idea de que la mayoría de las fallas se producen cuando el equipo envejece ha demostrado ser falsa para la

gran mayoría de los equipos industriales. A continuación se explican varios conceptos derivados del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, muchos de los cuales aún no son completamente entendidos por los profesionales del mantenimiento industrial.

- **El contexto operacional**

Antes de comenzar a describir las funciones deseadas para el activo que se está analizando (primera pregunta del RCM), se debe tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona el equipo. Por ejemplo, dos activos idénticos operando en distintas plantas, pueden resultar en planes de mantenimiento totalmente distintos si sus contextos de operación son diferentes. Un caso típico es el de un sistema de reserva, que suele requerir tareas de mantenimiento muy distintas a las de un sistema principal, aun cuando ambos sistemas sean físicamente idénticos. Entonces, antes de comenzar el análisis se debe redactar el contexto operacional, breve descripción, donde se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de indisponibilidad del equipo (producción perdida o reducida, recuperación de producción en horas extra, tercerización), objetivos de calidad, seguridad y medio ambiente, etc.

- **Funciones**

El análisis de RCM comienza con la descripción de las funciones deseadas. Por ejemplo, la función de una bomba puede definirse como: “Bombear no menos de 500 litros/minuto de agua”. Sin embargo, la bomba puede tener otras funciones asociadas, como por ejemplo “Contener al agua (evitar pérdidas)”. En un análisis de RCM, todas las funciones deseadas deben ser listadas.

- **Fallas funcionales o estados de falla**

Las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados indeseables del sistema. Por ejemplo, para una bomba dos estados de falla podrían ser: “Incapaz de bombear agua”, “Bombea menos de 500 litros/minuto”, “No es capaz de contener el agua”. Notar que los estados de falla están directamente relacionados con las funciones deseadas. Una vez identificadas todas las funciones deseadas de un activo, identificar las fallas funcionales es generalmente muy sencillo.

- **Modos de falla**

Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. Por ejemplo, “impulsor desgastado” es un modo de falla que hace que una bomba llegue al estado de falla identificado por la falla funcional “bombea menos de lo requerido”. Cada falla funcional suele tener más de un modo de falla. Todos los modos de falla asociados a cada falla funcional deben ser identificados durante el análisis de RCM.

Al identificar los modos de falla de un equipo o sistema, es importante listar la “causa raíz” de la falla. Por ejemplo, si se están analizando los modos de falla de los rodamientos de una bomba, es incorrecto listar el modo de falla, “falla rodamiento”. La razón es que el modo de falla listado no da una idea precisa de por qué ocurre la falla. ¿Es por falta de lubricación?, ¿es por desgaste y uso normal?, ¿es por instalación inadecuada?. Estos interrogantes nos precisan el por qué ocurre la falla, y por consiguiente nos llevaría a tomar una decisión para manejar adecuadamente el problema.

- **Los efectos de falla**

Para cada modo de falla deben indicarse los efectos de falla asociados. El “efecto de falla” es una breve descripción de “qué pasa cuando la falla ocurre”. Por ejemplo, el efecto de falla asociado con el modo de falla “impulsor desgastado”

podría ser el siguiente: “a medida que el impulsor se desgasta, baja el nivel del tanque, hasta que suena la alarma de bajo nivel en la sala de control. El tiempo necesario para detectar y reparar la falla (cambiar el impulsor) suele ser de 6 horas. Dado que el tanque se vacía después de 4 horas, el proceso aguas abajo debe detenerse durante dos horas. No es posible recuperar la producción perdida, por lo que estas dos horas de parada representan una pérdida de ventas. Los efectos de falla deben indicar claramente cuál es la importancia que tendría la falla en caso de producirse.

- **Categoría de consecuencias**

La falla de un equipo puede afectar a sus usuarios de distintas formas:

- ✓ Poniendo en riesgo la seguridad de las personas (consecuencias de seguridad)
- ✓ Afectando al medio ambiente (consecuencias de medio ambiente)
- ✓ Incrementando los costos o reduciendo el beneficio económico de la empresa (consecuencias operacionales)
- ✓ Ninguna de las anteriores (consecuencias no operacionales)

Además, existe una quinta categoría de consecuencias, para aquellas fallas que no tienen ningún impacto cuando ocurren salvo que posteriormente ocurra alguna otra falla. Por ejemplo, la falla del neumático de repuesto no tiene ninguna consecuencia adversa salvo que ocurra una falla posterior (pinchadura de un neumático de servicio) que haga que sea necesario cambiar el neumático. Estas fallas corresponden a la categoría de fallas ocultas.

Cada modo de falla identificado en el análisis de RCM debe ser clasificado en una de estas categorías. El orden en el que se evalúan las consecuencias es el siguiente:

Seguridad, medio ambiente, operacionales, y no operacionales, previa separación entre fallas evidentes y ocultas. El análisis RCM bifurca en esta etapa: el tratamiento que se le va a dar a cada modo de falla va a depender de la categoría de consecuencias en la que se haya clasificado, lo que es bastante razonable: no sería lógico tratar de la misma forma a fallas que pueden afectar la seguridad que aquellas que tienen consecuencias económicas. El criterio a seguir para evaluar las tareas de mantenimiento es distinto si las consecuencias de falla son distintas.

- **Diferencia entre efectos y consecuencias de falla**

El efecto de falla es una descripción de qué pasa cuando la falla ocurre, mientras que la consecuencia de falla clasifica este efecto en una de las cinco (5) categorías, según el impacto que estas fallas tengan.

- **Diferencia entre falla funcional y modos de falla**

La falla funcional identifica un estado de falla: incapaz de bombear, incapaz de cortar la pieza, incapaz de sostener el peso de la estructura... No dice nada acerca de las causas por las cuales el equipo llega a ese estado. Eso es justamente lo que se busca con los modos de falla: identificar las causas de esos estados de fallas (eje cortado por fatiga, filtro tapado por suciedad, etc.).

- **Fallas ocultas**

Los equipos suelen tener dispositivos de protección, es decir, dispositivos cuya función principal es la de reducir las consecuencias de otras fallas (fusibles, detectores de humo, dispositivos de detención por sobre velocidad / temperatura / presión, etc.).

Muchos de estos dispositivos tienen la particularidad de que pueden estar en estado de falla durante mucho tiempo sin que nadie ni nada ponga en evidencia que la falla ha ocurrido. (Por ejemplo, un extintor contra incendios puede ser hoy incapaz de apagar un incendio, y esto puede pasar totalmente desapercibido (si

no ocurre el incendio). Una válvula de alivio de presión en una caldera puede fallar de tal forma que no es capaz de aliviar la presión si ésta excede la presión máxima, y esto puede pasar totalmente desapercibido (si no ocurre la falla que hace que la presión supere la presión máxima). Si no se hace ninguna tarea de mantenimiento para anticiparse a la falla o para ver si estos dispositivos son capaces de brindar la protección requerida, entonces puede ser que la falla solo se vuelva evidente cuando ocurra aquella otra falla. Por ejemplo, es posible que nos demos cuenta que no funciona el extintor recién cuando ocurra un incendio, pero entonces ya es tarde: se produjo el incendio fuera de control. Es posible que nos demos cuenta que no funciona la válvula de seguridad cuando se eleve la presión y ésta no actúe, pero también ya es tarde: se produjo la explosión de la caldera. Este tipo de fallas se denominan fallas ocultas, dado que requieren de otra falla para volverse evidentes.

La implementación del RCM debe llevar a equipos más seguros y confiables, reducciones de costos (directos e indirectos), mejora en la calidad del producto, y mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. El RCM también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones.

---

<sup>1</sup>SAE JA1012, A guide to the Reliability-centered Maintenance (RCM) Standard. Society of Automotive Engineering, 2002.

## **2.2. MÁQUINA FABRICADORA DE HIELO POLARES P-180.**

**2.2.1. Principio básico de refrigeración.:** La refrigeración es un proceso termodinámico en el que se extrae el calor de un cuerpo o espacio para bajar su temperatura. Los fluidos, utilizados para extraer la energía cinética promedio del espacio o cuerpo que va a ser enfriado, son llamados refrigerantes, los cuales tienen la propiedad de evaporarse a bajas temperaturas y presiones positivas. El ciclo básico de refrigeración consta de cuatro puntos que son evaporación, compresión, condensación y expansión, a continuación se dará un breve resumen de cada uno de los puntos anteriores.

### **EVAPORACIÓN.**

En la etapa de evaporación el refrigerante absorbe el calor del espacio que lo rodea y por consiguiente lo enfría. Esta etapa tiene lugar en un componente denominado evaporador, el cual es llamado así gracias a que el refrigerante se evapora, es decir, cambia de líquido a vapor.

### **COMPRESIÓN.**

Después de salir el refrigerante del evaporador ingresa al compresor incrementando su presión. Dicho aumento de presión es necesario para que el gas refrigerante cambie a líquido y lo bombea hacia la etapa de condensación.

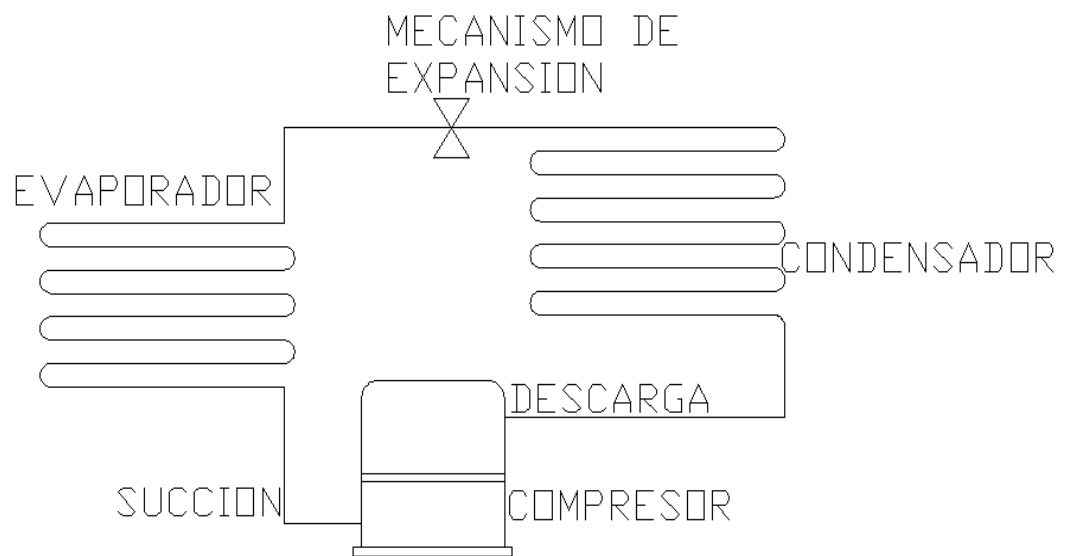
### **CONDENSACIÓN.**

La etapa de condensación del ciclo se efectúa en una unidad llamada "condensador" que se encuentra localizado en el exterior del espacio refrigerado. Aquí el gas refrigerante a alta presión y alta temperatura rechaza el calor hacia el medio ambiente (es enfriado por una corriente de agua o de aire), y genera un cambio de gas a líquido frío a una alta presión.

### **CONTROL Y EXPANSIÓN.**

Esta etapa es desarrollada por un mecanismo de control de flujo, este dispositivo retiene el flujo y expansiona al refrigerante para facilitar su evaporación posterior. Después de que el refrigerante deja el control del flujo se dirige al evaporador para absorber calor y comenzar un nuevo flujo <sup>2</sup>.

Figura 1. Diagrama ciclo básico de refrigeración.



Fuente. Autores.

### 2.2.2 DATA SHEET DE LA MÁQUINA FABRICADORA DE HIELO POLARES P-180.

- Presión mínima o máxima de entrada de agua: 10 Lbs min-60 Lbs Max.
- Modelo: P-180.

<sup>2</sup> BUENAS TAREAS. Ciclo Básico de Refrigeración [En línea]. [Citado 29 May. 2013] Disponible en internet: <<http://www.buenastareas.com/ensayos/Ciclo-Basico-De-Refrigeracion/13474.html>>

- Serial: 0912435

- Voltaje: 220 V
- Fases: 3
- Refrigerante: 404 A
- Carga: 65 Onzas
- Fecha de fabricación: Dic 14/2009.
- La unidad debe estar ubicada en un lugar cerrado bajo techo libre de polución.
- Se debe limpiar o higienizar el interior del depósito antes de usar.
- Se debe tratar el agua de ingreso a la máquina por medio de filtros purificadores de agua.

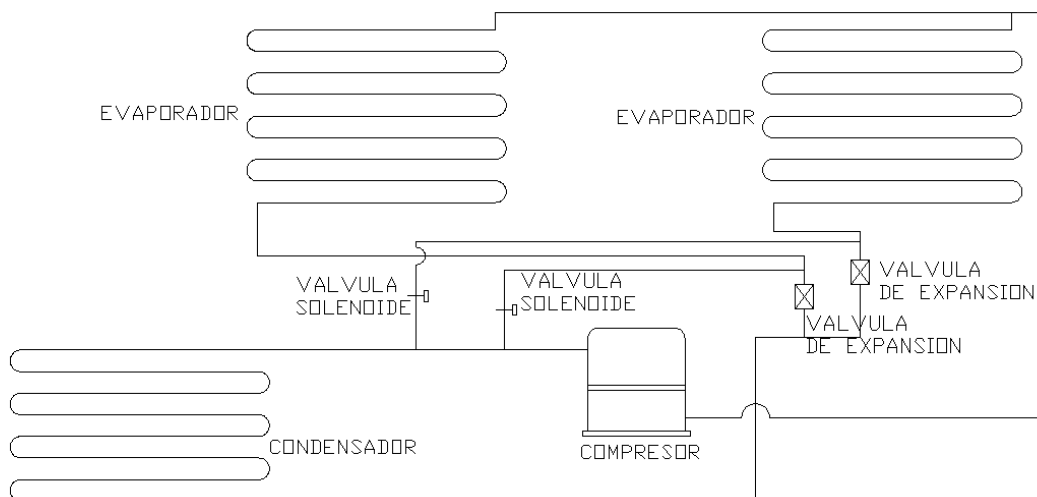
**2.2.3 Ciclo de refrigeración de la máquina fabricadora de hielo.** Las máquinas fabricadoras de hielo Polares P-180 poseen dos evaporadores que se encargan de evaporar el refrigerante haciendo que este cambie de líquido a vapor y de esta manera logra absorber el calor del agua para conseguir su congelamiento. El agua que reposa en el recipiente de la máquina fabricadora de hielo ingresa a través de una línea de agua externa filtrada; este flujo es controlado por una boya mecánica y, de esta manera, logra mantener el nivel deseado en el recipiente. La bomba mueve el agua desde el recipiente hasta la parte superior de los evaporadores haciéndola circular durante el ciclo de congelación.

El refrigerante sale del evaporador en forma de vapor a baja presión e ingresa al compresor en donde se comprime incrementando su presión y lo envía hacia el condensador refrigerado por aire, aquí el gas refrigerante cambia de gas a líquido.

El refrigerante, al salir del condensador, entra a la válvula de expansión, este dispositivo retiene el flujo y expansiona el refrigerante para facilitar su evaporación posterior.

Cuando se necesita soltar los cubos de hielo la bomba de agua se desconecta y las válvulas solenoides se abren permitiendo así que ingrese el gas caliente al evaporador. Este proceso calienta los evaporadores y la superficie del hielo congelado se derrite. Finalmente, el hielo cae en el depósito y de esta manera se termina el ciclo de refrigeración. En este momento se cierran las válvulas solenoides y la bomba se conecta para comenzar de nuevo el ciclo de realización del hielo. El ciclo de congelación y descongelación se repite aproximadamente cada 30 minutos.

Figura 2. Diagrama ciclo de refrigeración máquina fabricante de hielo Polares P-180.



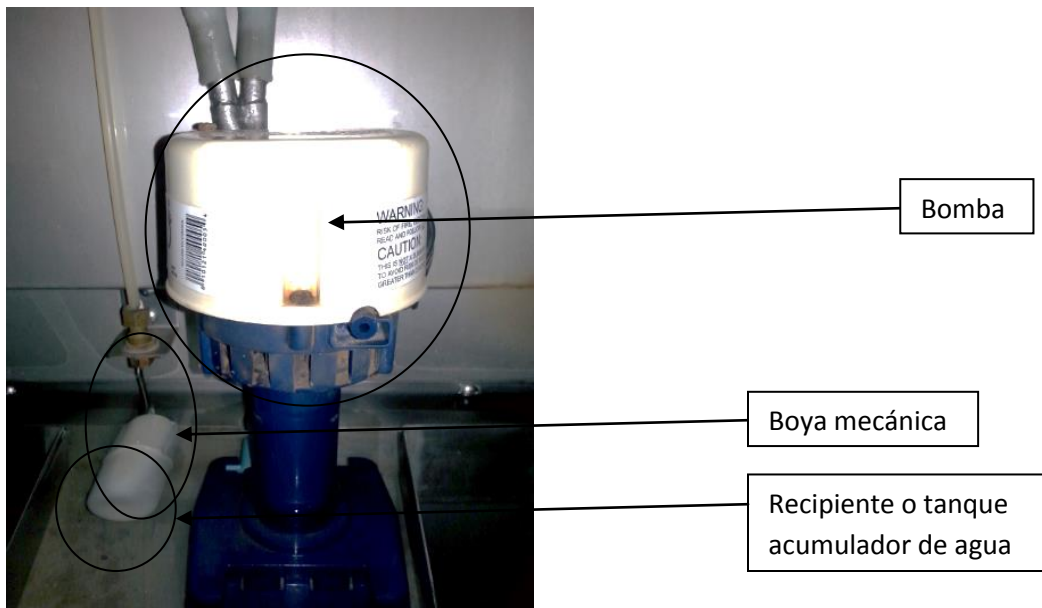
Fuente. Autores.

#### 2.2.4 Descripción de los componentes de la máquina fabricante de hielo P-180.

- **Bomba eléctrica:** Su función es la de mover el agua desde el recipiente hasta la parte superior de los evaporadores haciéndola circular durante el ciclo de congelación.

- **Boya mecánica:** Su función es controlar el flujo de agua de entrada a la máquina y de esta manera mantener un nivel deseado en el recipiente de la máquina.

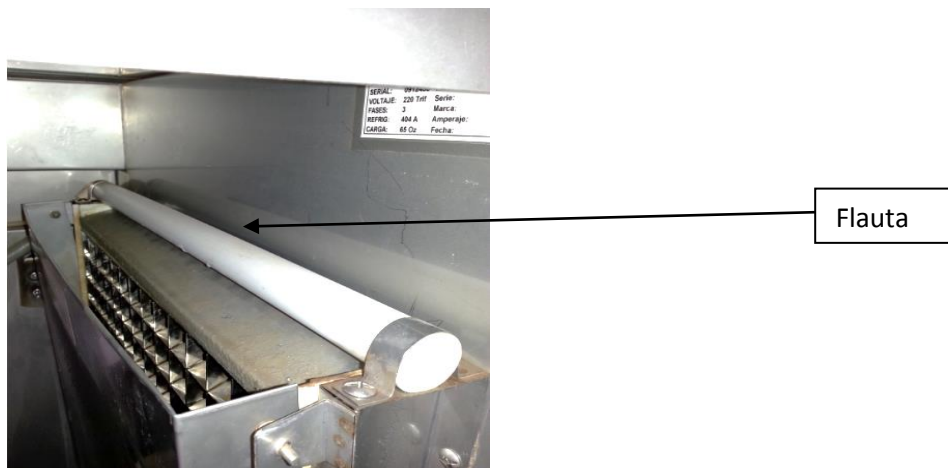
Figura 3. Bomba Eléctrica, Bolla mecánica y recipiente acumulador de agua.



Fuente. Autores.

- **Flautas:** tubos de PVC de 3/4" de diámetro y 50 cm de largo ubicado en la parte superior del evaporador (uno por cada evaporador para un total de dos flautas). Este tubo posee 22 perforaciones a lo largo y su función es distribuir el agua que proviene de la bomba a lo ancho del evaporador.

Figura 4. Flautas.



Fuente. Autores.

- **Condensador:** El condensador recibe el refrigerante en estado de vapor sobrecalentado, y tienen como función transferir el calor ganado en el evaporador y en el compresor a un medio de menor temperatura. El condensador de esta máquina fabricadora de hielo es de serpentín con aletas de aluminio para aumentar el área de transferencia de calor y es enfriado por aire en el cual el refrigerante circula a través del serpentín y por fuera el aire fluye forzosamente por la acción de un ventilador <sup>3</sup>.

<sup>3</sup> JAMAICA, Camilo Andrés y ORTIZ, Ángela María. Análisis económico para la selección del medio de enfriamiento en sistemas de refrigeración. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2010. 14 p.

Figura 5. Condensador.

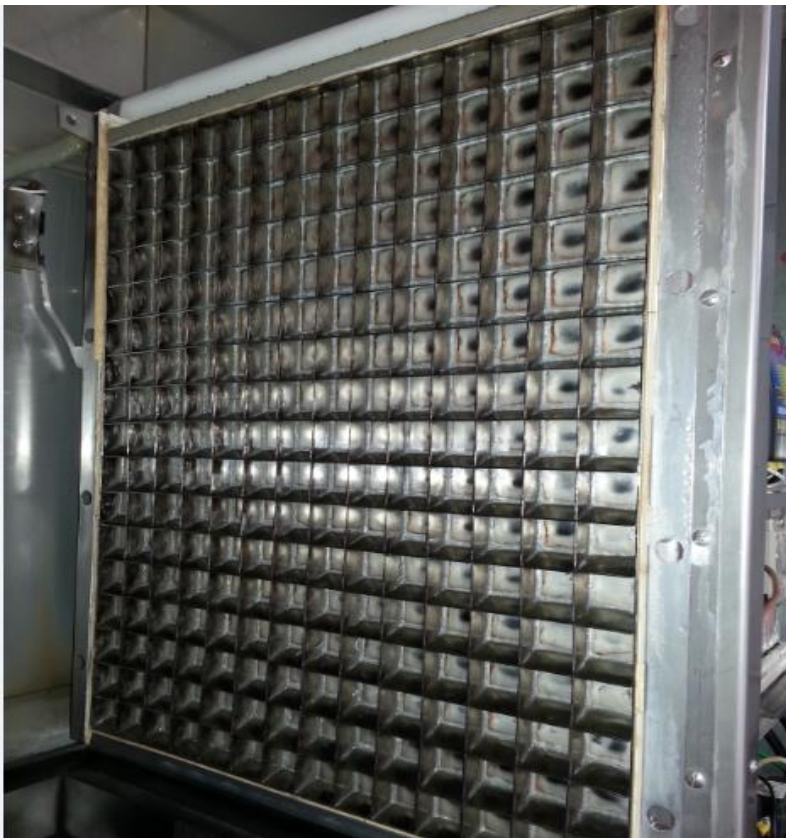


Fuente. Autores.

- **Evaporador:** El evaporador de cualquier sistema de refrigeración es exactamente lo que su nombre indica, un recinto donde se evaporan los líquidos refrigerantes. De esta manera, el refrigerante puede ser empleado una y otra vez. La evaporación de un líquido va acompañada de la absorción de calor del aire u objetos circundantes, por tanto, el evaporador toma calor de su alrededor y lo transfiere al vapor refrigerante, en el cual se convierte en calor latente de vaporización. Cuando el compresor está en marcha tiende a vaciar el interior del evaporador, de esta manera, la presión en el interior del evaporador se mantiene a un valor bajo predeterminado y exacto. Los evaporadores funcionan con baja presión y su función es absorber calor del aire o de los objetos circundantes, es decir enfriar <sup>4</sup>.

La máquina fabricadora de hielo objeto de estudio posee dos evaporadores a los cuales se les sueldan unos paneles de acero inoxidable y es aquí donde el hielo se fabrica en forma de cubos con las siguientes dimensiones: 3 cm ancho, 3 cm alto, 2 cm de profundidad. Cada uno de estos paneles fabrica 238 cubos para un total de 476 cubos de hielo con una frecuencia de tiempo aproximada de 30 minutos.

Figura 6. Evaporador.



Fuente. Autores.

---

<sup>4</sup> TRICOMI, Ernest. ABC del Aire Acondicionado. España, Barcelona: Marcombo, 1973. p. 44-46.

- **Válvula de expansión termostática:** La válvula de expansión termostática es un dispositivo de precisión diseñado para regular la tasa de flujo de refrigerante líquido en el evaporador en la proporción exacta a la velocidad de evaporación del

refrigerante, la cantidad de gas refrigerante que sale del evaporador se puede regular desde la válvula que responde a la temperatura y a la presión del gas refrigerante que sale del evaporador <sup>5</sup>.

Las máquinas fabricadoras de hielo P-180 poseen una válvula de expansión en cada evaporador marca Danfoss modelo TS2 en las que el refrigerante en estado líquido que sale del condensador entra a la válvula a alta presión.

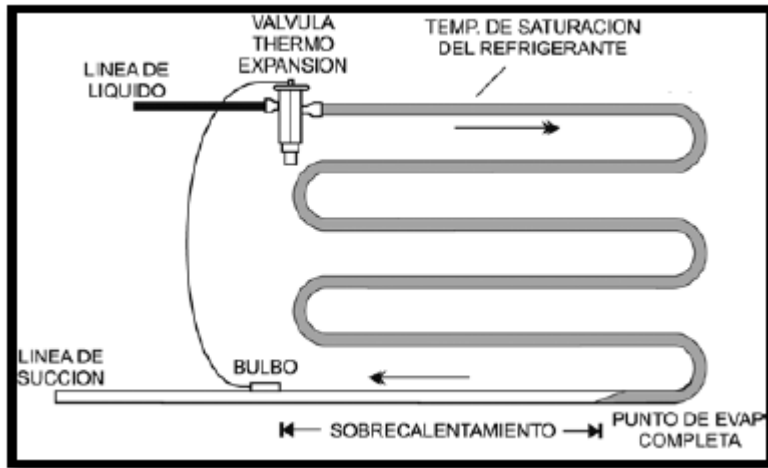
Al atravesar la válvula se reduce su presión y, por tanto, su temperatura, de manera que entre los puertos de entrada y salida de la válvula se presenta una caída de presión que permite al refrigerante luego evaporarse a muy baja temperatura.

El mecanismo de trabajo de esta válvula se da por medio de un bulbo ubicado en la salida del evaporador (Figura 7) que registra la variación de la temperatura de salida del gas modulando la abertura de la válvula y de esta manera modifica la cantidad de refrigerante alimentada al evaporador, adaptándose así a las necesidades instantáneas de carga.

---

<sup>5</sup> ALCO CONTROLS. Product Handbook of Specifications Applications and Selection of Refrigerant Flow Controls. St. Louis. 1984. 1 p.

Figura 7. Ubicación de la válvula de expansión termostática.



Fuente. Emerson Climate Technologies.

Figura 8. Válvula de expansión termostática.

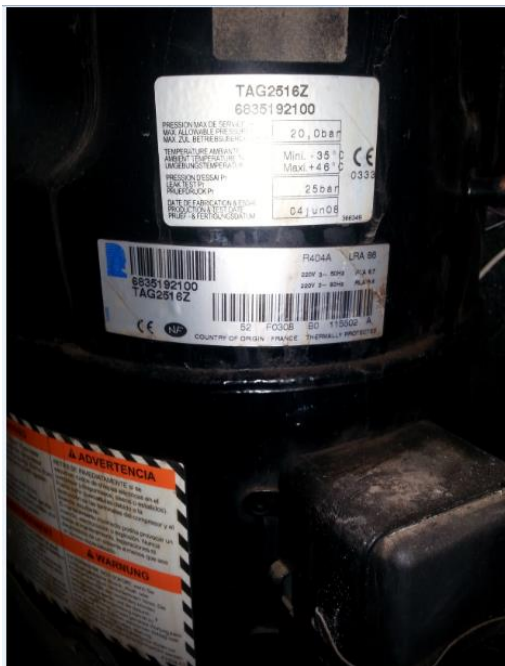


Fuente. Autores.

- **Compresor:** El compresor es considerado, dentro del sistema de refrigeración, como el componente central del mismo, pues cumple funciones indispensables tales como hacer circular el refrigerante a través del sistema removiendo en estado de vapor del evaporador donde ha intercambiado calor con el medio a enfriar y aumentándole simultáneamente su presión y temperatura, y lo deja en condiciones para ceder calor al medio condensante en el condensador.

La máquina fabricadora de hielo posee un compresor hermético recíprocante también conocidos como de desplazamiento positivo. La marca del compresor es Tecumseh. Trabaja con refrigerante R-404A estos compresores reducen un volumen de gas dentro de un cilindro cerrado mediante el desplazamiento mecánico de un pistón dentro del cilindro, este pistón se denomina miembro de compresión.

Figura 9. Compresor hermético Tecumseh.



Fuente. Autores.

- **Válvula solenoide:** La válvula de solenoide es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. La válvula de solenoide es una válvula que se cierra por gravedad, por presión o por la acción de un resorte; y es abierta por el movimiento de un émbolo operado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente, o viceversa. Dicha válvula de solenoide consiste de dos partes accionantes distintas, pero integrales: un solenoide (bobina eléctrica) y el cuerpo de la válvula. El solenoide es una forma simple de electroimán que consiste de una bobina de alambre de cobre aislado, o de otro conductor apropiado, el cual está enrollado en espiral alrededor de la superficie de un cuerpo cilíndrico, generalmente, de sección transversal circular. Cuando se envía corriente eléctrica a través de estos devanados estos actúan como electroimán. El campo magnético que se crea, es la fuerza motriz para abrir la válvula. Este campo atrae materiales magnéticos, tales como el hierro y muchas de sus aleaciones. Dentro del núcleo va un émbolo móvil de acero magnético, que es jalado hacia el centro al ser energizada la bobina. El cuerpo de la válvula contiene un orificio, a través del cual fluye el líquido cuando está abierta. La aguja o vástago que abre y cierra el puerto de la válvula, se une directamente a la parte baja del émbolo, en el otro extremo. El vástago o aguja tiene una superficie sellante (asiento). De esta forma, se puede abrir o detener el flujo al energizar o desenergizar la bobina solenoide. Este principio magnético, constituye la base para el diseño de todas las válvulas solenoide <sup>6</sup>.

La máquina fabricadora de hielo P-180 contiene dos válvulas solenoides donde sus entradas están conectadas a la línea de gas caliente y las salidas conectadas a las entradas de cada evaporador después de la salida de las válvulas de expansión.

---

<sup>6</sup> VALYCONTROL. El manual técnico. México. 82 p.

Cuando se necesita soltar los cubos de hielo estas válvulas solenoides se energizan abriendo el embolo interno y permitiendo el ingreso de gas caliente al evaporador, esto calienta los evaporadores y la superficie del hielo congelado se derrite, ya terminado el proceso de descongelamiento las válvulas regresan a su estado completamente cerrado.

Figura 10. Válvula solenoide Emerson.



Fuente. Autores.

- **Bin o recipiente:** El Bin es el recipiente donde cae el hielo y se acumula, este depósito está construido en acero inoxidable con las siguientes dimensiones: alto: 1.10 m, ancho: 1.15 m, profundidad: 0.9 m.

Figura 11. Deposito acumulador de hielo.



Fuente. Autores.

- **Filtro deshidratador:** Un filtro deshidratador es, por definición, un dispositivo que contiene material desecante y material filtrante para remover la humedad y otros contaminantes de un sistema de refrigeración. Un filtro deshidratador está diseñado para mantener seca la mezcla de refrigerante y aceite, absorbe los contaminantes líquidos disueltos, tales como humedad y ácidos; y también retiene, por medio de filtración, todas las partículas sólidas que estén siendo arrastradas a través del sistema por la mezcla de refrigerante aceite. El uso de los filtros deshidratadores en los sistemas de refrigeración, es la mejor manera de proteger los componentes en el, muy probable caso, de que estos contaminantes estuvieran presentes en el sistema, ya que la válvula de termo

expansión y el compresor, son los componentes más afectados por los contaminantes<sup>7</sup>.

Las máquinas fabricadoras de hielo tienen un filtro deshidratador ubicado en la línea de líquido a la salida del condensador, este es un filtro marca Danfoss modelo 023Z5005 tipo DCL 083 optimizado para CFC (clorofluorocarburos) y HCFC (hidroclorofluorocarbonos) con aditivos de aceites minerales y alquilbencenos con un rango de temperatura de operación de -40°C a +70°C máximo y presión de trabajo 42 bar. Este filtro es de tipo conexión rosca con entrada y salida de 3/8”.

Figura 12. Filtro deshidratador.



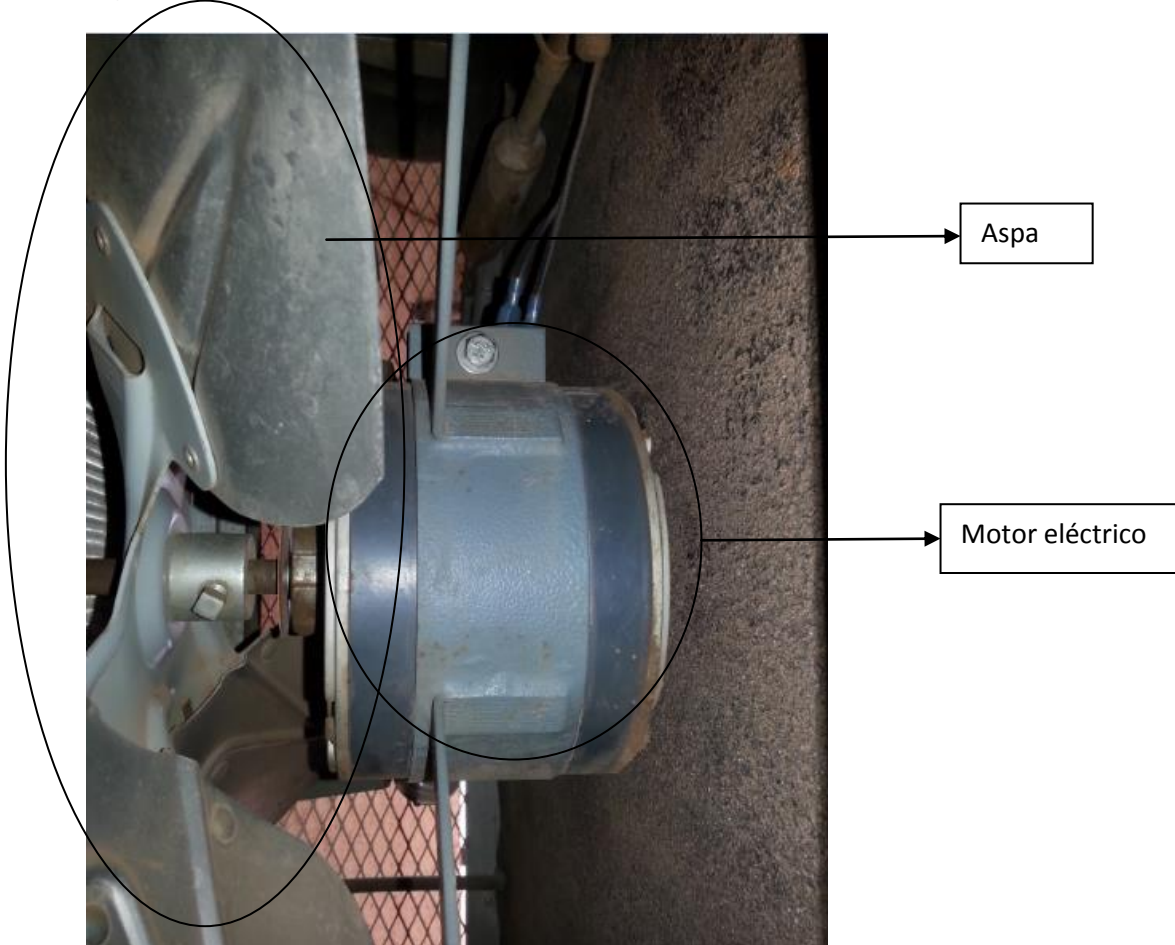
Fuente. Autores.

- **Motor eléctrico:** El motor ventilador es el encargado de mover el aspa y de esta manera forzar el aire para enfriar el condensador. La máquina fabricadora de hielo P-180 tiene un motor eléctrico marca Emerson de 3/4 HP, Voltaje: 208-230 V, Amperios: 4.5 A, capacitor: 10 MFD, eje: 1/2” de diámetro y 5” de largo.

---

<sup>7</sup> VALYCONTROL. El manual técnico. México. 9 p.

Figura 13. Motor eléctrico Emerson.

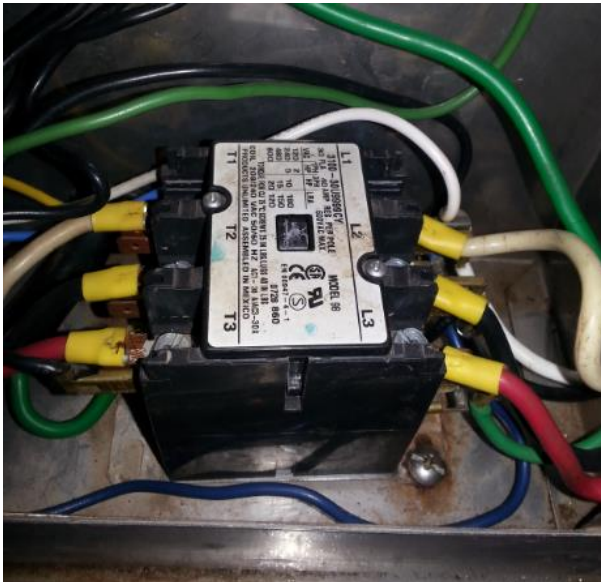


Fuente. Autores.

- **Contactador:** Es un elemento de maniobra, el cual es accionado por el movimiento mecánico de un núcleo de hierro, quien es desplazado de su posición inicial cuando por la bobina que lo circunda circula una corriente eléctrica que lo energiza, su función es establecer o interrumpir el paso de la corriente en un circuito con carga o en vacío.

Las máquinas de hielo Polares P-180 tienen un contactador de tres polos con capacidad de 40 A y bobina a 208/240 V, este dispositivo se encarga de desenergizar o energizar los componentes de la máquina en caso de que alguna señal de protección lo requiera o cuando es apagada o encendida manualmente.

Figura 14. Contactor eléctrico de 3 polos.



Fuente. Autores.

- **Relé temporizador (time delay relay):** Este tipo de relé es usado, generalmente, en secuencias de control y algunas otras funciones. El 'time delay relay' es un relé con una purga de aire o un resorte que tiene como función retrasar la acción de sus contactos. Esta acción puede estar aplicada al energizar o desenergizar la bobina del relé. Según lo anterior este tipo de relé se puede clasificar en dos grupos.

Relay on delay: la característica de este relé, es que el retraso o conteo se aplica cuando la bobina del relé es energizada.

Relay off delay: Se caracteriza por que el retraso comienza a contar a partir de la desenergización de la bobina del relé <sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> TORRADO, Luis Jesus y VANEGAS, Ricardo. Actualización de los planos eléctricos correspondiente a los aires acondicionados centrales de gran potencia de la Universidad Industrial de Santander. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, 2011. 44 p.

La máquina objeto de este estudio posee un 'relay' on delay el cual el contacto del relé de salida del 'timer' pasa a ON cuando se energiza el 'timer' y luego de transcurrido el tiempo prefijado pasa a OFF y el objetivo es desenergizar la bobina del contactor en caso de un sobrecalentamiento en la etapa de soltura del hielo y de esta manera proteger el compresor contra sobrecarga.

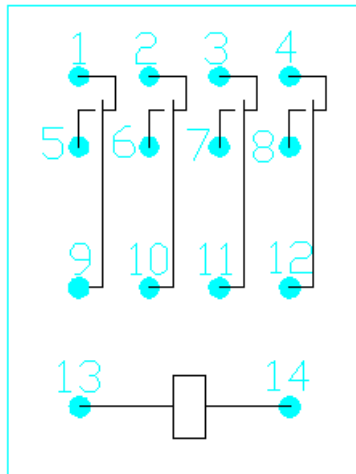
Figura 15. Relay on delay.



Fuente. Autores.

- **Relé:** El relé es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. En las máquinas de hielo polares P-180 contiene 6 relés de 14 pines con bobina a 220 V, los cuales son encargados de la parte de control de los componentes eléctricos de la máquina de hielo.

Figura 16. Conexiones eléctricas de un relé de 14 pines.



Fuente: Autores.

Figura 17. Relé de 14 pines.



Fuente: Autores.

- **Temporizador:** Es un dispositivo de control de tiempo que tiene como función cambiar de conexiones eléctricas en momentos predeterminados. Las máquinas fabricadoras de hielo poseen tres temporizadores las cuales controlan el tiempo de congelación-descongelación, el tiempo de encendido-apagado de la bomba de agua y el tiempo de apagado-encendido de las válvulas solenoides.

Figura 18. Temporizador programable.



Fuente: Autores.

- **Finales de carrera:** Dentro de los componentes electrónicos, se encuentra el final de carrera o sensor de contacto (también conocido como "interruptor de límite") o 'limit switch', son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA o NO en inglés), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación

que cumplan al ser accionados, de ahí la gran variedad de finales de carrera que existen en el mercado <sup>9</sup>. Para nuestro caso los finales de carrera son instalados en las cortinas del evaporador y su función es censar la caída del hielo en los dos evaporadores y de esta manera cerrar el tiempo del ciclo de deshielo para empezar con el ciclo de congelación.

Figura 19. Final de carrera.



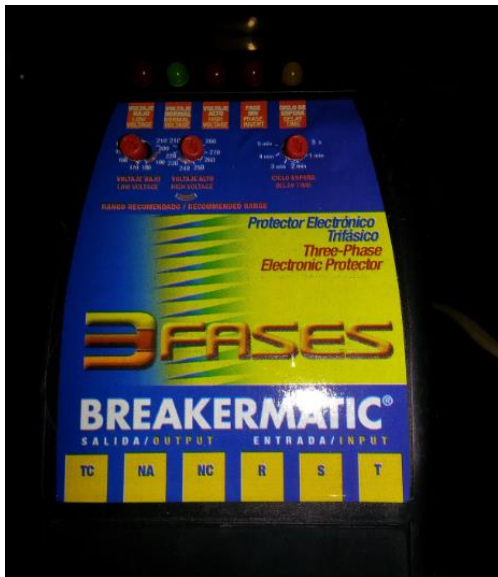
Fuente: Autores.

- **Breakermatic:** Es un protector electrónico para sistemas que posean control por contactores. Este dispositivo protege la máquina contra voltajes bajos, altos y fase invertida. En el caso de que el dispositivo detecte un voltaje fuera del rango seleccionado o la fase invertida este desenergiza la bobina del contactor apagando la máquina.

---

<sup>9</sup> WIKIPEDIA. Sensor final de carrera [En línea]. [Citado 08 Jul. 2013] Disponible en internet: [http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor\\_final\\_de\\_carrera](http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_final_de_carrera)

Figura 20. Breakermatic.



Fuente: Autores.

- **Sistema de filtración de agua:** El sistema de filtración de agua está compuesto por dos taques de 14" de diámetro con 1.20 mt de alto y dos filtros de 20 cm de diámetro con 20" de alto. Los tanques son filtros que contienen arena, grava y carbón activado: en el primer tanque se encuentra la arena y la grava que son elementos utilizados para la filtración de aguas con cargas bajas o medianas de contaminantes que requieren una retención de partículas de hasta veinte micras de tamaño. Las partículas en suspensión que lleva el agua son retenidas durante su paso a través de un lecho filtrante, una vez que el filtro se haya cargado de impurezas, alcanzando una pérdida de carga prefijada, puede ser regenerado con un retro lavado; el segundo tanque contiene carbón activado que se utiliza para la eliminación de cloro y compuestos orgánicos en el agua. Después del paso del agua por los tanques filtrantes llamada también primera etapa de filtrado esta pasa por una segunda etapa la cual está compuesta por un filtro de polifosfato con el fin de retener algunas partículas solidas que pudiesen haber pasado por la primera etapa y por último el agua entra a un filtro de carbón activado.

Figura 21. Tanques filtrantes de agua.



Fuente: Autores.

Figura 22. Filtros purificadores de agua.



Fuente: Autores.

**2.2.5 Sistema eléctrico de potencia y control.** El objetivo del sistema eléctrico de potencia y control es energizar o desenergizar los diferentes componentes eléctricos dependiendo de la función que desempeña dentro de la operación de la máquina por medio de unos dispositivos de control o protección.

La máquina opera en dos ciclos que se repiten indefinidamente, ciclo de congelamiento y ciclo de descongelamiento. El ciclo de congelamiento es aquel en que la máquina fábrica el hielo, en este ciclo el compresor, el motor y la bomba de agua están energizados en un determinado tiempo el cual se selecciona por medio del temporizador de hielo.

Ya terminado el tiempo de congelamiento programado por el temporizador la máquina entra en el ciclo de deshielo o descongelamiento la cual es la etapa en que la máquina abre las válvulas solenoides y de esta manera envía gas caliente a

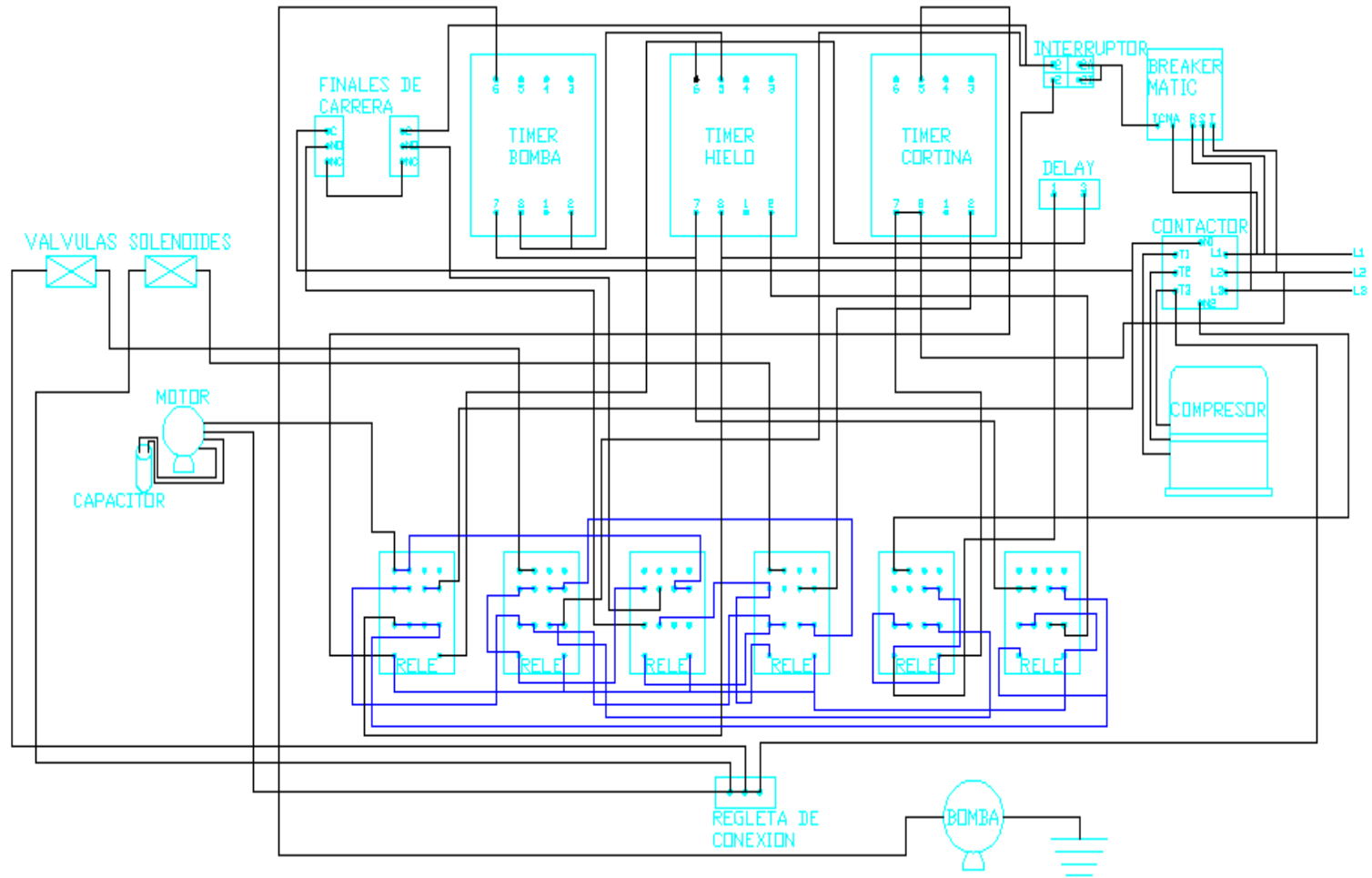
los evaporadores para calentar la superficie del hielo y desprenderlo. En esta etapa se energiza las válvulas solenoides y el compresor, por lo contrario el motor y la bomba de agua se desenergiza. Este ciclo es terminado por la acción de los finales de carrera el cual son accionados por las cortinas que se abren al caer el hielo.

Figura 23. Ciclo de funcionamiento de la máquina fabricadora de hielo.

<b>TIEMPO DE CONGELAMIENTO.</b> ELEMENTOS ENERGIZADOS: MOTOR-COMPRESOR-BOMBA.	<b>TIEMPO DE DESHIELO</b> ELEMENTOS ENERGIZADOS: VÁLVULAS SOLENOIDES-COMPRESOR
--	---

Fuente: Autores.

Figura 24. Diagrama eléctrico máquina fabricadora de hielo.



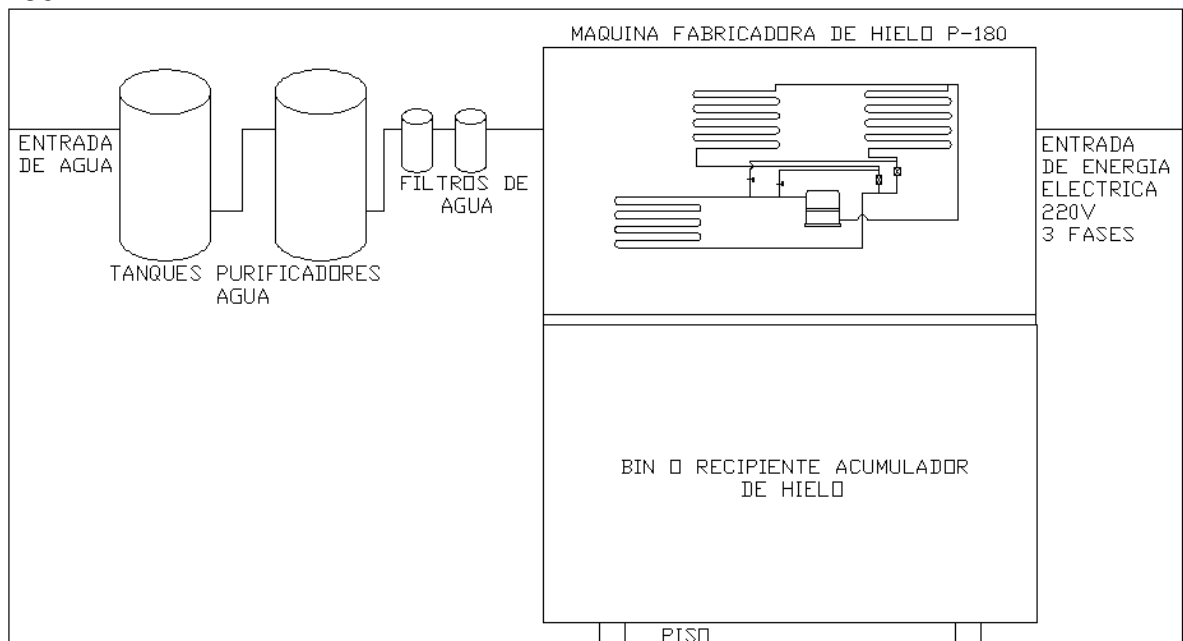
Fuente: Autores.

### 3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

#### 3.1 DEFINICIÓN DE FRONTERAS E INTERFACES

Para la máquina fabricadora de hielo P-180 se establecen las siguientes interfaces y fronteras de acuerdo al diagrama presentado a continuación:

Figura 25. Diagrama de frontera e interfaces para la máquina de hielo Polares P-180.



Fuente: Autores.

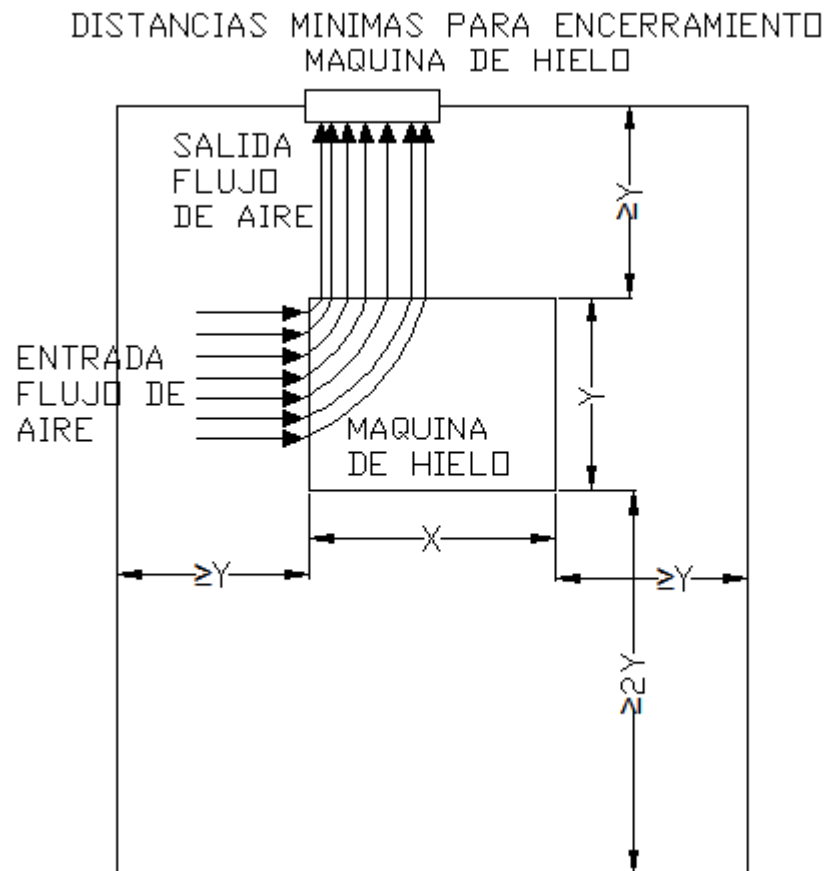
#### 3.2 CONTEXTO OPERACIONAL.

Las máquinas fabricadoras de hielo deben tener unas condiciones mínimas para su operación que se presentan a continuación.

- Presión de entrada de agua: 10 Lbs min-60 Lbs Max.
- Voltaje: 208 – 230 V
- Fases: 3
- Amperaje: 15 A
- Ajuste máximo de la protección contra corto circuito: 20 A

- Refrigerante: 404 A
- Carga: 65 Onzas
- Condensador enfriado por aire
- Se debe tratar el agua de ingreso a la máquina por medio de filtros purificadores de agua.
- La unidad debe estar ubicada en un lugar cerrado bajo techo libre de polución con ventilación en la parte posterior izquierda para dar paso libre al flujo del aire. A continuación se ilustra las condiciones de ubicación de la máquina fabricadora de hielo.

Figura 26. Distancias mínimas para el encerramiento de la máquina de hielo polares P-180.



Fuente: Autores.

### 3.3 DEFINICIÓN DE FUNCIONES

A continuación se presentan las características técnicas, las interfaces con los elementos de la máquina, la descripción y las funciones de los principales elementos de la máquina como fundamento para el análisis de los modos y efectos de falla de cada uno de ellos.

Tabla 1. Características técnicas y funciones componentes máquina fabricante de hielo Polares P-180.

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	INTERFACES	Cód. Fun.	FUNCIONES
1. BOMBA ELÉCTRICA	Voltaje de operación: 115-125 V	Recibe agua por la succión proveniente del recipiente de agua	A1	Recircular el agua desde el recipiente acumulador de agua hasta la parte superior de los evaporadores durante el periodo de congelación de la máquina a un flujo determinado
	Frecuencia: 50/60 Hz	Entrega agua en la parte superior de evaporadores		
	Diámetro de tubería de descarga: 3/4"; Diámetro de tubería de succión: 1/2"	Recibe energía eléctrica (110 V) proveniente del timer bomba		
2. FLAUTAS	Material de fabricación: PVC	Recibe agua por la manguera de descarga proveniente de la bomba	A2	Distribuir el agua a lo largo de los evaporadores
	Diámetro del tubo 3/4"	Entrega agua a los evaporadores		
	Largo del tupo: 50 cm			
	Numero de perforaciones a lo largo del tubo: 22			
3. CONDENSADOR	Tipo serpentín con aletas de aluminio y tubería de cobre	Recibe refrigerante en estado de vapor sobrecalentado a presión de 230 PSI proveniente del compresor	A3	Enfriar el refrigerante y condensarlo disipando calor al ambiente
	Numero de tubos: 32	Entrega calor al ambiente debido al enfriamiento del condensador		

	Numero de tubos por filas: 2	Entrega refrigerante en estado liquido al filtro secador a presión de 230 PSI		
	Distancia horizontal entre tubos: 3 cm			
	Distancia vertical entre tubos: 2.5 cm			
	Diámetro exterior de los tubos: 1/2"			
	Enfriado por aire			
4. EVAPORADOR	Tipo bandeja con tubería de cobre	Recibe refrigerante húmedo proveniente de la válvula de expansión	A4	Absorber el calor del agua y de esta manera transformarla en hielo
	Numero de tubos: 17	Absorbe calor proveniente del agua		
	Distancia horizontal entre tubos: 2 cm	Entrega refrigerante en estado de vapor al compresor		
	Diámetro exterior de los tubos: 1/4"			
5. VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA	Marca: Danfoss	Recibe refrigerante en estado liquido a alta presión y alta temperatura proveniente del filtro secador	A5	Regular la tasa de flujo de refrigerante liquido que entra al evaporador en la proporción exacta a la velocidad de evaporación del refrigerante
	Tipo: TS 2	Entrega refrigerante a baja presión y baja temperatura al evaporador	A6	Mantener los rangos de operación de presión de succión y descarga del sistema de refrigeración
	Material del cuerpo: bronce	Recibe una señal de temperatura proveniente del bulbo ubicado a la salida del evaporador		
	Longitud del tupo capilar: 1500 mm			
	Tipo de conexión entrada y salida: rosca			
	Tamaño tubería de entrada :3/8"			
	Max. Presión de trabajo: 500 PSIG			
	Tamaño tubería de salida: 1/2"			
	Refrigerantes: R404A/R507			

	Rango de temperatura: -40 – 10 °C			
6. COMPRESOR	Marca: Tecumseh	Recibe refrigerante en estado vapor a baja presión y temperatura proveniente de los evaporadores	A7	Bombear el refrigerante a través del sistema de refrigeración
	Tipo: Reciprocante	Entrega refrigerante a alta presión y alta temperatura al condensador		
	Modelo: TAG2516Z	Recibe energía eléctrica (220 V) proveniente del contactor de la máquina		
	Capacidad: 4 hp			
	Voltaje: 220 V			
	Fases: 3			
	Frecuencia: 50/60 Hz			
	Refrigerantes: R404A			
	Corriente nominal: 9.4 A			
Corriente de rotor bloqueado: 86 A				
7. VÁLVULA SOLENOIDE	Marca: Emerson	Recibe refrigerante a alta presión y temperatura proveniente de la descarga del compresor	A8	Retener el flujo de refrigerante proveniente de la descarga del compresor a los evaporadores cuando la máquina se encuentra en el ciclo de congelación
	Modelo: R0609	Entrega refrigerante a alta presión y alta temperatura al evaporador cuando la bobina es energizada	A9	Dejar pasar el flujo de refrigerante proveniente de la descarga del compresor a los evaporadores cuando la máquina se encuentra en el ciclo de defrost
	Tipo de conexión entrada y salida: soldada	Recibe señal de control a 220 V proveniente de los relés encargados de iniciar el defrost		
	tamaño de entrada y salida: 3/8"			
	Voltaje: 208-220 V			
	Frecuencia: 50/60 Hz			

8. BIN O RECIPIENTE	Material de fabricación: acero inoxidable	Recibe el hielo proveniente de los evaporadores	A10	Contener el hielo que fabrica la máquina en unas condiciones higiénicas
	Medidas: Alto: 1.10 cm, Ancho: 1.15 cm, Profundidad: 0.9 cm	Entrega agua a el sistema de alcantarillado	A11	Mantener el hielo que genera la máquina seco por medio del sistema de drenaje
9. FILTRO DESHIDRATADOR	Marca: Danfoss	Recibe refrigerante en estado liquido proveniente del condensador	A12	Mantener seca la mezcla absorbiendo los contaminantes líquidos disueltos como humedad y ácidos
	Modelo: 023Z5005 tipo DCL 083	Entrega refrigerante en estado liquido a las válvulas de expansión termostáticas	A13	Filtrar las partículas solidas presentes en el sistema de refrigeración
	Tamaño tubería de entrada y salida: 3/8"			
	Tamaño del núcleo: 08 cu.in			
	capacidad de absorción de humedad: 1.36 g			
10. MOTOR ELÉCTRICO	Marca: Emerson	Recibe energía eléctrica (220 V) proveniente del relé #1	A14	Transformar energía eléctrica en energía mecánica a una velocidad determinada
	Modelo: K055SRE4516862B	Recibe potencia eléctrica reactiva proveniente del capacitor		
	Velocidad: 1075 RPM	Entrega aire forzado al condensador		
	Numero de polos: 6			
	Capacidad: 3/4 hp			
	Voltaje: 208-230 V; 2 fases			
	Cojinetes tipo chumacera			
	Frecuencia: 60 Hz			
	Amperios: 4.5 A			
	Capacitor: 10 MFD			
	Eje: largo 5 in, Diámetro 1/2			
	Largo total: 10.3 in			
	Numero de alabes del aspa: 4			

11. CONTACTOR	Numero de polos: 3	Recibe energía eléctrica (220 V, 3 fases) proveniente de la red eléctrica	A15	Establecer el paso de corriente cuando la bobina del contacto es energizada
	Capacidad amperimétrica: 40 A	Entrega energía eléctrica a los diferentes componentes eléctricos de la máquina	A16	Interrumpir el paso de corriente cuando la bobina es desenergizada
	Voltaje bobina: 208/240 V	Recibe una señal de control que alimenta la bobina del contactor proveniente del breakermatic, relé #5 y el relé temporizador		
	Posición: normalmente cerrado			
12. RELÉ TEMPORIZADOR	Tipo: on delay (el conteo se aplica cuando la bobina del relé es energizada)	Recibe una señal eléctrica proveniente del timer hielo	A17	Desenergizar la bobina del contactor cuando el tiempo de defrost sobrepasa el tiempo estipulado en el relé temporizador y de esta manera proteger el compresor contra sobrecalentamiento por exceso de gas caliente
	Capacidad amperimétrica: 1.5 A	Entrega una señal eléctrica al relé # 5		
	Rango de tiempo: 0.03-10 min			
13. RELÉS	Numero de pines: 14	Reciben y entregan señales de control a los diferentes componentes de la máquina (ver figura 24, diagrama eléctrico máquina fabricante de hielo)	A18	Permitir el paso de corriente ante una condición lógica de entrada
	Voltaje bobina: 208/240 V			
	Capacidad amperimétrica: 1.5 A			
	Numero de relés en la máquina: 6			

14. TEMPORIZADORES	Voltaje bobina: 208/240 V	Reciben y entregan señales de control a los diferentes componentes de la máquina (ver figura 24, diagrama eléctrico máquina fabricadora de hielo)	A19	Cambiar las conexiones eléctricas de un circuito pasado un tiempo determinado
	Capacidad amperimétrica: 1.5 A			
15. FINALES DE CARRERA	Marca: SUNS	Recibe señal eléctrica de control proveniente del interruptor ON-OFF de la máquina	A20	Censar la caída del hielo por acción del desplazamiento de las cortinas y así determinar la terminación del ciclo de deshielo para comenzar el ciclo de congelación
	Tipo: conmutable	En estado NC (cortinas del evaporador cerradas) entrega señal eléctrica de control a la bobina N1 del contactor		
	Capacidad amperimétrica: 15 A	En estado NO (cortinas del evaporador abiertas) entrega señal eléctrica de control al relé # 3 y al temporizador cortina para reiniciar el proceso de congelamiento		
16. BREAKERMATIC	Modelo: PTE-208/220	Recibe señal eléctrica (220 V, 3 fases) proveniente de la RED ELÉCTRICA	A21	Des energizar la máquina es caso tal que el dispositivo detecte el voltaje por encima o por debajo de los niveles establecidos o cuando se detecta una inversión en las fases
	Corriente del interruptor: 5 A	Entrega una señal de control al interruptor principal de la máquina		
	Retardo de encendido: 5-300 seg			
	Peso: 260 grs			
	Rango de temperatura de operación: 0-65° C			
17. TANQUE FILTRANTE DE AGUA (GRAVA-ARENA)	Dimensiones: Diámetro 14", Alto 1.20 mt	Recibe agua proveniente de la red de agua	A22	Filtrar el agua de partículas solidas
	Material filtrante: grava, arena	Entrega agua a el tanque filtrante de agua # 2 de carbón activado	A23	Contener el agua

18. TANQUE FILTRANTE DE AGUA (CARBÓN ACTIVADO)	Dimensiones: Diámetro 14", Alto 1.20 mt	Recibe agua proveniente del tanque filtrante # 1 (tanque de grava-arena)	A24	Filtrar el agua de cloro y compuestos orgánicos
	Material filtrante: Carbón activado	Entrega agua al filtro de poliéster	A25	Contener el agua
19. FILTRO DE POLIÉSTER	Dimensiones: Diámetro 20 cm, Alto 20"	Recibe agua proveniente del tanque filtrante # 2 (carbón activado)	A26	Filtrar agua de partículas de suspensión
	Material filtrante: Poliéster	Entrega agua al filtro de carbón activado	A27	Contener el agua
20. FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO	Dimensiones: Diámetro 20 cm, Alto 20"	Recibe agua proveniente del filtro de poliéster	A28	Filtrar el agua de cloro, reducción de pesticidas, insecticidas y otros compuestos orgánicos
	Material filtrante: Carbón activado	Entrega agua filtrada a la máquina fabricadora de hielo	A29	Contener el agua

Fuente: Autores.

### 3.4 ANÁLISIS FMEA Y DEFINICIÓN DE TAREAS.

Continuando con la metodología del RCM luego de definidas las características técnicas de los componentes de la máquina se presenta el análisis de los modos de falla, efectos de falla, para la cual se integra un equipo interdisciplinario con todos los actores de mantenimiento, las cuales participaron en la determinación de tareas para eliminar o mitigar la consecuencia de las fallas potenciales.

Figura 27. Equipo de trabajo RCM.



Fuente: Autores.

Para la definición de funciones, el análisis de los modos de falla y efectos de falla y la definición de tareas se estructuró bajo la metodología del FMEA y se estableció la criticidad del mismo en función de las consecuencias para las cuatro principales perspectivas: ambiental, humano, económico y de imagen, las cuales se cruzan con su probabilidad de ocurrencia; bajo estos dos parámetros se otorga un valor de criticidad como se muestra en la siguiente matriz.

Tabla 2. Matriz de riesgo.

CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD					
CONSECUENCIAS	AMBIENTALES	HUMANAS	COSTOS	IMAGEN	IMPOSIBLE (≥7 AÑOS)	IMPROBABLE (≤7 AÑOS)	REMOTO (≤4 AÑOS)	OCASIONAL (1 AÑO)	MODERADO (≤6 MESES)	FRECUENTE (±1 MES)
Catastrófico	Efectos irreversibles	Más de un muerto	≥ \$8.000.000	Internacional	A1=4	B1=4	C1=8	D1=12	E1=16	F1=20
Critico	Efectos irreversibles en menos de 2 años	Incapacidad permanente	Entre \$6.000.000 - \$8.000.000	Nacional	A2=3	B2=3	C2=6	D2=9	E2=12	F2=13
Marginal	Efectos irreversibles en menos de 6 meses	Incapacidad temporal	Entre \$3.000.000 - \$6.000.000	Regional	A3=2	B3=2	C3=4	D3=6	E3=8	F3=9
Insignificante	Efectos pueden ser controlados	Lesiones	Entre \$500.000 - \$3.000.000	Local	A4=1	B4=1	C4=2	D4=3	E4=4	F4=5
Ninguno	No afecta al medio ambiente	Ninguna	Entre \$0 - \$500.000	Ninguno	A5=1	B5=1	C5=2	D5=3	E5=4	F5=5

Fuente: Matriz elaborada por el equipo interdisciplinario (ver figura 26).

Tabla 3. Análisis FMEA y definición de tareas para máquinas fabricantes de hielo polares P-180.

Elemento	Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos (que sucede cuando falla)	FALLA OCULTA	R. Ambiental	R. Humano	R. Económico	R. Imagen	Valor del riesgo económico	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA	RECURSOS	Cod. Tarea
1	A1	Bombear agua a un flujo determinado desde el recipiente acumulador de agua hasta la parte superior de los evaporadores	A1.1	No recircula agua	A1.1.1	Conexión eléctrica suelta o en mal estado	No llega agua a los evaporadores ocasionando la no fabricación de hielo y generando un sobrecalentamiento en el ciclo de defrost. Pérdida aproximada \$ 200.000	N	B5	B5	B5	B4	\$ 200.000	Monitoreo de condición	Verificación del estado de los conductores y de las conexiones eléctricas	4 meses	2 electricistas	T1
					A1.1.2	Impulsor de la bomba obstruido	La bomba trabaja en vacío produciendo sobrecarga y en el caso más crítico producirse la pérdida total de la bomba. Pérdida aproximada \$ 350.000	N	B5	B5	B5	B4	\$ 350.000	Mantenimiento preventivo de limpieza	Realizar tareas de limpieza del impulsor de la bomba	4 meses	2 mecánicos	T2
			A1.2	Flujo de agua escaso	A1.2.1	motor de la bomba defectuoso	No llega el caudal de agua deseado al evaporador produciendo hielo de espesor menor al deseado. Pérdida aproximada \$ 350.000	SI	B5	B5	B5	B4	\$ 350.000	Cambio cíclico	Se debe realizar cambio completo de la bomba	4 años	1 mecánico + 1 electricista	T3
					A1.2.2	Impulsor de la bomba desgastado	No llega el caudal de agua deseado al evaporador produciendo hielo de espesor menor al deseado. Pérdida aproximada \$ 350.000	SI	B5	B5	B5	B4	\$ 350.000	Reacondicionamiento cíclico	Cambiar el impulsor de la bomba	2 años	2 mecánicos	T4
2	A2	Distribuir el agua a lo largo de los evaporadores	A2.1	Poco flujo de agua en el evaporador	A2.1.1	Agujeros tapados con partículas	No llega el caudal de agua deseado al evaporador produciendo hielo de espesor menor al deseado. Pérdida aproximada \$ 150.000	SI	C5	C5	C5	C4	\$ 150.000	Mantenimiento preventivo de limpieza	Realizar tareas de limpieza de las flautas	5 meses	2 mecánicos	T5
					A2.1.2	corrimento del tubo por vibraciones	No llega el caudal de agua deseado al evaporador produciendo hielo de espesor menor al deseado. Pérdida aproximada \$ 150.000	SI	D5	D5	D5	D4	\$ 150.000	Rediseño	Cambiar los soportes de las flautas de tal manera que estas queden bien sujetas	Inmediatamente	2 mecánicos	T6
3	A3	Enfriar el refrigerante y condensarlo disipando calor al ambiente	A3.1	Presión alta (temperatura de condensación demasiado alta)	A3.1.1	Condensador sucio	No hay transferencia de calor por consiguiente se sube la presión y temperatura del refrigerante ocasionando la no condensación del refrigerante y en el caso de que el modo de falla persista se produce calentamiento en las bobinas eléctricas del compresor causando el daño del mismo. Pérdida aproximada \$ 7.000.000	SI	E4	E5	E2	E4	\$ 7.000.000	Monitoreo de condición y mantenimiento preventivo de limpieza	Se debe verificar el estado del condensador y las presiones del compresor ya que estas no deben superar 35 PSI por baja y 250 por alta. En caso tal que el condensador se encuentre sucio se debe limpiar con agua a presión.	mensual	2 mecánicos	T7

					A3.1.2	Aletas del condensador dobladas	Deficiencia en la transferencia de calor por consiguiente se sube la presión y temperatura del refrigerante ocasionando la no condensación total del refrigerante por consiguiente deficiencia en la producción de hielo y en el peor de los casos causar el daño del compresor. Perdida aproximada \$ 7.000.000	N O	C4	C5	C2	D4	\$ 7.000.000	Monitoreo de condición	Se debe verificar el estado del condensador y cepillar periódicamente	2 meses	2 mecánicos	T8
4	A4	Evaporar el refrigerante absorbiendo calor del agua y de esta manera transformarla en hielo	A4.1	La máquina no produce hielo	A4.1.1	Evaporador desprendido del plato	Soldadura de unión del evaporador con el plato despedida ocasionando la no congelación del agua y el desprendimiento de soldadura en el recipiente acumulador de agua. Perdida aproximada \$ 3.500.000	N O	C5	C3	C3	C4	\$ 3.500.000	Monitoreo de condición	Verificar el estado de la soldadura y corregir en caso sea necesario	15 días	2 mecánicos	T9
					A4.1.2	Evaporador con fuga de refrigerante	Liberación de refrigerante al medio ambiente ocasionando daños a la capa de ozono contribuyendo al calentamiento global adicional a esto ocasiona la no congelación del agua. Perdida aproximada \$ 600.000	SI	E2	E5	E4	E4	\$ 600.000	Rediseño-Monitoreo de condición	Se deben instalar manómetros en el sistema de alta y baja presión y registrar y verificar las presiones de operación de la máquina en el check list. En caso tal las presiones estén por debajo de los límites permitidos comunicar al personal de mantenimiento	Inmediatamente se deben instalar los manómetros en la línea de succión y descarga del sistema de refrigeración y las presiones se deben verificar diariamente	operador	T10
					A4.2.1	Plato del evaporador sucio	Contaminación del sistema de agua pudiendo ocasionar intoxicación para las personas que consuman el hielo. Perdida aproximada \$ 400.000	SI	E5	E3	E5	E4	\$ 400.000	Mantenimiento preventivo de limpieza	Se debe limpiar el plato del evaporador periódicamente	15 días	operador	T11
5	A5	Regular la tasa de flujo de refrigerante líquido que entra al evaporador en la proporción exacta a la velocidad de evaporación del refrigerante	A5.1	La válvula permite exceso de entrada de refrigerante al evaporador	A5.1.1	Bulbo fuera de posición (la posición adecuada es a la salida del evaporador)	Aumento en las presiones de operación del sistema de refrigeración aumentando la corriente del compresor causando aumento de temperatura de operación del compresor. La máquina no produce hielo y por consiguiente en el ciclo de defrost la máquina se desconecta por exceso de gas caliente. Perdida aproximada \$150.000	N O	E5	E5	E4	E4	\$ 150.000	Monitoreo de condición	Se debe verificar la posición y las condiciones de limpieza del bulbo y si es necesario limpiar y ubicar el bulbo en la posición correcta (tubo de salida del evaporador)	mensual	2 mecánicos	T12
					A5.1.2	Bulbo defectuoso	Aumento en las presiones de operación del sistema de refrigeración aumentando la corriente del compresor causando aumento de temperatura de operación del compresor. La máquina no produce hielo y por consiguiente en el ciclo de defrost la máquina se desconecta por exceso de gas caliente. Perdida aproximada \$1.500.000	N O	D5	D5	D3	D4	\$ 1.500.000	Cambio ciclico	Se debe realizar cambio completa de la válvula de expansión termostática	2 años	2 mecánicos	T13

			A5.1.3	Elemento regulador de la válvula defectuoso	Aumento en las presiones de operación del sistema de refrigeración aumentando la corriente del compresor causando aumento de temperatura de operación del compresor. La máquina no produce hielo y por consiguiente en el ciclo de defrost la máquina se desconecta por exceso de gas caliente. Perdida aproximada \$1.500.000	N O	D5	D5	D3	D4	\$ 1.500.000	Cambio ciclico	Se debe realizar cambio completa de la válvula de expansión termostática	2 años	2 mecanicos	T13	
		A5.2	La válvula no permite el paso de refrigerante al evaporador	A5.2.1	Suciedad en el sistema	Disminución en el valor de las presiones de operación del sistema de refrigeración. La máquina no produce hielo y por consiguiente en el ciclo de defrost la máquina se desconecta por exceso de gas caliente. Perdida aproximada \$ 1.000.000	N O	C5	C5	C3	C4	\$ 1.000.000	Mantenimiento preventivo de limpieza y cambio ciclico de filtro secador	Se debe realizar una tarea de limpieza del sistema de refrigeración, limpieza de la válvula de expansión y realizar el cambio del filtro secador	anual	2 mecanicos	T14
				A5.2.2	Válvula defectuosa (diafragma de la válvula dañada)	Disminución en el valor de las presiones de operación del sistema de refrigeración. La máquina no produce hielo y por consiguiente en el ciclo de defrost la máquina se desconecta por exceso de gas caliente. Perdida aproximada \$ 1.500.000	N O	D5	D5	D3	D4	\$ 1.500.000	Cambio ciclico	Se debe realizar cambio completa de la válvula de expansión termostática	2 años	2 mecanicos	T 13
		A5.3	la válvula envía poco refrigerante al evaporador	A5.3.1	Suciedad en el sistema	Disminución en el valor de las presiones de operación del sistema de refrigeración. La máquina no produce hielo y por consiguiente en el ciclo de defrost la máquina se desconecta por exceso de gas caliente. Perdida aproximada \$ 1.000.000	N O	C5	C5	C3	C4	\$ 1.000.000	Mantenimiento preventivo de limpieza y cambio ciclico de filtro secador	Se debe realizar una tarea de limpieza del sistema de refrigeración, limpieza de la válvula de expansión y realizar el cambio del filtro secador	anual	2 mecanicos	T14
				A5.3.2	Válvula defectuosa	Disminución en el valor de las presiones de operación del sistema de refrigeración. La máquina no produce hielo y por consiguiente en el ciclo de defrost la máquina se desconecta por exceso de gas caliente. Perdida aproximada \$ 1.500.000	N O	D5	D5	D3	D4	\$ 1.500.000	Cambio ciclico	Se debe realizar cambio completa de la válvula de expansión termostática	2 años	2 mecanicos	T 13

					A5.3.3	Bulbo fuera de posición (salida del evaporador)	Disminución en el valor de las presiones de operación del sistema de refrigeración. La máquina no produce hielo y por consiguiente en el ciclo de defrost la máquina se desconecta por exceso de gas caliente. Perdida aproximada \$ 150.000	N O	E5	E5	E4	E4	\$ 150.000	Monitoreo de condición	Se debe verificar la posición y las condiciones de limpieza del bulbo y si es necesario limpiar y ubicar el bulbo en la posición correcta (tubo de salida del evaporador)	mensual	2 mecanicos	T12
	A6	Mantener los rangos de presión de succión y descarga del sistema de refrigeración	A6.1	Presiones del sistema de refrigeración fuera de rango de operación (Succión: 25-35 psi; Descarga: 200-280 psi)	A6.1.1	Suciedad en el sistema	Presiones del sistema de refrigeración por fuera de los rangos. La máquina no produce hielo y por consiguiente en el ciclo de defrost la máquina se desconecta por exceso de gas caliente. Perdida aproximada \$ 1.000.000	N O	C5	C5	C3	C4	\$ 1.000.000	Mantenimiento preventivo de limpieza y cambio ciclico de filtro secador	Se debe realizar una tarea de limpieza del sistema de refrigeración, limpieza de la válvula de expansión y realizar el cambio del filtro secador	anual	2 mecanicos	T14
					A6.1.2	Válvula defectuosa	Presiones del sistema de refrigeración por fuera de los rangos. La máquina no produce hielo y por consiguiente en el ciclo de defrost la máquina se desconecta por exceso de gas caliente. Perdida aproximada \$ 1.500.000	N O	D5	D5	D3	D4	\$ 1.500.000	Cambio ciclico	Se debe realizar cambio completa de la válvula de expansión termostática	2 años	2 mecanicos	T 13
					A6.1.3	Bulbo fuera de posición (salida del evaporador)	Presiones del sistema de refrigeración por fuera de los rangos. La máquina no produce hielo y por consiguiente en el ciclo de defrost la máquina se desconecta por exceso de gas caliente. Perdida aproximada \$ 150.000	N O	E5	E5	E4	E4	\$ 150.000	Monitoreo de condición	Se debe verificar la posición y las condiciones de limpieza del bulbo en caso sea necesario se debe limpiar y ubicar el bulbo en la posición correcta (tubo de salida del evaporador)	mensual	2 mecanicos	T12
6	A7	Bompear el refrigerante a través del sistema de refrigeración	A7.1	Compresor arranca pero no bombea	A7.1.1	Falta de hermeticidad en las válvulas del compresor	Las presiones en baja y alta son aproximadamente iguales, no hay producción de hielo, se debe reemplazar el compresor, esto implica realizar trabajos de soldadura oxiacetilénica, realizar vacío al sistema de refrigeración por aproximadamente 3 horas, realizar la carga de refrigerante, probar fugas de refrigerante y poner en marcha el equipo. Perdida aproximada \$ 4.000.000	N O	C2	C5	C2	C4	\$ 7.000.000	Monitoreo de condición	Se debe realizar un monitoreo de vibraciones mecánicas.	Mensual	2 mecanicos	T15

			A7.2	Compresor no arranca (dispositivo de protección contra cortocircuito disparado)	A7.2.1	Devanados del compresor en cortocircuito	La máquina no funciona, se debe reemplazar el compresor, esto implica realizar trabajos de soldadura oxiacetilénica, limpieza del sistema de refrigeración, cambio de filtro secador, limpieza de las dos válvulas de expansión termostática, realizar vacío al sistema de refrigeración aproximadamente 3 horas, realizar la carga de refrigerante, probar fugas de refrigerante y poner en marcha el equipo. Pérdida aproximada \$ 5.000.000	N O	C2	C5	C2	C4	\$ 7.000.000	Monitoreo de condición	Se debe realizar la medida de resistencia de aislamiento de las bobinas del compresor periódicamente.	3 meses	1 electricista	T16
			A.7.3	Compresor no arranca	A.7.3.1	Devanados del compresor abiertos	La máquina no funciona, se debe reemplazar el compresor, esto implica realizar trabajos de soldadura oxiacetilénica, limpieza del sistema de refrigeración, cambio de filtro secador, limpieza de las dos válvulas de expansión termostática, realizar vacío al sistema de refrigeración aproximadamente 3 horas, realizar la carga de refrigerante, probar fugas de refrigerante y poner en marcha el equipo. Pérdida aproximada \$ 5.000.000	N O	C2	C5	C2	C4	\$ 7.000.000	Monitoreo de condición	Se debe realizar la medida de resistencia de aislamiento de las bobinas del compresor periódicamente.	3 meses	1 electricista	T16
					A.7.3.2	Rotor bloqueado	La máquina no funciona, se debe reemplazar el compresor, esto implica realizar trabajos de soldadura oxiacetilénica, limpieza del sistema de refrigeración, cambio de filtro secador, limpieza de las dos válvulas de expansión termostática, realizar vacío al sistema de refrigeración aproximadamente 3 horas, realizar la carga de refrigerante, probar fugas de refrigerante y poner en marcha el equipo. Pérdida aproximada \$ 5.000.000	N O	C	C5	C2	C4	\$ 7.000.000	Monitoreo de condición	Se debe verificar el nivel de aceite del compresor	15 días	1 mecánico	T17
7	A8	Retener el flujo de refrigerante proveniente de la descarga del compresor a los evaporadores cuando la máquina se encuentra en el ciclo de congelación	A8.1	No retiene el flujo de refrigerante (gas caliente) a los evaporadores cuando la máquina está en ciclo de congelación	A8.1.1	Sello mecánico defectuoso	La producción de hielo es deficiente y el hielo que se produce tiene dimensiones por debajo de la estandarizada, las presiones del sistema de refrigeración se suben por encima de las presiones normales de operación. Pérdida aproximada \$ 200.000	N O	C5	C5	C5	C4	\$ 200.000	Correr a falla	Cambiar válvula solenoide por correctivo	Por condición	2 mecánicos	T18
	A9	Dejar pasar el flujo de refrigerante proveniente de la descarga del compresor a los evaporadores cuando la máquina se encuentra en el ciclo de defrost	A9.1	No envía gas caliente a los evaporadores cuando la máquina se encuentra en el ciclo de defrost	A9.1.1	Bobina de la válvula quemada	La máquina no suelta el hielo que se produce en los evaporadores por consiguiente la máquina se apaga debido a que el dispositivo de protección contra sobrecalentamiento desenergiza la máquina. Pérdida aproximada \$ 200.000	N O	C5	C5	C5	C4	\$ 200.000	Correr a falla	Cambiar válvula solenoide por correctivo	Por condición	2 mecánicos	T18

					A9.1.2	Embolo de la válvula atascado	La máquina no suelta el hielo que se produce en los evaporadores por consiguiente la máquina se apaga debido a que el dispositivo de protección contra sobrecalentamiento desenergiza la máquina. Perdida aproximada \$ 200.000	N	O	C5	C5	C5	C4	\$ 200.000	Correr a falla	Cambiar válvula solenoide por correctivo	Por condición	2 mecánicos	T18
8	A10	Contener el hielo que fabrica la máquina en unas condiciones higiénicas	A10.1	Contiene el hielo en condiciones no higiénicas	A10.1.1	Recipiente sucio	El hielo se contamina con suciedad pudiendo causar daños a la salud. Si esto sucede se debe votar el hielo producido hasta el momento y limpiar el recipiente. Perdida aproximada: \$ 3.000.000	N	O	D5	D3	D3	D4	\$ 3.000.000	Mantenimiento preventivo de limpieza	Se debe realizar la limpieza del recipiente	mensual	2 mecánicos	T19
	A11	Mantener el hielo que genera la máquina seco por medio del sistema de drenaje	A11.1	Contenido de agua en el recipiente	A11.1.1	Drenaje tapado con suciedad	El hielo empieza a convertirse en agua. Si esto sucede se debe reubicar el hielo producido hasta el momento y limpiar el drenaje. Perdida aproximada: \$ 500.000	N	O	D5	D5	D4	D4	\$ 500.000	Mantenimiento preventivo de limpieza	Se debe realizar la limpieza del drenaje	mensual	2 mecánicos	T20
9	A12	Mantener seco el refrigerante absorbiendo los contaminantes líquidos disueltos como humedad y ácidos	A12.1	No mantiene el refrigerante libre de humedad	A12.1.1	Filtro saturado de humedad	El refrigerante se contamina con humedad entrando al compresor en estas condiciones ocasionando el daño del mismo. Perdida aproximada \$ 5.000.000	S	I	C5	C5	C3	C4	\$ 7.000.000	Mantenimiento preventivo de limpieza y cambio cíclico de filtro secador	Se debe realizar una tarea de limpieza del sistema de refrigeración, limpieza de la válvula de expansión y realizar el cambio del filtro secador	anual	2 mecánicos	T14
	A13	Filtrar las partículas sólidas presentes en el sistema de refrigeración	A13.1	Perdida de la capacidad filtrante no dejando pasar el refrigerante	A13.1.1	Filtro obstruido	El refrigerante se detiene no entrando a la válvula de expansión. La presión por baja disminuye ocasionando el bombeo del aceite del compresor quemando el mismo. Perdida aproximada \$ 5.000.000	S	I	C5	C5	C3	C4	\$ 7.000.000	Mantenimiento preventivo de limpieza y cambio cíclico de filtro secador	Se debe realizar una tarea de limpieza del sistema de refrigeración, limpieza de la válvula de expansión y realizar el cambio del filtro secador	anual	2 mecánicos	T14
10	A14	Transformar energía eléctrica en energía mecánica a una velocidad determinada	A14.1	Motor no gira	A14.1.1	Cortocircuito en los devanados	El motor no enfría el condensador aumentando las presiones del compresor, no se produce hielo y la máquina se apaga por protección contra sobrecalentamiento. Perdida aproximada \$ 500.00	N	O	C5	C5	C4	C4	\$ 500.000	Correr a falla	Cambiar motor eléctrico por correctivo	Por condición	1 mecánico + 1 electricista	T21
					A14.1.2	Bujes defectuosos	El motor no enfría el condensador aumentando las presiones del compresor, no se produce hielo y la máquina se apaga por protección contra sobrecalentamiento. Perdida aproximada \$ 500.00	N	O	C5	C5	C4	C4	\$ 500.000	Correr a falla	Cambiar motor eléctrico por correctivo	Por condición	1 mecánico + 1 electricista	T21
					A14.2	Motor produce ruido intenso	A14.2.1	Bujes defectuosos	Se produce ruido intenso produciendo malestar al operador. Perdida aproximada \$ 500.000	N	O	C5	C4	C4	C4	\$ 500.000	Correr a falla	Cambiar motor eléctrico por correctivo	Por condición
11	A15	Establecer el paso de corriente en caso tal la bobina es energizada	A15.1	No se establece el paso de corriente cuando la	A15.1.1	Bobina del contactor quemada	La máquina no funciona ya que los diferente componentes quedan desenergizados. Perdida aproximada \$ 300.000	N	O	C5	C5	C5	C4	\$ 300.000	Correr a falla	Cambiar el contactor por correctivo	Por condición	2 electricistas	T22

				bobina se energiza	A15.1.2	Contactos del contactor quemados	La máquina no funciona ya que los diferente componentes quedan desenergizados. Perdida aproximada \$ 300.000	N	O	C5	C5	C5	C4	\$ 300.000	Correr a falla	Cambiar el contactor por correctivo	Por condición	2 electricistas	T22
			A15.2	Se establece el paso de corriente pero con voltajes de entrada diferente al voltaje de salida	A15.2.1	Contactos del contactor quemados	El voltaje de operación de la máquina esta fuera de los rangos normales de operación o fases con cero voltios ocasionando el daño de los componentes eléctricos. Perdida aproximada: depende del componente eléctrico dañado	SI		C5	C5	C2	C4	*****	Mantenimiento preventivo de limpieza monitoreo de condicion	Se debe limpiar los contactos del contactor y verificar la continuidad eléctrica	mensual	2 electricistas	T23
	A16	Interrumpir el paso de corriente cuando la bobina es desenergizada	A16.1	No se interrumpe el paso de corriente al desenergizar la bobina	A16.1.1	Contactos pegados	La máquina no apaga. Perdida aproximada \$ 300.000	N	O	C5	C5	C5	C4	\$ 300.000	Correr a falla	Cambiar el contactor por correctivo	Por condición	2 electricistas	T22
12	A17	Desenergizar la bobina del contactor cuando el tiempo de defrost sobrepasa el tiempo estipulado en el relé temporizador y de esta manera proteger el compresor contra sobrecalentamiento o por exceso de gas caliente	A17.1	El rele no apaga la máquina cuando el tiempo de defrost sobrepasa el tiempo estipulado en el rele	A17.1.1	Contacto del relé pegado	La máquina no se apaga cuando se genera un exceso de calentamiento por un tiempo largo en el ciclo de defrost por consiguiente hay un calentamiento excesivo en el compresor ocasionando el daño en los devanados del compresor. Perdida aproximada \$ 5.000.000	SI		D4	D5	D3	D4	\$ 7.000.000	Cambio ciclico	Se debe cambiar el relé temporizador	anual	2 electricistas	T24
13	A18	Permitir el paso de corriente ante una condición lógica de entrada	A18.1	No opera	A18.1.1	Bobina quemada	El componente eléctrico que alimente o controle el relé no funcionara. Perdida aproximada \$ 70.000	N	O	C5	C5	C5	C4	\$ 70.000	Correr a falla	Cambiar el relé defectuosos por correctivo	Por condición	2 electricistas	T25
					A18.1.2	Contactos aislados	El componente eléctrico que alimente o controle el relé no funcionara. Perdida aproximada \$ 70.000	N	O	C5	C5	C5	C4	\$ 70.000	Correr a falla	Cambiar el relé defectuosos por correctivo	Por condición	2 electricistas	T25
14	A19	Cambiar las conexiones eléctricas de un circuito pasado un tiempo determinado	A19.1	No opera	A19.1.1	Bobina quemada	El componente eléctrico que alimente o controle el temporizador no funcionara. Perdida aproximada \$ 100.000	N	O	C5	C5	C5	C4	\$ 100.000	Correr a falla	Cambiar el temporizador defectuosos por correctivo	Por condición	2 electricistas	T26
					A19.1.2	Contactos aislados	El componente eléctrico que alimente o controle el temporizador no funcionara. Perdida aproximada \$ 100.000	N	O	C5	C5	C5	C4	\$ 100.000	Correr a falla	Cambiar el temporizador defectuosos por correctivo	Por condición	2 electricistas	T26
15	A20	Censar la caída del hielo por acción del desplazamiento de las cortinas y así determinar la terminación del ciclo de deshielo para comenzar el ciclo de congelación	A20.1	No manda la señal eléctrica a los relés de terminación del ciclo de deshielo cuando se acciona por la acción del desplazamiento de las cortinas	A20.1.1	Contactos aislados	La protección del relé temporizador contra sobrecalentamiento apagara la máquina ya que no hay una señal que de por terminado el ciclo de defrost. Perdida aproximada \$ 80.000	N	O	C5	C5	C5	C4	\$ 80.000	Correr a falla	Cambiar el final de carrera defectuoso por correctivo	Por condición	2 electricistas	T27
					A20.1.2	Palancas fuera de posición	La protección del relé temporizador contra sobrecalentamiento apagara la máquina ya que no hay una señal que de por terminado el ciclo de defrost. Perdida aproximada \$ 80.000	N	O	C5	C5	C5	C4	\$ 80.000	Mantenimiento preventivo	Se debe corregir la posición de las palancas periódicamente y verificar que este accione correctamente los contactos	mensual	2 electricistas	T28

16	A21	Des energizar la máquina es caso tal que el dispositivo detecte el voltaje por encima o por debajo de los niveles establecidos o cuando se detecta una inversión en las fases	A21.1	No se des energiza la máquina cuando el voltaje no está dentro de los niveles establecidos o cuando una fase se invierte	A21.1.1	Circuito electrónico interno del breakermatic quemado	La máquina queda desprotegida eléctricamente la cual puede llevar a daños de los componentes eléctricos. Pérdida aproximada: depende del componente eléctrico dañado	N	O	D5	D5	D3	D2	*****	Monitoreo de condición	Se debe verificar el funcionamiento o del breakermatic en un banco de pruebas eléctricas	15 días	2 electricistas	T29
					A21.1.2	Contacto de control pegado	La máquina queda desprotegida eléctricamente la cual puede llevar a daños de los componentes eléctricos. Pérdida aproximada: depende del componente eléctrico dañado	N	O	D5	D5	D3	D2	*****	Monitoreo de condición	Se debe verificar el funcionamiento o del breakermatic en un banco de pruebas eléctricas	15 días	2 electricistas	T29
17	A22	Filtrar el agua de partículas solidas	A22.1	No filtra los partículas solidas del agua	A22.1.1	Filtro saturado de partículas solidas	Hay una caída de presión del agua y el tanque filtrante deja pasar agua con sedimentos pudiendo ocasionar que la máquina produzca hielo contaminado. Pérdida aproximada \$ 1.000.000	SI		E5	E3	D4	E4	\$ 1.000.000	Mantenimiento preventivo	Se debe realizar retro lavado al tanque filtrante de agua periódicamente	Mensual	2 mecánicos	T30
	A23	Contener el agua	A23.1	Fuga de agua	A23.1.1	Tanque filtrante con fisura	Se produce una pérdida de contención del líquido y del material filtrante. Pérdida aproximada \$ 1.500 000	N	O	B4	B5	B4	B4	\$ 1.500 000	Cambio ciclico	Se debe realizar cambio completa del tanque y elemento filtrante	18 meses	2 mecánicos	T31
					A23.1.2	Sello de la tapa en mal estado	Se produce una pérdida de contención del líquido y del material filtrante. Pérdida aproximada \$ 1.500 000	N	O	B4	B5	B4	B4	\$ 1.500 000	Cambio ciclico	Se debe Se debe realizar cambio completa del tanque y elemento filtrante	18 meses	2 mecánicos	T31
18	A24	Filtrar el agua de cloro y compuestos orgánicos	A24.1	No filtra los compuestos orgánicos del agua	A24.1.1	Filtro saturado de compuestos orgánicos	Hay una caída de presión del agua y el tanque filtrante deja pasar agua con compuestos orgánicos pudiendo ocasionar que la máquina produzca hielo contaminado. Pérdida aproximada \$ 1.000.000	SI		E5	E3	D4	E4	\$ 1.000 000	Mantenimiento preventivo	Se debe realizar retro lavado al tanque filtrante de agua periódicamente	mensual	2 mecánicos	T32
	A25	Contener el agua	A25.1	Fuga de agua	A25.1.1	Tanque filtrante con fisura	Se produce una pérdida de contención del líquido y del material filtrante. Pérdida aproximada \$ 1.500 000	N	O	B4	B5	B4	B4	\$ 1.500 000	Cambio ciclico	Se debe realizar cambio completa del tanque y elemento filtrante	18 meses	2 mecánicos	T33
					A25.1.2	Sello de la tapa en mal estado	Se produce una pérdida de contención del líquido y del material filtrante. Pérdida aproximada \$ 1.500 000	N	O	B4	B5	B4	B4	\$ 1.500 000	Cambio ciclico	Se debe realizar cambio completa del tanque y elemento filtrante	18 meses	2 mecánicos	T33

19	A26	Filtrar agua de partículas de suspensión	A26.1	No filtra las partículas del agua	A26.1.1	Filtro saturado de partículas solidas	Hay una caída de presión del agua y el filtro deja pasar agua con sedimentos pudiendo ocasionar que la máquina produzca hielo contaminado. Perdida aproximada \$ 300.000	SI	E5	E3	D4	E4	\$ 300.000	Mantenimiento preventivo	Se debe realizar el lavado del filtro de agua periódicamente	mensual	2 mecánicos	T34
	A27	Contener el agua	A27.1	Fuga de agua	A27.1.1	Recipiente en mal estado	Se produce una pérdida de contención del líquido y del material filtrante. Perdida aproximada \$ 800 000	NO	B4	B5	B4	B4	\$ 800 000	Cambio cíclico	Se debe realizar cambio completa del filtro	12 meses	2 mecánicos	T35
					A27.1.2	Sello de la tapa en mal estado	Se produce una pérdida de contención del líquido y del material filtrante. Perdida aproximada \$ 800 000	NO	B4	B5	B4	B4	\$ 800 000	Cambio cíclico	Se debe realizar cambio completa del filtro	12 meses	2 mecánicos	T35
20	A28	Filtrar el agua de cloro, reducción de pesticidas, insecticidas y otros compuestos orgánicas.	A28.1	No filtra los compuestos orgánicos del agua	A28.1.1	Filtro saturado de compuestos orgánicos	Hay una caída de presión del agua y el filtro deja pasar agua con compuestos orgánicos pudiendo ocasionar que la máquina produzca hielo contaminado. Perdida aproximada \$ 300.000	SI	E5	E3	D4	E4	\$ 300.000	Mantenimiento preventivo	Se debe realizar el lavado del filtro de agua periódicamente	mensual	2 mecánicos	T36
	A29	Contener el agua	A29.1	Fuga de agua	A29.1.1	Recipiente en mal estado	Se produce una pérdida de contención del líquido y del material filtrante. Perdida aproximada \$ 800 000	NO	B4	B5	B4	B4	\$ 800 000	Cambio cíclico	Se debe realizar cambio completa del filtro	12 meses	2 mecánicos	T37
					A29.1.2	Sello de la tapa en mal estado	Se produce una pérdida de contención del líquido y del material filtrante. Perdida aproximada \$ 800 000	NO	B4	B5	B4	B4	\$ 800 000	Cambio cíclico	Se debe realizar cambio completa del filtro	12 meses	2 mecánicos	T37

Fuente: Autores

### 3.5 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES POR CRITICIDAD.

Para la valoración de criticidad de los componentes de la máquina se parte de la puntuación otorgada en la matriz de evaluación de riesgo, donde se concedió una calificación de riesgo en función de las consecuencia y probabilidad de ocurrencia, para cada una de las fallas funcionales de los componentes de la máquina en los diferentes entornos de riesgo (Ambiental, humano, impacto económico e imagen). Dado lo anterior se estableció la tabla de criticidad de componentes de la máquina.

Tabla 4. Criticidad de componentes.

ELEMENTO	COMPONENTE	CRITICIDAD
5	VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA	153
6	COMPRESOR	64
4	EVAPORADOR	56
3	CONDENSADOR	42
30	BREAKERMATIC	42
11	CONTACTOR	36
8	BIN O RECIPIENTE	30
7	VÁLVULA SOLENOIDE	24
10	MOTOR ELÉCTRICO	24
2	FLAUTAS	20
9	FILTRO DESHIDRATADOR	20
17	TANQUE FILTRANTE DE AGUA (GRAVA-ARENA)	19
18	TANQUE FILTRANTE DE AGUA (CARBÓN ACTIVADO)	19
19	FILTRO DE POLIÉSTER	19
20	FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO	19
12	RELÉ TEMPORIZADOR	17
13	RELÉS	16
14	TEMPORIZADORES	16

15	FINALES DE CARRERA	16
1	BOMBA ELÉCTRICA	16

Fuente: Autores.

Figura 28. Gráfico de criticidad de componentes de la máquina.



Fuente: Autores.

En la grafica se puede evidenciar que el principal componente de la máquina fabricadora de hielo es la válvula de expansión la cual presenta la mayor cantidad de modos de falla con efectos de falla más significativos, en segundo lugar tenemos el compresor, evaporador condensador y breakermatic por esta razón a estos componentes se deben realizar mayores esfuerzos en las tareas de mantenimiento.

### 3.6 PLAN DE MANTENIMIENTO

Después de haber evaluado todos los modos de falla y efectos de falla de los componentes de la máquina se procede a consolidar el plan de mantenimiento con las tareas propuestas, siguiendo el árbol lógico de decisiones de RCM, de acuerdo a lo anterior se presenta las tareas a realizar, las frecuencias y los recursos necesarios.

Tabla 5. Plan de mantenimiento para máquinas fabricadoras de hielo polares P-180.

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA MÁQUINAS FABRICADORAS DE HIELO POLARES P-180.				
Elaboro: Ing. William Urrego				
Ing. Nasser Saldaña				
Cód. Tarea.	Descripción de la tarea	Frecuencia	Recursos	Costos de la tarea (mano de obra y repuestos)
T1	Verificar el estado de los conductores y de las conexiones eléctricas que conectan la bomba. Medir continuidad y resistencia de aislamiento y se es el caso reemplazar los conductores eléctricos	4 meses	2 electricistas, 1 tester, 1 megger, juego de herramientas básicas	\$ 200.000
T2	Realizar tareas de limpieza del impulsor de la bomba	4 meses	2 mecánicos, juego de herramientas básicas	\$ 300.000
T3	Cambio completo de la bomba	4 años	2 mecánicos, juego de herramientas básicas, bomba eléctrica	\$ 500.000
T4	Cambio del impulsor de la bomba	2 años	2 mecánicos, juego de herramientas básicas, impulsor de la bomba	\$ 150.000
T5	Se debe desmontar las flautas y realizar tareas de limpieza tanto interna como externa	5 meses	2 mecánicos, juego de herramientas básicas, hidrolavadora, químico limpiador.	\$ 150.000

T6	Cambiar los soportes de las flautas	Inmediatamente	2 mecánicos, soportes, juego de herramientas básicas	\$ 270.000
T7	Verificar el estado del condensador y las presiones del compresor ya que estas no deben superar 35 PSI por baja y 250 por alta. En caso tal que el condensador se encuentre sucio se debe limpiar con agua a presión.	mensual	2 mecánicos, hidrolavadora, jabón en polvo, cepillo, juego de herramientas básicas	\$ 50.000
T8	Cepillado del condensador	2 meses	2 mecánicos, cepillo, juego de herramientas básicas	\$ 150.000
T9	Verificar el estado de la soldadura del evaporador y corregir en caso sea necesario	15 días	2 mecánicos	\$ 50.000
T10	Medir las presiones del sistema de refrigeración de la máquina. En caso tal las presiones estén por debajo de los límites permitidos comunicar al personal de mantenimiento	diariamente	operador	_____
T11	Limpieza del plato del evaporador	15 días	operador	\$ 50.000
T12	Verificación de la posición y las condiciones de limpieza del bulbo de la válvula de expansión termostática y si es necesario limpiar y ubicar el bulbo en la posición correcta (tubo de salida del evaporador)	mensual	2 mecánicos, juego de herramientas básicas	\$ 80.000
T13	Cambio completa de la válvula de expansión termostática, realizar vacío al sistema de refrigeración, carga de refrigerante, revisión de fugas y ajuste de presiones.	2 años	2 mecánicos, válvula de expansión danfoss TS2, Bomba de vacío, 30 lb de refrigerante 404A, juego de herramientas básicas	\$ 800.000
T14	Limpieza del sistema de refrigeración, limpieza de la válvula de expansión y cambio del filtro secador, se debe realizar vacío al sistema de refrigeración, carga de refrigerante, revisión de fugas y ajuste de presiones.	anual	2 mecánicos, 10 Lb de gas de limpieza dupont 141b, filtro deshidratador Danfoss Modelo: 023Z5005 tipo DCL 083, Bomba de vacío, 30 lb de refrigerante 404A, juego de herramientas básicas	\$ 500.000
T15	Monitoreo de vibraciones mecánicas en el compresor.	mensual	2 mecánicos, acelerómetro, juego de herramientas básicas	\$ 250.000
T16	Monitores de resistencia de aislamiento de las bobinas del compresor.	3 meses	1 electricista, megger, juego de herramientas	\$ 200.000

			básicas	
T17	Se debe verificar el nivel de aceite del compresor	15 días	1 mecánico	\$ 100.000
T18	Cambiar válvula solenoide por correctivo. Se debe recuperar el refrigerante, realizar vacío al sistema de refrigeración, carga de refrigerante, revisión de fugas y ajuste de presiones	Por correctivo	2 mecánicos, válvula solenoide Emerson R0609, Bomba de vacío, 5 lb de refrigerante 404A, juego de herramientas básicas	\$ 400.000
T19	Limpieza del recipiente o el bin. Se debe reubicar el hielo y proseguir a limpiar el recipiente	mensual	2 mecánicos, hidrolavadora	\$ 50.000
T20	Limpieza del drenaje del recipiente. Se debe reubicar el hielo y proseguir a limpiar el drenaje	mensual	2 mecánicos, hidrolavadora	\$ 50.000
T21	Cambio de motor eléctrico por correctivo	Por correctivo	1 mecánico + 1 electricista, motor eléctrico Emerson Modelo: K055SRE4516862B, terminales eléctricos, juego de herramientas básicas	\$ 650.000
T22	Cambiar el contactor por correctivo	Por correctivo	2 electricistas, contactor de tres polos 40 A, juego de herramientas básicas	\$ 200.000
T23	Limpieza de los contactos del contactor y verificación de la continuidad eléctrica	mensual	2 electricistas, tester, juego de herramientas básicas	\$ 50.000
T24	Cambio del relé temporizador	anual	2 electricistas, tipo on delay 1.5 A, juego de herramientas básicas	\$ 250.000
T25	Cambio de relé por correctivo	Por correctivo	2 electricistas, relé de 14 pines bovina 208/240V 1.5 A, juego de herramientas básicas	\$ 250.000
T26	Cambio de temporizador por correctivo	Por correctivo	2 electricistas, temporizador bovina 208/240V 1.5 A, juego de herramientas básicas	\$ 250.000
T27	Cambio del final de carrera por correctivo	Por correctivo	2 electricistas, final de carrera Suns de 15 A conmutable, juego de herramientas básicas	\$ 250.000
T28	Corrección de la posición de las	mensual	2 electricistas,	\$ 50.000

	palancas del los finales de carrera y verificación de accionamientos de los contactos		tester, juego de herramientas básicas	
T29	Verificación del funcionamiento del breakermatic en un banco de pruebas eléctricas	15 días	2 electricistas, banco de pruebas eléctricas, tester, juego de herramientas básicas	\$ 80.000
T30	Retro lavado al tanque filtrante de agua	Mensual	2 mecánicos	\$ 50.000
T31	Cambio completa del tanque y elemento filtrante	18 meses	2 mecánicos, 1 bulto de arena, 1 bulto de grava	\$ 800.000
T32	Retro lavado al tanque filtrante de agua	Mensual	2 mecánicos	\$ 50.000
T33	Cambio completa del tanque y elemento filtrante	18 meses	2 mecánicos, 1 bulto de carbón activado	\$ 800.000
T34	Lavado del filtro de agua	Mensual	2 mecánicos	\$ 50.000
T35	Cambio completa del filtro	12 meses	2 mecánicos, filtro de 20" poliéster	\$ 350.000
T36	Lavado del filtro de agua	Mensual	2 mecánicos	\$ 50.000
T37	Cambio completa del filtro	12 meses	2 mecánicos, filtro de 20" carbón activado	\$ 350.000

Fuente: Autores.

### 3.7 FORMATO DE INTERVENCIONES

Con el propósito de cumplir con las oportunidades de mejora se debe generar y archivar los informes con el fin de registrar las intervenciones correctivas, preventivas o predictivas, también se debe realizar el informe diario o chek list el cual debe ser diligenciado por el operador de la máquina. Con esta información se debe crear las hojas de vida de las máquinas para así restablecer las frecuencias en las tareas de mantenimiento o tomar decisiones gerenciales.



Tabla 7. Check list.

CLIENTE _____  FECHA _____  NOMBRE OPERADOR _____	
VARIABLES DE FUNCIONAMIENTO  PRESION DE BAJA:  PRESION DE ALTA:  AMPERAJE FASE A:  AMPERAJE FASE B:  AMPERAJE FASE C:  VOLTAJE A-B:  VOLTAJE A-C:  VOLTAJE B-C:	RANGO NORMAL DE OPERACIÓN  25-35 PSI  230-270 PSI  12-20 A  12-20 A  12-10 A  208-230 V  208-230 V  208-230 V  25-35 min  0-6 min
OBSERVACIONES EN CASO TAL LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO NO ESTÉN DENTRO DEL RANGO NORMAL DE OPERACIÓN COMUNICARLE AL PERSONAL DE MANTENIMIENTO ENCARGADO DE LA MÁQUINA	

Fuente: Autores

## 4. CONCLUSIONES

1. Parte fundamental del aseguramiento de la confiabilidad de las máquinas fabricadoras de hielo es el cambio de cultura en la gestión del mantenimiento, el demostrar que cualquier falla en un componente mínimo de la máquina pone en riesgo la operación normal y ocasiona en algunos casos impactos mayores, por esto es necesario hacer de este estudio una herramienta de gestión y soporte para el aseguramiento de la máquina fabricadora de hielo.
2. La metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, da como resultado una serie de tareas a realizar, es decir un plan de mantenimiento ordenado, sin embargo el plan de mantenimiento es necesario revisarlo periódicamente con el fin de mejorar continuamente.
3. En el análisis de criticidad de los componentes de la máquina fabricadora de hielo se encontró que el componente más relevante es la válvula de expansión termostática, el cual presenta la mayor cantidad de fallas funcionales y los efectos de estas fallas son las que más riesgo generan ambientalmente y económicamente.
4. Como resultado del desarrollo de la metodología se presenta en la tabla 4 el consolidado final de las tareas necesarias para eliminar o mitigar las consecuencias de falla en la máquina fabricadora de hielo. Para estas labores se establecieron frecuencias y recursos necesarios.
5. Toda intervención a la máquina por mínima que sea debe ser registrada con el fin de crear la hoja de vida de los equipos esto ayudara a mejorar el plan de mantenimiento ajustando la frecuencia de las tareas, por otro lado el registro y la comunicación del chek list es una herramienta muy buena ya que se puede atacar una falla en el momento oportuno y evitar daños catastróficos.

## BIBLIOGRAFÍA

ALCO CONTROLS. Product Handbook of Specifications Applications and Selection of Refrigerant Flow Controls. St. Louis.

ICE-O-MATIC. Certified Technician Network. Models C-20, 30, 40, 50. Specifications, operations and troubleshooting.

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Asheville, North Carolina: Ed. Aladon, 2004.

SAE JA1012, A guide to the Reliability-centered Maintenance (RCM) Standard. Society of Automotive Engineering, 2002.

SAE JA1011, Evaluation Criteria for Reliability-centered Maintenance (RCM) Processes, Society of Automotive Engineering, 1999.

SCOTSMAN. Service Manual for Modular Cubers. Models CME1202 AND CME1402.

TRICOMI, Ernest. El ABC del Aire Acondicionado. España, Barcelona: Marcombo.

VALYCONTROL. El manual técnico. México.