

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**MEJORA PLAN DE MANTENIMIENTO A EQUIPO DE CLIMATIZACION CHILLER  
TORNILLO 230 T.R. MEDIANTE LA METODOLOGIA RCM**

Trabajo de Titulación para optar al Título de  
Ingeniero en Mantenimiento Industrial

Alumno: Joel Alberto Guzmán Cornejo

Profesor Guía: Mg. Ing. Pablo Andrés Duque  
Ramírez



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción):  Memoria o trabajo de título  
 Tesis de Postgrado

Título del trabajo: MEJORA PLAN DE MANTENIMIENTO A EQUIPO DE CLIMATIZACION CHILLER TORNILLO 230 TR MEDIANTE LA METODOLOGIA RCM

Nombre del candidato(a): JOEL ALBERTO GUZMAN CORNEJO

Carrera / Grado: INGENIERIA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL CON LICENCIATURA EN INGENIERIA

Campus: SAN JOAQUIN Departamento: MECANICA

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, PABLO ANDRES DUQUE RAMIREZ, en calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses  12 meses  2 años  3 años  5 años  10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

### 4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 27-04-26 Firma



Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 27/04/2026 Firma: \_\_\_\_\_

*Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.*

## RESUMEN

KEYWORDS: COSTOS ENERGETICOS, EQUIPOS TERMICOS, PLANES MANTENIMIENTO, METODOLOGIAS.

El objetivo principal del trabajo es la mejora al actual plan de mantenimiento para un equipo de climatización que enfría agua del tipo Chiller Tornillo, perteneciente a un cliente del rubro de la salud. El cual está a cargo del mantenimiento la empresa de servicios Termofrio, quien tiene contrato vigente con este cliente.

Debido a fallas durante periodo 2024 alrededor de 19 ha provocado al cliente costos por un monto de \$ 61.172.468 CLP adicionales por concepto del incremento en el consumo energético, esto por tener que habilitar un segundo equipo de climatización tipo Chiller Centrifugo el cual tiene un mayor consumo eléctrico. Costos que no fueron proyectados en el presupuesto 2024, razón por la cual se solicitó a Termofrio el cambio de la metodología del mantenimiento, garantizando la confiabilidad del equipo.

La herramienta utilizada para tal efecto es la metodología RCM donde se trabajó en base a un FMECA, complementado con: Hoja de Decisiones, Causa – Raíz, Árbol de Falla, Diagrama Ishikawa. Lo indicado para detectar el problema que ocasiona la detención del equipo por un tiempo mayor a lo requerido. Así poder controlar el aumento de los costos a causa de tener que energizar un segundo Chiller del tipo Centrifugo, cuando falla el Chiller Tornillo este equipo del tipo Centrifugo es de mayor capacidad de enfriamiento alrededor de un 42,5% y por lo tanto tiene un mayor consumo eléctrico equivalente a un 55,7% con respecto al equipo del tipo Tornillo.

Con la aplicación de RCM al cliente se demostró que, mediante técnicas diferentes de mantenimiento, permite tener un ahorro por gastos energéticos aproximadamente de un 79% equivalente a 48.453,468 CLP. Lo que impacta de buena manera al departamento de mantenimiento de Clínica Indisa. Recursos que estarán disponibles para el mejoramiento de la infraestructura, capacitación del personal técnico, adquisición de instrumentación, etc.

# INDICE

INTRODUCCIÓN.....	7
OBJETIVO GENERAL.....	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
CAPÍTULO 1: ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL.....	13
1.1.2 ORGANIGRAMA EMPRESA TERMOFRIO.....	15
1.2 CASO DE ESTUDIO.....	16
1.2.2 CONTEXTO OPERACIONAL.....	17
1.2.3 DIAGRAMA FLUJO.....	19
1.2.4 EQUIPOS TERMINALES.....	20
1.2.5 SEGURIDAD Y MEDIÓ AMBIENTE.....	21
1.2.6 TRANSPORTE DEL FLUIDO AGUA.....	22
1.2.7 EQUIPÓ MODO STAND BY.....	23
1.2.8 COSTO ENERGÉTICO.....	23
Costos comparativos entre Chiller Tornillo 177 KW V/S Chiller Centrifugo 400 KW.....	24
1.2.9 MODALIDAD MANTENIMIENTO ACTUAL.....	24
1.2.10 FALLAS EN EL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.....	29
1.2.11 DESCRIPCIÓN COMPONENTES CHILLER TORNILLO.....	30
1.2.12 GESTIÓN DE REPUESTOS CLIENTE.....	31
TABLA FRECUENCIA DE FALLA -TIEMPOS IMPORTACIÓN DE REPUESTOS Y COSTOS PERÍODO 2024.....	34
1.2.13 DETERMINACIÓN DE COMPONENTE CRÍTICO.....	35
1.3 ANÁLISIS DEL MODO, EFECTO Y CRITICIDAD DE LA FALLA.....	41
1.3.2 TAXONOMIA SEGÚN NORMA.....	42
1.3.3 DATOS ESPECÍFICOS DEL EQUIPO.....	43
1.3.4 FUNCIÓN DEL EQUIPO.....	44
De acuerdo a lo revisado, es factible definir:.....	44
Función Secundaria:.....	44
1.3.5 ANÁLISIS DEL PROCESO.....	45
PROCESO ENFRIAMIENTO DE AGUA PARA LA CLIMATIZACIÓN.....	45
1.3.6 FALLA FUNCIONAL.....	46
1.3.7 MODOS DE FALLA.....	46
(1.1.1) Chiller no entrega a 7 ° C el fluido a la salida del evaporador.....	47
(1.2.1) Chiller pierde comunicación de los diferentes componentes.....	47
(1.3.1) Chiller presenta defectos en componentes eléctricos y mecánicos.....	47
(1.4.1) Chiller presenta defectos en componentes de protección y lubricación.....	47
1.3.8 ANÁLISIS DE RIESGO CUANTITATIVO.....	47

1.3.9 EFECTO DEL MODO DE FALLA.....	48
1.3.10 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO.....	48
1.3.11 CUALIFICACIÓN DEL RIESGO.....	48
1.3.12 ANÁLISIS CAUSA RAIZ.....	49
1.3.13 DIAGRAMA ISHIKAWA .....	49
DIAGRAMA ANÁLISIS CAUSA RAIZ.....	50
DIAGRAMA ISHIKAWUA.....	51
ACR – ÁRBOL DE FALLA.....	52
ANALISIS 5 POR QUE .....	53
TABLA FMECA.....	54
GRÁFICO COSTOS POR RIESGOS CUANTITATIVOS ANUAL.....	56
HOJA DE DECISIONES .....	57
1.3.14 PROPUESTA PLAN DE MANTENIMIENTO PARA CHILLER TORNILLO .....	58
PANTILLA NUEVA DE MANTENIMIENTO .....	60
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONOMÍA.....	64
1.4 ANALISIS DE FALLA.....	65
1.4.2 Diagrama de Ishikawa .....	65
Descripción del problema:.....	65
1-4-2 METODOLOGÍA ÁRBOL DE FALLOS .....	66
1.4.3 MARCO DE REFERENCIA ASOCIADO A LAS HIPÓTESIS.....	67
1.4.5 EXPLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	72
1.4.6 RAZONAMIENTO ASOCIADO A LAS HIPÓTESIS.....	75
1.4.7 ARGUMENTO DEL ANÁLISIS DE LA FALLA .....	76
1.4.8 PLAN DE ACCIÓN.....	77
1.4.9 EVALUACIÓN TÉCNICA COMERCIAL.....	78
TABLA COMPARACIÓN .....	79
CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES .....	82
BIBLIOGRAFIA.....	83
1.4.10 ANEXOS.....	84

## INTRODUCCIÓN

Las empresas ligadas al rubro de la climatización, están enfrentándose a una gran cantidad de número y variedad de activos que deben ser mantenidos, a esto se debe sumar el avance tecnológico con diseños cada vez más complejos, los que exigen de nuevas técnicas de mantenimiento. Es por esto que Clínica Indisa empresa ligada al rubro de la salud, contrata a la empresa Termofrio para que esta se haga cargo del mantenimiento de todos los equipos de climatización existentes en la instalación. Con el fin de conservar de buena manera sus activos y que estos cumplan su función cuando sea requerido, es así como llegamos a la central térmica donde se encuentran las máquinas principales, puntualmente los equipos Chiller los que son fundamentales para la producción de agua fría siendo catalogados críticos por su impacto en la instalación y por los costos energéticos que tienen para el cliente.

El propósito del equipo de climatización Chiller, es enfriar un fluido (agua) el cual ingresará a 12 ° C para salir a 7 ° C, con una presión en el evaporador de 3 +/-1 [bar]. Este proceso se realizará mediante un ciclo de refrigeración, donde se utiliza un refrigerante en este caso será el 134 a (HFC) tipo ecológico el cual no daña la capa de ozono de acuerdo al “Tratado Montreal 16 Septiembre 1987”. Para cumplir el proceso de enfriamiento el Chiller cuenta cuatro componentes indicados en el diagrama 1-1 estos son: (a) Compresor (b) Condensador (c) Válvula de Expansión (d) Evaporador, en resumen, estos componentes son esenciales para que se cumpla el ciclo de refrigeración.

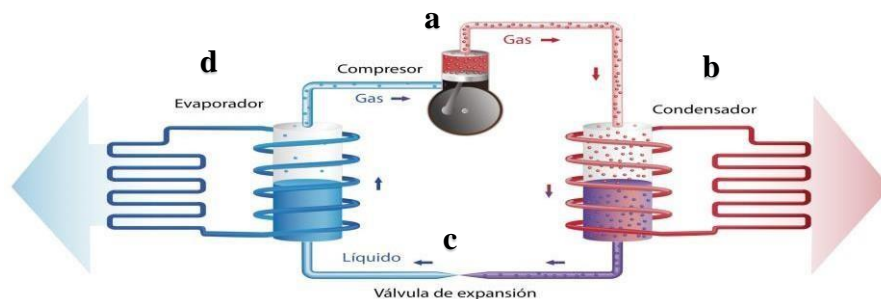


Diagrama 1-1: Ciclo de refrigeración (Fuente: [www.freeo.com.mx](http://www.freeo.com.mx))

En Clínica Indisa existen 02 Chiller imagen 1-1 y 1-2 ubicados en sala de máquina del piso 10 azotea de la torre B, uno de estos es el Chiller Tornillo marca Carrier con una capacidad de enfriamiento de 230 toneladas de refrigeración y un segundo Chiller del tipo Centrifugo también marca Carrier de 400 toneladas de refrigeración. El primer Chiller mencionado funciona 24/7 los 365 días del año, esto por la necesidad térmica (230 T.R) de la instalación la cual es una clínica y a la vez al cliente le significa un menor costo energético (KWh) adjunta en tabla 1-1, esto a causa que el segundo Chiller del tipo Centrifugo sus costos energéticos (KWh) son mayores equivalente a un 55,7% por cada hora de trabajo con respecto al Chiller Tornillo.

Es por esta razón que el mandante solicita a la empresa mantenedora la cual es Termofrio mantener un MTBF controlado y a su vez un MTTR acotado porque su requiere una disponibilidad de funcionamiento sobre un 95% para el periodo 2024 en Chiller Tornillo, esto quiere decir que el cliente asume al año un 5% en detenciones equivalente a 438 horas destinadas a labores de mantenimiento preventivo y correctivo ambos debidamente programados.



Imagen1-1: Chiller Tornillo marca Carrier (Fuente: Clínica Indisa)



Imagen 1-2: Chiller Centrífugo marca Carrier (Fuente: Clínica Indisa)

Esta última exigencia por parte del cliente no se ha podido cumplir por parte de la empresa mantenedora Termofrio llegando solo el año 2024 a una disponibilidad total de un 64%. Debido que la maquina ha presentado 19 fallas provocando la detención de esta por un total de 3154 horas fuera de servicio durante el periodo indicado incluyendo las horas asignadas para mantenimiento preventivo calculado a un es 5%. Lo que causo aumento de los costos operacionales en el área de mantenimiento de Clínica Indisa por tener que inyectar más recursos por concepto de consumo eléctrico adjunta en tabla 1-2.

Tiempo Trabajo	Chiller Tornillo	Chiller Centrífugo	Diferencia Consumo	Diferencia %
1 Hora	177 KWh	400 KWh	223 KWh	55,7

Tabla 1-1: Consumos energéticos entre Chiller Tornillo y Centrífugo (Fuente: Elaboración propia)

En tabla 1-1 se registran diferencias con los consumos eléctricos entre ambos Chiller, lo que implica que por cada hora de trabajo existe un 55,7 % de mayor consumo. Pasando esta información a costo cliente en CLP se adjunta tabla 1-2 donde se representa la diferencia por cada hora de funcionamiento. Razón por la que se asigna a Termofrio como empresa responsable de los activos de la Clínica, en mejorar mediante un análisis técnico y revertir la problemática de estar realizando constantemente mantenimiento correctivo a este equipo Chiller Tornillo, provocando detenciones sin una programación de por medio.

Tiempo Trabajo	Chiller Tornillo	Chiller Centrifugo	Diferencia Consumo	Diferencia %
1 Hora	17.877 CLP	40.400 CLP	22.523 CLP	55,7

Tabla 1-2: Costos energéticos entre Chiller Tornillo y Centrifugo (Fuente: Elaboración propia)

Las detenciones inesperadas se manifestaron por motivos como: desconocimiento en la operación de los equipos por parte del personal técnico, pautas de mantenimiento básicas sin los objetivos claros, rutinas de inspección prolongada entre una y otra. Al no tener claro los motivos de las detenciones, se evaluó tareas en el mantenimiento para aumentar la confiabilidad, esto a través de la normativa SAE J1011 que enfoca los medios técnicos y sostenibles donde deja claro la función del activo – falla en su función – causa de la falla – Que ocurre cuando falla.

Este ordenamiento sistemático es requerido para llevar a cabo un RCM, complementando lo indicado también se trabajará con apoyo de la norma SAE 1012 la cual complementa la anterior norma indicada, entregando herramientas en la mejora de la documentación, inspecciones, cambios de componentes por condición o por vida útil, Así llevar a cabo el RCM para incrementar la confiabilidad del activo, analizando los ítems mantenible del Chiller Tornillo así identificar cuáles son los más críticos, logrando una continuidad operacional hacia el cliente. En tabla 1-3 se representa lo proyectado periodo 2024 en lo que es ítem energético para los equipos de climatización con mayor consumo eléctrico. Donde según la asignación del cliente es de un 95% disponibilidad y un 5% de indisponibilidad para trabajos, por las fallas presentadas en Chiller Tornillo los MTTR aumentaron, lo que aumentaron los costos operacionales, siendo este un 26,9 % mayor a lo planificado.

PROYECTADO 2024	Consumo Energético (KWh)	Valor KWh CLP	Func. Proyectado (horas)	Disp. Proyectada (%)	Costo Energético CLP
Chiller Tornillo	177	101	8322	95	\$ 148.772.394
Chiller Centrifugo (Programado)	400	101	438	5	\$ 17.695.200
			8760	100%	<b>\$ 166.467.594</b>

Funcionamiento real 2024	Consumo Energético (KW/h)	Valor KWh CLP	Horas Funcionamiento Real	Disp. Real %	Costo Energético CLP
Chiller Tornillo	177	101	5606	64	\$ 100.218.462
Chiller Centrifugo (Programado)	400	101	438	5	\$ 17.695.200
Chiller Centrifugo (Adicional)	400	101	2716	31	\$ 109.726.400
			8760	100%	<b>\$ 227.640.062</b>

Costo adicional Cliente CLP	Aumento Costos % Periodo 2024
\$ 61.172.468	26,9 %

Tabla 1-3: Aumento de costos a causa de funcionar con Chiller Centrifugo (Fuente: Elaboración propia)

## **OBJETIVO GENERAL**

Proponer una mejora al actual plan de mantenimiento para equipó de climatización Chiller Tornillo, utilizando para ello herramientas del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad disminuyendo los costos asociados a consumo energético del mandante.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar el estado actual del equipo y sus sub sistemas mediante gráficos para determinar los componentes más críticos.
- Proponer plan de mantenimiento mediante herramientas del RCM (FMECA) disminuyendo los costos asociados a la indisponibilidad.
- Evaluar un plan de mantenimiento mediante un análisis técnico y económico determinando la viabilidad de este.

## **CAPÍTULO 1: ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL**

## 1.1 RESEÑA DE LA EMPRESA

Termofrio es una empresa ligada al rubro de la climatización HVAC (Heating, Ventilation and Air conditionig) fundada en 1979, con ubicación en Av. Galvarino # 7641 comuna de Quilicura, Región Metropolitana Santiago imagen 1-3 y 1-4 su giro es diseño en sistemas de climatización, montaje de equipos térmicos y prestación de servicios en áreas como mantenimiento y operación en los distintos recintos donde existan sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado que requieren los diferentes mercados e industrias.

En el año 2000 Termofrio comienza a expandir sus servicios al sector hospitalario, comenzando a trabajar con equipos de climatización de mayor complejidad y criticidad, con contratos de servicio de por medio. A razón de esto, su dotación de personal técnicos comenzó a incrementar para cubrir los cupos en las diferentes instalaciones adjudicadas, siendo una de estas Clínica Indisa.



Imagen 1-1: Edificio corporativo “Termofrio”.  
corporativo (Fuente: Google Maps).



Imagen 1-2: Ubicación edificio  
(Fuente: Google Maps)

## 1.1.2 ORGANIGRAMA EMPRESA TERMOFRIO

Como toda empresa debe existir un organigrama para definir un orden jerárquico que muestren las relaciones, los puestos de trabajo y roles de la organización. Es así como Termofrio crea un organigrama diagrama 1-2, para todos los departamentos así con esta herramienta poder asignar funciones sin que estas se crucen y generen un desorden interno entre áreas.

Termofrio durante sus cuarenta y seis años de trayectoria en el rubro de la climatización ha ido variando su diagrama jerárquico por diferentes razones como: contexto económico país, esto quiere decir que la empresa ha crecido en dotación de personal en tiempos de abundante trabajo así también lo ha tenido que reducir en periodos donde la demanda ha decrecido, lo que ha llevado a reformar su estructura en función de las necesidades, un claro ejemplo de esto fue la pandemia 2019 (Covid) donde la economía del país tuvo una desaceleración impactando a una gran cantidad de empresas.

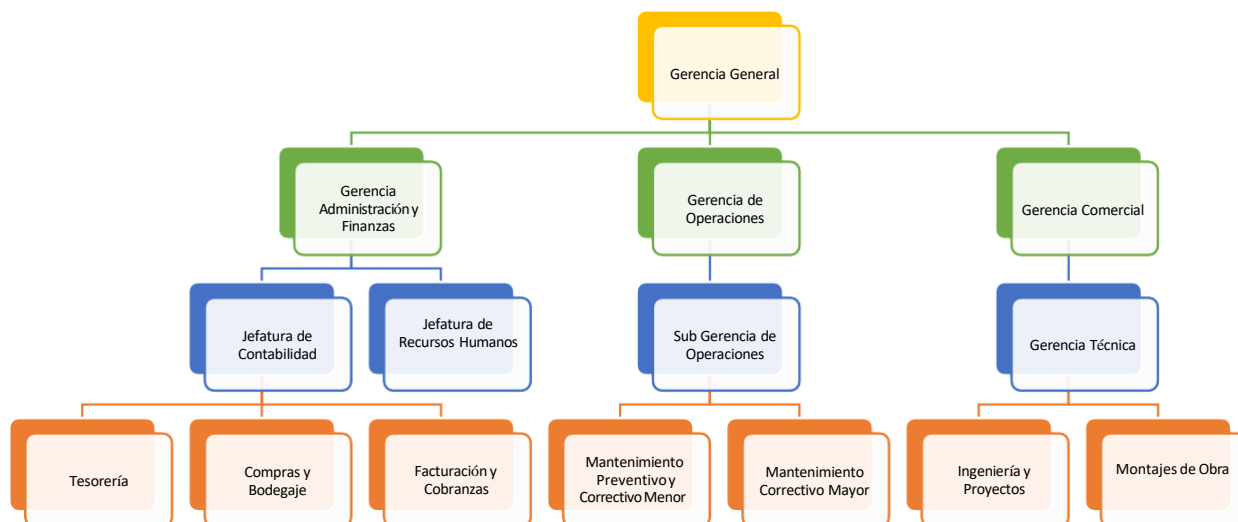


Diagrama 1-2: Organigrama empresa Termofrio (Fuente: Depto. RRHH Termofrio)

## 1.2 CASO DE ESTUDIO

Equipo de climatización Chiller Tomillo Modelo HXC230-A Marca Carrier de 230 Toneladas de Refrigeración, fecha puesta en marcha marzo 2006.

Este equipo Chiller Tomillo tiene por función enfriar agua, mediante un ciclo de refrigeración diagrama 1-1 así poder abastecer a todos los equipos de climatización ubicados en Clínica Indisa dentro de los cuales están: consultas médicas, habitaciones, pabellones de cirugía, salas de espera, etc. Cliente tiene una operatividad de 24/7, lo que conlleva a que todos los equipos de climatización estén operativos ya que de lo contrario se deberán cerrar áreas impactando el negocio del cliente.

El equipo es de procedencia China imagen 1-1, con representación en Chile por la empresa “Midea Carrier Chile” la cual por estrategias comerciales no mantiene un gran stock de repuestos en sus bodegas, lo que provoca una respuesta tardía en las reparaciones a dicho equipo cuando se requiere intervenir, esto a causa de que los repuestos se deben importar por medio del representante de la marca, existiendo la problemática de asumir los tiempos que entrega de dicho proveedor dando en algunas oportunidades la opción de traslado como por ejemplo: vía aérea para acotar los tiempos, pero no ocurre con todos los repuestos ya que esto incide en puntos como el tamaño y peso, cuando se genera complicaciones por lo mencionado se deriva a la alternativa marítima quedando expuesto a tiempos superiores que fluctúan entre los 30 a 60 días.

Ejemplo de lo mencionado en lo que respecta a transporte por vía aérea de repuestos son los sensores de temperatura, tarjetas electrónicas, transductores de presión (plazo de entrega entre 07 a 45 días plazo condicionado su disponibilidad en fábrica) quedando fuera de esta opción de transporte repuestos como: compresores, condensadores, evaporadores (plazo de entrega 30 a 60 días) por lo que implica extender los tiempos de reparación (MTTR), provocando la inactividad del equipo muchas veces coincidiendo por todo el periodo de mayor demanda que es el “Verano” causando un descontento del área operacional de Clínica Indisa clínica por los costos adicionales

que conlleva un aumento en el consumo de energía eléctrica, ya que se debe habilitar equipo N° 02 Chiller Centrífugo imagen 1-2.

Alternativas de proveedores que importen repuestos de la marca Carrier existen en el mercado, pero no entregan las mismas garantías como el representante oficial tales como: servicio de post venta, garantía del repuesto por un tiempo de funcionamiento menor a lo esperado, opciones de prueba del repuesto cuando este no funciona correctamente, software de la marca para cargar programas (tarjetas electrónicas), etc. Con todo lo mencionado coloca a Termofrio y al resto de las empresas del rubro de la climatización en un escenario desfavorable y no creíble muchas veces ante el cliente, por lo que se decide a trabajar siempre con el representante oficial de la marca, acatando los tiempos de entrega.

### **1.2.2 CONTEXTO OPERACIONAL**

El proceso de enfriamiento comienza con el movimiento del fluido (agua) a través de bombas (primaria y secundaria) donde pasa el fluido por el evaporador del Chiller impulsado por la bomba primaria a una temperatura de 12° C, el cual mediante con un ciclo refrigeración diagrama 1-1 y con refrigerante 134 A (HFC) ecológico, logra descender la temperatura del fluido a 7° C, así dar comienzo a la etapa de distribución del fluido mediante las bombas secundarias a través de matrices verticales y horizontales (cañerías de fierro carbono aisladas) por toda la torre la cual tiene una altura de diez pisos con cuatro sub terraneo , estos últimos solo el piso menos uno tiene equipos de climatización el resto son utilizados como estacionamiento.

Este fluido debe llegar a los equipos terminales como lo son: equipos Fan Coil y Manejadoras de Aire diagrama 1-3, los primeros son utilizados para climatizar recintos con un área menor como: habitaciones, box de consultas médicas, oficina de los funcionarios, hall de esperas y pasillos de tránsito. Los segundos por su mayor capacidad de enfriamiento son destinados a salas de mayor área como: pabellones de cirugía, unidades de cuidado intensivo, unidades de tratamiento intensivo, casino de los funcionarios y cocina donde se preparan los alimentos

para pacientes y funcionarios de la clínica. El fluido que llega a los equipos terminales Fan Coil y Manejadoras de aire imagen 1-5 a una temperatura de  $7^{\circ}\text{C}$ , pasa por el interior del serpentín (tubo – aleta) donde este absorbe el calor del medio a climatizar por medio de un ventilador que captura el aire a una mayor temperatura, lo hace pasar por el serpentín para luego ser inyectado nuevamente al medio (recinto a climatizar) a una temperatura menor realizando este ciclo continuamente hasta llegar a temperatura de confort deseada por el usuario la cual es aproximadamente  $24^{\circ}\text{C}$  la cual es controlada por un termostato ambiente. El fluido sale de los equipos terminales a  $12^{\circ}\text{C}$  retornando nuevamente al equipo Chiller Tornillo con apoyo de la bomba primaria, para nuevamente descender su temperatura y repetir el ciclo de enfriamiento y distribución 24/7 diagrama 1-3.

### 1.2.3 DIAGRAMA FLUJO

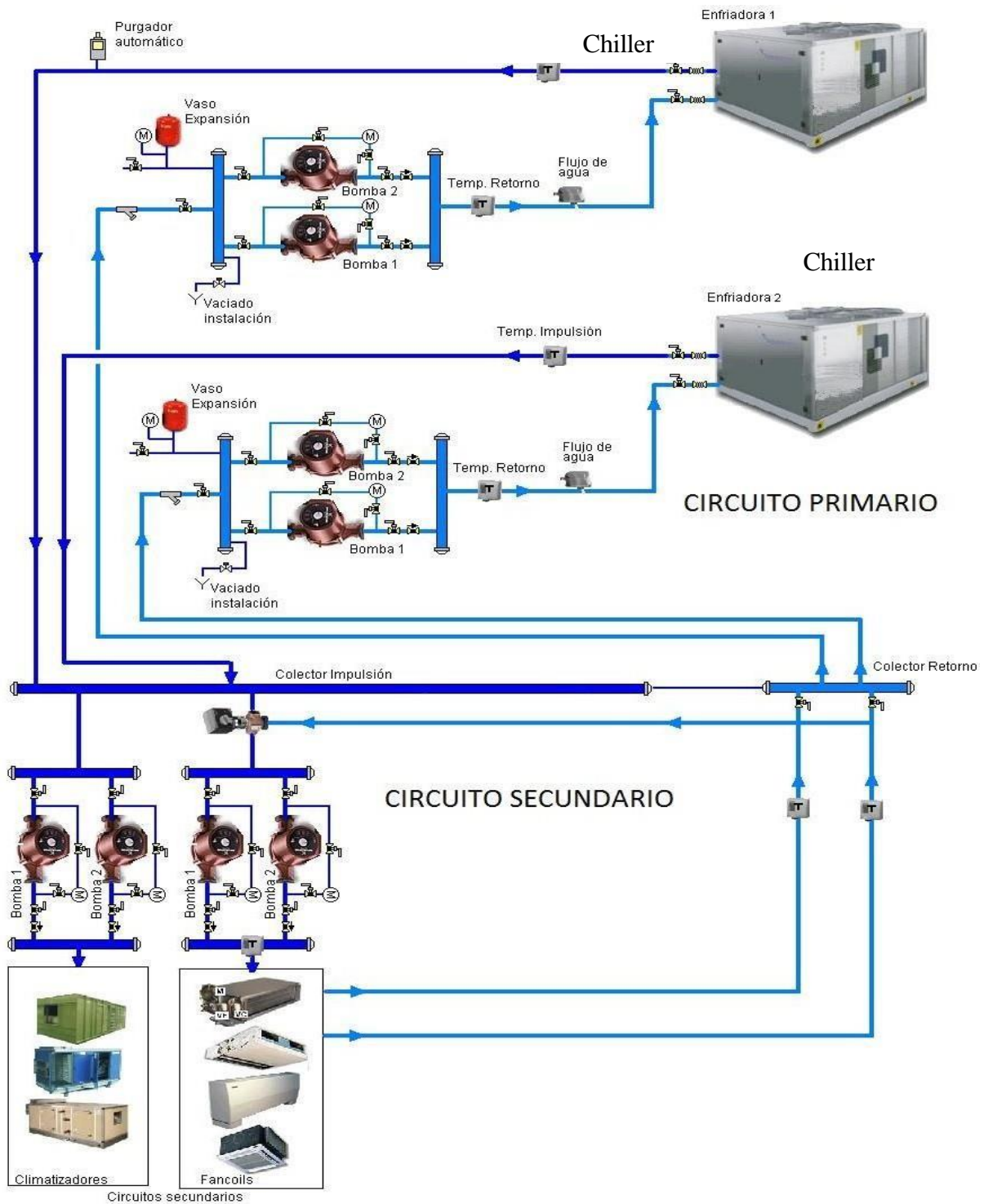


Diagrama1-3:Ciclo de climatización (Fuente: [www.juanfrancisco207.wordpress.com/2014/09/30/sistemas-de-climatizacion/](http://www.juanfrancisco207.wordpress.com/2014/09/30/sistemas-de-climatizacion/))

## 1.2.4 EQUIPOS TERMINALES

Los equipos terminales son los encargados de climatizar los recintos de la instalación en Clínica Indisa Imagen 1-5, para lograr este objetivo se les debe de proveer de agua helada proveniente de la central térmica. Sin esta condición la climatización será nula en toda la instalación, por lo que ya se identifica como equipo critico el Chiller.

Como funcionamiento la Manejadora de Aire o un equipo Fan Coil tiene como objetivo principal proveer un caudal de aire tratado por medio de un ventilador. Esta unidad toma aire filtrado para luego pasar a través de unas baterías tipo serpentín donde circula agua por su interior (suministrada por la central térmica diagrama 1-3) así disminuir la temperatura del aire de acuerdo a la necesidad del recinto a climatizar controlada por un termostato ambiente el cual controla la apertura o cierre de la válvula motorizada.

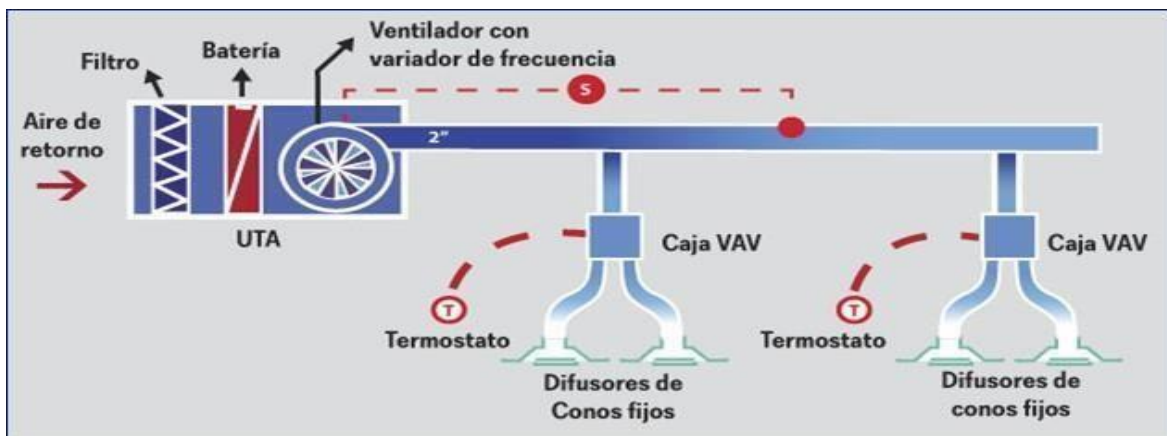


Imagen 1-5: Equipo terminal tipo fan coil y manejadora de aire (Fuente: [www.airtradecentre.com](http://www.airtradecentre.com) )

## 1.2.5 SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

Para lograr bajar la temperatura del agua a 7° C se necesitará en equipo Chiller Tomillo un fluido primario llamado refrigerante, en este caso de estudio se utilizará el R-134 A (HFC) Imagen 1-6 compuesto por Hidrógeno, Flúor y Carbonó. Según la (ASHRAE) American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, un refrigerante es un medio (fluido) para la transferencia de calor, que es utilizado en sistemas de refrigeración para absorber calor al evaporarse a temperatura y presiones bajas y ceder calor al condensarse a temperatura y presiones mayores, los cuales se identifican con la letra “R”.

Por la seguridad de los técnicos un refrigerante deberá ser seguro, no venenoso, no explosivo, ni inflamable, tampoco toxico ante lo mencionado el técnico deberá contar siempre con sus (elementos de protección personal) al operar la máquina. El código de seguridad (ASHRAE) clasifica a los fluidos refrigerantes según su toxicidad y flamabilidad, estos se dividen en dos grupos siendo el grupo A para los de baja toxicidad y el grupo B para los de elevada toxicidad. Para identificarlos comercialmente esta letra sigue después de la numeración Ej.: R 134 A (baja toxicidad).



Imagen 1-6: Refrigerante R-134 A (Fuente: <https://www.dupont.com/knowledge/hvac-sustainability.html>)

## 1.2.6 TRANSPORTE DEL FLUIDO AGUA

Para el movimiento del fluido (agua) se utilizarán bombas del tipo centrífuga, en tabla 1-4 se indica las características de cada bomba. Por diseño la instalación tiene redundancia imagen 1- 6, lo que brinda una confiabilidad desde el punto de vista operacional del sistema ya que cuenta con tres bombas para el circuito primario, tres bombas para el circuito secundario y tres bombas para el circuito de condensación. Esto permite realizar intervención cuando se presente algún desperfecto, sin tener la necesidad de detener el sistema.

ASIGNACION	MARCA	MODELO	POTENCIA	CAUDAL	VOLTAJE	AMPERAJE
BBA PRIM-01	GRUNDFOS	DN100/32	20 HP	150 M3/H	380-400 V	27.0 AMP
BBA SEC-01	GRUNDFOS	DN100/25	12.5 HP	112 M3/H	380-400 V	17.0 AMP
BBA CON- 01	GRUNDFOS	DN100/25	12.5 HP	112 M3/H	380-400 V	17.0 AMP

Tabla N° 1-4 Cuadro de bombas centrífugas para circuito de climatización (Fuente: Clínica Indisa)



Imagen 1-6: Sala de bombas centrífugas con redundancia (Fuente: Clínica Indisa)

Imagen 1-6: Sala de bombas centrífugas con redundancia (Fuente: Clínica Indisa)

### **1.2.7 EQUIPÓ MODO STAND BY**

Debido al funcionamiento de la Clínica Indisa la cual es 24/7, esta debe tener respaldo en las áreas de mayor complejidad como, por ejemplo: suministro energía eléctrica (grupo electrógenos) alimentación agua potable (pozos de agua) es por esta razón que el aire acondicionado también cuenta con respaldo ya que es un área catalogada crítica como servicio hacia al cliente y trabajadores de la instalación. Por lo mencionado se proyectó la climatización con redundancia, con un segundo Chiller del tipo Centrifugo imagen 1-2 (400 toneladas de refrigeración) el cual fue sobre dimensionado para futuras expansiones de la clínica, las cuales a la fecha de hoy no se han concretado. Comparativamente el Chiller Centrifugo v/s el Chiller tornillo tiene 42,5 % de mayor capacidad en producción de frío, esto implica al cliente un costo energético significativo desde el punto de vista operacional tabla 1-3, siendo este dato transparentado a la empresa mantenedora de la climatización para enfocar sus recursos técnicos a una disponibilidad esperada sobre un 95% durante el año equivalente a 8208 horas lo que nos da un margen para realizar servicio a la maquina durante el año de solo 432 horas, equivalente al 5% restante.

### **1.2.8 COSTO ENERGÉTICO**

Clínica Indisa tiene una tarifa eléctrica “Libre” con la empresa distribuidora eléctrica Enel, la que se negocia cada 4 años. Esta tarifa está destinada a clientes con un consumo entre los 500 y 5000 KW menor a este digito pasará a ser un cliente regulado de acuerdo al Art. 147° de la ley general de servicios eléctricos, categorizado por media y alta tensión con siglas tipo (BT y AT) donde su numeración acompañando a estas siglas será desde el 1 al 4 de acuerdo a su capacidad energético (KW). Para Clínica Indisa el valor de KW /H es de \$ 101 CLP, donde se incorporan factores que impone la compañía eléctrica como lo son: cargo único por troncal, cargo por demanda horario punta, cargo por energía activa base, transporte, datos que se indicaron en tabla 1-3 para cuantificar el costo al cliente de trabajar con el Chiller Tornillo o Chiller Centrifugo.

## Costos comparativos entre Chiller Tornillo 177 KW V/S Chiller Centrifugo 400 KW

Tiempo Funcionamiento (horas)	Chiller Tornillo CLP /horas	Chiller Centrifugo CLP /horas	Ahorro CLP Clínica Indisa
1	\$17.877	\$40.400	\$22.523
720 = (01 Mes)	\$12.871.440	\$29.088.000	\$16.216.560
2160 = (03 Meses)	\$38.614.320	\$87.264.000	\$48.649.680
4320 = (06 Meses)	\$77.228.640	\$174.528.000	\$97.299.360
8760 = (12 Meses)	\$156.602.520	\$353.904.000	\$197.301.480

Tabla N° 1-5: Gastos energéticos comparativos entre Chiller de Clínica Indisa (Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo a las cifras obtenidas en tabla 1-5 Clínica Indisa al funcionar con Chiller Tornillo tiene un ahorro por hora de trabajo del 55,7%. Lo que es un dato relevante para el área de mantenimiento por los costos asociados, razón por la cual requiere de una disponibilidad permanente en dicha maquina así poder destinar recursos a otras áreas como: renovación de equipos, reparaciones correctivas a equipos, proyectos de mejora para la instalación, por lo argumentos existen en mejorar el plan de mantenimiento.

Nota: tarifas eléctricas sacadas de la página oficial de “Enel” <https://www.enel.cl/es/clientes.html>

### 1.2.9 MODALIDAD MANTENIMIENTO ACTUAL

Actualmente en Termofrio la modalidad de llevar el mantenimiento preventivo en Clínica Indisa es por medio de una carta Gantt tabla 1-6 la cual indica el año, mes, día y listado de equipos a intervenir. Con esta información el técnico de turno se programa durante el mes para intervenir listado de activos según carta, esta metodología está estipulada en el contrato de mantención entre Clínica Indisa y Termofrio donde además se detalla las rutinas de mantenimiento, frecuencias.

La modalidad de trabajo del técnico de turno, es guiarse por una hoja de mantención tabla 1-7 la cual debe completar el día que indica el programa del mes a intervenir, en esta hoja procede a llenar parámetros de funcionamiento como: temperatura del agua, presión del refrigerante, presión del aceite, horas de

funcionamiento, numero de partidas de los compresores, voltaje y consumo eléctrico. En complemento están asociadas un listado de rutinas imagen 1-7 que apoya las acciones a seguir para el técnico.

Esta modalidad ha provocado una nula antelación a síntomas que ha presentado la maquinas a causa de que no existe en planilla parámetros mínimos y máximos, solo queda a criterio y experiencia del técnico mantenedor, provocando con frecuencia una respuesta tardía a la hora de una intervención como lo es un cambio de repuesto. Provocando paradas sin programación lo que interpreta la jefatura de mantenimiento que hay procesos que no se están realizando correctamente.

A lo indicado se debe sumar a que la instalación no cuenta con repuestos en stock, lo que genera tiempos de reparación (MTTR) mayores a lo requerido por el mandante. Razones que han llevado a tener que evaluar las rutinas de mantenimiento, por los costos operacionales indicados anteriormente al tener que operar con una máquina de mayor consumo eléctrico.



**CLINICA INDISA**

TORRE B  
DEPARTAMENTO DE  
SERVICIOS

HOJA 1 DE 2

2024

AÑO

Marzo

PROGRAMA MENSUAL DE  
MANTENCION

MES

EQUIPO	UBICACIÓN	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
CH TORNILLO	PISO 10 B	X																																	
CH CENTRIFUGO	PISO 10 B	X																																	
TEA-1	PISO 10 B				X																														
TEA-2	PISO 10 B				X																														
CMC 4.2	PISO 5 B				X																														
CMC 4.3+ vdf + hum	PISO 5 B					X																													
CMC 4.4+ vdf + hum	PISO 5 B					X																													
CMC 4.5+ vdf + hum	PISO 5 B					X																													
CMC 4.6+ vdf	PISO 5 B							X																											
CMC 4.7+ vdf + hum	PISO 5 B							X																											
CMC 4.8+ vdf + hum	PISO 5 B							X																											
CMC 4.9+ vdf + hum	PISO 5 B									X																									
CMC 4.10	PISO 5 B									X																									
CMC 4.11+ vdf+hum	PISO 5 B										X																								
VEC CMC 4.2	PISO 5 B											X																							
VEC CMC 4.3	PISO 5 B											X																							
VEC CMC 4.4	PISO 5 B											X																							
VEC CMC 4.5	PISO 5 B												X																						
VEC CMC 4.6	PISO 5 B													X																					
VEC CMC 4.7	PISO 5 B														X																				
VEC CMC 4.8	PISO 5 B														X																				





## CLINICA INDISA

### TORRE B

#### HOJA DE MANTENCION CHILLER

FECHA 01-03-24

TECNICOS :

R INOSTROZA

EQUIPO

CHILLER TORNILLO

J CELIS

MARCA	CARRIER	Pº INYECCIÓN AGUA COND.	28
MODELO	30HXC230A	Pº RETORNO AGUA COND.	16
Nº SERIE	H230F1616	Pº INYECCIÓN AGUA EVAP.	58
UBICACIÓN	PISO 10	Pº RETORNO AGUA EVAP	25
Tº SALIDA AGUA FRIA	7 °C	Tº SALIDA AGUA Tª	

Tº ENTRADA AGUA FRIA	12 °C
CAPACIDAD TOTAL	100 %
HRS DE FUNCIONAMIENTO	48.500
PARTIDAS DE LA MAQUINA	12.386

Tº ENTRADA AGUA COND.:	23°C
Tº SET POINT:	23°C
CP 1A MOD: 06NW2300R5NA-A00	SERIE:2006L22678
CP 2A MOD: 06NW2200R5NA-A00	SERIE:2006L22621
CP 1B MOD: 06NW2300R5NA-A00	SERIE:2006L22641

**MEDICIONES**

TENSION TOTAL	R - S	R - T	S - T
388 V	386 V	387 V	
CORRIENTE TOTAL	R	S	T
58,9 A	60,4 A	66,2 A	

	COMP. A1	COMP. A2	COMP B1
CAPACIDAD EN %	100	100	100 %
P.DE DESCARGA.	286		278
P.DE ASPIRACION	32		35
Tº SAT. ASPIRACION	5		7
Tº SAT. DESCARGA	46		48
P. DE ACEITE	65	66	70
Tº DE MOTOR	80	82	84
HORAS DE OPERACION	28.500	36.000	40.000
Nº.DE PARTIDAS	3.500	3.000	2.800
CORRIENTE AMP	R S T	R S T	R S T
	33 34 37	37 36 36	34 33 36

ACTIVIDAD	REALIZ
VERIFICAR SI EXISTEN FALLAS EN EL EQUIPO	OK
DETENER EL EQUIPO DESDE INTERRUPTOR ON - OFF	OK
CORTAR ENERGIA ELECTRICA DEL EQUIPO, DESDE TABLERO DE FUERZA	OK
VERIFICAR SI EXISTE ENERGIA ELECTRICA EN EL EQUIPO, ANTES DE COMENZAR A TRABAJAR	OK
VERIFICAR SI EXISTEN FUGAS DE REFRIGERANTE EN AMBOS SISTEMAS DEL EQUIPO	OK
VERIFICAR SI EXISTEN DETALLES EXTRACTURALES EN EL EQUIPO (PERNOS, PINTURA, OXIDO, ETC.)	OK
CHEQUEAR EL SISTEMA ELECTRICO DE FUERZA Y CONTROL DEL EQUIPO	OK
AISLAR SENSORES Y CAJAS ELECTRICAS, ANTES DE LAVADO Y LIMPIEZA DEL EQUIPO	OK
MANTENCION GENERAL Y LIMPIEZA DEL EQUIPO	OK
INSPECCION Y PRUEBAS DEL EQUIPO EN FUNCIONAMIENTO	OK

**OBSERVACIONES**

SIN OBSERVACIONES EQUIPO CHILLER TORNILLO N 01

Tabla N° 1-7: Hoja de mantenimiento (Fuente: Termofrio)

## CHILLER DE TORNILLO

### SERVICIOS MENSUAL

- *Limpieza general de la unidad*
- *Lectura de parámetros de operación*
- *Chequeo de temperaturas y presiones en circuitos de refrigeración*
- *Verificación del nivel de refrigerante*
- *Chequeo del estado y funcionamiento del flow switch*
- *Chequeo de presiones de succión y descarga en los circuitos de refrigeración.*
- *Chequeo de la presión diferencial del aceite en los compresores.*
- *Chequeo de consumos eléctricos a motores compresores*
- *Chequeo de consumos eléctricos a motores ventiladores*
- *Chequeo de temperaturas de entrada y salida del agua, en el evaporador*
- *Verificación del funcionamiento a válvulas de corte y válvulas de seguridad*
- *Verificación y funcionamiento del circuito eléctrico de control*
- *Inspección de estado al aislamiento térmico en tuberías de agua helada*
- *Chequeo de hermeticidad a circuitos de refrigeración*
- *Chequeo del funcionamiento y estado a controles de seguridad*
- *Revisión del cableado de fuerza y cableado de control*
- *Revisión de bornes y reapriete de conexiones eléctricas*

### SERVICIOS ANUALES



- ***Ejecute los servicios MENSUAL***
- *Retoque de pintura anticorrosivo*
- *Chequeo y limpieza de contactores*
- *Chequeo de relés térmicos*



Imagen N° 1-7: Check List para el técnico mantenedor (Fuente: Termofrio)

### 1.2.10 FALLAS EN EL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

De acuerdo al historial de reparaciones, durante el periodo (Enero a Diciembre 2024) se registraron alrededor de 40 fallas en el sistema de climatización (sala de máquinas) donde las de mayor impacto por costo energético fueron 19 fallas asociadas al Chiller Tornillo, ya que mantuvieron la máquina detenida por un total de 3170 horas lo que equivale solo a una disponibilidad del 64 % muy lejano al 95% solicitado. En imagen 1-8 se indica la proyección del cliente versus el escenario que presento durante el periodo 2024 imagen 1-9.

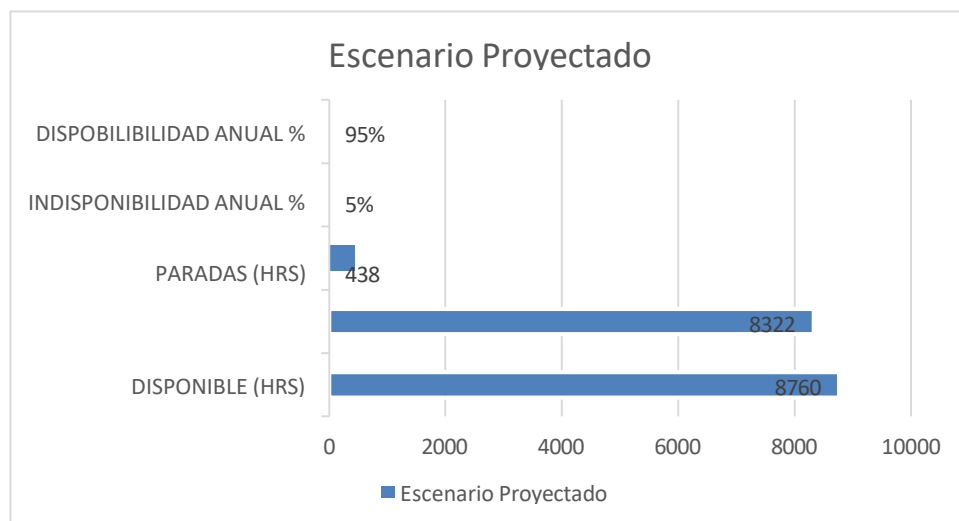


Imagen N° 1-8: Grafico de disponibilidad proyectado en Chiller Tornillo año 2024 (Fuente: Elaboración propia)

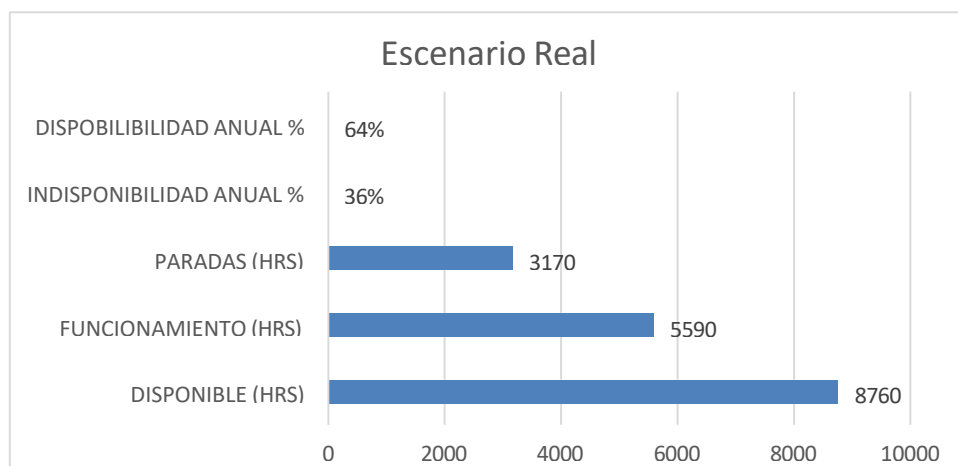


Imagen N° 1-9: Grafico escenario real de disponibilidad en Chiller Tornillo año 2024 (Fuente: Elaboración propia)

### 1.2.11 DESCRIPCIÓN COMPONENTES CHILLER TORNILLO

En la imagen 1-10, se identifican componentes principales de Chiller Tipo Tornillo, componentes que son fundamentales para el funcionamiento de la máquina. En tabla 1-9 se describe cada función de los ítem mencionados.

Por recomendación del fabricante se mantener bajo protección ya que su IP es de 20 clasificándolo para uso interior de acuerdo a la norma internacional IEC 60529. Con respecto a montaje este está soportado en una base metálica para descansar en hormigón armado para soportar un peso alrededor de 2.500 Kg. Este diseño fue realizado bajo la norma chilena NCh 170 y la 430 las cuales hacen mención a la fabricación y calculo estructural.

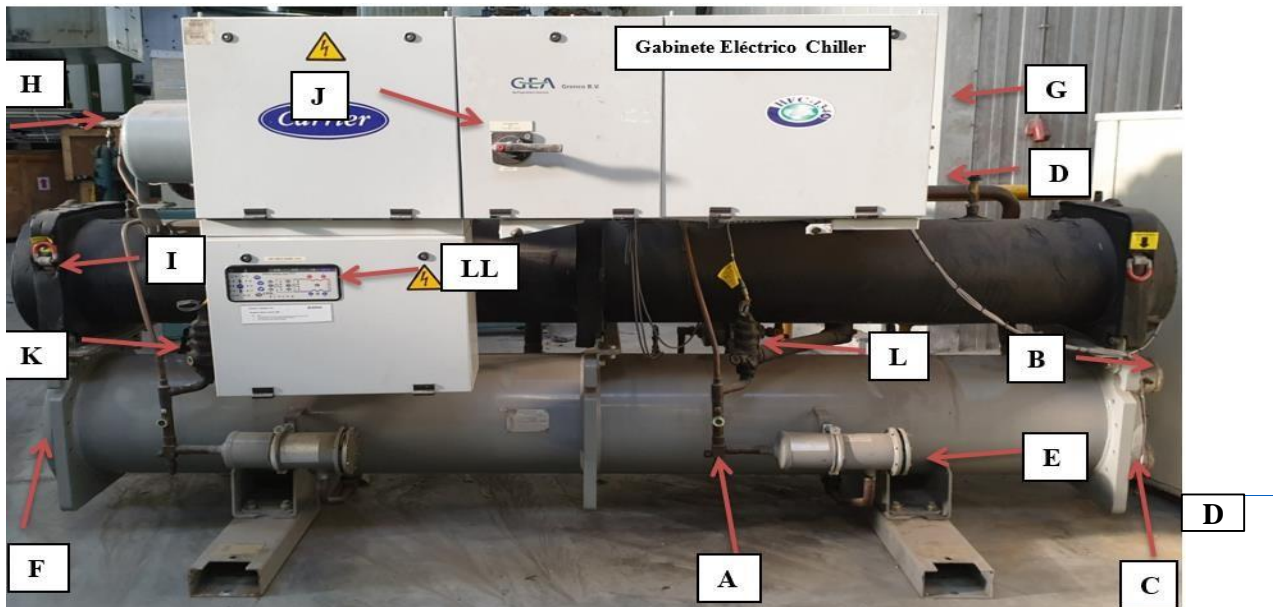


Imagen N° 1-10: Componentes principales Chiller Tornillo marca Carrier (Fuente: [www.mideacarrier.cl](http://www.mideacarrier.cl))

COMPONENTE	ASIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN
A	Válvula servicio	Válvula servicio para recarga de refrigerante 134- A
B	Sensor de flujo (agua)	Detecta si existe flujo de agua en movimiento
C	Condensador	Encargado de pasar el refrigerante de estado gaseoso a liquido

D	Tarjeta electrónica	Encargada de recibir y enviar datos a todo el equipo
E	Filtros internos	Encargado de capturar impurezas del sistema
F	Empaquetadura condensador	Encargado de producir un sello entre tapas
G	Contactador Trifásico	Componente encargado de controlar paso de energía
H	Compresor Tornillo	Encargado de mover el refrigerante dentro del chiller
I	Empaquetadura evaporador	Encargado de producir un sello entre tapas
J	Fusibles	Encargado de proteger compresor por sobre consumo
K	Válvula de expansión	Encargada de controlar paso de refrigerante hacia el evaporador
L	Bomba de aceite	Encargada de lubricar el compresor tornillo
LL	Display de control	Encargado de configurar parámetros de funcionamiento

Tabla N° 1-9: Asignación de componentes en Chiller Tornillo marca Carrier (Fuente: Elaboración propia)

Para la operación del Chiller Tornillo, se debe manipular display de control (LL) para encendido y este se procederá a seleccionar temperatura de trabajo del fluido (agua) además de poder visualizar en su pantalla las presiones de trabajo del refrigerante, en el caso de tener que recargar este gas se realizará por la válvula de servicio (A). El proceso de enfriamiento es cíclico, por lo que este equipo no se detendrá hasta llegar a la temperatura seteada, la cual es de 7° C. En su gabinete eléctrico se encuentra todo lo que respecta a fuerza eléctrica, control del equipo y tarjeta electrónica, componente principal (D) la cual es la encargada de procesar toda la información, así controlar los demás componentes del equipo.

### 1.2.12 GESTIÓN DE REPUESTOS CLIENTE

Clínica Indisa no maneja stock de repuestos asociado a los equipos de climatización, esto a causa de políticas internas de no almacenar activos sin movimiento fuera de su rubro (Salud). Esta labor es derivada a la empresa mantenedora que es Termofrio. La cual debe adquirir estos insumos cuando falla el equipo, estando sujeto a disponibilidad de los proveedores, siendo este un tema relevante a la hora de ejecutar reparaciones porque condiciona los tiempos de reparación (MTTR) teniendo presente el giro de la instalación los equipos funcionan 24/7 acumulando en general una gran cantidad de horas.

La gestión de Termofrio en la adquisición de repuesto para equipos de menor complejidad es rápida (proveedores nacionales) no así para los repuestos de mayor complejidad y alto costo como lo son para equipo Chiller, los cuales se deben importar en tabla 1-10 se indica los tiempos que condiciona cada ítem en tener que importar repuestos, provocando modificaciones en los tiempos de operación.

En tabla 1-10 se puede observar que los tiempos de reparación en equipo Chiller Tomillo lo que no se ajustan a los tiempos de disponibilidad imagen 1-8 proyectados por el cliente periodo 2024 el cual solicita un 95%. Esta indisponibilidad de un 36% asocia lo que es mantenimiento preventivo y correctivo durante todo el año, lo que condiciona a bajar los tiempos es la disponibilidad de repuestos.

#### **1.12.4 GESTION DEL MANTENIMIENTO**

El plan de mantenimiento que desarrolla la empresa mantenedora, es del tipo preventivo y correctivo. El chequeo de componentes de la maquina no es integral, solo verifica si el componente está operativo, no lleva una metodología de análisis más rigurosa donde incluya mediciones comparativas con algún patrón, aplicación de termografía, análisis de vibraciones y así poder determinar si el componente está funcionando de acuerdo a lo recomendando por el fabricante.

- **Rutinas del mantenimiento preventivo:** limpieza, reapreté, lubricación, medición parámetros, cambio de componentes (frecuencia), ajuste.

Las acciones indicadas son justificadas al cliente para tener en sus activos: disminución de fallas, reducir costos, mejorar la seguridad, aumentar la confiabilidad. Con esta descripción la maquina sigue presentando detenciones, provocando al cliente costos adicionales.

- **Rutinas mantenimiento correctivo:** detección del problema, diagnóstico del problema, ejecución de la solución, pruebas y verificación de lo realizado, documentar lo realizado.

Las acciones indicadas, son realizadas cuando un componente ya fallo por lo general de forma total, lo que causa una detención completa de la máquina. Pasando a la etapa de conseguir repuesto y estar sujeto a los tiempos de entrega de los proveedores (inmediata o importación) provocando un impacto al cliente por costos adicionales no controlados.

**TABLA FRECUENCIA DE FALLA -TIEMPOS IMPORTACIÓN DE REPUESTOS Y COSTOS PERÍODO 2024**

COMPONENTE	TIPO DE FALLA PARCIAL / TOTAL	FRECUENCIA FALLA	TIEMPO REPARACION FALLA (HORAS)	TIEMPO IMPORTACION REPUESTO (HORAS)	TIEMPO TOTAL REPARACION (HORAS)	MTTR (HORAS)	COSTO REPUESTO (UNITARIO) CLP	COSTO REPUESTO (TOTAL) CLP
A	TOTAL	3	2	stock proveedor	6	2	\$ 150.000	\$ 450.000
B	TOTAL	2	8	172	360	180	\$ 200.000	\$ 400.000
C	TOTAL	1	8	stock proveedor	8	8	\$ 400.000	\$ 400.000
D	TOTAL	1	6	734	740	740	\$ 1.250.000	\$ 1.250.000
E	TOTAL	3	4	stock proveedor	12	4	\$ 150.000	\$ 450.000
F	PARCIAL	1	10	stock proveedor	10	10	\$ 500.000	\$ 500.000
G	TOTAL	1	10	stock proveedor	10	10	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
H	TOTAL	1	36	1050	1086	1086	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
I	PARCIAL	1	16	stock proveedor	16	16	\$ 550.000	\$ 550.000
J	TOTAL	2	2	stock proveedor	4	2	\$ 25.000	\$ 50.000
K	TOTAL	1	90	340	430	430	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
L	TOTAL	2	18	stock proveedor	36	18	\$ 300.000	\$ 600.000
		<b>19</b>	<b>210</b>	<b>H.F.S</b>	<b>2718</b>	<b>2506</b>	<b>C.T.R</b>	<b>\$ 9.650.000</b>

Tabla N° 1-10: Horas fuera de servicio y costo por concepto de repuestos en Chiller Tornillo (Fuente: Elaboración propia)

\*C.T. R= Costo Total Repuestos.

\*H.F. S= Horas Fuera Servicio

### 1.2.13 DETERMINACIÓN DE COMPONENTE CRÍTICO

Con la cantidad de fallas identificadas más el tiempo utilizado para reparar estas y el valor costo KW/h adicional. Se identifica componente crítico de la maquinas en tabla 1-11 donde es demarcado el componente H el cual por su indisponibilidad de un 12,56% y costo cliente de 24.424.932 CLP, es categorizado ítem critico el cual requiere un análisis para determinar las causas de esta condición.

Los datos son traspasados a un gráfico imagen 1-11 donde queda con mayor claridad los componentes que originaron mayor detención y provocaron mayor costo operacional.

Planilla Costos 2024 Asociada a Chiller Tornillo						
Componente Chiller	Nº Fallas	Tiempo Reparación	Tiempo Falla (hrs)	MTTR (hrs)	Costo Adicional KW/h	Costo Final Cliente CLP
A	3	2	6	2	\$ 22.523	\$ 135.138
B	2	8	360	180	\$ 22.523	\$ 8.108.280
C	1	8	8	8	\$ 22.523	\$ 180.184
D	1	6	740	740	\$ 22.523	\$ 16.667.020
E	3	4	12	4	\$ 22.523	\$ 270.276
F	1	10	10	10	\$ 22.523	\$ 225.230
G	1	10	10	10	\$ 22.523	\$ 225.230
H	1	36	1084	1084	\$ 22.523	\$ 24.414.932
I	1	16	16	16	\$ 22.523	\$ 360.368
J	2	2	4	2	\$ 22.523	\$ 90.092
K	1	90	430	430	\$ 22.523	\$ 9.684.890
L	2	18	36	36	\$ 22.523	\$ 810.828
Total	19		2716			\$ 61.172.468

Tabla N° 1-11: Asignación de componentes en Chiller Tornillo marca Carrier (Fuente: Elaboración propia)

## CAUSA ALTOS COSTOS Y MEDIDAS DE MITIGACION

Por medio de un análisis Causa – Efecto se indicarán los motivos que llevaron a un incremento en los costos energéticos, este análisis tiene como fin descubrir que llevo a este impacto al área de operaciones de Clínica Indisa y poder tomar medidas del caso para mitigar o evitar nuevamente un evento de esta magnitud. También se planteará que método de mantenimiento es el más adecuado para la maquina en revisión.

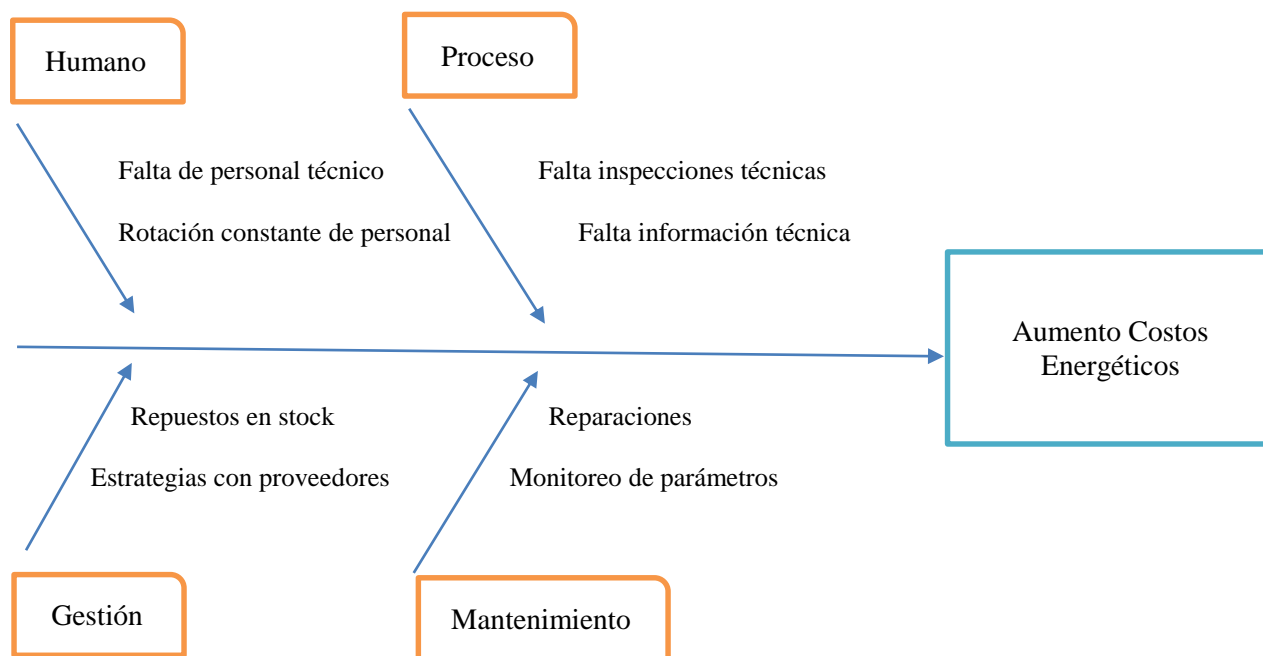


Imagen N° 1-11: Diagrama Causa – Efecto asociado aumento consumo eléctrico fuente: elaboración propia.

El mantenimiento debe mitigar este impacto al cliente, mejorar el proceso que se desarrolla en la instalación no es del todo confiable, por varios puntos como lo es la falta de repuestos, falta de personal técnico, mejorara procesos y una rutina de inspección planeada. Se debe implantar técnicas de manteniendo de fácil entendimiento, claridad del servicio que se ejecuta y anticipar futuros modos de fallos.

- HUMANO

**-Falta personal técnico:** crear estrategia con el área de recursos humano para la captación de técnicos, estudiar a la competencia, mejorar beneficios al personal, capacitación constante.

**-Rotación constante de personal:** identificar las causas del porque los técnicos se cambian de empresa, realizar encuesta interna, estudiar el mercado, identificar escala de salarios.

- PROCESO

**-Falta inspecciones técnicas:** programar visitas del supervisor técnico cuando se realice mantenimiento a máquinas de mayor complejidad, conversar con los técnicos sobre la operación de la máquina, corregir mal procedimiento.

**-Falta información técnica:** solicitar a proveedores manuales de las máquinas, capacitar al personal técnico, crear una biblioteca técnica.

- GESTIÓN

**-Repuestos en stock:** promover el manejo de repuestos en stock, identificar cuales componentes son de importación, transparentar con cliente tiempos importación, demostrar el impacto que conlleva no tener stock de repuestos con el aumento en el consumo energético.

**-Estrategias con proveedores:** manejar tiempos de importación de repuestos con proveedor, crear reuniones con proveedores para saber los quiebre de stock en época de alta demanda.

- MANTENIMIENTO

**-Reparación:** acotar los tiempos de reparación mediante la identificación correcta de las fallas, apoyar al personal técnico con todas las herramientas y condiciones para un desarrollo del trabajo correcto.

**-Monitoreo de parámetros:** aplicar metodología en monitoreo de parámetros como lo es la termografía y análisis de vibraciones.

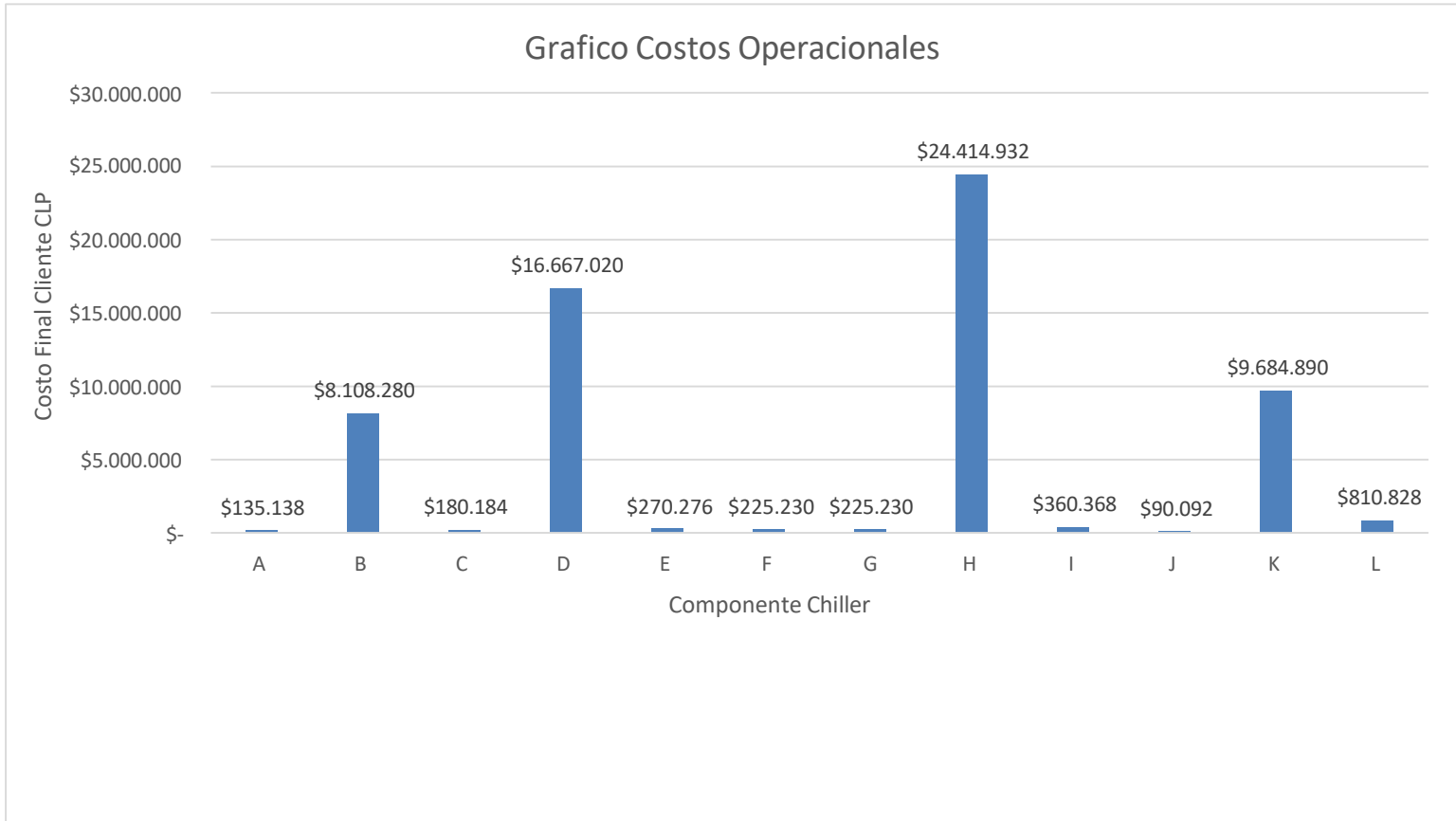


Imagen 1-11: Grafico componentes versus costos energéticos a cliente periodo 2024 (Fuente: elaboración propia)

## **CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA**

### 1.3 ANÁLISIS DEL MODO, EFECTO Y CRITICIDAD DE LA FALLA

El Análisis del Modo, Efecto y Criticidad de Falla (FMECA) es una herramienta del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) que mediante la categorización de los ítems mantenibles de un equipo que cumple una función determinada, permite la sensibilización de su modo de falla para lograr una clasificación cualitativa y cuantitativa, analizar el impacto y exponer los modos de falla críticos mediante un análisis semi cuantitativo. Esto permite detectar oportunidades de mejora en el mantenimiento de subsistemas e impacto en el presupuesto, lo que la hace una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones.

Una definición más completa de RCM sería “proceso utilizado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo activo continúe haciendo lo que los usuarios quieren que hagan en su actual contexto operacional” (Moubray, 1997)

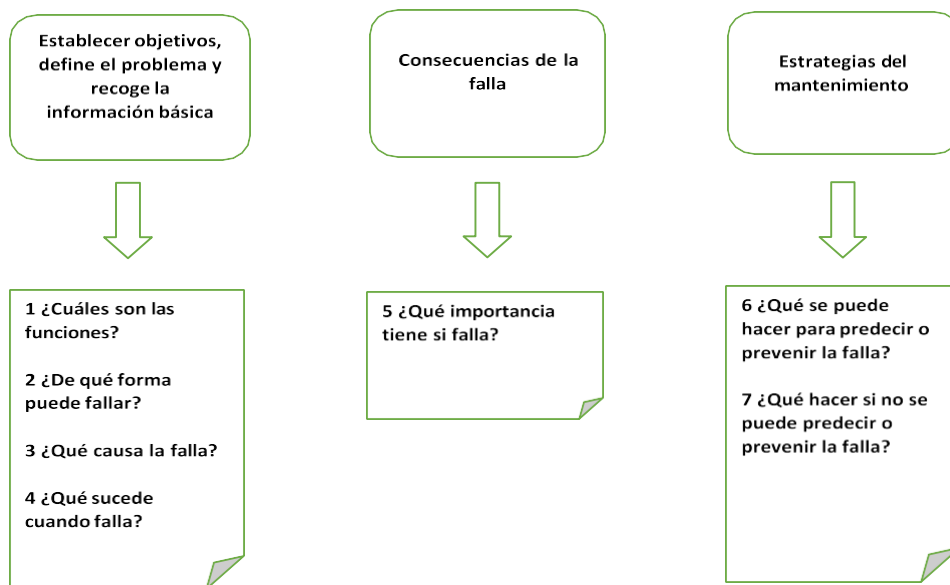


Diagrama 2-1: Siete preguntas del RCM (Fuente: Libro Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, autor John Moubray, segunda edición)

### 1.3.2 TAXONOMIA SEGÚN NORMA

La Taxonomía según la norma ISO 14224:2016 define como la clasificación sistemática de equipos o sistemas basándose en características para la agrupación de niveles diagrama 2-2. Esta permite ubicar el activo de interés dentro de una organización y contribuyendo de manera para la definición de sus funciones y posteriormente fallas funcionales que impactan en la confiabilidad del subsistema de estudio en base al ítem mantenible del activo.

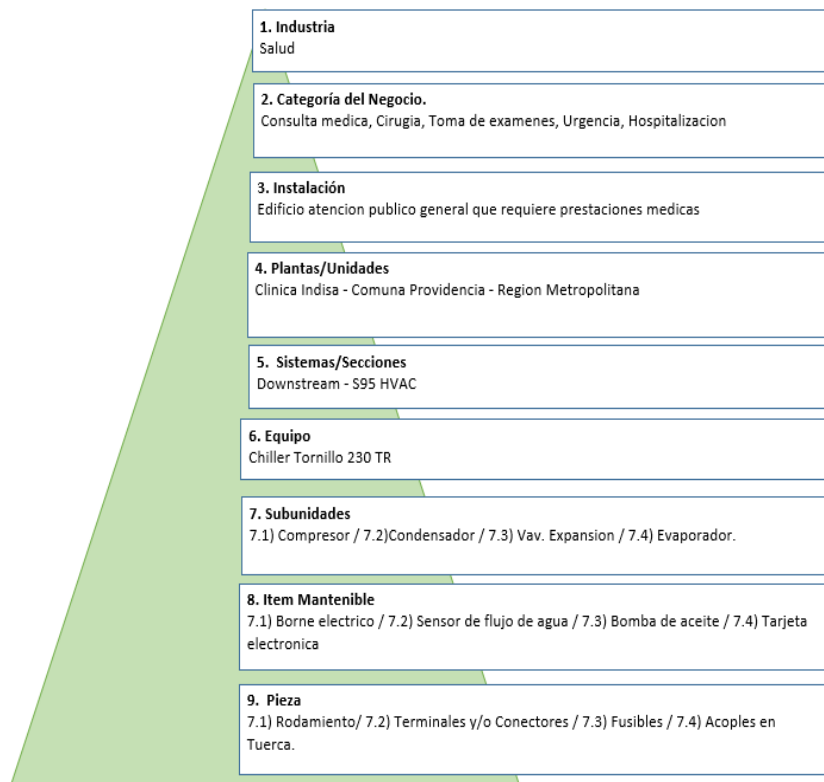


Diagrama 2-1: Niveles Taxonómicos (Fuente: ISO 14224)

### 1.3.3 DATOS ESPECÍFICOS DEL EQUIPO

El caso de estudio está asociado a una máquina de uso comercial y/o industrial, destinada a enfriar agua de procesos. En el mercado son conocidas como Chiller dentro de su segmento son los que tienen menor emisión de decibeles ideales para edificios destinados a oficinas, centros comerciales, hospitales, centros educativos, etc.

Para su proceso de enfriamiento utiliza un refrigerante ecológico 134 A el cual no daña la capa de ozono, dentro de sus componentes principales están: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador imagen 1-1. El diseño de estas máquinas está directamente relacionada a los metros cuadrados a climatizar, temperaturas de trabajo, el fluido puede ser agua sola o mezclada con etinglicol para temperaturas de trabajo más bajas, disminuyendo la temperatura de congelación ya que este fluido aumenta su densidad.

#### Physical Data

Model	30HXY			30HXC						
	065A	100A	130A	140A	155A	190A	230A	260A	285A	
Net nominal cooling capacity	kW	241	335	449	509	541	651	812	897	985
<b>Compressors</b>		Semi-hermetic, twin-screw POWER <sup>®</sup>								
Quantity-Circuit A		1	1	1	1	1	1	2	2	2
Quantity-Circuit B		-	-	1	1	1	1	1	1	1
No. of control steps		3	3	6	6	6	6	8	8	8
Minimum step capacity	%	40	40	19	17	19	21	14	14	14
<b>Evaporator</b>		Shell and tube with internally finned copper tubes								
Entering water temperature	°C	12								
Leaving water temperature	°C	7								
Net water volume	l	56	61	65	75	75	88	155	170	170
Inlet/outlet	in	3,5	4	5	5	5	5	6	6	6
Max.water side operating pressure	kPa	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
<b>Condenser</b>		Shell and tube with internally finned copper tubes								
Entering water temperature	°C	30								
Leaving water temperature	°C	35								
Net water volume	l	61	70	78	90	90	108	190	190	190
Inlet/outlet	in	4	5	5	5	5	6	8	8	8
Max.water side operating pressure	kPa	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
<b>Refrigerant charge</b>		HFC-134a								
Circuit A	kg	59	83	51	48	54	70	117	117	132
Circuit B	kg	-	-	47	48	57	70	75	75	80
<b>Dimensions</b>										
Length	mm	2100	2794	3278	3278	3278	3278	3912	3912	3912
Width	mm	950	950	980	980	980	980	1015	1015	1015
Height	mm	1816	1930	1816	1816	1816	1941	2060	2060	2060
<b>Net weight</b>	kg	1750	1950	2474	2537	2547	2983	4242	4296	4416
<b>Operating weight</b>	kg	1900	2110	2617	2702	2712	3179	4602	4656	4776

Diagrama 2-2: Ficha técnica Chiller Tornillo Carrier (Fuente: Catalogo técnico Carrier HXC)

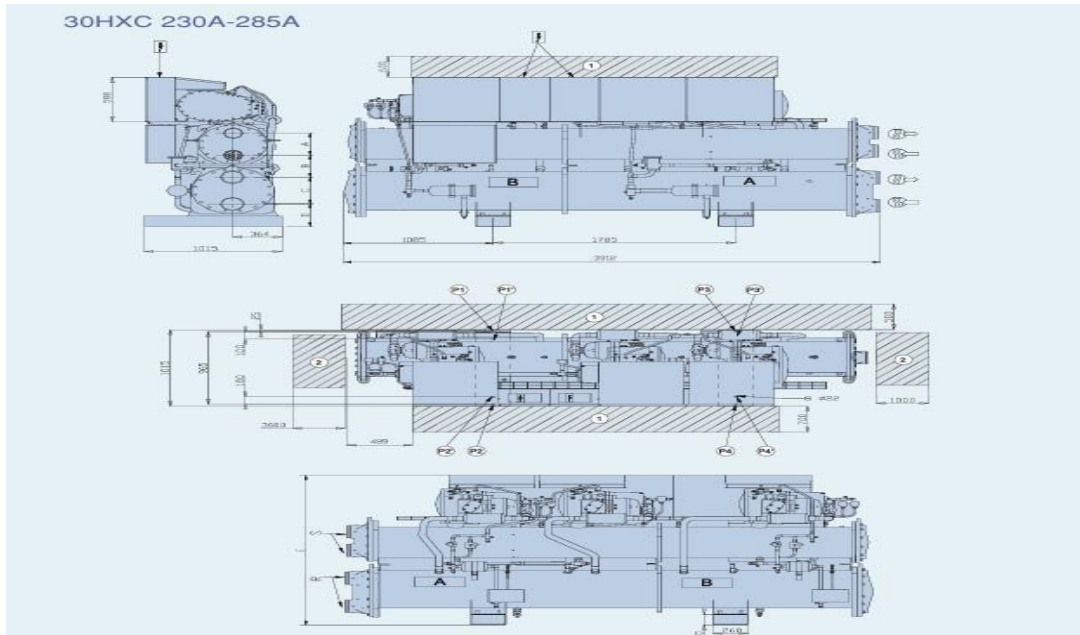


Diagrama 2-3: Dimensiones Chiller Tornillo Carrier (Fuente: Catalogo técnico Carrier HXC)

### 1.3.4 FUNCIÓN DEL EQUIPO

Al considerar la información del contexto operacional expuesto y considerando la clasificación del equipo, es posible definir de manera correcta la función principal del activo, que será relevante al momento de elaborar el FMECA.

- De acuerdo a lo revisado, es factible definir:

Función Primaria: Enfriar un caudal de agua desde una temperatura de 12 °C a 7 °C, con una presión de trabajo en el evaporador de 3 +/- 1 Bar.

- Función Secundaria:

1-Proteger al operador técnico de posibles fugas de refrigerante, mediante sistemas de control como son los presostatos y así evitar quemaduras en frio por contacto directo.

2- El equipo cuenta con dispositivos de seguridad en los circuitos eléctricos y temperatura, para garantizar seguridad al operador y al activo.

### 1.3.5 ANÁLISIS DEL PROCESO

Para comprender el proceso del activo, se realizará un diagrama “Sipoc” la cual es una herramienta que ayudara a trazar un modelo, dando a conocer los responsables del modelo a estudiar.

La abreviatura SIPOC significa:

- Suppliers (Proveedores)
- Inputs (entradas)
- Process (proceso)
- Outputs (salidas)
- Customers (cliente)

### PROCESO ENFRIAMIENTO DE AGUA PARA LA CLIMATIZACIÓN

PROVEEDOR	INPUT	PROCESO	SALIDA	CLIENTE
EMPRESA ELECTRICA 380 VOLT	RETORNO DEL AGUA A 12 ° C AL SISTEMA POR MEDIO DE BOMBAS DE AGUA PRIMARIAS	ENFRIAR AGUA DE 12° C A 7°C MEDIANTE UN CICLO DE REFRIGERACIÓN	SALIDA DE AGUA A 7 ° C IMPULSADO POR BOMBA SECUNDARIA	EQUIPOS TERMINALES
		PROCESO DE REFRIGERACIÓN PRESIÓN 3 BAR +/- 1		MANEJADORAS DE AIRE Y EQUIPOS FAN COIL
		DISIPACIÓN DE CALOR POR MEDIO DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO		HABITACIONES Y SALAS A CLIMATIZAR

Tabla N° 2-1: Descripción proceso mediante proceso Sipoc (Fuente: Elaboración propia)

La máquina es energizada para comenzar de enfriamiento del fluido (agua) por medio de un ciclo de refrigeración el cual trabaja a una presión de 3 bar +/-1 comienza el descenso de temperatura del fluido hasta llegar los 7 °C, el cual por medio de bombas es conducido por tubería hasta los equipos terminales como: manejadoras y fan coil para climatizar habitaciones y salas de distinto uso.

### **1.3.6 FALLA FUNCIONAL**

Una falla del tipo funcional es aquella que coloca en una condición total o parcial de incapacidad de cumplir su función primaria dependiendo de la categoría del equipo bajo los parámetros definidos por su contexto operacional.

Como falla total se presentan dos condiciones en Chiller:

- Chiller no genera presión de trabajo en evaporador de 3 bar +/- 1
- Chiller no entrega a 7 °C el fluido a la salida del evaporador.

Basado en el contexto operacional y el requerimiento del proceso, las fallas funcionales indicadas se toman con una importancia alta ya que disminuye el rendimiento de los equipos terminales, los cuales están encargados de climatizar los diferentes recintos de la instalación.

### **1.3.7 MODOS DE FALLA**

Los modos de falla se mencionan como la descripción del evento que causa una falla funcional enfocándose en el cómo y no en quien causa la falla, en esta etapa se deben describir los modos de fallas conocidos, así como aquellos que forman parte de la inspección actual “Los modos de falla serán mencionados en planilla del tipo FMECA”

### **(1.1.1) Chiller no entrega a 7 ° C el fluido a la salida del evaporador**

- Presostato de baja activado 1.1.2
- Sensor de flujo de agua del condensador roto 1.1.3
- Presostato de alta presión activado 1.1.4

### **1.2.1) Chiller pierde comunicación de los diferentes componentes**

- Tarjeta de comunicación con error 1.2.2
- Presostato diferencial depresión activado 1.2.3
- Tapa espejo del evaporador con filtración 1.2.3

### **(1.3.1) Chiller presenta defectos en componentes eléctricos y mecánicos**

- Contactor circuito estrella triangulo está pegado 1.3.2
- Rodamientos internos del compresor con ruido 1.3.3
- Tapa espejo del condensador con filtración 1.3.4

### **(1.4.1) Chiller presenta defectos en componentes de protección y lubricación**

- Fusible tarjeta control cortado 1.4.2
- Válvula de expansión no abre el paso del refrigerante 1.4.3
- Bomba de aceite no levanta presión 1.4.4

## **1.3.8 ANÁLISIS DE RIESGO CUANTITATIVO**

Para realizar un análisis de riesgo de la ocurrencia de los modos de fallo es necesario conocer la frecuencia y la consecuencia.

- Para el caso de estudio se cuenta con cantidad de fallas al año y sus costos económicos.

### 1.3.9 EFECTO DEL MODO DE FALLA

Para determinar el efecto de las fallas, se considera lo siguiente:

- Evidencia: determinar si la ocurrencia es detectable inmediatamente o no.
- Seguridad, Salud y Medio Ambiente: definir si la ocurrencia del modo de fallo afecta directamente a la seguridad y salud de las personas o al medio ambiente.
- Operacional: se determinará de que forma la ocurrencia del modo de fallo tiene participación en la función del equipo y la operación de este.
- Mantenimiento: acción correctiva necesaria para restauración del activo (no considera la política de mantenimiento de la empresa)

### 1.3.10 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

La cuantificación del riesgo se realizará para cada modo de falla por año, por lo que se determinaran los relacionados en el impacto de producción de mercado que será el costo de no producción del activo (costos entregados por el cliente) costos directo por falla asociados a horas hombre y repuestos que se deben asumir a cada modo de falla.

$$\text{Riesgo Cuantitativo} = \text{Frec. Fallas} * (\text{MTTR} * \text{Imp. Producción} + \text{Costo Directo Falla})$$

### 1.3.11 CUALIFICACIÓN DEL RIESGO

Esta cualificación será requerida para el impacto del modo de fallo asociado a la seguridad y el medio ambiente, en donde se le asignará una letra en base al nivel del impacto. De esta manera y concatenando la letra asignada de cada impacto se podrá obtener una apreciación de la severidad del riesgo.

### **1.3.12 ANÁLISIS CAUSA RAIZ**

El Análisis de Causa Raíz (ACR) o Root Cause Analysis (RAC) por sus siglas en inglés, es una disciplina dentro del área del mantenimiento que estudia y analiza siniestros, averías y hechos anormales en sistemas como equipos de todo tipo, especialmente de áreas como comerciales e industriales. Para este caso de estudio de este trabajo de título se analizará una falla ocurrida en el compresor que provocó la pérdida de la función primaria del activo con un impacto alto hacia el cliente.

### **1.3.13 DIAGRAMA ISHIKAWA**

El diagrama de Ishikawa también conocido como espina de pescado “por su forma” es una herramienta visual de fácil interpretación por su gráfico amigable. Su función es ayudar a la interpretación de un análisis a la organización, lo que es de gran ayuda para encontrar un problema.

## DIAGRAMA ANÁLISIS CAUSA RAIZ

ANÁLISIS DE FALLA - RCA						
		RCA:	FALLA EN RODAMIENTOS DE COMPRESOR TIPO TORNILLO			
		OT Padre:				
Equipo	Sistema	Componente	Fecha	Hora	Lugar	Equipo Análisis:
CHILLER 230 TR	Refrigeración	Compresor Tornillo	16-jun-24	16:50:50	Central Térmica	



A. - DETALLES DE LA FALLA		
<b>Descripción del evento: RCA</b>	A las 16:50 horas. Se detecta un aumento de la temperatura del agua helada en Chiller Tornillo, en panel control se identifica Alarma Nº 56 asociada a elevado consumo de corriente. Al resetear alarma para volver a arrancar la máquina y chequear consumo se detecta ruido mecánico por rodamientos dejando la maquina apagada por seguridad, para no dañar bobinado del motor.	
<b>1. Función del Componente</b>	<b>Información Recolectada</b>	<b>Diagramas, Fotografías</b>
Realizar la compresión del refrigerante para lograr el ciclo de refrigeración	Informes de personal Contra turno Informe de novedades operación Detenciones de correa PISYSTEM	
<b>2. Falla Funcional</b>	Detalle de detenciones, estadísticos planificación	
Rodamiento al estar dañado no permite funcionamiento normal del compresor		
<b>3. Modo de Falla (Causa de la Falla, Como falla?)</b>	<b>Metodologías de investigación</b>	
Desgaste Rodamientos en Tornillo Macho y Hembra	Los cinco por qué	X
	Diagrama Causa-Efecto (Espina de pescado)	X
<b>4. Efecto de la Falla ( Qué sucede cuando falla? )</b>	Árbol de Fallas	X
Aumento consumo eléctrico acompañado ruido mecánico	Tormenta de ideas	
	Diagrama Pareto	
<b>Causa Origen de la Falla</b>	Diagrama Jacknife	
Vida útil de los rodamientos	Información de terreno	X
	Otros. matriz impacto-Esfuerzo	
<b>Cronología</b>	Con fecha 16/06/2024 El operador de turno de clima procede a informar a su supervisor que Chiller Tornillo presenta una alarma que impide su normal funcionamiento. Esto a causa de falla en sistema mecánico del compresor.	
	El día 16/06/2024 a las 16:50 PM se detiene Chiller Tornillo, por falla en componentes internos del compresor. Se comienzan los trabajos de reparación. Compresor vuelve a quedar operativo el día 01/08/2024 a las 14:00 horas.	
<b>Hallazgos</b>	No hay una comparación de los consumos eléctricos v/s con los de placa del compresor por parte del operador en cada intervención	
	No existe aviso alguno de las horas de funcionamiento del compresor	
	No existe OT por realizar predictivo en compresor	

Tabla N° 2-2: Análisis ACR (Fuente: Elaboración propia)

# DIAGRAMA ISHIKAWUA

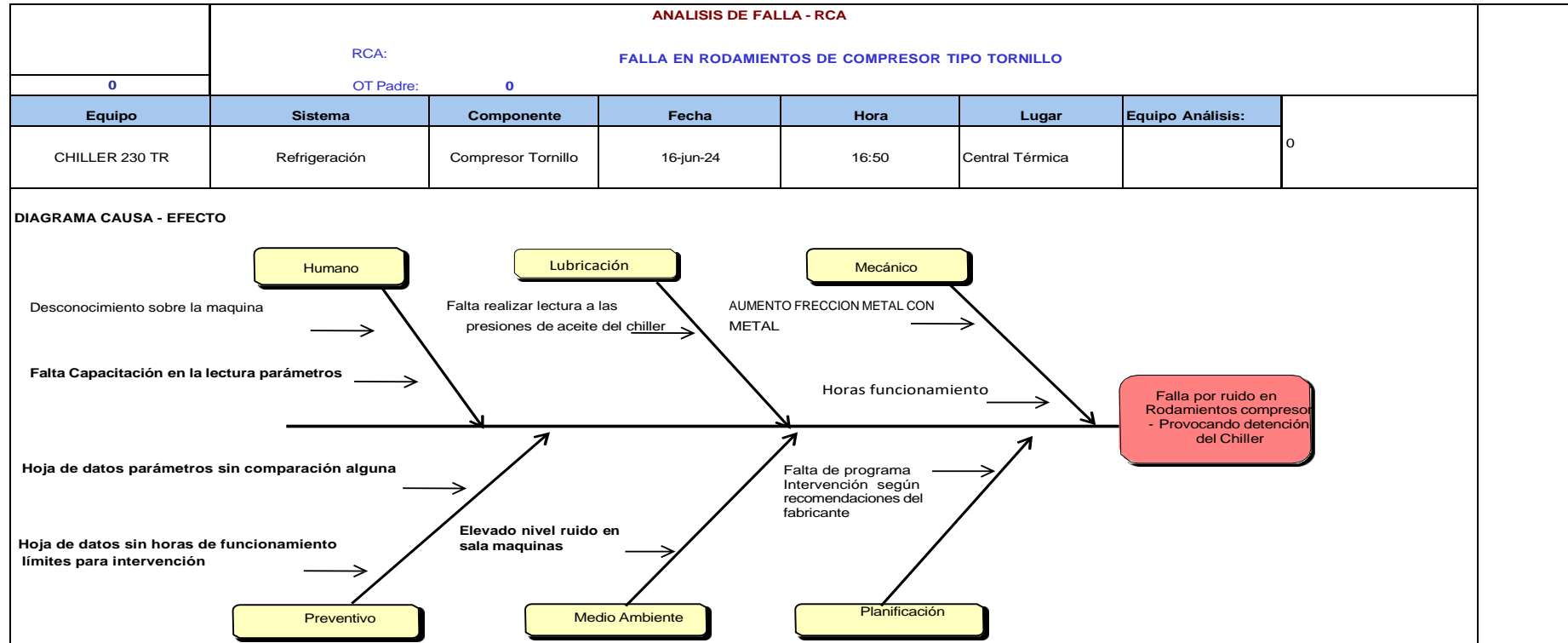


Tabla N° 2-3: Análisis Causa - Efecto (Fuente: Elaboración propia)

# ACR – ÁRBOL DE FALLA

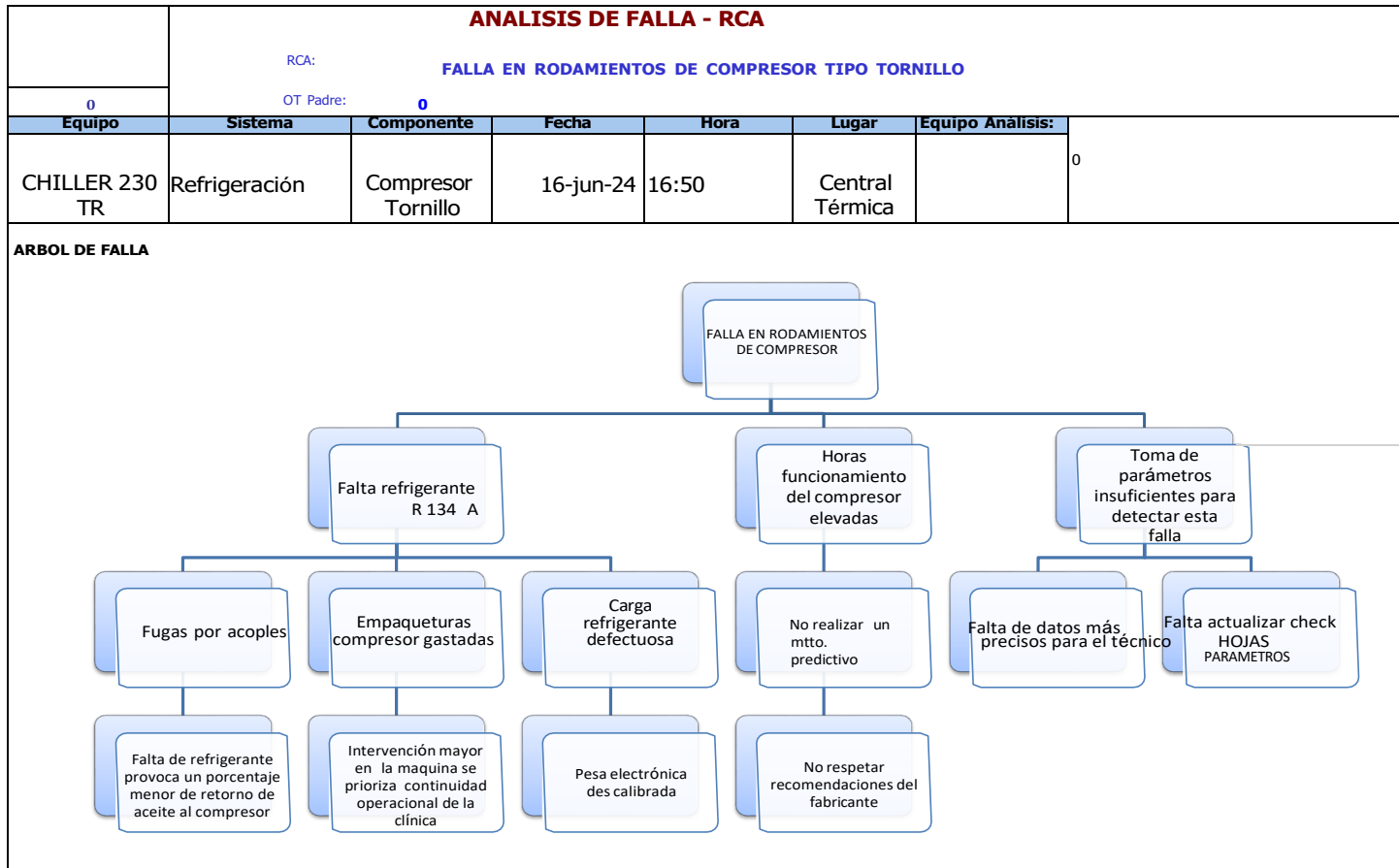


Diagrama 2-5: Árbol de Fallas (Fuente: Elaboración propia)

## ANALISIS 5 POR QUE

<b>ANALISIS DE FALLA - RCA</b>							
<b>FALLA EN RODAMIENTOS DE COMPRESOR TIPO TORNILLO</b>							
0							
Equipo	Sistema	Componente	Fecha	Hora		Lugar	
Compresor Tornillo	Refrigeración	Rodamientos	16-jun-24	16:50		Central Térmica	
Los 5 ¿Por qué?							
Falla	Porque 1	Porque 2	Porque 3	Porque 4	Porque 5	Plan	Acción/Observación
Ruido Mecánico por Rodamientos	No cumplimiento ruta de inspección eléctrica en motor	Alto desfasé en tiempo de registro parámetros	No existe un base de datos para ingresar parámetros	Documentación años anteriores no se almacena para búsqueda de información	Solo existe información del año en curso		
		Personal técnico no cuenta con rangos de trabajo en compresores	Técnico especialista asignado a otras tareas	Falta mano de obra calificada	Pocos especialistas en el mercado		
	Falta lubricación en compresor	filtración de aceite por empaquetaduras	Personal técnico no revisa nivel aceite	Bomba de aceite con ruido mecánico	Personal técnico resetea alarma por baja presión aceite en compresor		
	Baja carga de Refrigerante en chiller	Fuga por acoples	No se detectan fugas en el mantenimiento preventivo	No se cuenta con un detector de fuga electrónico	Elevado costo		
		Carga de refrigerante en equipo equivocada	Carencia de pesa electrónica para carga de refrigerante	Empresa cuenta con una sola pesa electrónica en buen estado para todas sus instalaciones	Técnicos no cuidan la herramientas		
		Falta seguimiento a las presiones de trabajo	Desconocimiento de los rangos de funcionamiento correctos	Desconocimiento del operador de las tablas termodinámicas del refrigerante	Falta capacitación al personal		
	Sistema de refrigeración sucio	Filtros obstruidos	No hay indicadores en la máquina de este evento	Solo se cambian filtros cuando se realiza una reparación en la máquina	No se aplica recomendaciones del fabricante		

Tabla N° 2-4: Análisis 5 porque (Fuente: Elaboración propia)

**TABLA FMECA**

ACTIVO	#	FUNCION REQUERIDA	#	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	FREC FALLAS	MTTR (LOR EJECP E MARCHA)	IMPACTO. PROD. CLP/hr	COSTOS DIRECTOS POR FALLA CLP/falla	IMP SEG	IMP AMB	RIESGO CUANTITATIVO CLP/año
CHILLER TORNILLO 230 TR(PARA ENFRIAR AGUA)	1	Enfriar un fluido (agua) desde una temperatura de 12 °C hasta los 7 °C, con una presión en el evaporador de 3 bar (+/-1)	1.1.	Chiller <b>No ENFRIA</b> el fluido (agua) a los 7 °C solicitado, con una presión de trabajo en el evaporador de 3 bar (+/-1) Se procede a detener el Chiller para detectar la falla.	PRSOSTATO DE BAJA PRESION ALARMADO	1.1.2 EVIDENTE: SI AFECTA SHA: NO EFECTO OPERACIONAL: DETENCION AUTOMATICA ACCION CORRECTIVA: RECARGA REFRIGERANTE	3	2	\$ 22.523	\$ 183.000	C	C	\$ 684.138
					SENSOR DE FLUJO DE AGUA DEL CONDENSADOR Y EVAPORADOR ROTO	1.1.3 EVIDENTE: SI AFECTA SHA: NO EFECTO OPERACIONAL: DETENCION AUTOMATICA CHILLER ACCION CORRECTIVA: CAMBIO DE SENSORES	2	180	\$ 22.524	\$ 2.180.000	C	C	\$ 12.468.640
					PRESOSTATO DE ALTA PRESION ALARMADO	1.1.4 EVIDENTE: SI AFECTA SHA: NO EFECTO OPERACIONAL: DETENCION AUTOMATICA ACCION CORRECTIVA: LIMPIEZA MECANICA A CONDENSADOR	1	8	\$ 22.525	\$ 488.000	B	C	\$ 668.200
					TARJETA DE COMUNICACION CON ERROR	1.2.2 AFECTA SHA: NO EFECTO OPERACIONAL: DETENCION AUTOMATICA ACCION CORRECTIVA: CAMBIO DE TARJETA ELECTRONICA	1	740	\$ 22.526	\$ 5.320.000	C	C	\$ 21.989.240
					PRESOSTATO DIFERENCIAL DE PRESION ALARMADO	1.2.3 EVIDENTE: SI AFECTA SHA: NO EFECTO OPERACIONAL: DETENCION AUTOMATICA ACCION CORRECTIVA: CAMBIO DE FILTROS INTERNOS	3	4	\$ 22.527	\$ 282.000	B	B	\$ 1.116.320
					TAPA ESPEJO DEL EQUIVAPORADOR CON FILTRACION	1.2.4 EVIDENTE: SI AFECTA SHA: NO EFECTO OPERACIONAL: BAJO CAUDAL DE AGUA ACCION CORRECTIVA: CAMBIO DE EMPAQUETADURA TAPA	1	10	\$ 22.528	\$ 610.000	C	B	\$ 835.280
					CONTACTOR TRIFASICO PARTIDA ESTRELLA - TRIANGULO NO ENCLAVA	1.3.2 EVIDENTE: SI AFECTA SHA: NO EFECTO OPERACIONAL: DETENCION AUTOMATICA ACCION CORRECTIVA: CAMBIO DE CONTACTOR	1	10	\$ 22.529	\$ 1.110.000	B	C	\$ 1.335.290
					RODAMIENTO INTERNO DEL COMPRESOR CON RUIDO	1.3.3 EVIDENTE: SI AFECTA SHA: SI EFECTO OPERACIONAL: AUMENTO CONSUMO ELECTRICO ACCION CORRECTIVA: CAMBIO DE RODAMIENTOS	1	1084	\$ 22.530	\$ 19.386.000	C	C	\$ 43.808.520
					TAPA ESPEJO DEL CONDENSADOR CON FILTRACION	1.3.4 EVIDENTE: SI AFECTA SHA: SI EFECTO OPERACIONAL: BAJO CAUDAL DE AGUA ACCION CORRECTIVA: CAMBIO DE EMPAQUETADURA TAPA	1	16	\$ 22.531	\$ 726.000	C	B	\$ 1.086.496
					FUSIBLE TARJETA CONTROL FALSO CONTACTO	1.4.2 EVIDENTE: SI AFECTA SHA: NO EFECTO OPERACIONAL: DETENCION AUTOMATICA ACCION CORRECTIVA: CAMBIO DE FUSIBLE	2	2	\$ 22.532	\$ 47.000	B	C	\$ 184.120
					VALVULA EXPANSION NO HABRE PASO DEL REFRIGERANTE	1.4.3 EVIDENTE: SI AFECTA SHA: NO EFECTO OPERACIONAL: BAJA CAPACIDAD ACCION CORRECTIVA: CAMBIO DE VALV. EXPANSION	1	430	\$ 22.533	\$ 7.230.000	C	C	\$ 16.919.190
					BOMBA DE ACEITE NO LEVANTA PRESION	1.4.4 EVIDENTE: SI AFECTA SHA: NO EFECTO OPERACIONAL: DETENCION AUTOMATICA ACCION CORRECTIVA: CAMBIO DE BOMBA DE ACEITE	2	18	\$ 22.534	\$ 696.000	C	C	\$ 2.203.220

Tabla 2-6: FMECA parte 1 (Fuente: Elaboración propia)

RIESGO CUALITATIVO	GRÁFICO	ACTIVIDAD MANTENIMIENTO	ACCION A EJECUTAR	FRECUENCIA DE APLICACIÓN	N° PERSONAS	HH EJECUCION (HRS)	TARIFA ESPECIALISTA	INSUMOS MATERIALES O SERVICIOS	PRESUPUESTO ANUAL
CC	1,00	TAREA A CONDICION	RECARGA REFRIGERANTE	3	1	2	\$ 5.500	\$ 450.000	\$ 483.000
CC	1,00	TAREA A CONDICION	REEMPLAZO SENSOR	2	1	8	\$ 5.500	\$ 400.000	\$ 488.000
BC	2,00	TAREA A CONDICION	LIMPIEZA MECANICA A CONDENSADOR	1	2	8	\$ 5.500	\$ 400.000	\$ 488.000
CC	1,00	TAREA A CONDICION	REEMPLAZO DE TARJETA ELECTRONICA	1	1	6	\$ 5.500	\$ 1.250.000	\$ 1.283.000
BB	4,00	TAREA A CONDICION	REEMPLAZO DE FILTROS INTERNOS	3	2	4	\$ 5.500	\$ 450.000	\$ 582.000
CB	2,00	TAREA A CONDICION	REEMPLAZO DE EMPAQUETADURAS TAPA ESPEJO	1	2	10	\$ 5.500	\$ 500.000	\$ 610.000
BC	2,00	TAREA A CONDICION	REEMPLAZO DE CONTACTORES	1	2	10	\$ 5.500	\$ 1.000.000	\$ 1.110.000
CC	1,00	TAREA A CONDICION	REEMPLAZO KID RODAMIENTOS	1	3	36	\$ 5.500	\$ 1.500.000	\$ 2.094.000
CB	2,00	TAREA A CONDICION	REEMPLAZO DE EMPAQUETADURAS TAPA ESPEJO	1	2	16	\$ 5.500	\$ 550.000	\$ 726.000
BC	2,00	TAREA A CONDICION	REEMPLAZO DE FUSIBLE	2	1	2	\$ 5.500	\$ 50.000	\$ 72.000
CC	1,00	TAREA A CONDICION	REEMPLAZO VALV. EXPANSION	1	2	90	\$ 5.500	\$ 2.500.000	\$ 3.490.000
CC	1,00	TAREA A CONDICION	REEMPLAZO BOMBA DE ACEITE	2	2	18	\$ 5.500	\$ 600.000	\$ 996.000

\$ 12.422.000 CLP

Tabla 2-7: FMECA parte 2 (Fuente: Elaboración propia)

## GRÁFICO COSTOS POR RIESGOS CUANTITATIVOS ANUAL



Tabla 2-8: FMECA Costos por Riesgos (Fuente: Elaboración propia)

# HOJA DE DECISIONES

		SERVICIO SALUD		REGISTRO		Código: GMAN-RG-SM-010																
				PLAN DE MANTENIMIENTO RCM		Integrantes: Joel Guzman																
						Fecha de emisión: 13-10-2024																
						Página: 1 de 1																
Localización: AV PROVIDENCIA #1810. STGO																						
Área: Mantenimiento		Código SAP: MBGLS20022022		Evaluación de las consecuencias		1 2 3		Tareas a falta de														
Activos: Chiller Tornillo		Preparado por: J Guzmán		Revisado por: J GUZMAN		Fecha: Diciembre 2024		actividad de mantenimiento		Acciones a ejecutar		Ítem Mantenible										
Activo		Función requerida		Falla Funcional		Modo de Falla		H S E O		H1 S1 O1 N1		H2 S2 O2 N2		H3 S3 O3 N3		H4 H5 S4						
CHILLER TORNILLO 230 TR(PARA ENFRIAR AGUA)	Enfriar un fluido (agua) desde una temperatura de 12 °C hasta los 7 °C, con una presión en el evaporador de 3 bar (+/-1)	Chiller No está enfriando el fluido (agua) a los 7 °C solicitado, con una presión de trabajo en el evaporador de 3 bar (+/-1) Se procede a detener el Chiller para detectar la falla.	1.- PRESOSTATO DE BAJA ACTIVADO		SI	SI			SI								TAREA A CONDICION	RECARGA REFRIGERANTE	CIRCUITO REFRIGERACION			
			2.-SENSOR DE FLUIDO DE AGUA EN CONDENSADOR ROTO		SI	SI			NO	SI									TAREA A CONDICION	REEMPLAZO SENSOR	SENSOR DE FLUIDO	
			3.- PRESOSTATO DE ALTA PRESION ACTIVADO		SI				SI											TAREA A CONDICION	LIMPIEZA MECANICA EN CONDENSADOR	CONDENSADOR
			4.- TARIETA DE COMUNICACIÓN CON ERROR		NO				SI											TAREA A CONDICION	REEMPLAZO DE TARIETA ELECTRONICA	TARIETA ELECTRONICA
			5.- PRESOSTATO DIFERENCIAL DE PRESION ACTIVADO		SI	SI			SI											TAREA A CONDICION	REEMPLAZO DE FILTROS INTERNOS	CIRCUITO REFRIGERACION
			6.- TAPA ESPEJO DEL EVAPORADOR CON FILTRACION		NO				NO	SI										TAREA A CONDICION	REEMPLAZO DE EMPAQUETADURA	CONDENSADOR
			7.- CONTACTOR TRIFASICO PARTIDA ESTRELLA - TRIANGULO PEGADO		SI	SI			NO	SI										TAREA A CONDICION	REEMPLAZO DE CONTACTORES	CONTACTOR
			8.- FALLA POR ELEVADO CONSUMO ELECTRICO DEL COMPRESOR		NO				NO	NO	NO	SI								TAREA A CONDICION	REEMPLAZO RODAMIENTOS	COMPRESOR
			9.- TAPA ESPEJO DEL CONDENSADOR CON FILTRACION		NO				NO	SI										TAREA A CONDICION	REEMPLAZO DE EMPAQUETADURA	EVAPORADOR
			10.- FUSIBLE TARIETA CONTROL CORTADO		SI	SI			NO	SI										TAREA A CONDICION	REEMPLAZO DE FUSIBLE	FUSIBLE
			11.- FALLA POR ALTA TEMPERATURA DEL AGUA A LA SALIDA DEL EVAPORADOR		NO				NO	NO	SI									TAREA A CONDICION	REEMPLAZO VALVULA EXPANSION	VALVULA EXPANSION
			12.- BOMA DE ACEITE NO LEVANTA PRESION		SI				SI	NO	SI									TAREA A CONDICION	REEMPLAZO BOMBA DE ACEITE	BOMBA ACEITE

Tabla 2-9: Hoja de decisiones (Fuente: Elaboración propia)

Dentro del análisis FMECA realizado para este caso, se da un modo de fallo con alto impacto para nuestro contexto operacional, este corresponde al ítem rodamiento del compresor tipo tornillo. Lo que deriva a una indisponibilidad del 12,56% esto traducido a horas fuera de servicio es un esquivamente a 1084 horas. Estos datos llevados a costos por Riesgos Cuantitativos es la suma de \$ 43.808.520 CLP monto equivalente a costo energético hacia el cliente equivale a la suma de 2450 horas de funcionamiento continuo del Chiller Tornillo.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la hoja de decisiones, las tareas propuestas para resolver las fallas es tarea a condición, lo que indica que presenta un síntoma en la máquina se interpreta la causa y se procede a sustituir. Esta acción mencionada condiciona la operatividad ya que al no contar con stock de repuestos los tiempos de reparación MTTR aumentan causando una elevación en los costos energéticos por las razones mencionadas anteriormente, circunstancias que se deben evaluar para reducir los porcentajes de indisponibilidad y mantener la proyección del área de mantenimiento.

#### **1.3.14 PROPUESTA PLAN DE MANTENIMIENTO PARA CHILLER TORNILLO**

Con la información recopilada de los diferentes tipos de análisis en este caso de estudio, se sugerirán las siguientes actividades al cliente como un plan de mantenimiento para el equipo Chiller Tornillo. Dicha propuesta indicará las actividades y la prioridad con que estas deben ser realizadas con el objetivo de mantener una disponibilidad sobre el 95% reduciendo los costos energéticos ya que se evitara energizar el Chiller Centrifugo el cual se encuentra en modo “Stand By”.

Una medida es el cambio de la plantilla de trabajo para el técnico operador, ya que se agrega una columna de rangos de funcionamiento. Esto ayudara a interpretar de mejor manera los parámetros que se obtienen de la máquina y poder prever futuras fallas.

Adicionalmente se agrega listado de tareas, donde se aumenta los puntos a revisar, con esta acción se pretende que el técnico conozca el funcionamiento de cada componente y rangos de trabajo aumentando la capacidad de un análisis técnico.

# PANTILLA NUEVA DE MANTENIMIENTO


							
PLAN MANTENIMIENTO DEPARTAMENTO DE SERVICIOS							
Hoja Actividades Chiller							
<b>CLIENTE:</b> CLINICA INDISA		<b>LOCALIZACIÓN:</b> AV. STA MARIA # 1810 PROVIDENCIA STGO		N° DOC <input style="width: 100px;" type="text"/>			
<b>EQUIPO:</b> CHILLER		<b>MODELO:</b> HXC230-A		<b>SERIE:</b> HGX2000RST5001			
<b>MARCA:</b> CARRIER		<b>AÑO DE FABRICACIÓN:</b> 2000		<b>REFRIGERANTE:</b> 134 -A			
<b>AMPERAJE NOMINAL:</b>		<b>VOLTAJE NOMINAL:</b> 380-400 VOLT					
<b>TIPO DE COMPRESORES:</b> TORNILLO		<b>MODELO COMPRESORES:</b> TR230LL001					
<b>NOMBRE SUPERVISOR</b>							
ITEM	REGISTROS	AÑO:					
		Enero	FEBRERO	MARZO	ABRIL	Mayo	Junio
ACTIVIDADES MENSUALES	Limpieza general de la unidad Lectura horas de operación						
	Verificación del nivel de aceite en los compresores						
	Chequeo de temperaturas y presiones en circuitos de frío Verificación del nivel de refrigerante						
	Chequeo del estado y funcionamiento del flow switch						
	Chequeo del func. a los calefactores de cárter, en los compresores						
	Chequeo de presiones de succión y descarga en los circuitos						
	Chequeo de la presión diferencial del aceite en los compresores.						
	Chequeo de consumos eléctricos a motores compresores Chequeo de consumos eléctricos a motores ventiladores						
	Chequeo de temperaturas de ent. y salida del agua, en el Eva Verificación del funcionamiento a v. de corte y válvulas de ser						
	Verificación y funcionamiento del circuito eléctrico de control Inspección estado al aislamiento térm. en tuberías de agua h						
	Chequeo de hermeticidad a circuitos de refrigeración Chequeo del funcionamiento y estado a controles de seguridad Revisión del cableado de fuerza y cableado de control						
	Revisión de bornes y reapriete de conexiones eléctricas						
	ANUALS	Retoque de pintura anticorrosivo					
Chequeo de contactares							
<b>LEYENDA:</b> R: REALIZADO SIN NOVEDAD RO: REALIZADO CON OBSERVACIONES NR: NO REALIZADO NA: NO APLICA							
DATOS DE LOS EJECUTORES	<b>FECHA DE EJECUCION:</b>						
	<b>TECNICO EJECUTANTE:</b>						
	<b>SUPERVISOR:</b>						
VISTO BUENO	mes: _____ nombre: _____	mes: _____ nombre: _____	mes: _____ nombre: _____				
	FIRMA: _____	FIRMA: _____	FIRMA: _____				
	mes: _____ nombre: _____	mes: _____ nombre: _____	mes: _____ nombre: _____				
	FIRMA: _____	FIRMA: _____	FIRMA: _____				

Tabla 2-10: Plantilla Chiller Tornillo (Fuente: Elaboración propia)



ITEM	REGISTROS	cto.	AÑO:						Parametros
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	
PARAMÉTRICOS	HORAS DE OPERACION	CIRCUITO NUMERO 1							8760 (Horas)
	NUMEROS DE PARTIDA								00 - 30
	CAPACIDAD (%)								00 - 100 %
	PRESION DE ACEITE (PSID)								30 - 45 (psi)
	PRESION DE ASPIRACION (PSIG)								40 - 45 (psi)
	PRESION DE DESCARGA (PSIG)								95 - 145 (psi)
	TEMPERATURA ENTRADA AGUA HELADA. (°C)								12 - 14 °C
	TEMPERATURA SALIDA AGUA HELADA. (°C)								07 - 09 °C
	SETPOINT AGUA HELADA (°C)								07 - 09 °C
	TEMPERATURA SAT. ASPIRACION (°C)							01 - 05 °C	
	HORAS DE OPERACION	CIRCUITO NUMERO 2							8760 (Horas)
	NUMEROS DE PARTIDA								00 - 30
	CAPACIDAD (%)								00 - 100 %
	PRESIÓN DE ACEITE (PSID)								30 - 45 (psi)
	PRESIÓN DE ASPIRACION (PSIG)								40 - 45 (psi)
	PRESIÓN DE DESCARGA (PSIG)								95 - 145 (psi)
	TEMPERATURA ENTRADA AGUA HELADA. (°C)								12 - 14 °C
	TEMPERATURA SALIDA AGUA HELADA. (°C)								07 - 09 °C
SETPOINT AGUA HELADA (°C)								07 - 09 °C	
TEMPERATURA SAT. ASPIRACION (°C)							01 - 05 °C		
PARAMÉTRICOS	CORRIENTE FASE L1 (AMPERES)	COMP. 1							55-80 Ampo
	CORRIENTE FASE L2 (AMPERES)								55-80 Ampo
	CORRIENTE FASE L3 (AMPERES)								55-80 Ampo
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/L2 (VOLTS)								380 - 400 Volt
	VOLTAJE ENTRE FASES L2/L3 (VOLTS)								380 - 400 Volt
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/L3 (VOLTS)								380 - 400 Volt
	CORRIENTE FASE L1 (AMPERES)	COMP. 2							55-80 Ampo
	CORRIENTE FASE L2 (AMPERES)								55-80 Ampo
	CORRIENTE FASE L3 (AMPERES)								55-80 Ampo
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/L2 (VOLTS)								380 - 400 Volt
	VOLTAJE ENTRE FASES L2/L3 (VOLTS)								380 - 400 Volt
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/L3 (VOLTS)								380 - 400 Volt
PARAMÉTRICOS	CORRIENTE FASE L1/TIERRA (AMPERES)	LUB							220 - 240 Volt
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/TIERRA (VOLTS)	LUB							0,5 -1 Ampo
	CORRIENTE FASE L2/TIERRA (AMPERES)	LUB							220 - 240 Volt
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/TIERRA (VOLTS)	LUB							0,5 -1 Ampo
	CORRIENTE FASE L3/TIERRA (AMPERES)	LUB							220 - 240 Volt
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/TIERRA (VOLTS)	LUB							0,5 -1 Ampo
LUB = BOMBA ACEITE									
DESCRIPCIÓN FALLA PRESENTADA									FECHA

Tabla 2-11: Plantilla Chiller Carrier (Fuente: Elaboración propia)

INTERVALO	TAREA	EQUIPO	COMPONENTE
Mensual	Revisar estado tapón sellante	Válvula de servicio	A
Mensual	Revisar estado del vástago	Válvula de servicio	A
Mensual	Revisar fugas de refrigerante	Válvula de servicio	A
Trimestral	Revisar estado del puerto de carga de refrigerante	Válvula de servicio	A
Trimestral	Revisar estado conexión a la línea de succión	Válvula de servicio	A
Mensual	Revisar estado de los cables	Sensor de flujo	B
Mensual	Medición de parámetros eléctricos	Sensor de flujo	B
Mensual	Revisar estado de terminales eléctricos	Sensor de flujo	B
Mensual	Limpieza general	Sensor de flujo	B
Semestral	Calibración en laboratorio	Sensor de flujo	B
Mensual	Limpieza general	Condensador	C
Mensual	Revisar estado de empaquetaduras	Condensador	C
Trimestral	Revisar de corrosión en pernos de fijación	Condensador	C
Semestral	Limpieza tubos interiores	Condensador	C
Semestral	Revisar estado tapas espejos	Condensador	C
Mensual	Limpieza general con solvente	Tarjeta Electrónica	D
Mensual	Medición de parámetros eléctricos	Tarjeta Electrónica	D
Mensual	Revisar estado de terminales eléctricos	Tarjeta Electrónica	D
Mensual	Revisar estado de soldaduras al estaño	Tarjeta Electrónica	D
Mensual	Revisar estado de componentes electrónicos	Tarjeta Electrónica	D
Semestral	Desmontaje y limpieza con limpia contacto	Tarjeta Electrónica	D
Mensual	Revisar estado carcaza	Filtros internos	E
Mensual	Revisar fugas por sellos	Filtros internos	E
Mensual	Revisar diferencia presiones de trabajo en Chiller	Filtros internos	E
Trimestral	Revisar malla filtrado impurezas	Filtros internos	E
Trimestral	Limpieza general	Empaquetadura	F
Trimestral	Revisar estado flexibilidad	Empaquetadura	F
Semestral	Revisar cuando exista intervención mayor	Empaquetadura	F
Mensual	Revisar estado bobina	Contactador	G
Mensual	Revisar estado de contactos	Contactador	G
Mensual	Revisar estado de la carcaza	Contactador	G
Semestral	Limpieza núcleo	Contactador	G
Semestral	Limpieza resortes	Contactador	G
Semestral	Limpieza armadura	Contactador	G
Mensual	Revisar estado de los soportes	Compresor	H
Mensual	Revisar estado de las empaquetaduras	Compresor	H
Mensual	Revisar funcionamiento controles de capacidad	Compresor	H
Mensual	Revisar estado terminales eléctricos	Compresor	H
Mensual	Revisar posibles fugas de refrigerante	Compresor	H
Mensual	Revisar estado de tuercas (carcaza)	Compresor	H
Mensual	Revisión consumo eléctricos (comparar con placa)	Compresor	H
Mensual	Revisión mangueras	Compresor	H
Mensual	Chequeo estado de bobinado	Compresor	H
Mensual	Chequeo estado piezas (rotor)	Compresor	H
Mensual	Chequeo estado estator	Compresor	H

INTERVALO	TAREA	EQUIPO	COMPONENTE
Trimestral	Limpieza general	Empaquetadura	I
Trimestral	Revisar estado flexibilidad	Empaquetadura	I
Semestral	Cambio cuando exista intervención mayor	Empaquetadura	I
Mensual	Revisar la fijación a soporte	Fusible	J
Mensual	Revisión estado terminales eléctricos	Fusible	J
Mensual	Revisión visual en diferencia de color estructura	Fusible	J
Mensual	Mediciones eléctricas	Fusible	J
Mensual	Chequeo fijación a soporte	Valv. Expansión	K
Mensual	Revisión estado del bulbo	Valv. Expansión	K
Mensual	Revisión estado del tubo capilar	Valv. Expansión	K
Mensual	Chequeo de fugas	Valv. Expansión	K
Mensual	Revisión estado de tuercas	Valv. Expansión	K
Mensual	Chequeo apertura y cierre	Valv. Expansión	K
Mensual	Revisión estado tapón de llenado de aceite	Bomba aceite	L
Mensual	Revisar estado de la carcasa de filtro	Bomba aceite	L
Mensual	Revisión nivel de aceite	Bomba aceite	L
Mensual	Revisión sello de empaquetaduras	Bomba aceite	L
Mensual	Inspección de filtraciones (Tuercas)	Bomba aceite	L
Mensual	Medición de parámetros eléctricos	Bomba aceite	L
Mensual	Chequeo estado de terminales eléctricos	Bomba aceite	L
Mensual	Limpieza general	Display control	LL
Mensual	Medición de parámetros eléctricos	Display control	LL
Mensual	Revisión estado transformador de voltaje	Display control	LL
Mensual	Revisión estado de botones	Display control	LL
Mensual	Comprobación de ingreso a parámetros (botones)	Display control	LL
Mensual	Revisión funcionamiento de pantalla	Display control	LL

Tabla 2-12: Actividades para mejora al plan de mantenimiento a equipo critico destinado al enfriamiento de agua

(Fuente: Elaboración propia)

## **CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONOMÍA**

## 1.4 ANALISIS DE FALLA

Para presentar al cliente una propuesta técnica que justifique alguna inversión adicional a lo ya presupuestado dentro de sus costos por concepto de mantenimiento preventivo. Se debe analizar la causa raíz del modo de fallo crítico definido por el FMECA, donde se evidencia los costos por concepto de tener la máquina detenida.

Por lo indicado y por medio de un análisis causa raíz (ACR) realizado en el capítulo dos (diagrama Ishikawa y árbol de fallas) Obtendremos información para validar las futuras medidas a tomar y justificar una metodología diferente a la que actualmente se ejecuta.

### 1.4.2 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa o también conocido como causa – efecto donde su estructura es similar a una espina de pescado. La cual se basa en la premisa que todo problema tiene una causa raíz, ayudando a identificar causas cuando algo no funciona correctamente en un proceso, este suele ser versátil ya que lo podemos adaptar a cualquier tipo de actividad, razón por la cual lo hemos incluido en este caso de estudio.

Descripción del problema:

**Maquina:** Chiller Carrier 230 TR

**Equipo:** Compresor Tornillo

**Componente:** Rodamientos rotor (macho –hembra)

**Fecha:** 16 de Junio 2024

**Hora:** 16:50 pm

**Lugar:** Central térmica

**Problema:** Falla total por aumento del consumo eléctrico (provocando la detención del Chiller)

**Mecánico:** Aumento fricción metal con metal – Horas de funcionamiento

**Lubricación:** falta realizar lectura a las presiones de aceite del Chiller

**Humano:** Desconocimiento de la máquina – Falta capacitación en la lectura de parámetros

**Preventivo:** Hojas de datos sin parámetros de comparación – Hoja de datos sin restricción de horas de funcionamiento

**Medio Ambiente:** Elevado nivel de ruido en donde está la maquina

**Planificación:** Falta información del fabricante

## **1-4-2 METODOLOGÍA ÁRBOL DE FALLOS**

El análisis de árbol de fallos es un análisis sistemático que permite identificar la causa raíz de un fallo a través de un diagrama. Este permite el análisis de una sola ocurrencia indeseada, pero también suele utilizarse sistemáticamente para evaluar funcionamiento de un conjunto de componentes, lo que hace que esta metodología sea muy versátil.

Con la recopilación de datos posterior a la falla, se procede a realizar un árbol de fallas, así poder realizar un planteamiento sólido de acuerdo a los modos de fallas y abordar la causa. Se lleva a cabo donde se detalla las causas que llevaron a la falla en compresor tomillo del Chiller Carrier 230 T.R

### **Detención de Chiller por Alarma Alto Consumo Eléctrico**

- Falta refrigerante 134 – A
- Fugas por acoples
- Fugas por empaquetaduras
- Carga de refrigerante no correcta

Horas funcionamiento del compresor

- Horas funcionamiento del compresor elevadas
- No existe mantenimiento preventivo
- No se aplica indicaciones del fabricante por horas de funcionamiento

Toma de parámetros eléctricos

- La lectura de parámetros no se compara con algún patrón.
- Técnico desconoce límite de rangos mínimo y máximo
- Hoja de mantenimiento desactualizada

### **1.4.3 MARCO DE REFERENCIA ASOCIADO A LAS HIPÓTESIS**

Con la ayuda del Árbol de Falla se han selecciona 4 hipótesis, las cuales deberán ser revisadas. Para esto se trabajará en el marco teórico asociado a cada hipótesis.

**Hipótesis 01:** Horas funcionamiento del compresor.

En la instalación no es aplicado el mantenimiento predictivo, por lo que no se cuenta con historiales de intervención en Chiller. Si bien el fabricante recomienda cada cierta cantidad de horas de operación realizar muestras del estado del aceite este en la actualidad no se lleva a cabo.

En la detención del Chiller por ruido mecánico asociado a un alto consumo eléctrico, se detectó que el horometro de la maquina estaba indicando un registro superior a las 28.000 horas de operación. Comparando con las recomendaciones del fabricante este indica que a las 25.000 horas se debe reemplazar el aceite y realizar una inspección mecánica a las partes internas del compresor, acciones no realizadas a la fecha ocurrida la detención.

Al inspeccionar compresor se detecta desgaste en los rodamientos, asociando la falla a estos componentes.



Imagen N° 3-1 Compresor tornillo Fuente: Clínica Indisa



Imagen N° 3-2 Rodamiento rotor Fuente: Clínica Indisa

### **Hipótesis 02:** Falta de refrigerante 134 – A

Para que el fluido (agua) llegue a una temperatura de salida de 7 °C el equipo debe tener su carga completa de refrigerante, el cual es 134-A este fluido tiene la particularidad que es compatible con el aceite que lubrica el compresor. Dentro de lo que recomienda el fabricante es que no existan fugas por las válvulas de servicio.

En caso de que se presente esta observación, el Chiller comienza a perder su rendimiento ya que no tiene su carga completa de refrigerante. Esto trae como consecuencia que parte del aceite el cual fluye con el refrigerante por todo el circuito de refrigeración quede en puntos como: condensador y/o evaporador provocando una disminución en el retorno de aceite hacia el recipiente de aceite, causando que la bomba de aceite no sea capaz de mantener una presión constante de lubricación y a la vez quede por momentos en vacío lo que provoca desgaste de pieza internas generando la falla total de esta, periodo 2024 fallo en 2 oportunidades.

Consecuencia de lo indicado es nuevamente falta de lubricación hacia los rodamientos del rotor, dañando las piezas mecánicas por fricción.



Imagen N° 3-3 Refrigerante 134 - A

Fuente: Clínica indisa



Imagen N° 3-4 Válvula servicio

Fuente: Clínica Indisa

### **Hipótesis 03:** Toma de parámetros insuficientes

El personal técnico durante sus labores diarias de acuerdo a la carta Gantt, debe realizar mantenimiento preventivo a Chiller Tornillo. Según hoja de parámetros debe realizar mediciones a la maquina como: voltaje, consumo eléctrico, presiones de trabajo, temperatura, etc.

Al analizar dicha hoja no existe datos de comparación que puedan indicar al técnico que lo que está registrando está bien o mal realizado. Esto ha provocado fallas parciales y totales en la máquina. Teniendo que ser intervenida de forma inmediata por la criticidad que tiene esta para el cliente, donde se ha dado que han fallado componentes y estos no está en stock en el mercado nacional, sino que se deben importar.

FECHA				TECNICOS :	R INOSTROZA	
EQUIPO	CHILLER TORNILLO				J CELIS	
MARCA	CARRIER		Pº INYECCIÓN AGUA COND.	28	PSI	
MODELO	30HXC230A		Pº RETORNO AGUA COND.	16	PSI	
Nº SERIE	H230F1616		Pº INYECCIÓN AGUA EVAP.	58	PSI	
UBICACIÓN	PISO 10		Pº RETORNO AGUA EVAP.	25	PSI	
Tº SALIDA AGUA FRIA	7	°C	Tº SALIDA AGUA COND.:	30	°C	
Tº ENTRADA AGUA FRIA	12	°C	Tº ENTRADA AGUA COND.:	23	°C	
CAPACIDAD TOTAL	100	%	Tº SET POINT:	23	°C	
HRS DE FUNCIONAMIENTO	48.500		CP 1A MOD: 06NW2300R5NA-A00	SERIE: 2006L22678		
PARTIDAS DE LA MAQUINA	12.386		CP 2A MOD: 06NW2200R5NA-A00	SERIE: 2006L22621		
<b>MEDICIONES</b>			CP 1B MOD: 06NW2300R5NA-A00	SERIE: 2006L22641		
TENSION	R - S		R - T		S - T	
TOTAL	388	V	386	V	387	V
CORRIENTE	R		S		T	
TOTAL	58,9	A	60,4	A	66,2	A
	COMP. A1		COMP. A2		COMP B1	
CAPACIDAD EN %	100		100		100 %	
P.DE DESCARGA.	286		278			
P.DE ASPIRACION	32		35			
Tº SAT. ASPIRACION	5		7			
Tº SAT. DESCARGA	46		48			
P. DE ACEITE	65		66		70	
Tº DE MOTOR	80		82		84	
HORAS DE OPERACION	28.500		36.00		40.000	
Nº DE PARTIDAS	3.500		3.000		2.800	

Imagen N° 3-5 Hoja parámetros (Fuente: Termofrio)

#### Hipótesis 04: Actualización planilla de mantenimiento

Debido al aumento en los costos operacionales por concepto de un mayor consumo eléctrico, Termofrio como empresa mantenedora del equipo en estudio se ha contactado con el servicio técnico autorizado de Carrier. Esto para solicitar información de la maquina como los son: temperatura, presiones, voltaje, consumo eléctrico, horas de funcionamiento, etc.

Ya con los datos obtenidos, se procedió a confeccionar una nueva hoja de parámetros, así el técnico podrá comparar todos los datos que entrega la máquina y poder interpretar de manera rápida cualquier variación de esta, con esto poder anticipar una falla parcial.

ITEM	REGISTROS	CIRCUITO	AÑO:						Parametros	
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio		
PARAMÉTROS	HORAS DE OPERACIÓN	CIRCUITO NUMERO 1							8760 (Hrs)	
	NUMEROS DE PARTIDA								00 - 30	
	CAPACIDAD (%)								00 - 100 %	
	PRESIÓN DE ACEITE (PSID)								30 - 45 (psii)	
	PRESIÓN DE ASPIRACIÓN (PSIG)								40 - 45 (psii)	
	PRESIÓN DE DESCARGA (PSIG)								95 - 145 (psii)	
	TEMPERATURA ENTRADA AGUA HELADA. (°C)								12 - 14 °C	
	TEMPERATURA SALIDA AGUA HELADA. (°C)								07 - 09 °C	
	SETPOINT AGUA HELADA (°C)								07 - 09 °C	
	TEMPERATURA SAT. ASPIRACIÓN (°C)								01 - 05 °C	
	HORAS DE OPERACIÓN		CIRCUITO NUMERO 2							8760 (Hrs)
	NUMEROS DE PARTIDA									00 - 30
	CAPACIDAD (%)									00 - 100 %
	PRESIÓN DE ACEITE (PSID)									30 - 45 (psii)
PRESIÓN DE ASPIRACIÓN (PSIG)								40 - 45 (psii)		
PRESIÓN DE DESCARGA (PSIG)								95 - 145 (psii)		
TEMPERATURA ENTRADA AGUA HELADA. (°C)								12 - 14 °C		
TEMPERATURA SALIDA AGUA HELADA. (°C)								07 - 09 °C		
SETPOINT AGUA HELADA (°C)								07 - 09 °C		
TEMPERATURA SAT. ASPIRACIÓN (°C)								01 - 05 °C		
PARAMÉTROS	CORRIENTE FASE L1 (AMPERES)	COMP. 1								55-80 Amp
	CORRIENTE FASE L2 (AMPERES)									55-80 Amp
	CORRIENTE FASE L3 (AMPERES)									55-80 Amp
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/L2 (VOLTS)									380 - 400 Volt
	VOLTAJE ENTRE FASES L2/L3 (VOLTS)								380 - 400 Volt	
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/L3 (VOLTS)								380 - 400 Volt	
	CORRIENTE FASE L1 (AMPERES)	COMP. 2							55-80 Amp	
	CORRIENTE FASE L2 (AMPERES)								55-80 Amp	
	CORRIENTE FASE L3 (AMPERES)								55-80 Amp	
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/L2 (VOLTS)								380 - 400 Volt	
	VOLTAJE ENTRE FASES L2/L3 (VOLTS)								380 - 400 Volt	
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/L3 (VOLTS)								380 - 400 Volt	
PARAMÉTROS	CORRIENTE FASE L1/TIERRA (AMPERES)	LUB							220 - 240 Volt	
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/TIERRA (VOLTS)								0,5 -1 Amp	
	CORRIENTE FASE L2/TIERRA (AMPERES)	LUB							220 - 240 Volt	
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/TIERRA (VOLTS)								0,5 -1 Amp	
	CORRIENTE FASE L3/TIERRA (AMPERES)	LUB							220 - 240 Volt	
	VOLTAJE ENTRE FASES L1/TIERRA (VOLTS)								0,5 -1 Amp	
LUB = BOMBA ACEITE										

Imagen N° 3-6 Hoja mantenimiento actualizada (Fuente: Termofrio)

## 1.4.5 EXPLICACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

**Hipótesis (1):** Horas funcionamiento compresor.

- Compresor tipo tornillo según fabricante se debe intervenir mecánicamente a las 25.000 horas de funcionamiento, para el cambio de aceite y la inspección de rodamientos.
- Fabricante recomienda realizar muestreo de la calidad del aceite la cual debe ser comparada con la ficha técnica del lubricante que tiene la máquina. Así poder saber indicios de contaminación y/o pérdidas en su composición.
- Sistema de lubricación por medio de bomba de aceite debe ser de acuerdo a lo indicado por el fabricante. Esto quiere decir que debe mantener una presión de trabajo dentro de un rango, si este sufre variaciones provocara síntomas en compresor tipo tornillo siendo alguno de estos el aumento en el consumo eléctrico, como también aumento de las temperaturas de trabajo.

**Comprobación:** En reunión con el personal técnico se consultó si estaban en conocimiento de las horas de trabajo del compresor. Esto para asociar la falla total presentada en equipo Chiller tornillo, donde la respuesta fue que se desconocía al igual que las precauciones que se deben tener cuando aumenta los consumos eléctricos y temperaturas de trabajo.

**Datos relevantes:** El rango de trabajo de la bomba de aceite es entre los 30 y 45 psi, parámetro que lo entrega la máquina por medio de su display. A causa de tener una hoja de mantenimiento acotada en la recopilación de información, este parámetro no fue incluido.

**Conclusiones de la comprobación:** Una vez intervenido el compresor tornillo para su reparación, se pudo analizar sus componentes detectando desgaste mecánico, lo que se derivó a problemas de lubricación, provocando una detención total de 1084 horas.

## **Hipótesis (2):** Falta de refrigerante 134-A

Equipo Chiller al no contar con su carga completa de refrigerante, presenta baja eficiencia ya que no puede bajar la temperatura del agua, la cual debe ser 7 °C.

Durante el año 2024 se presentaron 3 fallas asociadas a falta de refrigerante, donde se debió buscar puntos de pérdidas de este y reparar. Para luego normalizar, procedimiento rápido ya que refrigerante es estándar y siempre se encuentra en el mercado nacional.

En la detección de los puntos de pérdida de refrigerante se encontró la válvula de servicio tabla 1-8 componente A, la cual presentaba micro fugas lo que en tiempos prolongados de funcionamiento como lo es este equipo 24/7 la pérdida es constante.

**Comprobación:** Durante el funcionamiento del Chiller no presento una falla total a causa de falta de refrigerante. Lo que si se presento fue reclamos por parte de los usuarios ya que el agua que debe salir a los equipos terminales imagen 1-5 a 7 °C, esta los hacia 2 a 3 grados más, provocando un aumento de las temperaturas en las salas a climatizar.

**Datos relevantes:** El rango de trabajo del refrigerante esta entre los 40 y 45 psi, parámetro que lo entrega la maquina por medio de su display tabla 1-1 componente LL. A causa de tener una hoja de mantenimiento acotada en la recopilación de información, este parámetro no fue captado por el operador técnico para actuar con anticipación.

**Conclusiones de la comprobación:** Se puede concluir que, al tener planillas de mantenimiento acotadas en información para el operador técnico, causa una interpretación tardía lo que conlleva a intervenciones cuando ya está presente la falla, dejando nula una intervención predictiva.

**Hipótesis (3):** Toma de parámetros insuficientes

- Chiller Tornillo por tener componentes como: eléctricos, electrónicos, mecánicos debe tener un registro de parámetros para saber si sus rangos de operación están dentro de lo que indica el fabricante.
- La planilla de mantenimiento actual está muy limitada en la recopilación de datos, lo que deja al técnico en una condición desfavorable ya que este queda expuesto a condiciones de operación al límite impidiendo una intervención predictiva.
- Se detecta que planilla utilizada durante periodo 2024 además de presentar un acotado registro, no tiene la opción la opción registrar intervenciones, lo que también provoca nulo registro del MTBF de lo que impide al operador técnico poder analizar de mejor forma el funcionamiento de la máquina.

**Comprobación:** En reuniones técnicas se pudo llegar a la conclusión que los parámetros indicados en planilla son insuficientes para determinar los tiempos de funcionamiento y los tiempos de detención.

**Datos relevantes:** Al no regirse por lo recomendado por el fabricante del Carrier, se cometieron errores que llevaron a la detención total de la maquina impactando en los costos operacionales al cliente por el aumento del consumo eléctrico.

**Conclusiones de la comprobación:** Se determinó en reunión con el cliente en actualizar planilla de equipo Chiller Tornillo. Así poder entregar información de futuras intervenciones con tiempos no tan acotados y tomar los resguardos como son la adquisición de repuestos.

#### **Hipótesis (4):** Actualización planilla mantenimiento

- La creación de una nueva planilla se regirá de acuerdo a lo indicado por Carrier Chile, esto para estandarizar procesos ocupado en otras instalaciones, con buenos resultados.
- Por falta de conocimiento del Chiller tipo Tornillo, se deberá realizar capacitación al personal técnico, esto para entender la información que entrega la maquina mientras esté en funcionamiento.
- No existe información de reparaciones realizadas en Chiller Tornillo, razón por la cual justifica cambio de la actual planilla de registro de parámetros.

**Comprobación:** Al regirse por las indicaciones del fabricante de la máquina, se podrá anticipar la presencia de fallas. Lo que permitirá tomar los resguardos como lo son la disponibilidad de repuestos.

**Datos relevantes:** Los tiempos asociados a reparaciones MTTR serán reducidos, ya que se tendrán los repuestos en la instalación.

**Conclusiones de la comprobación:** La nueva planilla de mantenimientos, ayudara a tener una data de la maquina actualizada. por lo que el cliente conocerá los MTBF así poder proyectar los recursos por concepto de repuestos y costos energéticos para el período entrante.

#### **1.4.6 RAZONAMIENTO ASOCIADO A LAS HIPÓTESIS**

**Para la hipótesis (1):** Al inspeccionar componentes mecánicos del compresor, en este caso los rodamientos, estos presentan decoloración en sus partes esto puede estar asociado a temperaturas de trabajo elevadas, así como también ralladuras lo que puede estar directamente asociado a falta de lubricación y no al desgaste por vida útil. Por lo que esta hipótesis deja argumentos claros de la falla total presentada.

**Para la hipótesis (2):** Chiller Tomillo presento durante periodo 2024 tres fallas parciales, de las cuales todas se pudieron prevenir con una correcta interpretación de los parámetros que entrega el display. Lo que deja esta hipótesis es la poca información recopilada para tomar acciones predictivas, dejando en evidencia un mantenimiento carente en el aspecto de análisis de datos.

**Para la hipótesis (3):** La falta de toma de parámetros claves para la interpretación correcta de la máquina, causo fallas que impactaron directamente al cliente en el aumento de los costos de operación al tener que funcionar con una máquina de mayor consumo eléctrico. En reuniones con el personal técnico se reflejó que fallas se pueden predecir, lo que reducirá MTTR ya que se contara con preparación previa del personal calificado para intervenir y repuestos en la instalación acotando las paradas, logrando las expectativas del cliente la cual es tener una disponibilidad de un 95%. Por lo que deja esta hipótesis es que la planilla actual no es la correcta para este tipo de máquina.

**Para la hipótesis (4):** La necesidad de mejorar la disponibilidad del Chiller Tomillo, llevo a Termofrio ser asesorado por el representante de la máquina para manifestar los problemas que está presentando y como poder mitigarlos. La hipótesis deja en claro que la actual planilla de mantenimiento es insuficiente, por lo que se debe actualizar con nuevos ítem y estos tener rangos de operación para lo cual el operador técnico sepa interpretar la presencia del inicio de una posible falla.

#### **1.4.7 ARGUMENTO DEL ANÁLISIS DE LA FALLA**

Ya con toda la información recopilada y la exposición de las hipótesis que llevaron a una detención de la máquina de 1084 horas. Se puede concluir que la causa raíz fue más de una, para este caso de estudio presentaremos cuatros, las que podemos instruir que son las con mayor argumento y que al modificarlas podremos evitar una contingencia similar al periodo 2024.

**Causa raíz (1):** La falta de lubricación en componentes mecánicos del compresor tornillo, llevaron a un desgaste prematuro. Lo que, al sumar la incorrecta interpretación de parámetros por parte del personal técnico, encadenando una suma de factores llevando a la maquina a una falla total.

**Causa raíz (2):** La falta de refrigerante en el sistema de refrigeración, provoco que la maquina bajara su eficiencia térmica. Presentando una falla parcial, pero de igual manera el descontento del usuario final por las alta temperaturas de los recintos a climatizar. Nuevamente se repite la incorrecta interpretación del técnico en la lectura de parámetros.

**Causa raíz (3):** La falta de parámetros en la planilla de mantenimiento, deja expuesto al técnico en un escenario desfavorable. Ya que, al no tener parámetros de comparación, no se tomaron los resguardos necesarios para evitar las fallas parciales como totales.

**Causa raíz (4):** La capacitación es necesaria en este tipo de casos, ya que mediante reuniones con el personal técnico se pudo deducir que la falta de antecedentes. No permitió tomar los resguardos necesarios para evitar la detención de la máquina, motivos que llevaron a Termofrio en la actualización de planilla.

#### **1.4.8 PLAN DE ACCIÓN**

El plan de acción en este caso de estudio, serán las recomendaciones técnicas que servirán para minimizar los modos de fallo.

Las propuestas sugeridas están en base a las causas raíz vistas anteriormente, pero de acuerdo a todos los antecedentes recopilados nos enfocaremos en 1 causa raíz. La mejora al plan de mantenimiento mediante planillas que sean entendibles técnicamente y que aseguren mediante comparación un buen funcionamiento del equipo. Antes de presentarse una falla hay síntomas que en este caso los llamaremos indicadores, estos se comportaran de acuerdo al estado de la máquina. Existen variables como antigüedad y el medio donde se encuentra físicamente, por lo que se requiere una capacitación previa del personal de que es lo que se quiere medir. Ya con esta inducción podemos

avanzar en otro ítem como lo es el MTBF y el MTTR indicadores que permitirán tomar decisiones y justificar inversión si así lo amerita.

La intervención del representante de la marca ha sido fundamental en poder saber las razones de las fallas presentadas y del cómo se pueden minimizar. Por eso que una información clara y asignación de funciones al técnico del cómo llevar un correcto mantenimiento, permitirá una disponibilidad mayor a la del periodo 2024 y cercana al 95%, porcentaje solicitado por el cliente. Se menciona cercana porque esto debe llevarse a cabo con el involucramiento de todas las partes Cliente y Termofrio.

Por parte del cliente estar dispuesto a mantener repuestos en stock, lo que conlleva a una inversión, pero esta debe ser justificada con los altos costos operacionales por concepto de energía eléctrica y a Termofrio empresa mantenedora de llevar una periodicidad e involucramiento con el mantenimiento de acuerdo a lo recomendado por el representante de la marca, esto permitirá anticiparse a modos de fallos inesperados y tomar los resguardos necesarios.

#### **1.4.9 EVALUACIÓN TÉCNICA COMERCIAL**

Con el plan de acción ya definido por la parte técnica, donde se implementarán mejoras en la forma del mantenimiento para que este sea confiable de acuerdo a los estándares que exige el cliente Clínica Indisa. Esto quiere decir que existirán metodologías que anteriormente no se aplicaban y ahora estarán presentes el día a día para el técnico.

Para justificar cualquier plan de inversión al cliente, este debe estar basado en los impactos económicos que está asumiendo hoy en día y cuáles serán sus beneficios. Para lo cual nos apoyaremos en FMECA donde se ingresaron factores como: costo hora hombre, valor de repuesto, MTTR, impacto fuera de servicio, lo que dará como resultado el riesgo cuantitativo en conjunto el FMECA demostrará el costo del plan de mantenimiento de acuerdo a las actividades clasificadas por la hoja de decisiones, esta mediante una evaluación de las actividades en nuestro equipo nos entrega el tipo de actividad a realizar.

Costos directos por falla	Riesgo cuantitativo al año	Costos por insumos al año	Presupuesto anual
\$ 38.258.000	\$ 103.298.670	\$ 9.650.000	\$ 12.719.000

Tabla N° 3-1 Riesgo cuantitativo FMECA (Fuente: elaboración propia)

- En los costos directos el monto \$ 38.258.000 CLP, es a causa de tener que detener la máquina y asumir los tiempos de reparación en conjunto con los tiempos de la llegada del repuesto.
- En el riesgo cuantitativo al año el monto \$ 103.298.670 CLP, es el resultado de los costos directos por falla más la frecuencia de esta.
- En los costos por insumo al año el monto \$ 9.650.000 CLP, es el resultado de la suma de tener todos los repuestos en stock.
- En el presupuesto anual por un monto de \$ 12.719.000 CLP, es el resultado de tener los repuestos, la frecuencia y la mano de obra.

## TABLA COMPARACIÓN

Con la finalidad de justificar cualquier tipo de inversión por parte del cliente, se realizará tabla comparativa de los costos adicionales que tuvo en el período 2024 por concepto de tener que trabajar con Chiller Centrifugo, el cual tiene un consumo mayor de energía eléctrica que el Chiller Tornillo equivalente a 55,7%.

Proyectado 2024 CLP	Condición Real 2024 CLP	Aumento %	Costo Adicional CLP
\$ 166.467.594	\$ 227.640.062	26,9	\$ 61.172.468

Costo Adicional Consumo Energético CLP	Presupuesto Anual FMECA CLP	Ahorro Cliente	%
\$ 61.172.468	\$ 12.719.000	\$ 48.453.468	79%

Tabla N° 3-2 Riesgo cuantitativo FMECA (Fuente: elaboración propia)

Al analizar los datos podemos concluir que es factible llevar a cabo una nueva metodología en el mantenimiento del Chiller Tornillo. Ya que las cifras indican que el cliente al manejar stock de repuestos puede alcanzar la disponibilidad solicitada la cual es de un 95% con un ahorro cercano al 79%.

La empresa Termofrio con la obtención de datos como tiempos de reparación, tiempos de llegada de repuestos, manejo del stock local y la respectiva mejora en la interpretación de datos acompañado de capacitación al personal puede asegurar una mejora sustancial al mantenimiento de la maquina en estudio.

## CONCLUSIONES

En resumen, podemos concluir que al mejorar un plan de mantenimiento que ya se encontraba funcionando, al optimizar los recursos que el cliente estaba destinando al aumento de consumo energético ser derivados a la adquisición de repuestos para tener un stock y ser utilizados cuando se requiera.

Se ha demostrado al cliente que utilizar técnicas de análisis como lo son: análisis causa y efecto y el árbol de fallas acompañado de un FMECA. Se pueden tomar decisiones con una mayor justificación en el aspecto técnico como el económico, este último de gran relevancia para un departamento de mantenimiento, ya que puede destinar recursos a otros equipos.

Como todo plan de mantenimiento al tener una mejora, comenzarán a presentarse falencias de algunos procedimientos que no estaban correctamente ejecutados, por lo que es necesario en este tipo de modificaciones realizar reuniones con todos los involucrados (técnicos, supervisores, gerencia) así poder analizar los modos de fallas presentados y como poder ser mitigados. Es por esto que el compromiso en un área de mantenimiento por parte de los trabajadores es fundamental, ya que son ellos los que ejecutan las labores diarias y son los que suben la información para ser analizada.

Por lo mencionado y visto los resultados en lo que respecta a mejoras en el plan de mantenimiento para el equipo Chiller Tornillo, se puede concluir que la técnica RCM es viable en este tipo de máquina, por lo que hace de esta una herramienta de gran valor a la hora de mejoras en equipos de procesos térmicos.

## RECOMENDACIONES

Para el caso de estudio en donde se buscó presentar técnicas de análisis para mejorar el actual plan de mantenimiento, se recomienda mantener condiciones y acciones que permitan a los técnicos llevar a cabo un mantenimiento más exhaustivo, así poder alcanzar porcentajes de confiabilidad de acuerdo a la necesidad del cliente.

Este proceso no es a corto plazo ya que involucra a ambas partes como lo son Clínica Indisa y Termofrio, al primer actor por conveniencia en reducir costos operacionales y al segundo por mantener el actual contrato de mantención.

De acuerdo a lo mencionado es necesario mantener una línea de comunicación entre ambas partes así poder llevar a cabo labores que permitan ejecutar un buen servicio. Esto significa que las asignaciones al personal técnicos deben ser fiscalizadas para obtener un real estado de la máquina y poder tomar los resguardos con holgura de tiempo, lo que permitirá mantener los MTTR controlados.

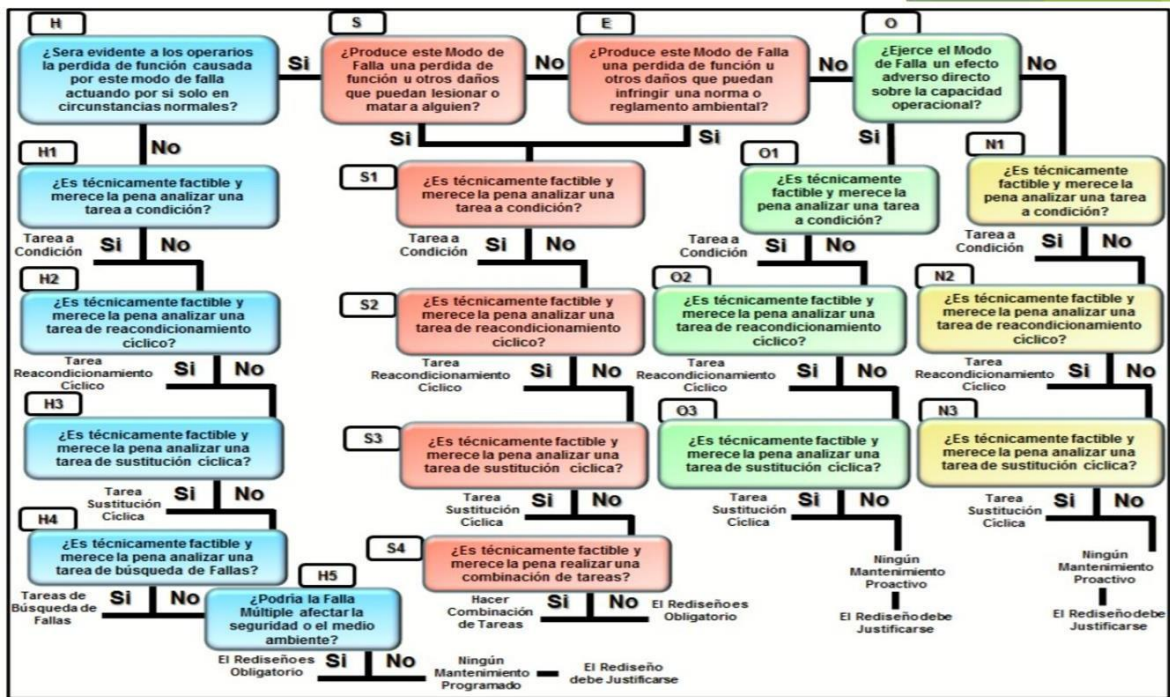
Es importante generar instancias donde los técnicos participen en capacitaciones, así su nivel de conocimiento aumentara y podrán procesar la información que entrega la máquina de una mejor manera lo que conllevara a tiempos de reacción más controlados.

Una recomendación de gran importancia es la adquisición de repuestos, lo que significa manejar los tiempos de importación para llevar a cabo trabajos programados con la finalidad de no incurrir en gastos no contabilizados.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Air – Conditioning and Refrigeration Institute, 1999, RP22; Tomo I, 3ra Edición México.
- Air – Conditioning and Refrigeration Institute, 1999, RP259; Tomo III, 3ra Edición México.
- Manual de Aire Acondicionado por Carrier, 2009, RP VII-6, publicada por Mc Graw-Hill, New York
- Norma ISO 14224:2016 (Taxonomía)
- Norma SAE JA1011 y J1012 (RCM)

## 1.4.10 ANEXOS



Anexo N° 1: Matriz de decisión

### MIDEA CARRIER LTDA.

Mariano Sanchez Fuentecilla 310 - las Condes - Santiago - Chile

Central Telefónica +56 (2) 2377 8110

Rut: 96.763.560-k



**TOSHIBA**  
Leading Innovation >>>

CLIENTE:	79603	FECHA:	14.04.2024
ATENCIÓN:	TERMOFRIO	COTIZACIÓN:	200023575
REFERENCIA:	Importación 45 días	REVISIÓN:	
EJECUTIVO:	Ronel Hernández	Fecha Validez:	30.04.2024

POS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO NETO
1	MVC-60WN1-M	IDU KIT RODAMIENTOS COP TORNILLO 230XHC	1	1.500.000	1.500.000
		VALOR NETO	CLP		1,500.000
		DESCUENTO ESPECIAL	CLP	0,0%	
		VALOR FINAL	CLP		1,500.000
		(%) IVA		19,0%	285.000
		TOTAL	CLP		1,785,000

Anexo N° 2: Cotización rodamientos compresor tornillo (Fuente Midea Carrier)

**MIDEA CARRIER LTDA.**

Mariano Sanchez Fuentesilla 310 - las Condes - Santiago - Chile

Central Telefónica +56 (2) 2377 8110

Rut: 96.763.560-k


**TOSHIBA**  
 Leading Innovation >>>

<b>CLIENTE:</b>	79603	<b>FECHA:</b>	14.05.2024
<b>ATENCIÓN:</b>	TERMOFRIO	<b>COTIZACIÓN:</b>	20135024
<b>REFERENCIA:</b>	Importación 7 días	<b>REVISIÓN:</b>	
<b>EJECUTIVO:</b>	Ronel Hernández	<b>Fecha Validez:</b>	30.05.2024

POS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO NETO	
1	MVC-88WN4-M	IDU Sensor de flujo agua chiller 230 HXC	1	200.000	200.000	
				<b>VALOR NETO</b>	<b>CLP</b>	<b>200.000</b>
				<b>DESCUENTO ESPECIAL</b>	<b>CLP</b>	<b>0,0%</b>
				<b>VALOR FINAL</b>	<b>CLP</b>	<b>200.000</b>
					<b>(%) IVA</b>	<b>19,0%</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>CLP</b>	<b>238.000</b>

Anexo N° 3: Cotización sensor flujo (Fuente Midea Carrier)

**MIDEA CARRIER LTDA.**

Mariano Sanchez Fuentesilla 310 - las Condes - Santiago - Chile

Central Telefónica +56 (2) 2377 8110

Rut: 96.763.560-k


**TOSHIBA**  
 Leading Innovation >>>

<b>CLIENTE:</b>	79603	<b>FECHA:</b>	10.06.2024
<b>ATENCIÓN:</b>	TERMOFRIO	<b>COTIZACIÓN:</b>	200023999
<b>REFERENCIA:</b>	Importación 15 días	<b>REVISIÓN:</b>	
<b>EJECUTIVO:</b>	Ronel Hernández	<b>Fecha Validez:</b>	30.06.2024

POS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO NETO	
1	MVC-110WN1-M	IDU KIT VALV. EXPANSION ELECT TORNILLO 230XHC	1	2.500.000	2.500.000	
				<b>VALOR NETO</b>	<b>CLP</b>	<b>2.500.000</b>
				<b>DESCUENTO ESPECIAL</b>	<b>CLP</b>	<b>0,0%</b>
				<b>VALOR FINAL</b>	<b>CLP</b>	<b>2.500.000</b>
					<b>(%) IVA</b>	<b>19,0%</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>CLP</b>	<b>2.975.000</b>

Anexo N° 4: Cotización val de expansión electrónica (Fuente Midea Carrier)



**Imp. Y Com. Transfer Ltda.**  
 Rut: 96.614.570-6  
 Av. Condell N°1094 Providencia  
 Fono: 228103734 Rubén Donoso 228103737 Marco Rebolledo  
 +56986193731 Ricardo Ortega  
 +569228103734 WhatsApp Oficina (Sólo mensajes de texto)

**Cotización: 81357**  
**Estado: Aceptado**

email: [ventas@trt.cl](mailto:ventas@trt.cl)

**Cotización**

**Señor(es):** TERMOFRIO  
**Rut:** 76.741.266-5  
**Giro:** ACONDICIONAMIENTO EDIFICIO  
**Dirección:** AV. GALVARINO# 7641 QUILICURA  
**Ciudad:** Santiago

**Emitido:** 29/04/2024  
**Teléfono:** 2220 76286  
**Contacto:** IGNACIO HUERTA  
**Vendedor:** Ricardo Ortega

	Código	Cant.	Descripción	Unitario NETO	Valor total Neto
1	3228107	1	REFRIGERANTE ECOLOGICO R 134 - A	150.000	150.000
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					

**Condición de Venta:** Transferencia BCI


Sub total:	150,000
Neto:	150,000
I.V.A. (19%):	28,500
<b>Total:</b>	<b>178,500</b>

**REPUESTO STOCK**

Ley 19.955 INFÓRMESE <http://garantia.trt.cl/>

Fecha estimada para retiro en local: Inmediata según stock, la compra de equipos de A/C requiere confirmación.

Anexo N° 5: Cotización refrigerante R 134 -A (Fuente Transfer)



**RAUL TAGLE E HIJOS LTDA.**  
 Dieciocho 263, Santiago - Chile  
 Teléfono: (56-2) 2329 6000  
 www.tecnicorchile.cl  
 Rut: 81.448.200-6

**CLIENTE :** TERMOFRIO  
**RUT :** 76741266-5  
**VENDEDOR :** Tecnicor  
**DIRECCION :** DEL INCA 4680

SANTIAGO  
 CHILE

**COTIZACION N°**  
**69793**  
 Fecha  
 12/12/2024

**ATENCIÓN A :** Roger Hedbey  
**REFERENCIA :**  
**TELÉFONO :** +56 9 3127 1985  
**E\_MAIL :** [roger.hedbey@TERMOFRIO.cl](mailto:roger.hedbey@TERMOFRIO.cl)

#	CODIGO	DESCRIPCION	U/M	Cant.	Valor Unit.	TOTAL
1	630095	EMPAQUETADURA TAPA	CU	1	CLP400,000	CLP 400,00

Transporte : RETIRA CLIENTE  
 Condición de Pago : Contado  
**Dirección Entrega :** AV GALVARINO  
 7641 QUILICURA

Subtotal **CLP400,000**  
 IVA 19% CLP 76.000  
**TOTAL CLP 476,000**

Validez de la Oferta : 22/12/2024

Anexo N° 6: Cotización empaquetadura de goma (Fuente Tecnicor)



EECOL Industrial Electric (Sudamérica)Ltda.  
14 de la Fama # 2761, Conchalí, Santiago, CHILE  
Teléfono: (56) (2) 620 4200 Fax: (56) (2) 620 4201  
Rut: 78 928 030-4



Página: 1 de 2  
Fecha: 19-03-2024

## COTIZACION Cot742321-1

Cliente.....: TERMOFRIO  
Contacto.....: JOEL GUZMAN  
Dirección .....:  
Pago ..... Efectivo / ContraEnt  
Su ref. ....:

RUT..... 76.741.266-5  
Teléfono..... 982332489  
Vendedor..... Sebastián Morales  
Correo electrónico.: s.morales@eocol.cl  
Cotizado por..... Sebastián Morales

Ítem	Artículo	Fabr	Cant	Descripción	U.M.	Unitario	TOTAL	Entrega
1	109761	SICK	1,00	CONTACTOR TRIFASICO 380 VOLT RECTO, 5 M, DE 3 HILOS, PVC, IP65 / IP66K / I	UD	1,000,000	1,000,000	inmediata
2	ZZZZ	EECO	1,00	CODIGO GENERICO				
			1,00	FUSIBLE GENERICO	UD	25.000,00	25,000	inmediata
			3	A STANDARD				
Fecha límite del presupuesto: 29-04-2024						<b>Total, Cotizado:</b>	<b>1.025.000</b>	<b>CLP + IVA</b>

**Términos de cotizaciones:**

**VALORES :**Valores son netos + IVA. Plazo de entrega este sujeto a venta previa. Las ventas en dólares serán facturadas en moneda nacional al dólar observado del Banco Central al día de facturación.

Anexo N° 7: Cotización contactor trifásico y fusible (Fuente EECOL )