



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

EVALUACIÓN ÓPTIMA EN EL MANTENIMIENTO DE UN
COMPRESOR TIPO TORNILLO, EN EL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN POR AMONÍACO, EN LA INDUSTRIA
ALIMENTICIA

Rodrigo Rafael García Valdez

Asesorado por el Ing. Jorge Luís Puertas Jerez

Guatemala, octubre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN ÓPTIMA EN EL MANTENIMIENTO DE UN COMPRESOR TIPO
TORNILLO, EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR AMONÍACO, EN LA
INDUSTRIA ALIMENTICIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

RODRIGO RAFAEL GARCÍA VALDEZ

ASESORADO POR EL ING. JORGE LUIS PUERTAS JEREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultan Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

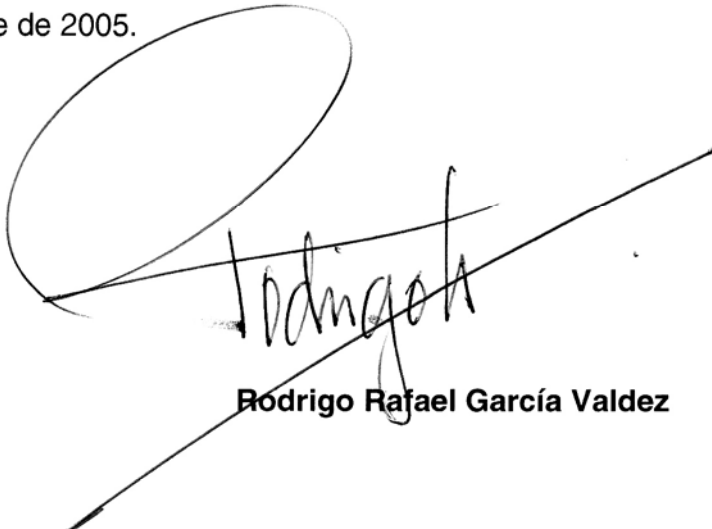
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramirez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN ÓPTIMA EN EL MANTENIMIENTO DE UN COMPRESOR TIPO TORNILLO, EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR AMONÍACO, EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, en octubre de 2005.



Rodrigo Rafael García Valdez

Guatemala 4 de septiembre de 2008.

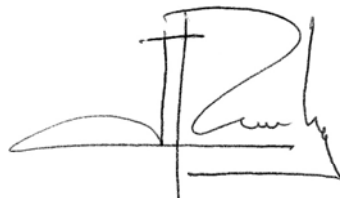
Ingeniero
José Gómez.
Director Escuela.
Ingeniería Mecánica Industrial.
Facultad de Ingeniería.
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Presente.

Respetable Ingeniero Gómez:

Tengo el agrado de someter a su consideración el trabajo de graduación del estudiante: **Rodrigo Rafael García Valdez** con Carné No. 1997-12050, previo a conferírsele el título de Ingeniero Mecánico Industrial.

El trabajo en mención se titula **Evaluación Óptima en el Mantenimiento de un Compresor Tipo Tornillo en el Sistema de Refrigeración por Amoniaco en la Industria Alimenticia**. He asesorado y revisado el trabajo y considero que llena satisfactoriamente los requisitos para su aprobación.

Atentamente,



Ingeniero Jorge Luis Puertas Jerez
Colegiado No. 5763
Asesor de Trabajo de Graduación.

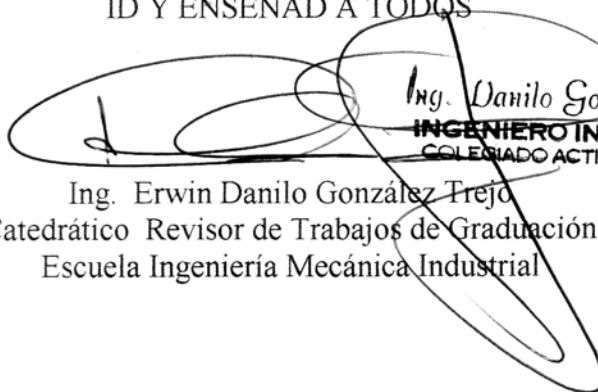
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **EVALUACIÓN ÓPTIMA EN EL MANTENIMIENTO DE UN COMPRESOR TIPO TORNILLO EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR AMONIACO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA.** presentado por el estudiante universitario **Rodrigo Rafael García Valdez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO ACTIVO NO. 6.182

Ing. Erwin Danilo González Trejo
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, julio de 2008

/mgp


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **EVALUACIÓN ÓPTIMA EN EL MANTENIMIENTO DE UN COMPRESOR TIPO TORNILLO, EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR AMONÍACO, EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**, presentado por el estudiante universitario **Rodrigo Rafael García Valdez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR
Escuela Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2008.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN ÓPTIMA EN EL MANTENIMIENTO DE UN COMPRESOR TIPO TORNILLO, EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR AMONÍACO, EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**, presentado por el estudiante universitario **Rodrigo Rafael García Valdez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, octubre de 2008.

/gdech

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES	
1.1. Empacadora Toledo, S.A.	1
1.1.1. Reseña histórica	1
1.1.2. Ubicación geográfica	2
1.1.3. Organización	2
1.1.3.1. Organigrama	3
1.1.3.2. Departamento de mantenimiento	4
1.1.3.3. Misión del departamento de mantenimiento	5
1.1.3.4. Visión del departamento de mantenimiento	5
1.2. Principios de refrigeración	6
1.3. Refrigeración en industria alimenticia	7
1.4. Refrigerantes industriales	8
1.4.1. Halocarbonos	10
1.4.2. Amoníaco	11
1.5. Sistema de refrigeración con amoníaco	11
1.5.1. Etapas del Sistema	11
1.5.2. Elementos del Sistema	12
1.5.3. Equipos auxiliares	13

1.5.4. Ventajas	16
1.5.5. Desventajas	17
2. MANTENIMIENTO ACTUAL DE COMPRESOR DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	
2.1. Unidad compresora	19
2.1.1. Compresor recíprocante	19
2.1.2. Compresor de tornillo	20
2.1.3. Compresor hermético	25
2.2. Mantenimiento actual	25
2.2.1. Mantenimiento en operación	25
2.2.2. Mantenimiento programado	26
2.2.3. Mantenimiento overhaull	27
2.3. Clasificación de fallas	27
2.3.1. Respecto función afectada	28
2.3.1.1. Falla crítica	28
2.3.1.2. Falla parcial	28
2.3.1.3. Falla reducida	28
2.3.2. Respecto al tiempo de permanencia	30
2.3.2.1. Falla crónica	30
2.3.2.2. Falla esporádica	31
2.3.2.3. Falla transitoria	31
2.3.3. Costo de mantenimiento actual	32
2.3.3.1. Costo de mano de obra	32
3. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO	
3.1. Mantenimiento óptimo	41
3.2. Mantenimiento planificado	42

3.2.1. Mantenimiento preventivo	42
3.2.1.1. Mantenimiento programado	43
3.2.1.2. Mantenimiento predictivo	44
3.3. Mantenimiento no planificado	45
3.3.1. Mantenimiento programado	45
3.3.1.1. Mantenimiento correctivo	46
3.3.2. Mantenimiento no programado	46
3.3.2.1. Mantenimiento de emergencia	47
3.4. Costos de mantenimiento óptimo	47
3.4.1. Costos de mantenimiento planificado	47
3.4.2. Costos de mantenimiento preventivo	47
3.4.3. Costos de mantenimiento no planificado	50
3.5. Análisis económico	51
3.6. Efectos en productividad	53

4. IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO ÓPTIMO

4.1. Confiabilidad del mantenimiento	55
4.2. Aseguramiento de operación	56
4.3. Plan de mantenimiento	58
4.4. Programa de mantenimiento óptimo	59
4.5. Procedimientos de mantenimiento	61
4.6. Hojas de registro	65
4.6.1. Registro de variables	66
4.6.2. Solicitud de trabajo	67
4.6.3. Orden de trabajo	68
4.6.4. Formato de fallas	70
4.7. Índices de mantenimiento	71

4.8. Eficiencia global productiva del equipo	72
5 SEGURIDAD INDUSTRIAL COMO MEJORA CONTINUA	
5.1. Riesgos potenciales	73
5.2. Precauciones de mantenimiento seguro	75
5.3. Equipo de protección personal	78
5.3.1. Equipo de detección de amoníaco	79
5.3.2. Máscara York con filtro K2	79
5.3.3. Equipo para uso diario	80
5.3.4. Traje de autocontenido	81
5.3.5. Equipos para recondensación	81
5.4. Plan de seguridad	82
5.4.1. Accidentes por fuga	86
5.5. Índices de gestión de seguridad industrial	89
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Ubicación del municipio de Amatitlán, Guatemala.	2
2	Organigrama del departamento de Conservación Industrial	4
3	Principio de separador de partículas	15
4	Separadores de aceite	16
5	Etapas de compresión de gas	21
6	Etapas de descarga	22
7	Sección de compresor Mycom	22
8	Vista de compresor Mycom	24
9	Carta psicrométrica del aire y el amoníaco a temperatura de 20 °C.	75
10	Factores que contribuyeron a fugas de amoníaco	76
11	Equipo de detección de amoníaco	79
12	Máscara York con filtro K2	80
13	Traje de uso diario	80
14	Equipo de autocontenido	81
15	Equipo para recondensación de amoníaco	82
16	Acciones implementadas después de una fuga	83

TABLAS

I	Datos técnicos de compresor Mycom	24
II	Programa de mantenimiento actual compresor Mycom	26
III	Clasificación de fallas por función afectada	29
IV	Costo de mano de obra por mantenimiento en operación anual	33
V	Costo de mano de obra mantenimiento programado anual	34
VI	Costo de mano de obra mantenimiento de overhauil	35
VII	Costo de repuestos y piezas de cambio	36
VIII	Costo eléctrico de operación compresor Mycom	37
IX	Costo de gas refrigerante de operación compresor Mycom	38
X	Resumen de costos mantenimiento actual	38
XI	Información de paros de compresor Mycom año 2006	38
XII	Información de producción	39
XIII	Costo del equipo	39
XIV	Mantenimiento preventivo compresor Mycom	43
XV	Mantenimiento programado compresor Mycom	44
XVI	Mantenimiento predictivo compresor Mycom	45
XVII	Costo de mantenimiento programado	48
XVIII	Costo de mantenimiento preventivo	49
XIX	Costo de mantenimiento predictivo	50
XX	Costo de mantenimiento correctivo y de mantenimiento no programado o de emergencia.	51
XXI	Alternativas de análisis económico	52
XXII	Análisis Valor Actual Neto	53
XXIII	Plan de mantenimiento óptimo	58
XXIV	Programa de mantenimiento compresor Mycom	60
XXV	Riesgos al ser humano por concentración de amoníaco	74

LISTA DE SÍMBOLOS

ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
BHP	Brake Horse Power o Caballos de fuerza al freno
BTU/lb.	Unidad Térmica Británica por libra
°C	Grados centígrados
CONF	Confiabilidad
° F	Grados Fahrenheit
Kcal /Kg	Kilocaloría por Kilogramo
KW	Kilovatio
Kw –h	Kilovatio hora
Lbs /hr	Libras por hora.
M³ / Hr	Metros cúbicos por hora
NH3	Fórmula química del refrigerante amoníaco
PSIG	Libra por pulgada cuadrada manométrica
RPM	Revoluciones por minuto
R717	Abreviatura de amoníaco
TR	Tonelada de Refrigeración
TMEF	Tiempo medio entre falla
TMPR	Tiempo medio para reparar

VAN

Valor actual neto

GLOSARIO

Amoníaco	Compuesto químico, cuya molécula consiste en un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrógeno (H).
Amperaje	Medición de la intensidad de corriente eléctrica.
Bromo	Elemento químico situado en el grupo de los halógenos (grupo VII) de la tabla periódica de los elementos.
Calor	Forma de energía térmica asociada al movimiento de los átomos, moléculas y otras partículas que forman la materia.
Carcasa	Cubierta metálica que sirve de protección a un elemento mecánico.
Cloro	Elemento químico situado en el grupo de los halógenos (grupo VII A) de la tabla periódica de los elementos.
Compresión	Se le llama al proceso de comprimir un gas de una presión baja y elevarla a otra presión mayor.

Condensación	Proceso de transformación de un gas en líquido.
Conductancia	La inversa de la oposición que un conductor presenta al movimiento de los electrones en su seno, esto es, a la inversa de su resistencia eléctrica.
Efecto invernadero	Fenómeno por el que determinados gases componentes de una atmósfera planetaria retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar.
Evaporación	Proceso de transformación de un líquido a gas.
Humedad	Es la cantidad de vapor de agua presente en el aire.
Hidrógeno	Elemento químico con número atómico uno, capaz de reaccionar con la mayoría de los elementos, es el elemento más abundante en la naturaleza.
Inocuidad	Libre de contaminación microbiana y apto para el consumo humano.
Inerte	Se le llama a un gas no reactivo bajo determinadas condiciones de trabajo químico que puede presentarse en estado sólido, líquido o gaseoso.

Lóbulos	Elemento mecánico que genera presión al tener movimiento rotacional.
Molécula	Partícula formada por un conjunto de átomos ligados entre sí.
Overhaull	Se le llama a la reconstrucción y/o cambio de piezas a un equipo.
Presión	Fuerza por unidad de superficie.
Potencia	Cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.
Rotor	Elemento mecánico que genera un campo de velocidad.
Recinto	Espacio delimitado para determinadas aplicaciones.
Refrigerante	Compuesto químico fácilmente licuable, que se utiliza para servir de medio transmisor de calor entre otros dos en una máquina térmica, y concretamente en aparatos de refrigeración.
Temperatura	Parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía.

Termografía	Análisis de tendencia predictiva por medio de gradientes de temperatura en puntos focalizados.
Valor actual neto	Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros.
Voltaje	Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

RESUMEN

El desarrollo de nuevas tecnologías ha marcado sensiblemente la actualidad industrial mundial. En la industria alimenticia, la refrigeración es determinante para alargar el período de vida de sus productos, eliminando el crecimiento bacteriano, mejorando el tiempo de los procesos productivos y es un factor clave que colabora para elevar la productividad, es por ello que hoy en día se exige mayor preparación del personal, no solo del punto de vista de la operación del sistema, sino desde el punto de vista de mantenimiento óptimo que permita manejar alta disponibilidad del equipo, asegurar la confiabilidad de los procesos productivos y mantener procedimientos seguros que prevengan riesgos laborales.

El compresor del sistema de refrigeración con amoníaco evaluado en el presente trabajo de graduación es un equipo de alta criticidad, debido a la operación que apoya en el proceso de productos cárnicos formados. La operación de enfriar y congelar. El objetivo es absorber el calor del producto.

El mantenimiento óptimo del sistema de refrigeración con amoníaco pretende lograr un desempeño eficiente y productivo durante todo su período de uso. Así también minimiza las fallas, tiempos de desuso y costos de mantenimiento.

Y bajo el punto de vista económico, que obtenga mayor valor actual neto de las alternativas en el análisis económico.

OBJETIVOS

- **GENERAL**

Hacer una evaluación óptima del mantenimiento de un compresor tipo de tornillo del sistema de refrigeración por amoníaco de la industria alimenticia, con el propósito de mantener confiabilidad del equipo.

- **ESPECÍFICOS**

1. Describir los elementos que afectan al compresor de refrigeración.
2. Apoyar el cumplimiento de mantenimiento óptimo en la unidad de compresión de la industria alimenticia.
3. Describir el compresor de refrigeración como elemento de productividad.
4. Estimar el mantenimiento óptimo económico que satisfaga la demanda.
5. Seleccionar el tipo de mantenimiento que se llevará a cabo y sus razones.
6. Determinar un plan de monitoreo de variables a controlar del tipo de mantenimiento óptimo para elevar su eficiencia.
7. Justificar una propuesta que cumpla con factores eficientes y económicos que puedan ser puestos en práctica a corto plazo y cuiden la confiabilidad de los procesos productivos.
8. Crear un catálogo de operaciones de mantenimiento seguro.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolla en una empresa dedicada a la crianza, engorde, matanza, deshueses, procesamiento y comercialización de carne de cerdo y sus derivados específicamente en el departamento de mantenimiento, donde el objetivo principal es optimizar los recursos de mantenimiento del equipo, así también en mejorar el desarrollo profesional de los colaboradores que integran ésta área.

Uno de los sistemas principales del departamento de mantenimiento es el de refrigeración con amoníaco. La operación es la de enfriar y congelar el producto para su mejor almacenamiento y conservación.

Así también, se realizó un análisis del mantenimiento que se tiene actualmente con el sistema de refrigeración con amoníaco, los tiempos de limpieza, la revisión que se lleva a cabo con las partes del compresor, así también las fallas que presenta el compresor y el costo de la mano de obra involucrada en el mantenimiento.

Por otro lado, se realizó dos alternativas de mantenimiento, las cuales fueron denominadas como: mantenimiento planificado y no planificado, se efectuará un análisis económico relacionado con el mantenimiento actual, para seleccionar la alternativa que obtenga con el menor valor, para así desarrollar un mantenimiento óptimo del sistema de refrigeración con amoníaco.

1. GENERALIDADES

1.1 Empresa Empacadora Toledo, S.A.

Empacadora Toledo, S.A. es una empresa guatemalteca que cuenta con operaciones de crianza, engorde, matanza, deshuese, procesamiento y comercialización de carne de cerdo y sus derivados.

Actualmente cuenta con cinco operaciones de granja, un rastro y una planta de procesamiento. La comercialización es propia por medio de distribuidoras ubicadas en puntos estratégicos de mercado para cubrir rutas populares, supermercados, rutas departamentales y exportaciones a Honduras y El Salvador.

1.1.1 Reseña histórica

Empacadora Toledo, S.A. surge en septiembre de 1972, dentro del grupo Avícola Villalobos. Dedicada a la producción de cerdos y proyectada a satisfacer la demanda local, inicia su operación fabricando embutidos y carnes ahumadas.

Empacadora Toledo, S.A. opera con granjas altamente tecnificadas y de genética superior que producen cerdos de alto nivel internacional. De que la materia prima cárnica traslada a procesamiento industrial donde con sistemas de calidad que cuidan la inocuidad se fabrican productos que ostentan el calificativo de “Calidad desde su Origen”.

1.1.2 Ubicación Geográfica

La ubicación geográfica de la planta de procesamiento industrial es 1ra. Avenida 10-31, Barrio Ingenio, Amatitlán, Guatemala. Está ubicada en un municipio caracterizado por basar su economía en el sector industrial y de fácil acceso a la ciudad capital.

Figura 1. Ubicación del municipio de Amatitlán, Guatemala



1.1.3 Organización

La organización de Empacadora Toledo, S.A. según el giro del negocio en el cual se encuentra, que cuenta con producción y centra sus esfuerzos en objetivos de ventas de embutidos de calidad, es del tipo lineal y funcional, ya que consiste en división de trabajo, estableciendo la especialización de cada departamento característica de funcional y lineal por mantener autoridad y responsabilidad que se transmite a través de un superior por cada función en

especial. Con este tipo de organización la empresa obtiene eficiencia de cada colaborador, trabajo planificado y el trabajo operativo está separado del trabajo de coordinación y dirección interactuando entre sí.

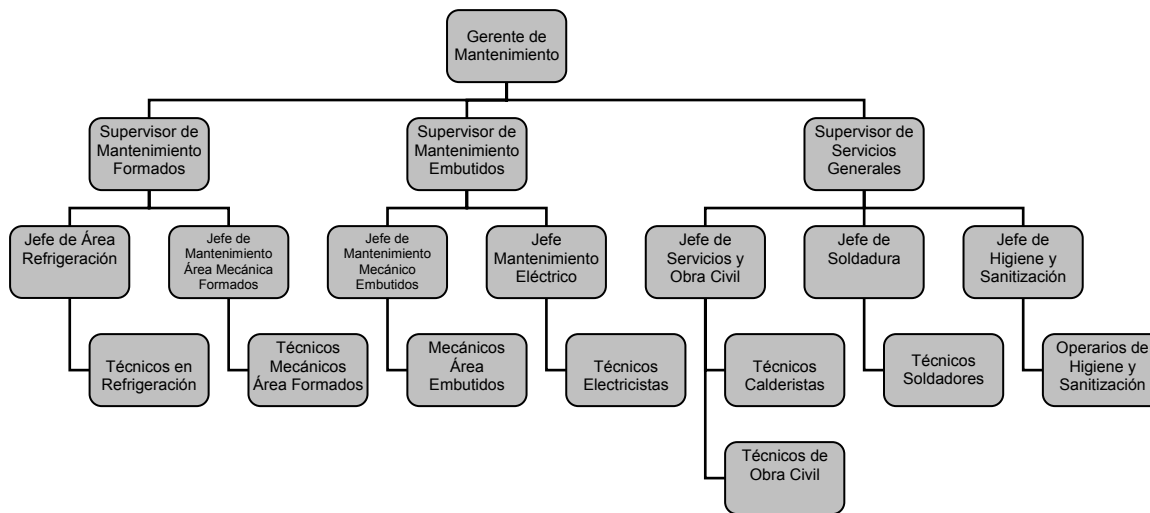
Organigrama del departamento de Conservación Industrial

El organigrama del departamento de Conservación Industrial de Empacadora Toledo, S.A. está integrado por un gerente de mantenimiento, un supervisor de mantenimiento de área de producción de embutidos y varias procesados, un supervisor de mantenimiento de producción de formadores de pollo y un supervisor de servicios generales.

El mantenimiento en área de producción de formados de pollo, abarca las sub-áreas de refrigeración y mantenimiento mecánico de los equipos involucrados las cuales tienen un jefe de grupo para coordinación de las actividades operativas propias respectivamente.

El mantenimiento en área de producción embutidos y varios procesados, incluye el mantenimiento mecánico de los equipos involucrados en esta producción, así como el mantenimiento eléctrico de todos los equipos de planta. Y las actividades operativas están coordinadas por un jefe de grupo para sub-área.

Figura 2. Organigrama del Departamento de Mantenimiento, Empacadora Toledo, S.A.



1.1.3.2 Departamento de mantenimiento

El departamento de mantenimiento se dedica a prestar el servicio de disponibilidad de los equipos, para dar cumplimiento a las operaciones de los procesos productivos. El departamento de mantenimiento está conformado por técnicos en mecánica, en refrigeración, electricidad, electrónica, calderas de vapor, los cuales con sus planes y programas de trabajo llevan a cabo mantenimiento preventivo y correctivo.

En relación a los técnicos de refrigeración tienen una preparación nivel Técnico Vocacional y Experimental de la cual han tomado experiencia en la refrigeración por amoníaco, y actualmente llevan a cabo planes de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos de sistemas de

refrigeración de cámaras refrigeradas y túneles de enfriamiento de productos precocidos.

1.1.3.3. Misión del departamento de mantenimiento

Somos un equipo de trabajo multidisciplinario, competitivo, motivado y comprometido que administra la Conservación Industrial de las áreas productivas y de apoyo de las plantas de Procesamiento Industrial de Empacadora Toledo, S.A., para garantizar una alta disponibilidad de los activos, acorde a los objetivos de producción y calidad de la empresa. Nos apoyamos en personal capacitado y proactivo y en un sistema de gestión de mantenimiento de clase mundial.

Nuestro propósito principal es optimizar los recursos de mantenimiento, para mejorar las utilidades de los accionistas, impulsar el desarrollo profesional y el bienestar económico de nuestros colaboradores y la protección integral del medio ambiente.

1.1.3.4 Visión del departamento de mantenimiento

Consolidarnos como el departamento de Conservación Industrial, que aplicando la tecnología, el recurso humano y la proactividad sea un modelo de efectividad de clase mundial.

1.2 Principios de refrigeración

La refrigeración es el proceso de transportar calor de un lugar a otro, utilizando la compresión mecánica de un refrigerante para crear zonas de alta y baja presión que absorbe y disipa la energía en un ciclo frigorífico cerrado.

En los procesos de refrigeración la temperatura, presión y calor están íntimamente ligados a la eficiencia de la carga térmica del sistema, llamada así a las condiciones adecuadas de velocidad de eliminación de calor de un espacio o material refrigerado, a fin de producir y mantener la temperatura deseada del proceso para el cual se ha diseñado el sistema.

En casi todos los sistemas de refrigeración la carga de enfriamiento del equipo de refrigeración es la suma de las ganancias de calor provenientes de diferentes fuentes:

- El calor transmitido por conducción a través de paredes aisladas.
- El calor debe ser eliminado del aire caliente que llega al espacio a través de puertas que se abren y cierran del recinto.
- El calor que deba ser eliminado del producto refrigerado para reducir la temperatura de almacenamiento.
- El calor cedido por la gente que trabaja en el espacio, por motores, alumbrado y equipos que producen calor que operan en el recinto.

1.3 Refrigeración en Industria Alimenticia

La necesidad de ampliar la vida de almacenamiento de los alimentos, después de su proceso de fabricación para la distribución a los consumidores manteniendo la calidad, ha fomentado el desarrollo de la refrigeración en la industria alimenticia. Aunque la refrigeración se aplica a fines distintos de la conservación de los alimentos, su mayor aplicación está en la prevención o retraso de los cambios microbianos, fisiológicos y químicos de los alimentos. El mantenimiento de los alimentos a bajas temperaturas reduce la velocidad a la que se producen los cambios degenerativos y la velocidad de crecimiento bacteriano depende las condiciones higiénicas de planta y los programas de saneamiento e inocuidad antes y durante el proceso.

En los alimentos congelados, los microorganismos no se desarrollan en temperaturas que se mantienen por debajo de $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. La mayoría de alimentos cárnicos congelados, se cocinan antes de ser comidos, lo cual es interesante porque la cocción puede destruir algunas bacterias.

Generalmente estos productos cárnicos en su composición llevan agua en porcentajes arriba del 50% y la congelación consiste en transformar toda o casi el agua de un producto en hielo. Cuando se congela agua de un producto siempre se libera una gran cantidad de energía térmica, (144 BTU/lb.), (80 Kcal./Kg.) que tiene que ser absorbida en el evaporador cuando el Refrigerante cambia de estado (líquido a gas).

Cuando se congela un producto, tiene que ser enfriado desde la temperatura a la cual entró en el congelador, hasta su punto de congelación, habitualmente 28 ° F (-2 °C), liberando una cierta cantidad de calor sensible.

Después, llegando sobre su punto de congelación va a liberar la mayor cantidad de calor sin que cambie su propia temperatura mientras que la instalación trata de sacar su calor latente y finalmente va a enfriarse desde su punto de congelación hasta la temperatura a la cual nosotros daremos como terminado el proceso de congelación.

1.4 Refrigerantes Industriales

Refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia.

Un refrigerante ideal debe cumplir con las siguientes propiedades:

- Ser químicamente inerte hasta el grado de no ser inflamable, ni tóxico, ni explosivo, tanto en estado puro como cuando esté mezclado con el aire en determinada proporción.
- No reaccionar desfavorablemente con los aceites o materiales empleados en la construcción de los equipos frigoríficos.
- No reaccionar desfavorablemente con la humedad, que a pesar de las precauciones que se toman, aparece en toda instalación.
- Su naturaleza será tal que no contamine los productos almacenados en caso de fuga.

- El refrigerante ha de poseer unas características físicas y térmicas que permitan la máxima capacidad de refrigeración con la mínima demanda de potencia.
- La temperatura de descarga de cualquier refrigerante siempre disminuye a medida que baja la relación de compresión. Por lo tanto, deseamos que la temperatura de descarga sea la más baja posible para alargar la vida del compresor.
- El coeficiente de conductancia conviene que sea lo más elevado posible para reducir el tamaño y costo del equipo de transferencia de calor.
- La relación presión-temperatura debe ser tal que la presión en el evaporador para la temperatura de trabajo sea superior a la atmosférica, para evitar la entrada de aire y de humedad en el sistema en caso de fuga.
- Temperatura y presión crítica, lógicamente el punto de congelación deberá ser inferior a la temperatura mínima de trabajo.
- Finalmente ha de ser de bajo precio y fácil disponibilidad.
- Los refrigerantes son nombrados por un R y tres cifras:
- A la primera cifra se le suma 1 para obtener el número de átomos de carbono que contiene la molécula.
- A la segunda se le resta 1 para obtener el número de átomos de Hidrógeno A la tercera se refiere al número de átomos de fluor.
- El resto de valencias, salvo que se indique lo contrario, quedan cubiertas con cloro.

Por ejemplo la fórmula del R-717 sería:

Carbono: $7+1=8$ átomos

Hidrógeno: $1-1=0$ átomos

Fluor: 7 átomos

Cuando sólo aparezcan dos cifras se entiende que la primera no escrita será cero.

1.4.1 Halo carbonos

Los halocarbonos son compuestos gaseosos llamados refrigerantes freones que contienen carbono y elementos tales como cloro, bromo o flúor. Estos refrigerantes fueron creados en 1930 para aplicaciones industriales de refrigeración, han experimentado un significativo aumento de su concentración en la atmósfera durante los últimos 50 años. Una vez liberados a la atmósfera son agentes intensificadores del efecto invernadero planetario.

1.4.2 Amoníaco

El amoníaco (NH₃, R717) se utiliza como refrigerante desde hace más de 130 años, por lo que sus propiedades y posibilidades de aplicación son bastante conocidas. No obstante, debido a ciertos inconvenientes que presenta esta sustancia con respecto a la seguridad, el uso actual del amoníaco se limita exclusivamente a la refrigeración de la industria alimenticia tanto en la preparación como en el almacenamiento de sus productos.

1.5 Sistemas de refrigeración con amoníaco

Un sistema de refrigeración con amoníaco constituye un circuito cerrado que extrae calor, en el cual se somete el refrigerante a una transformación de estado líquido a gas. El objetivo es absorber el calor del producto y posteriormente el refrigerante se condensa convirtiéndose en líquido, sin antes haber expulsado al ambiente el calor que absorbe del producto

1.5.1 Etapas del Sistema

Las etapas del sistema de refrigeración con amoníaco se dividen en:

- **Etapas de compresión:** Esta etapa se lleva a cabo en una unidad compresora, la cual por un lado succiona refrigerante gas a baja presión (presión de succión) y luego comprime el gas hasta una alta presión. Se utiliza relación de compresión de 14:1 para amoníaco, usualmente la unidad compresora lleva acoplado un motor eléctrico para realizar este trabajo.

- Etapa de condensación: En esta etapa el refrigerante gas a alta presión entra al condensador evaporativo y disminuye su temperatura, hasta llegar al punto de vapor saturado, y logrando alcanzar su condensación total para tener como producto líquido saturado.
- Etapa de expansión: En esta etapa se da el cambio de presión y temperatura de refrigerante líquido provocado por un dispositivo de expansión generalmente son válvulas que determinan la capacidad del evaporador. Parte del líquido refrigerante se evapora y retorna a un tanque.
- Etapa de evaporación: Esta etapa se lleva a cabo en evaporador situado dentro del recinto a refrigerar y nos es más que la etapa en la cual el refrigerante amoníaco absorbe el calor del medio a baja temperatura.

1.5.2 Elementos del Sistema

Compresor: en el sistema de refrigeración el compresor es el elemento que comprime el gas. Como resultado del trabajo de compresión, el compresor establece la diferencia entre la presión de succión y la de descarga ó condensación.

Condensador evaporativo: es un condensador que aprovecha la evaporación del agua y el enfriamiento con aire, así como los medios para realizar la condensación del refrigerante gas a alta presión y transformarlo en líquido a alta presión.

Recibidores de líquido: son elementos del sistema de refrigeración que almacenan refrigerante líquido o una mezcla de gas y líquido. Son construidos bajo normas de tanques a presión, según ASME, sección VIII, División I.

Generalmente, en los sistemas de refrigeración por amoníaco los hay del tipo de Recibidor de baja presión, los cuales almacenan el refrigerante en condiciones de presión de succión (150 psi) y del tipo Recibidor de alta presión en el cual se almacena refrigerante condensado en el condensador evaporativo, para luego conducir el refrigerante a alta presión hasta la conexión de la expansión

Válvula de expansión: el propósito principal de una válvula de expansión, es asegurar una presión diferencial suficiente entre los lados de alta y baja presión del sistema de refrigeración para permitir vaporizar el refrigerante bajo las condiciones de baja presión deseadas en el evaporador y al mismo tiempo efectuar la condensación a la presión alta que se tiene en el condensador.

Evaporador: es el lugar del sistema de refrigeración donde se produce el intercambio térmico entre el refrigerante y el medio a enfriar. Para llevar a cabo este proceso se necesita de un transferencia de calor en el cual se vaporiza un líquido volátil para eliminar el calor del recinto o producto a enfriar.

1.5.3 Equipos auxiliares

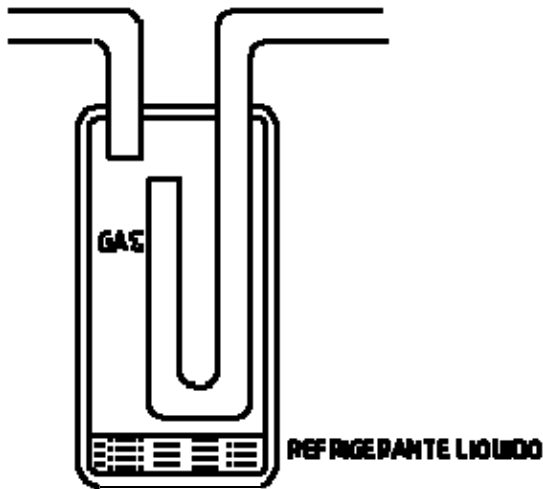
- Purgadores de gases no condensables: son equipos auxiliares con los cuales se intenta reducir al máxima la presencia de gases no condensables que causan una pérdida considerable de eficiencia y

aumento de la presión de condensación, penetran al sistema de refrigeración por presencia hasta de 1.5% al momento de suministro de refrigerante, al realizar tareas de mantenimiento se abren algunos puntos donde puede ingresar aire, vacío insuficiente antes del arranque de la instalación y cambios de aceite.

- Válvulas reguladoras de presión: son válvulas que regulan la presión del refrigerante en sus distintos estados líquido y gas dentro del sistema de refrigeración.
- Sensor de nivel de líquido: se usa en evaporadores inundados, mantienen un nivel de líquido en el evaporador. A medida que se evapora el líquido la bolla abre la válvula y entra líquido en el evaporador. El gas evaporado se va al condensador.
- El separador de partículas: se encuentra al final del evaporador en instalaciones de baja temperatura y que están alimentados por tubo capilar. Como en este tipo de instalaciones no existe ningún elemento de regulación con este elemento evitamos que lleguen gotas de líquido al compresor, sobretodo en las arrancadas.

Se utiliza con refrigerantes muy miscibles con el aceite, ya que sino se acumularía éste en el fondo del separador.

Figura 3. Principio de separador de partículas

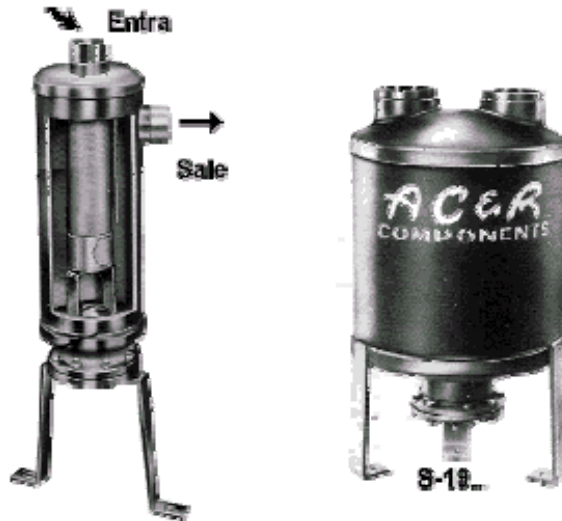


Es imprescindible que lleven este elemento los compresores rotativos, ya que estos, en contra de los alternativos, aspiran directamente de la aspiración y no permiten ni una gota de líquido.

- Separadores de aceite: El separador de aceite se emplea para recuperar la mayor cantidad de aceite posible para llevarlo al compresor que es donde es, realmente útil. Con sistemas de refrigeración por amoníaco es imprescindible y se coloca en la descarga del compresor lo más cercano posible a éste. Su funcionamiento es el siguiente:

Cuando el gas a alta presión entra en el separador se golpea contra una pared desprendiéndose el aceite del gas, después entra en una cavidad donde el gas pierde velocidad para evitar que se lleve el aceite y luego se hace pasar el gas por otra cavidad en forma de malla, donde obligamos al gas a continuos cambios de dirección donde se acaba de desprender el aceite.

Figura 4. Separadores de aceite



1.5.4 Ventajas

Las ventajas de los sistemas de refrigeración con amoníaco incluyen:

- Compatibilidad con el aceite, en estos sistemas es necesario aceite únicamente en el compresor, el amoníaco es insoluble con el aceite de esta forma se asegura que no llegará aceite, a otro elemento del sistema que no sea el compresor por diferencia de densidades.
- El costo del refrigerante amoníaco es bajo respecto a los refrigerantes halocarbonos.
- La eficiencia del ciclo es mejor porque tiene coeficientes de transferencia de calor más altos que los refrigerantes halocarbonos.

- Los materiales de las instalaciones, no son costosas respecto a las de refrigerantes halocarbonos.

1.5.5 Desventajas

La desventaja de los sistemas de refrigeración por amoníaco es:

- Concentración en el aire, a 25 ppm de amoníaco se considera como tóxico según la Conferencia Gubernamental Americana de Higiene Industrial.
- Requiere de manejo adecuado para evitar accidentes al realizar mantenimiento a los equipos.
- Flamable si existiese una chispa en un ambiente que contenga entre 15 y 27% de concentración de amoníaco.
- Al realizar instalaciones se debe de realizar ensayos no destructivos de alto costo para asegurar seguridad y funcionamiento en los sistemas de tubería.

2. MANTENIMIENTO ACTUAL DEL COMPRESOR DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Define conceptos como la unidad compresora, los tipos de compresores, el mantenimiento actual, así también el mantenimiento en operación, programado y el overhaull, así también la clasificación de las fallas del compresor. Definiciones de las fallas con relación al tiempo de permanencia. Se menciona el costo del mantenimiento actual y el costo de mano de obra.

2.1. Unidad compresora

El compresor o unidad compresora en el sistema de refrigeración tiene la misión de comprimir gas que proviene del evaporador y transportarlo al condensador aumentando su presión y temperatura. Se definirán los tipos de compresores existentes previo a analizar el mantenimiento actual del compresor a mejorar su estrategia de mantenimiento.

2.1.1 Compresor recíprocante

Este equipo realiza su trabajo de compresión por medio de un conjunto de elementos mecánicos, tales como carcasa, un cigüeñal, bielas, cilindros, pistones y válvulas. Usualmente el compresor recíprocante consta de pistones dispuestos en pares. El primer cilindro realiza el trabajo de succión del gas. Luego de ser comprimido el gas es descargado en la recámara del segundo pistón, el cual después de comprimir el gas, lo descarga finalmente a través de las válvulas y lo expulsa a alta presión por una tubería hacia el condensador.

El compresor, por el trabajo que realiza, produce un cambio en las condiciones de presión y temperatura del refrigerante gas. Adicionalmente se le transfiere una carga adicional de calor como resultado de la fricción de los elementos mecánicos, principalmente anillos de los pistones, las camisas de los cilindros, tejas de biela, muñones, cigüeñal y cojinetes.

Para evitar el desgaste es necesario incluir en el sistema un elemento adicional: el aceite, cuya labor es la de reducir la fricción del metal y formar un sello perfecto que permite la compresión del gas. Otra característica adicional es la de absorber el calor de los elementos sujetos a fricción y calor del refrigerante, el que posteriormente es disipado por el enfriador de aceite.

El compresor es capaz de reducir su capacidad en porcentajes proporcionales a sus pares de cilindros. Es decir, un compresor de 8 cilindros puede reducir su capacidad en un 25%, 50%, 75% y 100% y un compresor de 6 cilindros puede reducir su capacidad en 33%, 66% y 100%.

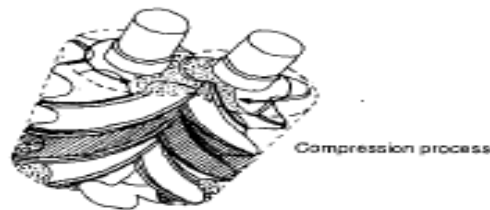
2.1.2 Compresor de tornillo

Los compresores de tornillo están formados por dos tornillos que van aspirando y comprimiendo gas a la vez, de manera que el espacio entre los dos tornillos se va reduciendo y comprimiendo el gas. Por ser este el tipo de compresor a analizar en el sistema de refrigeración por amoníaco de Empacadora Toledo se ampliará su función y operación.

A diferencia del reciprocante, no usa cilindros y pistones, sino que incorpora el uso de un elemento mecánico llamado rotor, el cual gira a alta

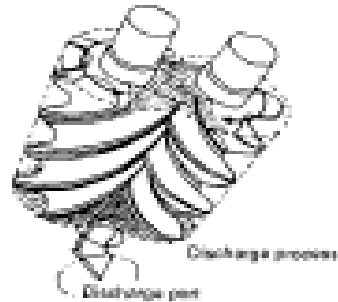
velocidad impulsado por un motor eléctrico. El rotor posee unas ranuras similares a un engranaje sin fin. Dentro de las ranuras se introduce otro rotor (macho-hembra), compresor de doble tornillo que giran en un eje perpendicular al del rotor principal del tornillo, para conformar recámaras. A medida que los rotores giran, van reduciendo su espacio produciendo el efecto de compresión en el gas.

Figura 5. Etapa de Compresión de gas



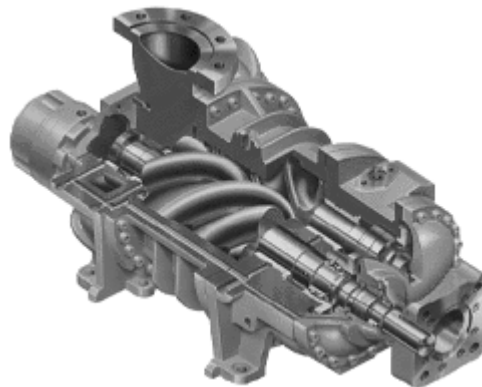
En la figura anterior, se observa cuando los rotores giran el lado de la succión se sella por el movimiento de los lóbulos y el volumen se va disminuyendo hacia el lado de la descarga ocasionando un incremento de presión.

Figura 6. Etapa de Descarga



En la figura anterior, se describe la etapa de descarga de refrigerante cuando el volumen se reduce al volumen de diseño los rotos se unen y empujan el refrigerante al lado de descarga.

Figura 7. Sección de compresor de tornillo Mycom.



Este tipo de compresores poseen una válvula deslizante o conocida como slide valve por su nombre en inglés, las cuales les permiten regular la admisión de gas y con ello permitir una variación en su capacidad de compresión. Usualmente los compresores de tornillo arrancan con su mínima capacidad de compresión dado que no les es permitido arrancar, con la válvula

de admisión cerrada para disminuir el esfuerzo mecánico al máximo que se traduce en consumo eléctrico del motor.

En operación la válvula tiene capacidad de ser controlada y gobernada por un dispositivo que indica la posición en función de la demanda del sistema de refrigeración.

La ventaja de un compresor de tornillo es que tiene un rendimiento y eficiencia energética mayor a la de un compresor recíprocante, siempre y cuando opere por arriba del 80% de su capacidad.

Un compresor de tornillo a 50% de capacidad consume alrededor del 70% del consumo máximo, mientras que un compresor recíprocante, a esta misma capacidad consume 52% del consumo máximo.

Basado en lo anterior este compresor Mycom 200SVD, está bien seleccionado de acuerdo a la capacidad de congelar 100 lbs /hr en un túnel de enfriamiento con cadena en forma de espiral para transportar el producto y para mantener su costo de operación en consumo de energía eléctrica.

Figura 8. Vista de Compresor Mycom

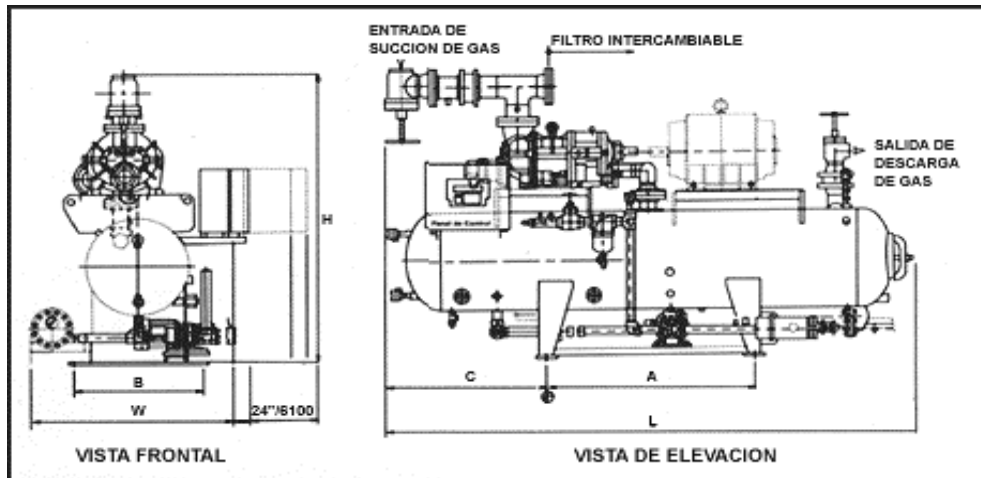


Tabla I. Datos técnicos de compresor Mycom

Marca	Mycom	
Modelo	200SVD	
Serie	2056137	
Refrigerante	R-717	
Desplazamiento M ³ / Hr	975.23	
Capacidad TR	206.30	
Potencia (BHP)	233.00	
Velocidad Máxima	Macho	3600 RPM
	Hembra	2400 RPM
Presión de Prueba Hidráulica	350 PSIG	

2.1.3 Compresor hermético

Este tipo de compresores se le llama herméticos, porque tanto el motor como el compresor están dentro de la misma carcasa y es inaccesible. Van enfocados a pequeños equipos de carga frigorífica crítica.

2.2 Mantenimiento actual

La gestión de mantenimiento existente se divide en Mantenimiento en Operación que básicamente es un mantenimiento muy de monitoreo y control de variables e inspecciones visuales, otra división el mantenimiento programado que básicamente es una serie de rutinas de mantenimiento preventivo las cual se llevan de acuerdo a un plan calendarizado. Y la última división es el mantenimiento de overhauil que básicamente comprende reparaciones mayores cuando una falla ha afectado la función principal del equipo y ocasiona paro de producción.

2.2.1 Mantenimiento en operación

En este mantenimiento, existe básicamente un control de variables antes y en funcionamiento, así como también labores de inspección visual tales como nivel de gas refrigerante y aceite, esto generalmente es una rutina de mantenimiento diaria. Así también labores de mantenimiento preventivo lubricación, limpieza, etc.

2.2.2 Mantenimiento programado

En este mantenimiento realizado a la unidad compresora de refrigeración Mycom 200SVD, existe un plan de mantenimientos programados por frecuencia de tiempo semanal, quincenal y mensual los cuales tienen un porcentaje 60% de cumplimiento respecto al plan los efectuados en paro de operación y para los efectuados en marcha un porcentaje de 90%. Estos indicadores son debido a las jornadas de producción y el crecimiento de la misma.

Tabla II. Programa de mantenimiento actual compresor Mycom

Parte	Actividad	Frecuencia
Sello	Limpieza	Anual
	Revisión/Inspección	Semanal
	Cambio/Sustitución	Anual
Cojinetes radiales y axiales	Cambio/Sustitución	Anual
Bushings	Cambio/Sustitución	Anual
Válvula deslizante	Revisión/Inspección	Semanal
	Cambio/Sustitución	Anual
Válvula hidráulica	Limpieza	Trimestral
	Revisión/Inspección	Semanal
	Cambio/Sustitución	Anual
Válvulas de seguridad	Revisión/Inspección	Semanal
	Limpieza	Anual
Display de Control	Revisión/Inspección	Mensual
	Limpieza	Mensual
	Cambio/Sustitución	Anual
Bobinas Hidráulicas	Revisión/Inspección	Mensual
Coupling	Limpieza	Mensual
Manómetros	Cambio/Sustitución	Anual

2.2.3 Mantenimiento Overhaul

Este tipo de mantenimiento requiere de un paro de operación del equipo y tiene una duración de una semana, tiempo en el cual la producción también para y se requiere optimizar los tiempos de producción, generar inventarios de productos terminados y utilizar equipos alternos para dar cumplimiento a la solicitud de producción, generalmente es un mantenimiento anual por esa razón se le denomina de overhaul ya que consiste en revisar todas las piezas móviles del compresor.

En este tipo de mantenimiento también están todos aquellos mantenimientos correctivos que se deben a una falla de ocasión que también interrumpen el funcionamiento del equipo por obsolescencia de partes o fin anticipado de vida útil de piezas, al cual se le denomina muerte prematura de piezas que puede ser ocasionado por fatiga en materiales de fabricación y/o factores de almacenaje como temperatura, polvo, posición, etc.

2.3 Clasificación de fallas

Para analizar el mantenimiento actual del compresor del sistema de refrigeración es necesario hacer una clasificación de fallas conociéndolas como un cese de la capacidad del equipo para realizar su función adecuada de operación y que provoca un paro no programado del equipo y/o falta de cumplimiento a los distintos procesos productivos. Y un perfil de riesgo de fallas basado en severidad, frecuencia de ocurrencia y consecuencias.

2.3.1 Respecto función afectada

Para definir el tipo de fallas respecto a la función afectada, se conocerá como funciones principales a aquellas para las que el elemento fue diseñado, funciones secundarias las que cumplen funciones de apoyo a las principales y funciones terciarias a aquellas que cumplen aspectos relacionados con la estética del elemento.

2.3.1.1 Falla crítica

Una falla crítica es la que afecta las funciones principales del elemento, se puede mencionar como la falta de corriente eléctrica, cuando no existe gas refrigerante para el compresor, cuando la válvula y el motor se encuentran en mal estado.

2.3.1.2 Falla parcial

Este tipo de falla es la que afecta a algunas de las funciones del elemento, pero no todas, se puede mencionar el desgaste de los rotores del compresor, cuando las válvulas no permiten ingreso del gas refrigerante y cuando el acoplamiento se encuentra roto.

2.3.1.3 Falla reducida

La falla reducida afecta al elemento sin que pierda su función principal y secundaria, entre esta falla se puede mencionar el manómetro en mal estado.

En la siguiente tabla se realiza un análisis de las fallas respecto a la función afectada.

Tabla III. Clasificación de fallas por función afectada

Análisis de fallas respecto función afectada			
Elemento: Compresor de Tornillo de Refrigeración Mycom			
Funciones del elemento	Clasificación de fallas		
Principal	Falla Crítica	Falla Parcial	Falla reducida
Comprimir gas refrigerante.	No tiene corriente eléctrica. No existe gas refrigerante.	Desgaste en rotores. Válvulas no permiten ingreso de gas refrigerante	No aplica.
Secundaria			
No comprime a presión normal.	Válvula deslizante en mal estado. Motor en mal estado.	Acoplamiento roto.	No aplica.
Terciaria			
Los manómetros no indican presión de operación	Fugas de gas refrigerante en el sistema.	No aplica.	Manómetros en mal estado.

2.3.2 Respetto al tiempo de permanencia

Para definir el tipo de fallas respecto al tiempo de permanencia, se conocerá las fallas que afectan al elemento en forma sistemática y permanece un largo tiempo, las que afectan al sistema de forma aleatoria y que se presenta en forma imprevista, así también la falla que afecta al equipo durante un tiempo limitado.

2.3.2.1 Falla crónica

Afecta al elemento en forma sistemática o permanece por largo tiempo. Puede ser crítica, parcial o reducida, generalmente están ocultas y permanecen en el tiempo.

Su efecto es relativamente bajo, pero al sumar esta falla durante todo el tiempo puede llegar a ser muy importante para los resultados esperados por la empresa en términos de eficiencia y costo. Estas se vuelven habituales para el personal y en muchos casos no se aprecian porque no son dramáticas y es necesario investigarlas con alguien externo y especializado.

Generalmente se deben a deficiencias de proyecto, de montaje, de operación y de instalación y se eliminan rompiendo los paradigmas de operación y mantenimiento.

2.3.2.2 Falla esporádica

Afectan al sistema de forma aleatoria y puede ser crítica o parcial. Este tipo de falla ocurre en forma imprevista, es poco frecuente su ocurrencia. Por lo general resulta de una causa simple y es fácil de identificar su causa, produce grandes desviaciones en la producción y duran poco tiempo. Las medidas correctivas son simples y rápidas de aplicar sus causas pueden ser desconocidas y conocidas.

Por ejemplo, una causa desconocida puede ser falta de investigación del funcionamiento del equipo o variación de parámetros operativos (velocidad, ajustes, etc.). Y causas conocidas como acciones correctivas ineficaces, acciones superficiales y sin seguimiento, evaluación errónea del impacto y costo del problema.

Para la eliminación de este tipo de falla es necesario llevar a cabo investigación, control, análisis y estadísticas de ocurrencia de falla.

2.3.2.3 Falla transitoria

Este tipo de falla afecta al equipo durante un tiempo limitado y adquiere nuevamente su actitud para realizar la función requerida, sin haber sido objeto de ninguna acción de mantenimiento. Estas fallas no afectan a la confiabilidad del equipo y menos a la disponibilidad del equipo, por ejemplo un corte de energía eléctrica en operación durante cierto tiempo.

2.3.3 Costo de mantenimiento actual

Los costos de mantenimiento actual, son de consideración para efectuar una evaluación. Se consideraran los costos de mano de obra, como el personal involucrado en el mantenimiento, el sueldo y las prestaciones que le corresponde al personal involucrado. Los costos de los repuestos y piezas que sirven para el mantenimiento del compresor, el costo eléctrico y el costo del gas refrigerante elementos para su operación, el costo de producción y el costo del equipo.

2.3.3.1 Costo de mano de obra

Para mantenimiento en operación se requiere un técnico de refrigeración a tiempo completo por cada turno de doce horas, en turno diurno cumple su tiempo ordinario de ocho horas más cuatro horas extraordinarias. En turno nocturno el técnico de refrigeración cumple seis horas de tiempo ordinario más seis horas de tiempo extraordinario, el salario ordinario promedio de un técnico de refrigeración es Q 2,000.00 más bonificación incentivo decretada por la ley laboral del estado de la republica de Guatemala de Q 250.00. Con este salario el valor de la hora extraordinaria es de Q 12.50.

En mantenimiento programado se requiere de un técnico de refrigeración Semanalmente durante dos días en turno diurno, como apoyo al técnico de mantenimiento en operación, este mantenimiento se efectúa durante todas las semanas del año.

Tabla IV. Costo de mano de obra por mantenimiento en operación anual

Costo de mano de obra por mantenimiento en operación anual	
Técnicos de refrigeración	2
Horas ordinarias anuales	5040
Horas extraordinarias anuales	3600
Salarios ordinarios anuales	Q 48,000.00
Bono 14	Q 4,000.00
Aguinaldo	Q 4,000.00
Prestaciones adicionales	Q 8,000.00
Bonificación incentivo anual	Q 6,000.00
Salarios extraordinarios anuales	Q 45,000.00
Total costo mano de obra mantenimiento en operación anual	Q115,000.00

Tabla V. Costo de mano de obra mantenimiento programado anual

Costo de Mano de Obra Mantenimiento Programado Anual	
Técnicos de refrigeración	1
Horas ordinarias anuales	832
Horas extraordinarias anuales	416
Salarios ordinarios anuales	Q 6,933.33
Bono 14	Q 1,155.56
Aguinaldo	Q 1,155.56
Prestaciones adicionales	Q 2,311.11
Bonificación incentivo anual	Q 866.66
Salarios extraordinarios anuales	Q 5,200.00
Total costo mano de obra mantenimiento en operación anual	Q 17,622.22

Costo de Mano de Obra Overhaull

Este costo está basado en la cantidad de horas de paro por mantenimiento de overhaull en el último año.

Tabla VI. Costo de mano de obra mantenimiento de overhaull

Elemento	Cantidad	Costo
Horas mantenimiento Overhaull	252	
Personal	3	
Horas ordinarias de mantenimiento Overhaull	196	Q 4,900.00
Horas extraordinarias de mantenimiento Overhaull	56	Q 2,100.00
Motor eléctrico	1	Q 73,625.00
Compresor MYCOM remanufacturado	1	Q 372,697.50
Display electrónico	1	Q 19,375.00
Variador de frecuencia	1	Q 106,950.00
Repuestos varios	1	Q 755.00
Renta de equipo especial	1	Q 500.00
Costo de mantenimiento Overhaull 2006		Q 580,902.50

2.3.3.2 Costo de repuestos

Este es un listado de repuestos y piezas de cambio que se deben de comprar para tener siempre en bodega de repuestos, esta incluido en los costos de mantenimiento, ya que es necesario incluirlos en el presupuesto anual de mantenimiento del compresor MYCOM.

Tabla VII. Costo de repuestos y piezas de cambio

REPUESTO	COSTO
Lubricante Ammonia Refrigeration Chevron (Tonel)	Q 4,500.00
Filtros de aceite	Q 1,995.00
Filtros de líquido	Q 968.75
Filtros coalescentes	Q 5,037.50
Filtros de succión	Q 8,500.00
Acople	Q 1,800.00
Sensor de presión 0-200	Q 1,364.80
Sensor de presión 0-500	Q 1,364.80
Sensor de temperatura -50 / 50 C	Q 462.05
Sensor de temperatura 0 / 150 C	Q 470.25
Transductor de presión 0-100	Q 1,364.80
Transductor de presión 0-500	Q 1,364.80
Sello de eje	Q 13,020.00
Motor eléctrico.	Q 73,625.00
Válvula deslizante.	Q 3,420.00
Válvula hidráulica	Q 3,420.00
Manómetros	Q 450.00
Cojinete principal	Q 5037.50
Cojinete lado 1	Q 5037.50
Cojinete lado 2	Q 5037.50
Display electrónico	Q 19,375.00
Fusibles	Q 11.25
Modulo de entrada	Q 144.15
Modulo de salida	Q 140.60

Kit de O-Ring bomba de aceite	Q 450.00
Variador de frecuencia	Q 106,950.00
Resistencia eléctrica	Q 750.00
Retenedor de aceite	Q 310.00

2.3.3.3 Costo de operación

Los costos de operación del compresor Mycom, se pueden dividir en dos segmentos costo eléctrico y costo de gas refrigerante.

Tabla VIII. Costo eléctrico de operación compresor Mycom

Equipo	Compresor Mycom
Voltaje	480
Amperaje	235
Potencia real en KW	200
Horas de trabajo – día	18
Días de trabajo – Semana	7
Semanas de trabajo – Año	52
Costo Kw-h en US \$	0.08
Costo eléctrico anual en US \$	US \$ 104,832.00
Tasa de cambio US \$ X Q	Q 7.75
Costo eléctrico anual en Q's	Q 812,448.00

Tabla IX. Costo de gas refrigerante de operación compresor Mycom

Gas refrigerante	Amoníaco
Capacidad del sistema	4,000 Lbs
Costo de lb. de amoníaco	Q 5.50
Costo de gas refrigerante	Q 22,000.00

Tabla X. Resumen de costos mantenimiento actual

Costo	Valor
Total Costo Mano de Obra Mantenimiento en Operación Anual	Q115,000.00
Total Costo Mano de Obra Mantenimiento en Operación Anual	Q17,622.22
Costo de Repuestos	Q266,196.25
Costo de Gas Refrigerante	Q22,000.00
Costo Eléctrico Anual en	Q812,448.00
Costo de Mantenimiento & Operación Actual	Q1,233,266.47

Tabla XI. Información de paros de compresor Mycom año 2006

Tipo de Paro	Cantidad	Horas
Paro por Mantenimiento Programado	15	154
Paro por Mantenimiento de Overhaull	3	252
Paro por Otras Causas	54	20

Tabla XII. Información de Producción

Etapa del Proceso	Congelado
Disponibilidad Requerida Mensual	468 hrs.
Producción Promedio Mensual	848,000 Lb.
Costo de Libra de Producción Promedio	Q 11.25
Costo de Hora de No Producción	Q 20,384.62

Tabla XIII. Costo del Equipo

Equipo	Costo
Compresor Mycom Nuevo	Q 532,425.00
Compresor Mycom Remanufacturado con Garantía	Q 372,697.50

3. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO

3.1 Mantenimiento óptimo

Mantenimiento óptimo de activos no es solo realizar una gestión de mantenimiento para ordenar las tareas de reparación, generando y administrando órdenes de trabajo para mantenimientos correctivos o programados.

Hoy en día, la gestión de mantenimiento óptimo de activos es más que eso, es atender el equipo y seguir su vida desde el momento de su selección, adquisición, su vida operativa hasta su baja y venta para obtener un valor de rescate del equipo. De esta forma, se debe actuar para lograr un desempeño eficiente y productivo durante toda su vida e inclusive buscar que su vida útil inicial o recomendada por el fabricante se pueda extender.

Los objetivos del mantenimiento óptimo son asegurar la competitividad de la empresa por medio de:

- La disponibilidad y confiabilidad planeadas de la función deseada.
- Satisfacer todos los requisitos del sistema de calidad de la empresa.
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.
- Minimizar las fallas, paradas y costos de mantenimiento.
- Maximizar el beneficio global.

Se evaluarán dos alternativas de mantenimiento descritas como mantenimiento planificado y mantenimiento no planificado, de la cual resulta el mantenimiento óptimo para cumplir con los objetivos antes descritos.

3.2 Mantenimiento planificado

Este tipo de mantenimiento, es aquel donde los mantenimientos están programados, incorporados en un calendario en tiempo real acordado con anterioridad y que sus eventos o actividades a realizar no tenga incidencia alguna en la productividad.

Organizacionalmente requiere de un programador de mantenimiento quien debe generar las órdenes de trabajo para su ejecución al personal técnico.

3.2.1 Mantenimiento preventivo

Es el que en base a horas de operación se programa un activo para su mantenimiento, los servicios se determinan de tal manera que según las condiciones de operación permitan que el equipo no alcance el deterioro tal que falle; y de esta manera prevenir antes de que se presente la falla también consiste en reacondicionar o sustituir a intervalos regulares de funcionamiento un equipo según recomendaciones del fabricante.

Tabla XIV. Mantenimiento preventivo compresor Mycom

Mantenimiento Preventivo	
Actividad de Mantenimiento	Frecuencia
Revisión de conexiones eléctricas	500 horas
Limpieza de filtros de aceite	1,000 horas
Revisión y limpieza de filtros de succión	1,000 horas
Limpieza de filtros de líquido	1000 horas
Revisión y calibración de sensores (presión y temperatura)	2,000 horas
Revisión motor eléctrico	2,000 horas
Cambio de válvula deslizante	10,000 horas
Cambio de válvula hidráulica	10,000 horas

3.2.1.1 Mantenimiento programado

Este mantenimiento son servicios de mantenimiento preventivo, donde cada equipo para después de un período de funcionamiento, sean hechas mediciones, ajustes y si es necesario, cambio de piezas en función de un programa preestablecido y calendarizado a partir de la experiencia operativa, recomendaciones de los fabricantes, etc. Independientemente de su estado en ese momento y con lleva actividades rutinarias y sistemáticas.

Tabla XV. Mantenimiento programado compresor Mycom

Mantenimiento programado	
Actividad de mantenimiento	Frecuencia calendarizada
Cambio de aceite	Cada año
Revisión/ cambio de acople	Cada año
Cambio filtros coalescentes	Cada año
Cambio de manómetros	Cada año
Cambio sello de eje	Cada 2 años.

3.2.1.2 Mantenimiento predictivo

Este mantenimiento consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas según condición y nos permite hacer una predicción del estado del compresor Mycom por medio de las distintas herramientas de análisis de tendencias de vibraciones, análisis de desgastes por aceites lubricantes, análisis de ruido, mediciones eléctricas voltaje, amperaje, resistencia, ultrasonidos, termografías. A este también se le llama Mantenimiento según estado o condición, ya que logra de una forma detectiva anticipar las fallas.

Tabla XVI. Mantenimiento predictivo compresor Mycom

Actividad de Mantenimiento Predictivo	Frecuencia
Análisis de Vibraciones	Cada 4 meses
Análisis de Ruido (Operativo)	Diario
Análisis de Desgastes por Lubricantes	Cada 4 meses
Mediciones Eléctricas	Semanal
Termografía	Cada 4 meses

3.3 Mantenimiento no planificado

En este tipo de Mantenimiento, es aquel que se lleva a cabo actividades que no han sido consideradas en el plan de mantenimiento, muchas de estas actividades suelen colocarse en el siguiente plan, para tomarse como actividades planificadas, generalmente el mantenimiento no planificado se puede programar cuando una falla no afecta la función principal para la cual fue creado el equipo y puede seguir operando con ciertas limitaciones y no se puede programar cuando el producto de una falla se obtiene un paro del equipo.

3.3.1 Mantenimiento programado

Un mantenimiento se puede programar, aun que no este programado en el plan general de mantenimiento, se debe programar cuando se detecte una falla, que no requiere paro de emergencia para su reparación, ni se ve afectada

la producción y la productividad, simplemente una falla que aparece y si no se atiende puede producir un daño posterior al equipo.

3.3.1.1 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es un mantenimiento que bien manejado no es un mal mantenimiento, por ejemplo si se conoce de un mantenimiento preventivo se tenga que cambiar aceite a las 400 horas de operación, en oportunidades se desperdician aceite lubricante que esta en buen estado, es importante conocer la condición del lubricante antes de poder desecharlo, lo mismo sucede con piezas que en el preventivo se cambian solo por que así lo determina el plan y en oportunidades están en buen estado aun, es importante analizar el estado de las piezas ver su funcionalidad conociéndoles por medio de técnicas predictivas, y de esta forma determinar su vida útil y poder programar el cambio, para alcanzar este nivel se requiere mucho conocimiento de piezas de equipo, análisis de materiales, fortalecer el mantenimiento predictivo y generalmente requiere de una parada de equipo para llevarse a cabo. Se ejecuta debido a una orden de trabajo que proviene generalmente de las observaciones del mantenimiento predictivo.

3.3.2 Mantenimiento no programado

Este mantenimiento se lleva a cabo cuando una falla no detectada con anterioridad ocasiono un paro del equipo y se debe de tomar una acción inmediata, generalmente este mantenimiento no planificado y no programado es el más costoso, por lo que se deja de producir y el costo de recambio de piezas.

3.3.2.1 Mantenimiento de emergencia

Este segmento del mantenimiento no programado consiste en el reacondicionamiento o sustitución de partes en un equipo una vez que han fallado, ocurre de emergencia y su reparación no puede ser diferida en el tiempo. También se le llama mantenimiento de rotura y ocurre sin aviso previo, no detectado ni con técnicas de mantenimiento predictivo.

3.4 Costos de Mantenimiento Óptimo

Los costos del mantenimiento óptimo deben ser en cumplimiento al presupuesto de repuestos, cantidad de horas hombres y otros recursos determinados en el plan y programa de mantenimiento.

3.4.1 Costos de Mantenimiento Planificado

Los costos de mantenimiento planificado son fáciles de cuantificar, están relacionados con los materiales, piezas de cambio, repuestos y mano de obra utilizados.

3.4.2 Costo de Mantenimiento Preventivo

Los costos de mantenimiento preventivo se desglosan en mantenimiento programado, mantenimiento preventivo y predictivo a continuación se muestran las tablas que indican el costo basados en los planes.

Tabla XVII. Costo de mantenimiento programado

Costos mantenimiento programado			
Actividad de mantenimiento	Costo de Mano de Obra Anual	Costo de Repuestos Anual	Costo Total Anual
Cambio de aceite	Q 50.00	Q 18,000.00	Q 18,050.00
Revisión/ cambio de acople	Q 150.00	Q 1,800.00	Q 1,850.00
Cambio filtros coalescentes	Q 150.00	Q 5,037.50	Q 5,187.50
Cambio de manómetros	Q 50.00	Q 450.00	Q 500.00
Cambio sello de eje	Q 150.00	Q 13,020.00	Q 13,170.00
Totales	Q 550.00	Q 38,307.50	Q 38,857.50

Tabla XVIII. Costo de mantenimiento preventivo

Costo de Mantenimiento Preventivo			
Actividad de Mantenimiento	Costo de mano de obra anual	Costo de Repuestos anual	Costo Total anual
Revisión de conexiones eléctricas	Q 200.00		Q 200.00
Limpieza de filtros de aceite	Q 100.00		Q 100.00
Revisión y limpieza de filtros de succión	Q 600.00		Q 600.00
Limpieza de filtros de líquido	Q 200.00		Q 200.00
Revisión y calibración de Sensores (presión y temperatura)	Q 200.00		Q 200.00
Revisión motor eléctrico	Q 900.00		Q 900.00
Cambio de válvula deslizante	Q 1,800.00	Q 3,420.00	Q 5,220.00
Cambio de válvula hidráulica	Q 100.00	Q 6,820.00	Q 6,910.00
Totales	Q 4,100.00	Q 10,260.00	Q 14,360.00

Tabla XIX. Costo de mantenimiento predictivo

Costo de Mantenimiento Predictivo			
Actividad de Mantenimiento	Costo de Mano de Obra Anual	Costo de Servicio Anual	Costo Total Anual
Análisis de Vibraciones	Tercerizado	Q 1,200.00	Q 1,200.00
Análisis de Ruido (Inspección Operativa)	Q 749.70		Q 749.70
Análisis de Desgastes por Lubricantes	Tercerizado	Q 600.00	Q 600.00
Mediciones Eléctricas	Q 433.16		Q 433.16
Termografía	Tercerizado	Q 1,050.00	Q 1,050.00
Total Anual	Q 1,182.86	Q 2,850.00	Q 4,032.86

3.4.3 Costos de Mantenimiento No Planificado

Los costos de mantenimiento planificado no se pueden cuantificar por sus distintas formas de fallas que pueden presentarse a lo largo de vida útil del equipo por lo tanto el costo de mantenimiento correctivo y no programado o bien llamado de emergencia, se cuantificará como el costo del equipo total siendo este el valor máximo de una falla o el escenario pesimista y las horas de no producción, considerando este como un costo variable.

Tabla XX. Costo de mantenimiento correctivo y de mantenimiento no programado o de emergencia

Elemento de Costo	Costo
Compresor Mycom Nuevo	Q 532,425.00
Compresor Mycom Remanufacturado con Garantía	Q 372,697.50
Hora de No Producción	Q 20,384.62

3.5 Análisis económico

Se realizará un análisis económico del mantenimiento actual respecto de las dos alternativas de mantenimiento las cuales se han denominado anteriormente como Mantenimiento Planificado y No Planificado, la alternativa que obtenga el menor valor de Valor Actual Neto, será la seleccionada y denominada como Mantenimiento Óptimo.

Tabla XXI. Alternativas de análisis económico

Tipo de Mantenimiento	Elemento de Análisis	Valor
Mantenimiento Actual	Costo de Mantenimiento & Operación Actual	Q1,233,266.47
	Costo de mantenimiento de Overhauil año 2006	Q 580,902.50
Mantenimiento Planificado	Costos Mantenimiento Programado	Q 38,857.50
	Costo de Mantenimiento Preventivo	Q 14,360.00
	Costo de Mantenimiento Predictivo	Q 4,032.86
Mantenimiento No Planificado	Costo Máximo de Mantenimiento de Emergencia	Q 532,425.00
Operación	Costo Eléctrico Anual en Q's	Q812,448.00

Los valores actual neto de las alternativas se enfrentarán contra el valor de la producción anual estimada promedio, la cual se tomará como 848,000 Lbs/ mes a un costo de Q 11.25 por libra. Anualmente se tiene para analizar un costo de Q 114, 480,000.00 por producción.

Las alternativas de mantenimiento planificado y mantenimiento no planificado, se le agregará el costo de operación eléctrica y un valor de rescate del 20% al final de la vida útil. Y se le denominará mantenimiento óptimo.

La vida útil se tomará de 10 años considerando que es ya un equipo remanufacturado y con bajo mantenimiento. La tasa de interés se tomará 7% anual, valor el cual es la tasa de interés bancaria para préstamos industriales.

Tabla XXII. Análisis Valor Actual Neto

Alternativa	Tipo de Mantenimiento	Valor Actual neto
1	Mantenimiento Actual	Q 791,317,651.12
2	Mantenimiento Optimo	Q794,265,818.63

La alternativa de mantenimiento óptimo es más rentable, obteniendo un mayor valor actual neto con una diferencia de Q2, 948,167.51 respecto a la alternativa de mantenimiento actual.

3.6 Efectos en productividad

Los efectos en productividad al tener un mantenimiento óptimo se verán reflejados en aumento de producción, reducción de paros por fallos, mejor coordinación entre los departamentos de producción y mantenimiento.

Reducción de costos de mantenimiento durante la vida útil del equipo, un valor de rescate al final de la vida útil del equipo por el buen mantenimiento recibido.

Mejor programación de compra de repuestos y manejo adecuado de inventario de repuestos.

Crecerá la disponibilidad del equipo para producción, aumentará la confiabilidad del sistema de refrigeración.

Se tendrá un mantenimiento predictivo y de esta forma se podrá anticipar a una falla y evitar un paro de emergencia que afecta el tiempo de producción, se realizará un paro programado.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO ÓPTIMO

La gestión del mantenimiento debe iniciar desde el momento que una actividad del mantenimiento está programada se genera una solicitud de trabajo en la cual se describe la actividad, fecha que estará disponible para mantenimiento y dirigida al grupo de trabajo desarrollará. Al momento de iniciar el grupo la actividad debe iniciar una orden de trabajo en la cual se clasifica que tipo de mantenimiento se efectuará, a quien le será asignado el trabajo, recursos necesarios, deberá quedar registrado el momento en que finaliza la actividad y que está listo el equipo para cumplir con su función principal y disponible para producción.

4.1 Confiabilidad del mantenimiento

Es un indicador que expresa de alguna manera la confianza del equipo para trabajar un determinado período sin fallas, es posible lograr una confiabilidad de 100%, más aun cuando los equipos no son de uso continuo, para este caso el compresor Mycom es un equipo de uso continuo y siempre se buscará mantener el máximo de confiabilidad.

La fórmula de confiabilidad esta expresada por:

$$\text{CONF} = \frac{\text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}}$$

Donde:

CONF = Confiabilidad.

TMEF = Tiempo medio entre falla.

TMPR = Tiempo medio para reparar.

El tiempo medio entre falla y el tiempo medio para reparar serán indicadores de registros de lecturas para el período, el cual se desee evaluar, esta expresado en horas.

El TMEF y TMPR se calcula de la siguiente forma:

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Horas de operación}}{\text{Cantidad de mantenimiento correctivo}}$$

Expresa el tiempo promedio entre intervenciones de mantenimiento, extenderlo es aumentar la disponibilidad de operaciones del equipo y la confiabilidad.

$$\text{TMPR} = \frac{\sum \text{Horas de reparación}}{\text{Cantidad de Mantenimientos Correctivos}}$$

Expresa el tiempo promedio que se demora en reparar el equipo cada vez que es intervenido por mantenimiento, disminuirlo es aumentar la disponibilidad de la operación del equipo.

4.2 Aseguramiento de operación

Para asegurar la operación y conociendo que el mantenimiento juega un factor determinante es necesario cumplir el plan y programa de mantenimiento optimo, de acuerdo los procedimientos de mantenimiento, alimentando las hojas de registro para información y poder llevar una estadística de los índices de mantenimiento de esta forma conseguir un beneficio global para la

operación del equipo, cumplimiento de la función para la cual fue comprado el equipo, calidad y gestión de seguridad industrial desde mantenimiento.

4.3 Plan de Mantenimiento

Tabla XXIII. Plan de Mantenimiento Óptimo

PLAN DE MANTENIMIENTO OPTIMO COMPRESOR DE TORNILLO MYCOM	
ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO
Cambio de aceite	Según monitoreo de condición / anual
Análisis de aceite lubricante	Cada 4 meses
Cambio de filtros	Cada 6 meses
Limpieza de filtros de aceite	Cada 1000 horas
Limpieza de filtros de líquido	Cada 1000 horas
Cambio de filtros coalescentes	Anual
Revisión y limpieza de filtro de succión	Cada 1000 horas
Revisión de acople	Anualmente indiferente de horas de operación
Revisión conexiones eléctricas	Cada 500 horas
Revisión calibración de sensores	Cada 2000 horas
Análisis de vibración	Cada 6 meses, con mayor frecuencia si los niveles aumentan
Cambio de sello de eje	Cuando el flujo de fuga exceda de 8 gotas por minuto/ Cada 2 años
Termografía	Cada 4 meses
Revisión motor eléctrico	Cada 2000 horas
Cambio de válvula deslizante	Cada 10000 horas
Cambio de válvula hidráulica	Cada 10000 horas
Cambio de manómetros	Anual / según condición
Revisión de manómetros	Diario
Revisión de horómetro	Diario

4.4 Programa de mantenimiento Óptimo

El programa de mantenimiento se debe efectuar en tiempo real con frecuencias y con rutinas de intervención programadas en un año calendario y debe asumirse como una mejora continua.

El programa de mantenimiento óptimo considera al motor eléctrico del compresor, la unidad compresora de tornillo, la bomba de aceite y el motor eléctrico de la bomba de aceite.

Todas las actividades programadas están involucrados los técnicos de refrigeración y los técnicos eléctricos. Y esta descrito cada parte del elemento del compresor, actividad a desarrollar, que tipo de rutina pertenece, su estatus para realizarlo que puede ser en marcha o requiere paro, la frecuencia de tiempo con la cual se debe llevar a cabo, el turno en el que se efectuará diurno o nocturno y el tiempo permisible de duración de la actividad.

Las rutinas generales para el programa de mantenimiento son:
Lubricación, monitoreo de condición, recambio de partes, Inspección VOSO que consiste en ver, oír, sentir y observar el equipo.

Los status de las actividades son:

P: Actividad se puede realizar equipo parado.

M: Actividad se puede realizar equipo en marcha o en operación.

Los turnos en que puede llevarse a cabo son:

D: Diurno

N: Nocturno

D/N: Indistinto Diurno o Nocturno.

Tabla XXIV. Programa de Mantenimiento compresor Mycom

Programa de Mantenimiento Compresor Mycom									
Elemento	Parte	Actividad	Rutina	Status	Frecuencia	Turno	Personal	Duración	Equipo
Motor Eléctrico Comp. Mycom	Cojinetes	Engrase	Lubricación	p	Mensual	N	1	30 min	Elec-Refrigeradora
		Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	3	6hr	Elec-Refrigeradora
		Análisis con Estetoscopio	Monitoreo Condición	m	Mensual	D	1	30 min	Elec-Refrigeradora
	Retenedor lado carga	Limpieza	Limpieza	p	Anual	D/N	3	6hr	Elec-Refrigeradora
		Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	3	6hr	Elec-Refrigeradora
		Revisión/Inspección	Inspección VOSO	m/p	Semanal	N	1	30 min	Elec-Refrigeradora
	Estator	Limpieza	Limpieza	p	Anual	D/N	3	6hr	Elec-Refrigeradora
		Revisión/Inspección	Inspección VOSO	p	Anual	D/N	3	6hr	Elec-Refrigeradora
		Medición de bobinas (fase-tierra)	Monitoreo Condición	p	Trimestral	D/N	3	6hr	Elec-Refrigeradora
	Rotor	Limpieza	Limpieza	p	Anual	D/N	3	6hr	Elec-Refrigeradora
		Revisión/Inspección	Inspección VOSO	p	Anual	D/N	3	6hr	Elec-Refrigeradora
	Ventilador	Limpieza	Limpieza	p	Anual	D/N	3	6hr	Elec-Refrigeradora
Compresor Tornillo Comp. Mycom	Sello	Limpieza	Limpieza	p	Anual	D/N	3	6hr	Mec-Refrigeradora
		Revisión/Inspección	Inspección VOSO	m/p	Semanal	N	1	30 min	Mec-Refrigeradora
		Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	3	6hr	Mec-Refrigeradora
	Cojinetes radiales y axiales	Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	6	72hr	Mec-Refrigeradora
	Bushings	Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	6	72hr	Mec-Refrigeradora
	Valvula deslizante	Revisión/Inspección	Inspección VOSO	m/p	Semanal	N	1	30 min	Mec-Refrigeradora
		Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	6	72hr	Mec-Refrigeradora
	Válvula hidráulica	Limpieza	Limpieza	p	Trimestral	D/N	2	3hr	Mec-Refrigeradora
		Revisión/Inspección	Inspección VOSO	m/p	Semanal	N	1	30 min	Mec-Refrigeradora
	Válvulas de seguridad	Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	2	3hr	Mec-Refrigeradora
		Revisión/Inspección	Inspección VOSO	m/p	Semanal	N	1	30 min	Mec-Refrigeradora
	Display Electrónico	Limpieza	Limpieza	p	Anual	D/N	3	6hr	Mec-Refrigeradora
		Revisión/Inspección	Inspección VOSO	m/p	Mensual	N	1	30 min	Elec-Refrigeradora
	Bobinas Hidráulicas	Limpieza	Limpieza	p	Mensual	D/N	1	1hr	Elec-Refrigeradora
		Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	1	2hr	Elec-Refrigeradora
	Coupling	Revisión/Inspección	Inspección VOSO	m/p	Mensual	N	1	30 min	Elec-Refrigeradora
	Manómetros	Limpieza	Limpieza	p	Mensual	D/N	1	1hr	Elec-Refrigeradora
	Bomba Aceite Comp. Mycom	Cojinetes	Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	2	6hr
Engranajes			Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	2	6hr
Aceite		Limpieza	Limpieza	p	Anual	D/N	2	6hr	Mec-Refrigeradora
		Revisión/Inspección	Inspección VOSO	m/p	Semanal	N	1	30 min	Mec-Refrigeradora
		Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	4	24	Mec-Refrigeradora
Filtros		Limpieza	Limpieza	p	Anual	D/N	1	24	Mec-Refrigeradora
		Revisión/Inspección	Inspección VOSO	m/p	Semanal	N	1	30 min	Mec-Refrigeradora
		Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	2	24hr	Mec-Refrigeradora
Motor Eléctrico Bomba Aceite Comp. Mycom	Cojinetes	Engrase	Lubricación	p	Mensual	N	1	30 min	Elec-Refrigeradora
		Cambio/Sustitución	Recambio de partes	p	Anual	D/N	2	6hr	Elec-Refrigeradora
		Análisis con Estetoscopio	Monitoreo Condición	m	Mensual	D	1	30 min	Elec-Refrigeradora
		Limpieza	Limpieza	p	Semanal	D/N	1	1.5 hr	Elec-Refrigeradora

4.5 Procedimientos de mantenimiento

Los procedimientos de mantenimiento es una serie de pasos sistemáticos que deben seguirse para el buen y eficiente cumplimiento de las actividades de mantenimiento. El no cumplir los pasos y las frecuencias acordadas en el plan de mantenimiento irrumpe la continuidad de un proceso y pone en riesgo la disponibilidad y confiabilidad del equipo, ocasionando un costo oculto que puede acortar la vida útil del compresor, bajar la productividad y no alcanzar el nivel de mantenimiento óptimo.

Existen procedimientos que están incluidos en uno mismo para efectos de comprensión estarán definidos

Procedimiento de cambio de aceite.

Procedimiento de filtros de succión y descarga.

Procedimiento de cambio de filtros coalescentes.

1. Pulse el interruptor de apagado de compresor.
2. Pulse el interruptor de apagado de evaporador.
3. Cierre llaves de succión y descarga.
4. Purgue la presión del tanque de aceite en la válvula inferior.
5. Saque aceite del tanque de lubricante.
6. Recolecte una muestra de aceite lubricante para monitoreo
7. Desatornille la brida de la tapadera del tanque de aceite.
8. Inspeccione el estado de los filtros y revise que no exista partículas de metal.
9. Extraiga los filtros de aceite.

10. Realice limpieza con flushing al tanque de aceite.
11. Verifique que no existan lodos y residuos.
12. Espere que se evapore el tanque por el flushing.
13. Cambie filtros coalescentes.
14. Cambie empaque de brida de tanque de aceite.
15. Coloque la brida y atornille.
16. Cambie filtro de aceite.
17. Limpieza de filtro de succión
18. Llene el tanque de aceite (110 galones)
19. Realice vacío al sistema de 20 plg. Hg.
20. Purga el condensador en su válvula inferior, para asegurar que el sistema esta libre de contaminación de aceite.
21. Abra válvulas de succión y descarga gradualmente.
22. Pulse el interruptor de encendido de condensador y evaporador.
23. Pulse el interruptor de encendido de compresor.
24. Verifique que la presión de aceite, succión y descarga alcancen lo requerido.

Procedimiento de revisión de acople de motor y compresor

1. Ponga atención de algún ruido anormal en el funcionamiento antes de proceder a la revisión física.
2. Apague el compresor.
3. Retire la guarda de protección.
4. Inspeccione con una linterna
5. Observe alguna anomalía en la superficie.
6. Gire lentamente y a la vez revise el estado físico del mismo.

7. Si se encuentra en mal estado, cámbielo. Y sí esta bien arme nuevamente.
8. Coloque guarda de protección.
9. Arranque compresor.

Procedimiento de revisión de conexiones eléctricas de compresor

- Utilice un multímetro de mediciones eléctricas y mida amperaje en el motor del compresor.
- Apague el compresor.
- Revise el tablero eléctrico del compresor que no existan conexiones dañadas, cables interceptados y rasgados, cables flojos.
- Apriete todas las borneras de conexión de cables, utilizando un destornillador bornero.
- Ordene cables.
- Limpie si existiese polvo.
- Cierre el tablero eléctrico y limpie con paño seco.
- Arranque compresor.

Procedimiento de calibración de termocoplas.

- Coloque hielo en un recipiente.
- Introduzca un termómetro digital certificado.

- Libere la termocopla del termopozo.
- Introduzca la termocopla en el recipiente con hielo.
- Ubíquese en el menú de calibración de la pantalla de mandos del compresor.
- Realice una comparación de lecturas de temperatura entre el termómetro digital certificado y la pantalla (debe indicar el mismo valor de temperatura)
- Si las lecturas no indican el mismo valor ajuste en la pantalla de mandos.
- Luego de ajustadas las temperaturas y que mantengan el mismo valor, pulse la opción calibrar.
- Terminado el procedimiento de calibración. (debe de indicar en la pantalla calibración finalizada).
- Devuelva la termocopla a su respectivo termo pozo.
- Este procedimiento aplica para las termocoplas de temperaturas de succión, descarga, separador de aceite y temperatura de aceite.

Procedimiento de cambio de sello mecánico.

- Cierre las válvulas de descarga y succión.
- Desmonte la guarda de protección de sello mecánico.
- Retire los tornillos de sujeción de ambos lados.
- Golpeé con un martillo de teflón para aflojar el housing del acople.
- Empuje con las manos, ambas partes para liberar el acople hasta sacarlo.

- Retire el acople.
- Retire la tapadera del sello mecánico del lado del compresor utilizando un extractor.
- Retire el sello mecánico.
- Limpie todas las piezas con alcohol.
- Coloque sello mecánico nuevo.
- Arme nuevamente.
- Abra las válvulas de descarga y succión.


4.6 Hojas de registro

Las hojas de registro se utilizan para monitorear variables tales como presión, temperatura, amperaje, revoluciones entre otras; así también ordenes de fallas, para llevar un control por prioridad dependiendo del requerimiento; por otro lado ordenes de trabajo para establecer las tareas para tomarse en cuenta en el mantenimiento.


4.6.1 Registro de variables

		EMPACADORA TOLEDO, S.A Control de Variables de Compresor de Refrigeración						CONSERVACIÓN INDUSTRIAL REFRIGERACIÓN					
NOMBRE				REVISADO POR:				FECHA:					
Técnico de Refrigeración				Jefe de grupo de Refrigeración									
EQUIPO		COMPRESOR MYCOM 200 SVD											
VARIABLES DE COMPRESORES		PRESIÓN SUCCIÓN PSI	TEMPERATURA DE SUCCIÓN	TEMP. SOBRECALENTAMIENTO O SUCCIÓN	PRESIÓN DESCARGA PSI	TEMPERATURA DESCARGA	TEMP. SOBRECALENTAMIENTO O DESCARGA	PRESIÓN DE ACEITE	TEMP. DE ACEITE	DIFERENCIAL DE PRESIÓN EN FILTRO	AMPERAJE	RPM (REVOLUCIONES * MIN)	RUIDO ANORMAL
		Hora	OBSERVACIONES										
00:00													
03:00													
06:00													
09:00													
12:00													
15:00													
18:00													
21:00													

4.6.2 Solicitud de trabajo

EMPACADORA TOLEDO S.A. PLANTA PROCESADORA			
SOLICITUD DE TRABAJO / REPORTE DE FALLAS DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO			
FECHA: _____		EQUIPO/ÁREA: _____	
REQUERIMIENTO			
MECÁNICO <input type="checkbox"/> ELÉCTRICO <input type="checkbox"/> REFRIGERACIÓN <input type="checkbox"/> EDIFICIOS <input type="checkbox"/> SOLDADURA <input type="checkbox"/> HIG. & SANIT. <input type="checkbox"/>			
FECHA EN QUE ESTARÁ DISPONIBLE: _____			
PRIORIDAD:			
1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Emergencia	Próx. Día	Próx. Semana	Próx. Mantto. Prev.
TRABAJO SOLICITADO/DESCRIPCIÓN DE LA FALLA			
Nombre y Firma solicitante		Nombre y Firma Mantenimiento	

4.6.3 Orden de trabajo

Orden de Trabajo (OT)				 Calidad Desde su Origen		
Planta:		Área/Departamento:				
Fecha programada:		Clase OT:			# OT :	
Ubicación Técnica:		# Equipo:				
Descripción Equipo:		Criticidad Equipo:				
# Solic. Mantto/Rep.		Prioridad Solic. Mantto/OT:				
Falla:						
Descripción Solic. Mantto/Rep. Falla:						
Status OT:	<i>General:</i>	<i>Específico:</i>				
Puesto de Trabajo Resp:		Descrip. Puesto Trabajo:				
Tareas a realizar / Realizadas:					Hr. Inicio	Hr. Final
1	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
TAREA FINAL: Dejar el área de trabajo ordenada y limpia						
M/O						
Correlativo:	Nombre:	Hrs. Estimadas:	Hrs. Reales:		Fecha:	
			Hrs. Ordinarias	Hrs. Extras		
Repuestos/Materiales						
Código Toledo:	Descripción:	Cantidad req:	Unidad Medida:	Costo (Q):		

Herramientas/Equipos Especiales			
Código Toledo:	Descripción:		Cantidad Requerida:
Misceláneos: Servicios, Trabajos y Asesorías Externas / Otros Gastos			
Descripción:		Proveedor/Empresa:	Costo Real (Q):
Procedimientos, Dibujos y Diagramas			
Comentarios / Observaciones			
Tiempos			
Tiempo Muerto (Min/Hrs.):	Razón(es):		Hr. Inic. Mantto:
			Hr. Fin Mantto:
Costos Totales (Q)			
Repuestos y Materiales:	M/O Ord.:	M/O Extras:	Misceláneos:
			Otros:
			Gran Total (Q):
			0.00
Supervisa el trabajo: Nombre:		Recibe el trabajo: Nombre:	
Firma:		Firma:	
			Fecha:

4.7 Índices de mantenimiento

Disponibilidad

Este índice representa el tiempo disponible del equipo para producción y está calculado de la siguiente forma, es el tiempo total del período a calcular menos la sumatoria de tiempos de paros preventivos, tiempos de paro por falla y tiempos de paros correctivos programados, todo esto dividido el tiempo total del periodo a calcular.

$$DSP = \frac{TTP - \Sigma (TPP + TPF + TPC)}{TTP}$$

DSP = Disponibilidad

TTP = Tiempo total del período.

TPP = Tiempo de paros preventivos.

TPF = Tiempo de paros por falla.

TPC = Tiempo de paros correctivos programados.

No Conformidades de mantenimiento

Este indicador representa el valor porcentual de reclamos de producción hacia la operación del compresor y que refleja un atraso, paro y/o un daño para la producción. Y su cálculo es el valor absoluto de Tiempo total del periodo menos la cantidad de reclamos, todo esto dividido el tiempo total del período.

$$NCM = ABS \left(\frac{TTP - QREC}{TTP} \right)$$

NCM = No Conformidades de Mantenimiento.
QREC = Cantidad de reclamos en el periodo a calcular.
TTP = Tiempo total del periodo a calcular.

4.8 Eficiencia global productiva del equipo

La eficiencia global productiva está relacionada con los indicadores de confiabilidad, no conformidades de mantenimiento y disponibilidad. Es necesario manejar un solo indicador, que muestre de manera rápida cuál es el estado de la operación del equipo y nos ayude a tomar decisiones para el funcionamiento y el futuro del equipo. La gestión de mantenimiento necesita administrarse por indicadores para justificar, analizar y mejorar aspectos técnicos y productivos.

La fórmula de eficiencia global productiva, está dada por el producto de confiabilidad, no conformidades de mantenimiento y disponibilidad. Y es un indicador del tipo 1 ó 100, como son conocidos, por expresarse como aceptable cuanto más cercano este al 100% o a la unidad.

$$EGP = \left[DSP * NCM * CONF \right] x 100.$$

5. SEGURIDAD INDUSTRIAL COMO MEJORA CONTINUA DE MANTENIMIENTO

5.1 Riesgos Potenciales

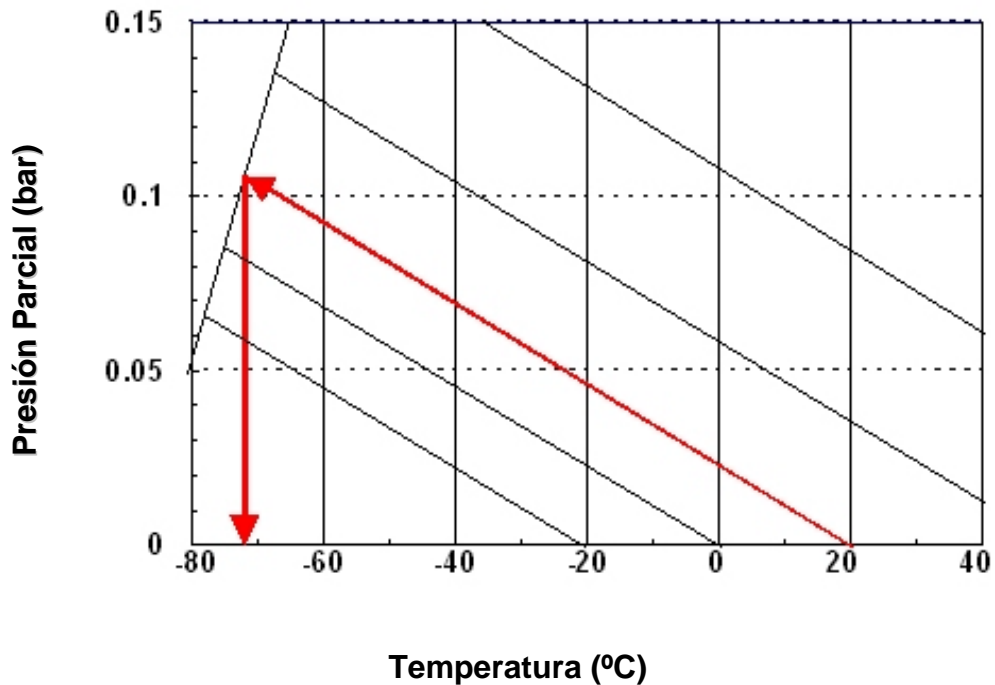
El refrigerante denominado amoníaco, cuya denominación comercial es conocida como R-717, no es un veneno acumulativo tiene un olor nauseabundo muy característico, fácil de detectar a bajas concentraciones con el olfato y es difícil permanecer en un recinto donde se localice una fuga. Debido a que el amoníaco es mas ligero que el aire, el mejor remedio para prevenir daños ante una acumulación de gas refrigerante, es una adecuada ventilación.

Tabla XXV. Riesgos al ser humano por concentración de amoníaco

Concentraciòn de Gas (ppm)	Efectos en un ser humano sin protecciòn	Tiempo de resistencia
25	Olor característico. En espacios fríos es posible detectar valores menores de concentraciòn	Ilimitado
35	Valor MCP *	8 horas de trabajo
50	Olor particular. No es cómodo	No permanecer más tiempo que el necesario.
100	Muy desagradable, no estar más tiempo que el necesario	Evacue de manera inmediata
400-700	Irritaciòn inmediata de ojos nariz y órganos respiratorios, máximo una hora de permanencia	Normalmente no hay lesiones.
1700	Tos, calambres e irritaciòn seria de ojos y vías respiratorias	Lesiones serias después de 30 minutos
2000-5000	Tos, calambres e irritaciòn seria de ojos y vías respiratorias	Letal en 30 minutos
5000	Paralisis y asfixia	Mortal en minutos
<i>* MCP = Maxima Concentraciòn Permissible</i>		

El amoníaco debido a que es muy soluble en agua bajo condiciones de temperatura de 20 °C y presión atmosférica, aproximadamente un litro de agua puede absorber 700 litros de vapor de amoníaco equivalente a medio kilogramo de amoníaco líquido, es por ello que afecta las partes húmedas del cuerpo humano (ojos, nariz, garganta y pulmones) al reducir considerablemente la temperatura del aire en – 74 °C. Por esta razón nunca se debe rociar con agua una fuga de amoníaco líquido, acelera el proceso de evaporaciòn.

Figura 9. Carta psicrométrica del aire y el amoníaco a temperatura de 20 °C.



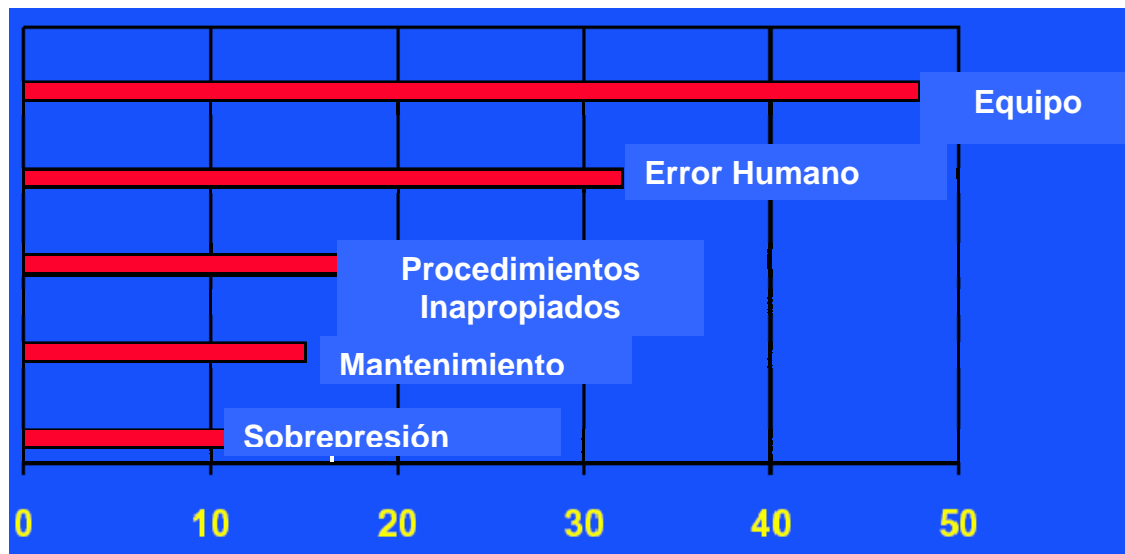
5.2 Precauciones de mantenimiento seguro

York Refrigeration, fabricante de equipo de refrigeración, como compromiso de seguridad industrial en apoyo a sus clientes realizó un estudio de manejo de riesgos en sistemas de amoníaco y las principales causas de las fugas de amoníaco, dando como resultado lo siguiente:

- El amoníaco es la sustancia que mas reportes de fugas tiene en la industria.
- 70% de las fugas fueron en sistemas de refrigeración.

- Daños por US \$106 millones dentro de las plantas sin incluir daños a terceros.
- 37% de las fugas fueron por causa de válvulas.
- Casi un 50% de las empresas creen que los equipos tuvieron incidencia en la fuga.
- El 48% de las empresas implementaron una mejora de equipos para reducir el riesgo de una fuga de amoníaco.

Figura 10. Factores que contribuyeron fugas de amoníaco



Porcentaje de plantas que reportaron fugas

Fuente: Risk Management Plan, York Refrigeration.

Se puede notar que las causas de fuga de amoníaco son los equipos, errores humanos, procedimientos inadecuados, falta de mantenimiento y sobrepresión del sistema. Todas relacionadas a precauciones de mantenimiento que deben llevarse como parte de la gestión de mantenimiento.

Los riesgos se pueden minimizar si se llevan a cabo las siguientes precauciones:

- Mantener la presión de descarga dentro de los rangos normales de operación entre 150 psig a 180 psig, purgando el sistema todas las veces que sea necesario para evitar la acumulación de los gases no condensables.
- Se deben proteger todas las tuberías en áreas donde puedan ser alcanzadas y puedan existir rupturas, por ejemplo en puntos donde se eleva materiales con montacargas.
- Todas las instalaciones soldadas deben de aprobar el ensayo no destructivo de radiografía industrial, y estar seguros que no tenga ninguna socavación que en el futuro pueda sufrir fatiga.
- Eliminar lo más pronto una fuga de amoníaco.
- Revisar periódicamente el sistema de válvulas de seguridad, que estén activando a la presión predeterminada.
- Proveer varios puntos de duchas de emergencia de alto flujo de agua, mangueras y agua potable.
- Capacitación de Seguridad Industrial a personal involucrado en la operación del sistema de refrigeración, que conozcan los riesgos y como actuar ante uno.

- El equipo de protección personal (EPP) deberá estar en lugar accesible a todos y donde no estén expuestas a la contaminación por amoníaco.
- Constantemente realizar simulacros de fugas de amoníaco y practicar el uso adecuado del equipo de protección personal (EPP) para evitar demoras y errores al momento del siniestro.
- El EPP deberá ser revisado periódicamente para conocer su estado de protección.
- Cuando se efectuó una reparación por ningún motivo hay que colgarse, pararse o apoyarse en la tubería que conduce al refrigerante.
- Reportar cualquier vibración anormal de un equipo, tubería, acumulador, etc. que pueda ocasionar una ruptura y que resulte una fuga de amoníaco.
- Nunca exponer los depósitos de refrigerante a un calor excesivo.

5.3 Equipo de protección personal

Es necesario proveer al personal de equipo de protección personal para evitar daños mayores e irreversibles, que pueden minimizarse con accesorios previamente certificados y aprobados para cubrir emergencias.

Los hay de varios tipos y los siguientes equipos son los más recomendados según normas OSHAS y fabricantes de equipo de refrigeración por amoníaco.

5.3.1 Equipo de detección de amoníaco

- Sistema de detección Unisafe con posibilidad de detección desde 15 a 1000 ppm de amoníaco.
- Hasta 36 detectores interconectados.
- Tarjeta de llamadas con capacidad de marcación de hasta 8 números distintos.

Figura 11. Equipo de detección de amoníaco



5.3.2 Mascara York con filtro K2.

- Máscara de bajo peso (550gr).
- Protección para hasta 5000ppm por 40 min.
- Adaptador en silicona.
- Buen ajuste inclusive con barba.
- No necesita cuerdas ni bandas para ajustarse.
- Protege toda la cabeza.

Figura 12. Máscara York con filtro K2



5.3.3 Equipo para uso diario.

- Overol con protección contra salpicaduras de amoníaco líquido y quemaduras por contacto con el mismo, impermeable y ligero.
- Guantes resistentes a temperaturas de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, con barrera anti penetración de líquido y permiten el fácil manejo de herramienta.
- Botas de seguridad.
- Mascara York con filtro K2.

Figura 13. Traje de uso diario



5.3.4 Traje de autocontenido

- Traje de autocontenido diseñado para soportar amoníaco líquido y en fase de aerosol además de soportar temperaturas de hasta -80°C .
- El equipo autónomo de respiración se encuentra dentro del traje.
- Permite la conexión del equipo a una fuente externa de aire.

Figura 14. Equipo de autocontenido



5.3.5 Equipos para recondensación

- Equipos para recondensación de amoníaco en fase aerosol y gas.
- Este tipo de equipos requiere entrenamiento previo para su uso.
- Es posible una recondensación de un 95% de la fuga.
- Un ventilador se puede encargar del amoníaco en fase gaseosa.

Figura 15. Equipo para recondensación de amoníaco



5.4 Plan de seguridad

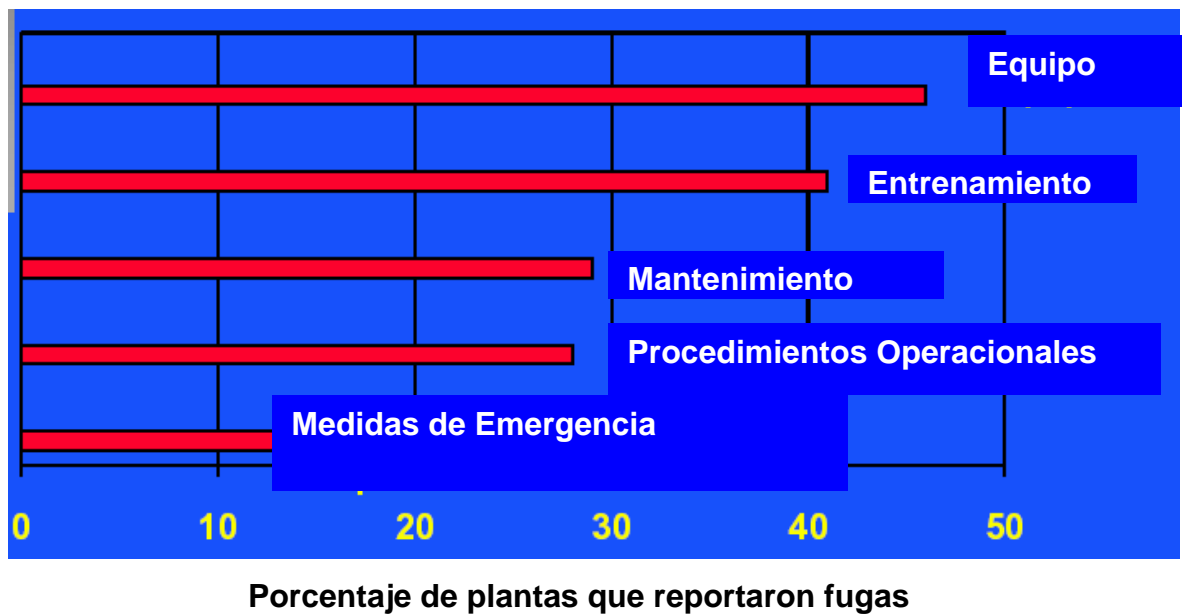
Generalmente la industria al verse afectada por un suceso fortuito de una fuga de amoníaco han implementado varias acciones para que no vuelva a ocurrir.

Es por esta razón necesario implementar un plan de seguridad que minimice el riesgo, que los daños ocasionados nunca afecten la integridad del personal involucrado y expuesto en un sistema de refrigeración por amoníaco. Un plan adecuado a las necesidades del sistema que cumpla el objetivo de información de todas las causas de una fuga, que hacer para que no suceda, contabilizar los daños, que hacer ante una fuga, conocer el edificio, el equipo, etc.

York Refrigeration en su estudio de Plan de Dirección de Riesgos ha realizado una estadística de las acciones implementadas solo en las plantas

industriales que han experimentado una fuga de amoníaco. La siguiente gráfica muestra las acciones implementadas.

Figura 16. Acciones implementadas después de la fuga



La figura anterior muestra, que las acciones implementadas en las plantas que reportaron fugas implementaron acciones de revisión de equipo, entrenamiento al personal, mantenimiento, procedimientos de operación estándar y tener un grupo responsable de emergencia como por ejemplo una brigada de emergencia.

Un plan integro de seguridad será el que cubre todos los aspectos que minimicen el riesgo por errores humanos y por fallas de equipos.

El plan de seguridad por falla de equipos debe considerar lo siguiente:

- Revisión de válvulas de seguridad.
- Instalación de mechas de azufre, para detección de fugas de amoníaco.
- Proveer de instalación de extractores o ventiladores a los edificios donde existan instalaciones de amoníaco.
- Realizar inspecciones periódicas de ensayos no destructivos que puedan suministrar información del estado de las instalaciones. Por ejemplo, radiografía a las soldaduras, nivel de vibraciones a equipos dinámicos tales como compresor, ventiladores del sistema de condensación y evaporación para que la vibración no pueda ser transmitida a las instalaciones mecánicas. Ultrasonido para medir espesores de tanques acumuladores de refrigerante en sus distintos estados (líquido y gas), así como también ultrasonido en todas las juntas como bridas de instalaciones y sellos mecánicos de bombas.
- Mantenimiento preventivo, para reducir el riesgo de falla por equipo.
- Mantenimiento predictivo, por ejemplo termografía en instalaciones eléctricas, para reducir el riesgo de explosiones ocasionado por una chispa al momento de una fuga de alta concentración de amoníaco.
- Mantenimiento correctivo, para corregir una falla que pueda ocasionar una fuga de amoníaco.
- Procedimientos de operación estándar para manejo y buen funcionamiento del equipo, no sobre pasar los límites de presión, verificar el funcionamiento de válvulas y verificación de niveles de refrigerante en tanques de almacenamiento, revisar límite predeterminado de funcionamiento de válvulas de seguridad y que los escapes estén libres a áreas que no pongan en riesgo la integridad física del personal.

El plan de seguridad para evitar errores humanos debe considerar lo siguiente:

- Formación de una brigada de emergencia, que pueda tener miembros comprometidos con la seguridad de todos los departamentos, áreas y espacios de la planta.
- Los miembros de la brigada de emergencia deben tener el concepto de servicio y responsabilidad social hacia sus compañeros de trabajo.
- La brigada de emergencia, debe ser entrenada por personeros expertos en temas de primeros auxilios, riesgos en plantas con sistemas de refrigeración por amoníaco, riesgos contra incendios, medicamentos de atención primaria y recomendaciones en caso de accidentes.
- La brigada de emergencia, debe estar apoyada por la alta dirección de la empresa en aceptar propuestas, sugerencias y recomendaciones para mejorar la seguridad industrial.
- La brigada de emergencia tendrá la responsabilidad de revisar el buen funcionamiento de los equipos de protección personal al alcance de todos, extintores, medicamento y equipo de primeros auxilios.
- Realizar simulacros de siniestros, para evaluar el nivel de respuesta ha implementar, practicarlo y alcanzarlo.

5.4.1 Accidentes por fugas de amoníaco.

Los pasos a seguir por el personal ante una inminente fuga de amoníaco son lo siguientes:

- Mantener la calma.
- Proteger primero la vida, despejando todas los recintos para evacuar al personal y exista una ruta libre.
- Avisar a la compañía de suministro del servicio de energía eléctrica, si la fuga es demasiado grande.
- Realizar cortes parciales de energía en los tableros principales, iniciando con las áreas más cercanas a la fuga, esta actividad la puede realizar personal de mantenimiento.
- Miembros de la brigada de emergencia deberán utilizar mascararas con aire comprimido, la planta deberá proveer en puntos estratégicos del edificio para disponibilidad en caso de fuga y tendrán la obligación de evacuar al personal, deberán salir al momento de estar seguro que no hay ninguna persona dentro.
- Cuando la energía eléctrica está cortada y ya no exista riesgo de explosión. El representante de mantenimiento y miembro de la brigada de emergencia, deberá acceder al lugar más cercano a cerrar la válvula que pueda detener la fuga con equipo de protección personal (guantes, traje, mascarilla que cubra ojos, nariz y boca así como también equipo de autocontenido), amarrado con una cuerda.
- Es importante que el EPP esté en un lugar visible, de fácil acceso y en exteriores alejado de puntos de alta probabilidad de fuga de amoníaco.

Los pasos a seguir en caso de quemaduras por amoníaco son:

- Evacuar a la persona afectada del recinto contaminada y exponerla al aire libre, si la persona tiene la ropa mojada o impregnada con amoníaco, deberá ser despojada ésta rápidamente, lavar su cuerpo sin ropa con abundante agua fría o tibia, de ser posible hacerlo con una mezcla de agua y vinagre (1 parte de vinagre y 5 de agua), después aplicar vaselina amarilla en la parte afectada y mantener accidentado abrigado hasta que llegue un médico.
- Si el accidentado está consciente y no presenta quemaduras en la boca, se le puede suministrar té o café dulce, tibio o caliente.
- Si el accidentado esta inconsciente y presenta problemas de respiración, aplicarle respiración cardio pulmonar (RCP) o nebulización de oxígeno previamente autorizado por un médico.
- Colocar un paño húmedo de vinagre diluido con agua sobre la nariz y la boca, a fin de que la persona inhale los vapores generados por el vinagre.
- En caso de haber estornudos fuertes, es recomendable suministrar píldoras de codeína al 3% al accidentado.
- La persona accidentada no deberá caminar, debe ser transportado en camilla o silla de ruedas por personal de la brigada de emergencia.

Los pasos a seguir en caso de salpicaduras de líquido de amoníaco en los ojos son:

- Lavar los ojos con abundante agua en forma inmediata con una solución de 2.5 % de ácido bórico y 2.5% de bórax en agua destilada, abriendo los ojos del afectado.
- En caso de no tener las sustancias antes mencionadas usar agua tibia. A la temperatura del cuerpo durante media hora.
- No frotar por ningún motivo.
- Llamar a un médico especialista en oftalmología.

Los pasos a seguir en caso de ingerir agua contaminada con amoníaco son:

- En caso que el afectado este consciente, se le deberá hacer tomar inmediatamente vinagre diluido, jugo de limón o limonada en grandes cantidades, hasta hacerlo vomitar. Además se le puede hacer tomar agua caliente para acelerar el proceso.
- Después de que la víctima haya vomitado, deberá tomar leche o la clara de tres huevos y hielo. Es imprescindible que el afectado sea tratado por un médico.

Los pasos a seguir en caso de localizar una fuga de amoníaco sensible al sentido del olfato son:

- Dejar de respirar, inmediatamente. Según estudios médicos una persona puede estar sin respirar durante 25 a 30 segundos sin tener la necesidad, tal.
- Entrecierre los ojos, para disminuir la exposición de la humedad al efecto del amoníaco.
- Mantener la boca cerrada, no hablar, ni gritar mientras esté en un recinto con amoníaco.
- Inclinar la cabeza, ayuda ya que el amoníaco se mantiene en la parte superior del recinto ya que es más ligero que el aire.
- No correr, y ubique la señalización de ruta de evacuación cercana.
- Ubicar un punto de agua, para lavarse cualquier parte que se sienta que ha sido afectada por el efecto del amoníaco (ojos, nariz y boca).
- Informar de inmediato al personal de mantenimiento.

5.5 Índices de Gestión de Seguridad Industrial

Los índices de gestión de seguridad industrial, darán reflejo de lo bien que se está trabajando a favor de evitar daños al sistema de refrigeración por amoníaco y al personal expuesto en áreas refrigeradas.

Es importante dar seguimiento a estos indicadores, ello facilitará la información requerida para toma de decisiones en la seguridad industrial.

Días sin Fugas de Amoníaco – mes

Este indicador será de mucha utilidad, para registrar la cantidad de días sin fugas de amoníaco y servirá para analizar la frecuencia con la cual se produce. El objetivo de este indicador debe ser mantener la mayor cantidad de días sin fugas.

Cantidad de Simulacros – Año

Este indicador esta relacionado con la preparación que debe de tener el personal ante una inminente fuga de amoníaco, y es importante seguir este indicador, partiendo de una planificación de cuatro simulacros anuales, con frecuencia trimestral. Cuando el cumplimiento de este indicador coincida con la planificación mejor preparado estará el personal y los riesgos se minimizarán.

Personal afectado por amoníaco – mes

El registro de personal afectado por amoníaco es necesario conocerlo, al tener este indicador se podrán tomar decisiones sobre un plan de acción ante la ocurrencia frecuente, así como tambien será de utilidad conocer que existe poca cantidad de personal afectado por estas fugas.

Todos los anteriores indicadores están relacionados con la seguridad industrial y es obligación del comité la verificación, el registro y la presentación de los indicadores mensualmente. Con estos indicadores se podrán justificar las propuestas y también ayudará al proceso de toma de decisiones.

CONCLUSIONES

Conclusión general

Se realizó una evaluación del mantenimiento óptimo de un compresor tipo tornillo del sistema de refrigeración por amoníaco de la industria alimenticia, el cual se integra en un mantenimiento planificado y no planificado el cual refleja un aumento en la producción, reducción de paros por fallos, mejor programación de compra de repuestos y aumentará la disponibilidad del equipo de producción.

1. Se describió los elementos que afectan al compresor de refrigeración son el sello, cojinetes radiales y axiales, bushings, válvula deslizante, válvula hidráulica, válvulas de seguridad, display electrónico, bobinas hidráulicas, coupling y manómetros.
2. Se apoyó en el cumplimiento del mantenimiento óptimo debe ser a través del cumplimiento de presupuesto de repuestos, cantidad de horas hombre y otros recursos determinados en el plan y programa de mantenimiento
3. Se describió el compresor de refrigeración productivo, ya que tiene un rendimiento y eficiencia energética mayor a la de un compresor recíprocante, el enfriamiento con cadena en forma de espiral mantiene el costo de operación y el consumo de energía eléctrica es bajo.

4. Se estimó que el mantenimiento óptimo es más rentable al obtener un mayor valor neto con una diferencia de Q2, 948,167.51 con relación al mantenimiento actual.
5. Se seleccionó el tipo de mantenimiento que se llevará a cabo a través de actividades programadas de cada parte del elemento del compresor, desarrollo, tipo de rutina, frecuencia de tiempo, momento o turno y tiempo permisible de duración de la actividad.
6. Se determinó un plan de monitoreo a través de variables tales como presión, temperatura de succión, presión de descarga, temperatura de descarga, presión de aceite, amperaje, revoluciones y ruido a manera de controlar del tipo de mantenimiento óptimo para elevar su eficiencia.
7. Se justificó una propuesta de un programa de mantenimiento del compresor que cumpla con los elementos que lo integran, así también con una serie de actividades y rutinas para que cumpla eficientemente y puedan ser puestos en práctica a corto plazo y cuiden la confiabilidad de los procesos productivos.
8. Se creó un catálogo de operaciones que deben implementar el departamento de mantenimiento, a través de un equipo de detección de amoníaco, un equipo de protección de personal como lo es la máscara York con filtro K2, overol con protección, guantes resistentes a temperaturas de -80 °C, botas de seguridad, equipo de recondensación, entre otros, para así crear un mantenimiento seguro y óptimo.

RECOMENDACIONES

Recomendación general

Al realizar una evaluación del mantenimiento óptimo de un compresor tipo tornillo del sistema de refrigeración por amoníaco de la industria alimenticia, debe de ser a través de un mantenimiento planificado y no no planificado, el cual refleja un aumento en la producción, una reducción de paros por fallos y mejora la programación de compra de repuestos.

1. Los elementos que afecten al compresor de refrigeración son los sellos, los cojinetes radiales y axiales, bushings, válvula deslizante, válvula hidráulica, válvulas de seguridad, display electrónico, bobinas hidráulicas, coupling y manómetros.
2. Para el cumplimiento del mantenimiento óptimo se debe de apoyar a través del cumplimiento de presupuesto de repuestos, la cantidad de horas hombre y otros recursos determinados en el plan y programa de mantenimiento.
3. Al describir el compresor de refrigeración productivo debe de ser a través de su rendimiento y eficiencia energética mayor a la de un compresor reciprocante, el consumo de energía eléctrica es bajo.
4. Al estimar el mantenimiento óptimo de un compresor tipo tornillo del sistema de refrigeración por amoníaco de la industria alimenticia, éste debe ser más rentable al obtener un mayor valor neto con una diferencia con mantenimiento actual.

5. El tipo de mantenimiento seleccionado se debe de llevar a cabo a través de actividades programadas de cada parte del elemento del compresor, desarrollo, tipo de rutina, frecuencia de tiempo, momento o turno y tiempo permisible de duración de la actividad.
6. Al determinar un plan de monitoreo éste debe ser a través de variables tales como presión, temperatura de succión, presión de descarga, temperatura de descarga, presión de aceite, amperaje, revoluciones y ruido a manera de controlar el tipo de mantenimiento óptimo para elevar su eficiencia.
7. La propuesta de un programa de mantenimiento óptimo del compresor debe de cumplir con los elementos que lo integran, así también con una serie de actividades y rutinas para que cumpla eficientemente y puedan ser puestos en práctica a corto plazo y cuiden la confiabilidad de los procesos productivos.
8. Se debe de crear un catálogo de operaciones que implemente el departamento de mantenimiento a través de un equipo de detección de amoníaco, un equipo de protección de personal como lo es la máscara York con filtro K2, un overol con protección, guantes resistentes a temperaturas de -80 °C, botas de seguridad, equipo de recondensación, entre otros, para así crear un mantenimiento seguro y óptimo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALARCÓN Creuss, José. Tratado práctico de refrigeración. México: Ed. Alfaomega, 2000. 461 p.
2. ARI, Air Conditiong and Refrigeration. México: Ed. Prentice Hall, 1,981. 873 p.
3. CHRISTENSEN, Curso de Planificación del Mantenimiento. Guatemala 2005.
4. DE LEÓN Sagastume, Carlos Rolando. Propuesta de Mantenimiento Productivo Total a la línea 44 de frijol Ducal de Alimentos Kern's como herramienta para mejorar la administración.
5. DUFFUA, Salih O. Raouf y Campbell A. Sistemas de Mantenimiento. México. Ed. Limusa, 2002, 419 p.
6. GREENE, Richard W. Compresores: selección, uso y mantenimiento. México: Ed McGraw Hill, 1992. 292 p.
7. JUÁREZ Quevedo, Eddie José. Plan de Mantenimiento Preventivo del equipo del cuarto frío, bodega de COBIGUA. Trabajo de graduación de Ingeniería Mecánica Industrial. Guatemala. USAC. Facultad de Ingeniería. 2,002.

8. MORROW, L.C. Manual de Mantenimiento Industrial. México: Ed. CECSA, 1,973, 527 p.

9. TURCIOS Estrada, Erick Roberto. Índices de Mantenimiento Industrial Clase Mundial, aplicado a empresas. Trabajo de graduación de Ingeniería Mecánica Industrial. Guatemala. USAC. Facultad de Ingeniería 2,002