

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



BRIDGESTONE FIRESTONE DE COSTA RICA, S.A.

***BRIDGESTONE* Firestone**

PROYECTOS:

**ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
CÁLCULO DE LA CARGA DE REFRIGERACION Y SELECCIÓN DE EQUIPO
PARA UNA CÁMARA DE ENFRIAMIENTO**

**Informe de práctica de especialidad para optar por el grado académico
de Bachiller en Ingeniería en Mantenimiento Industrial**

Marco Antonio Gómez Paniagua

Cartago, Julio del 2003

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



INFORME
PRÁCTICA DE ESPECIALIDAD

PROYECTOS:

Elaboración de un programa de mantenimiento preventivo
Cálculo de la carga de refrigeración y selección de equipo para una cámara de enfriamiento

Practicante: Marco Antonio Gómez Paniagua
Profesor Guía: Ing. Greivin Barahona Guzmán
Asesor Industrial: Ing. Roy Bermúdez Ramírez
Cartago, Julio del 2003

Dedicatoria

A mis padres, Freddy y Éthel, en forma especial por su incondicional apoyo en todo momento; a mi hermano Mauro y a mis hermanas, Yorleny, Adalicia, Lency y Marieth.

A Dios porque a Él se debe todo lo que soy y cuanto he alcanzado.

Agradecimiento

Agradezco a Dios la oportunidad que me ha brindado de realizar la práctica profesional en una empresa como Bridgestone Firestone, en donde he aprendido mucho no sólo en el campo profesional, sino también en todos los ámbitos, y esto, que me ha permitido acuñar conocimiento para recorrer el camino de la vida.

Todo esto no hubiera sido posible sin la colaboración del personal de la empresa, principalmente del departamento de ingeniería y mantenimiento en donde encontré personas que me brindaron su mano siempre que las necesité.

Externo un profundo agradecimiento a los señores Ing. Alfredo Vargas e Ing. Roy Bermúdez Ramírez por la confianza, los consejos, la amistad brindada y, sobre todo por su orientación en el desarrollo de esta práctica. También, agradezco en forma especial por su ayuda y amistad a los señores John Vargas y Javier Carballo.

No puedo olvidar la colaboración y orientación brindadas por el Ing. Greivin Barahona Guzmán como profesor guía, quien siempre estuvo anuente a atenderme cuando requerí su ayuda.

Quiero aprovechar este espacio, para expresar mi cariño y agradecimiento a dos personas que siempre me han apoyado, principalmente, durante mis años de estudio en Cartago, por todo, gracias, Adalicia y Freddy.

Índice

I. Resumen.....	10
II. Summary.....	11
III. Introducción.....	12
IV. Capítulo I. Descripción de la empresa.....	15
A. Visión de la empresa.....	16
B. Misión de la empresa.....	16
C. Política de seguridad.....	16
D. Política de calidad.....	16
E. Reseña histórica de Bridgestone Firestone.....	16
Firestone de Costa Rica.....	17
Condiciones actuales.....	18
F. Estructura de la empresa.....	19
Organización de la empresa.....	19
Descripción del proceso.....	21
V. Capítulo II. Descripción del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento.....	23
A. Organización del departamento de ingeniería.....	24
B. Clasificación de problemas por grado.....	26
C. Documentos utilizados por el departamento.....	27
VI. Capítulo III. Programa de Mantenimiento Preventivo.....	32
A. Introducción.....	33
B. Objetivos del programa.....	33
C. Selección de máquinas.....	34
D. Estudio técnico de la máquina TAM 85 E.....	35

E. Estudio técnico de la máquina NAF 39	38
F. Estudio técnico de las máquinas NAF 45 y NAF 46	41
G. Estudio técnico de la máquina programable de aros (Bead Program Machine)	43
H. Codificación de la máquina	45
I. División de partes	49
J. Manual de mantenimiento preventivo	50
Inspecciones mecánicas	51
inspecciones eléctricas.....	97
inspecciones de lubricación.....	126
distribución de tiempos por mes con máquina parada según especialidad de inspección	144
K. Disponibilidad para mantenimiento preventivo	160
1. Disponibilidad para la TAM 85E	161
2. Disponibilidad para la vulcanizadora NAF 39.....	161
3. Disponibilidad para la vulcanizadora NAF 45.....	162
4. Disponibilidad para la vulcanizadora NAF 46.....	162
5. Disponibilidad para la máquina programable de aros BPM	163
VII. Capítulo IV. Cálculo de la carga de refrigeración y selección de equipo	164
A. Introducción.....	165
B. Objetivos	166
C. Descripción del proceso en la entubadora	167
D. Marco teórico	169
1. Factores por considerar en el diseño de la instalación frigorífica.....	171
1.1 Temperatura de evaporación.....	171

1.2	Temperatura de condensación	172
1.3	Refrigerantes	173
1.4	Compresores	177
E.	Problema que se presenta actualmente en el cuarto	184
F.	Estudio de factores por tomar en cuenta en el cálculo	185
G.	Datos necesarios para el cálculo de la carga térmica	186
1.	Aspectos generales del cuarto	186
2.	Infiltración de aire al cuarto	188
3.	Tipo de producto por enfriar	188
4.	Cantidad de producto por enfriar	190
5.	Cargas misceláneas	190
H.	Selección del refrigerante	192
I.	Selección de equipo	193
1.	Selección del compresor	193
2.	Selección de la unidad evaporativa	194
3.	Cotización del equipo	195
J.	Discusión de resultados	196
K.	Recomendaciones	199
L.	Conclusiones	199
VIII.	Nomenclatura empleada	200
IX.	Bibliografía	201
X.	ANEXOS	202
A.	Cálculo de la carga térmica del cuarto de enfriamiento	203
B.	Tabla 14.1 Ganancias por transmisión de calor	207

C. Tabla 14.5 Infiltración de aire en cuartos fríos	208
D. Tabla 14.6 Calor removido al enfriar el aire exterior hasta la temperatura del cuarto.	209
E. Tabla 14.9 Calor corporal de los ocupantes.....	210
F. Tabla 14.10 Equivalente térmico de motores	211
G. Comportamiento del refrigerante R-22 en el ciclo.....	211
G. Comportamiento del refrigerante R-22 en el ciclo.....	212
H. Propiedades del R-22	214
I. Diagrama de presión- entalpía para el R-22.....	215
J. Comportamiento del refrigerante R-134-a en el ciclo	216
K. Propiedades del R-134-a	218
L. Diagrama de presión- entalpía para el R-134a.....	219
M. Cotización del equipo	220
N. Análisis sobre la necesidad de mantener los ventiladores dentro del cuarto. ...	222

Índice de figuras y tablas

Fig. 1.1 Organigrama general de la empresa	20
Fig. 1.2 Flujograma del proceso	22
Fig. 2.1 Organigrama del departamento de ingeniería y mantenimiento	25
Tabla 3.1 Codificación de la máquina TAM 85 E	46
Tabla 3.2 Codificación de la máquina NAF 39.....	46
Tabla 3.3 Codificación de la máquina NAF 45.....	47
Tabla 3.4 Codificación de la máquina NAF 46.....	47
Tabla 3.5 Codificación de la máquina programable de aros BPM	48
Tabla 3.12 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina NAF 45.....	151
Tabla 3.13 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina NAF 45.....	152
Tabla 3.15 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina NAF 46.....	154
Tabla 3.16 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina NAF 46.....	155
Tabla 3.18 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina BPM	157
Tabla 3.19 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina BPM	158
Tabla 3.20 Distribución de tiempo de inspecciones de lubricación para la máquina BPM.....	159
Fig. 4.1 Fotografía de la cámara de enfriamiento de Bridgestone Firestone.	186

I. Resumen

La práctica profesional se llevó a cabo en la empresa Bridgestone Firestone de Costa Rica. En ésta se desarrollaron dos proyectos, uno en el campo de la gestión de mantenimiento y otro de diseño en el área mecánica, ambos definidos y ajustados de acuerdo con las necesidades de la empresa.

Este informe se divide en cuatro capítulos resumidos a continuación. El primero de ellos se refiere a la información general de la empresa como es la reseña histórica, la misión, visión, estructura jerárquica y el proceso que se lleva a cabo para lograr el producto final, la llanta.

El segundo capítulo es sobre el departamento en el cual se desarrollaron específicamente los proyectos: el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento Industrial. Aquí se describe algunos de sus aspectos más relevantes: organización, documentación utilizada, entre otros.

El tercer capítulo trata del proyecto administrativo, el cual consistió en la elaboración de los manuales de mantenimiento preventivo de cinco máquinas, lo que permitirá el desarrollo del programa de mantenimiento preventivo a unas 11 máquinas en total. Para llevar a cabo este proyecto, fue necesario realizar el estudio técnico de cada máquina, ajustar el programa al sistema desarrollado ya en la empresa y elaborar los planos de ubicación de los elementos de la máquina. La programación de las inspecciones se realizó con base en el cálculo de disponibilidad para cada máquina.

El último capítulo es el desarrollo del proyecto relacionado con la refrigeración industrial en cual consistió en el cálculo de la carga térmica para una cámara de refrigeración que se utiliza para enfriar hule y la selección del equipo principal: compresor, evaporador y condensador.

Palabras claves: Mantenimiento Preventivo; Refrigeración; Bridgestone Firestone.

II. Summary

This internship took place in the Bridgestone Firestone of Costa Rica enterprise. Here two projects were developed according with the necessities of the enterprise, one of them in the industrial maintenance management and the other in the industrial refrigeration area.

This document is divided in four chapters, which are summarized in the following paragraphs.

The first chapter is about the general information of the enterprise as its history, vision, mission, hierarchical structure and the process to manufacture the final product: the tires.

The second is about the specific department where the two projects were developed: Engineering and Industrial Maintenance Department. In this chapter is described the organization and the documents used by the department.

The third chapter presents the preventive maintenance program. With the elaboration of the preventive maintenance handbooks is possible to extent the program to eleven new machines. For carrying out this project was necessary to do the technical analysis for each machine, making the drawings and writing the inspections according with the system used by the company. The planning of the inspections was made based on the availability calculation.

The forth and last chapter presents the project related with the industrial refrigeration. It consisted of calculate the refrigeration capacity of a room to cool rubber and the selection of the principal equipment: compressor or condensing unit and the evaporator unit.

Key words: Preventive Maintenance; Refrigeration; Bridgestone Firestone.

III. Introducción

Esta práctica profesional se desarrolla en la empresa Firestone de Costa Rica, S.A., de la corporación Bridgestone, ubicada en la Rivera de Belén, Heredia, y dedicada, como es conocido, a la fabricación de llantas.

Ésta consiste en la realización de un programa de mantenimiento preventivo, como proyecto involucrado con la gestión del mantenimiento y como proyecto que contempla el diseño en ingeniería, se elabora un recálculo de la carga de refrigeración de un cuarto de enfriamiento, situado en la máquina Tubuladora 3, la cual fabrica bead filler, pared radial y goma de abrasión para la capa sellante. Este último proyecto por su propia naturaleza corresponde al área mecánica de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial de la Escuela de Ingeniería Electromecánica.

La práctica profesional forma parte de los requisitos para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería en Mantenimiento Industrial otorgado por la Escuela de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En la empresa, los programas de mantenimiento preventivo se han desarrollado desde hace siete años, sin embargo no se han podido completar por varios factores, entre ellos las expansiones que ha sufrido la empresa: 1998 y la actual, con la que pretende llegarse a duplicar la producción de llantas.

Esto hace que se estén instalando máquinas trasladadas desde otras empresas de la corporación que han cerrado en los Estados Unidos, por lo que es necesario desarrollar y ejecutar los programas de mantenimiento preventivo en ellas, con el objetivo de que éstas queden protegidas por este programa y los beneficios que éste ofrece.

Otro factor importante por tener en cuenta es la serie de cambios y modificaciones que debe sufrir dicho programa para garantizar su funcionalidad como un proceso natural de evolución resultante de las modificaciones en las máquinas y del proceso de interacción entre los personeros que realizan las inspecciones, el operador y el mismo programa.

La elaboración de los programas de mantenimiento preventivo a las máquinas seleccionadas tiene por objetivo el mantener o reducir los tiempos de paro no programado.

Además, con la reducción de fallas se pretende un funcionamiento más eficiente y seguro de estas.

Otro de los objetivos buscados con la implantación de estos programas es el prolongar la vida útil de los equipos.

Para la elaboración de estos programas se requiere de un estudio al pie de la máquina, una revisión de catálogos, analizar los índices de funcionamiento de las máquinas, consulta a operadores y personal encargado del mantenimiento: mecánicos, electricistas, lubricadores, supervisores e ingenieros. Una vez cumplido con lo anterior se divide las máquinas por partes y se codifican para, posteriormente, realizar los manuales de mantenimiento preventivo, la programación de las inspecciones se hace con base en el cálculo de disponibilidad de cada máquina y a la distribución de tiempo mensual. La elaboración de los manuales se hace apegada a los procedimientos que se utilizan en la empresa.

El proyecto en la cámara de refrigeración se explicará brevemente, la importancia de este radica en que en el proceso de la fabricación de llantas algunos productos tales como: filler, goma de abrasión para sellante y pared radial deben ser enfriados para permitir la manipulación, traslado y almacenamiento temporal de los mismos. De allí la importancia de que esta labor se realice de forma eficiente.

Actualmente, en la empresa hay instaladas tres entubadoras que realizan las mismas labores, sin embargo sólo en la N° 3 el hule es enfriado en un cuarto de enfriamiento, en las otras este proceso se realiza mediante la transferencia de calor por convección natural del hule hacia el aire a temperatura ambiente la cual es alta, 26-33 °C en la época más caliente. Esto hace que sean necesarios largos recorridos del hule para lograr el efecto deseado, provocando que las máquinas adquieran un tamaño considerable comparado con la N°3. En esas mismas máquinas también es necesario utilizar agua para lograr enfriar el hule.

En la entubadora N° 3 el cuarto actualmente es enfriado por seis unidades de aire acondicionado Carrier de 32 000 BTU (9,38 kW) cada una con control independiente entre ellas.

Esto genera problemas de mantenimiento, pues algunas se recargan la tarea y se dañan, tampoco dan abasto cuando es necesario fabricar pared radial negra M-3788 para llanta 205 70 14 F 570 que es la banda más crítica por su tamaño, esto provoca que el material no sea completamente enfriado porque el equipo no es capaz de remover el calor del cuarto.

De ahí la necesidad de instalar un equipo de refrigeración industrial para solventar esos problemas. Por ello, el proyecto consiste en realizar el cálculo de la carga de refrigeración y, con ello, seleccionar el equipo adecuado para tal labor.

IV. Capítulo I. Descripción de la empresa

A. Visión de la empresa

En Bridgestone Firestone de Costa Rica se proponen que esta empresa sea una cuyos procesos productivos, administrativos, de mercadeo, de recursos humanos y de ventas, sean comparables con las mejores empresas a nivel mundial.

Lo anterior conducirá a consolidarse como la mejor planta de la Corporación Bridgestone Firestone en América Latina.

B. Misión de la empresa

Ser una empresa líder en la fabricación y comercialización de llantas y productos relacionados, con los más altos estándares de calidad y de servicio al cliente. De igual forma, desean contribuir con el mejoramiento de la calidad de vida de nuestros empleados y obtener la más alta rentabilidad, de una manera ambientalmente responsable, basados en la filosofía de Calidad Total.

C. Política de seguridad

En esta empresa están comprometidos con la seguridad y salud ocupacional. Por eso creemos que todas nuestras actividades se deben realizar en forma responsable y libre de riesgos para nuestro personal.

D. Política de calidad

Realizar todas sus labores con excelente calidad, con seguridad y en armonía con el ambiente.

E. Reseña histórica de Bridgestone Firestone

La primera compañía Firestone puesta en operación fue en 1900 cuando el señor Harvey S. Firestone fundó The Firestone Tire and Rubber Company.

Durante los dos primeros años de operación, la compañía Firestone fue una organización estrictamente de ventas, comercializando llantas de caucho, fabricadas por otras compañías, estableciendo, en 1902, su propia planta de producción.

La compañía Bridgestone inicia operaciones en 1931 por medio del señor Shojiro Ishibashi, quien comienza a producir en ese año neumáticos para la nueva industria automovilística japonesa.

En 1983, Bridgestone compra la primera planta Firestone en Tennessee, la cual se dedicaba a la fabricación de llantas de camión.

En 1988, la Bridgestone Corporation de Japón adquiere la totalidad de las acciones de Firestone Tire and Rubber Company y unifica la organización bajo el nombre de Bridgestone/Firestone, Inc.

Firestone de Costa Rica

Fue fundada en 1967 y se constituye para atender los mercados de Centro América y el Caribe, produciendo y comercializando llantas y materiales de reencauche bajo licencia de Firestone.

En diciembre de 1985, la Firestone vende sus acciones en Costa Rica a un grupo de accionistas locales, cambiando así su razón social a industria Akron de Costa Rica, S.A., pero siempre fabricando productos bajo licencia Firestone.

Dada su ubicación estratégica y constante crecimiento, una serie de negociaciones hacen que en 1995, a raíz de una alianza estratégica, la empresa se convierta en subsidiaria de la Corporación Bridgestone Firestone, cambiando nuevamente de nombre a Firestone de Costa Rica, S.A., lo cual ha permitido el acceso a tecnología de punta, la ampliación de su capacidad productiva y la búsqueda constante del mejoramiento en todos sus productos.

Actualmente, la empresa cuenta con la norma internacional de calidad ISO 9002, obtenida en 1997, y con la norma internacional de regulación ambiental ISO 14001, obtenida en 1999.

Condiciones actuales

La empresa cuenta con alrededor de 650 empleados y tiene una producción de 6 300 llantas diarias.

La buena calidad de las llantas fabricadas por Bridgestone Firestone de Costa Rica (BFCR), cimentó la decisión del Centro Técnico Akron en Ohio, EE.UU., para iniciar una serie de experimentos, que permitirán la fabricación en Costa Rica de llantas TSR, Radial Temporary Spare por sus siglas en inglés, o “galleta”, como popularmente se le conoce a este tipo de llanta para repuesto de automóviles.

En un inicio, las TSR se fabricarían en aro 14, ampliándose la gama posteriormente a aro 15, 16 y 17.

Se espera que para el 2004 la producción de este tipo de llantas ascienda a 5000 diarias, las cuales se exportarían a los Estados Unidos donde se utilizarían para equipar vehículos de las principales marcas que se fabrican en ese país.

Se ha terminado la serie de experimentos mencionada anteriormente, y esto ha permitido la obtención de la norma QS 9000 de Bridgestone, la cual permitirá brindar llantas a equipo original, y no sólo hacer llantas de reemplazo y material de reencauche como hasta ahora.

Actualmente se desarrolla el proyecto de ampliación que para finales del año 2004 se espera duplique el tamaño de la planta física actual, y la producción alcance la fabricación de 14 000 llantas diarias.

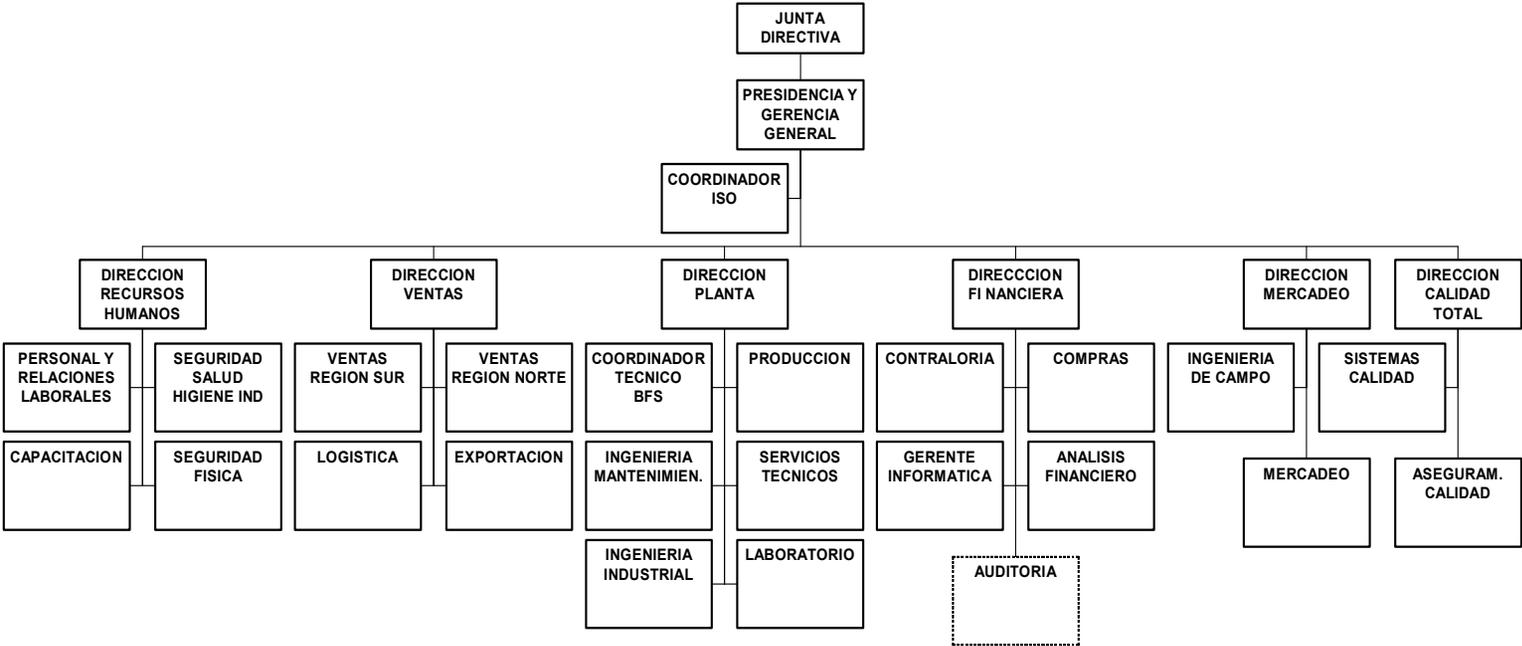
F. Estructura de la empresa

Organización de la empresa

El orden jerárquico de la empresa está compuesto primero por una Junta Directiva seguido de la Presidencia y la Gerencia General, continuando así con la Coordinación de Normas ISO, para luego dividirse en seis direcciones, las cuales son Dirección de Recursos Humanos, Dirección de Ventas, Dirección de Planta, Dirección Financiera, Dirección de Mercadeo y Dirección de Calidad Total. Cada dirección está compuesta por varios departamentos.

El departamento de ingeniería y mantenimiento se encuentra dentro de la dirección de planta, como se muestra en el organigrama de la página siguiente.

BRIDGESTONE / FIRESTONE DE COSTA RICA, S.A. ORGANIGRAMA MAYO 2000



Nota: El Departamento de Auditoria reporta a la Auditoria Corporativa de BRIDGESTONE FIRESTONE CORP.

Fig. 1.1 Organigrama general de la empresa

Descripción del proceso

El proceso arranca en el mezclador o Banbury de donde la materia prima (caucho natural y sintético, resinas, negro humo, químicos, acelerantes, retardadores, azufre, aceite de proceso) es transportada de la bodega de materias primas y llevada a esta máquina.

Aquí se da el proceso de mezclado de todos estos componentes en una cámara de mezclado, luego la masa de hule (batch) es laminada y este proceso se repite hasta obtener el hule final. El hule final es llevado a los distintos departamentos, los cuales son el departamento de Tubuladora, el departamento de Calandra, el departamento de Steelastic y el departamento de armado de Cejas, donde primero pasa por cada uno de los molinos que tienen éstos, en donde el hule es molido y laminado al grosor que requieren estas para luego ser procesados según el trabajo que se realice en cada uno de estos departamentos. Una vez que sale de estos, todos envían sus productos al departamento de armado de llantas, donde se forma lo que se conoce como llanta verde; de aquí pasa al departamento de vulcanización en donde se cocina (vulcaniza) la llanta a vapor.

Al salir la llanta pasa por el departamento de inspección final donde se revisa que no presente ningún defecto para, al fin, ser almacenadas en bodega.

Con el objetivo de que el lector comprenda mejor el proceso se muestra el flujograma de éste.

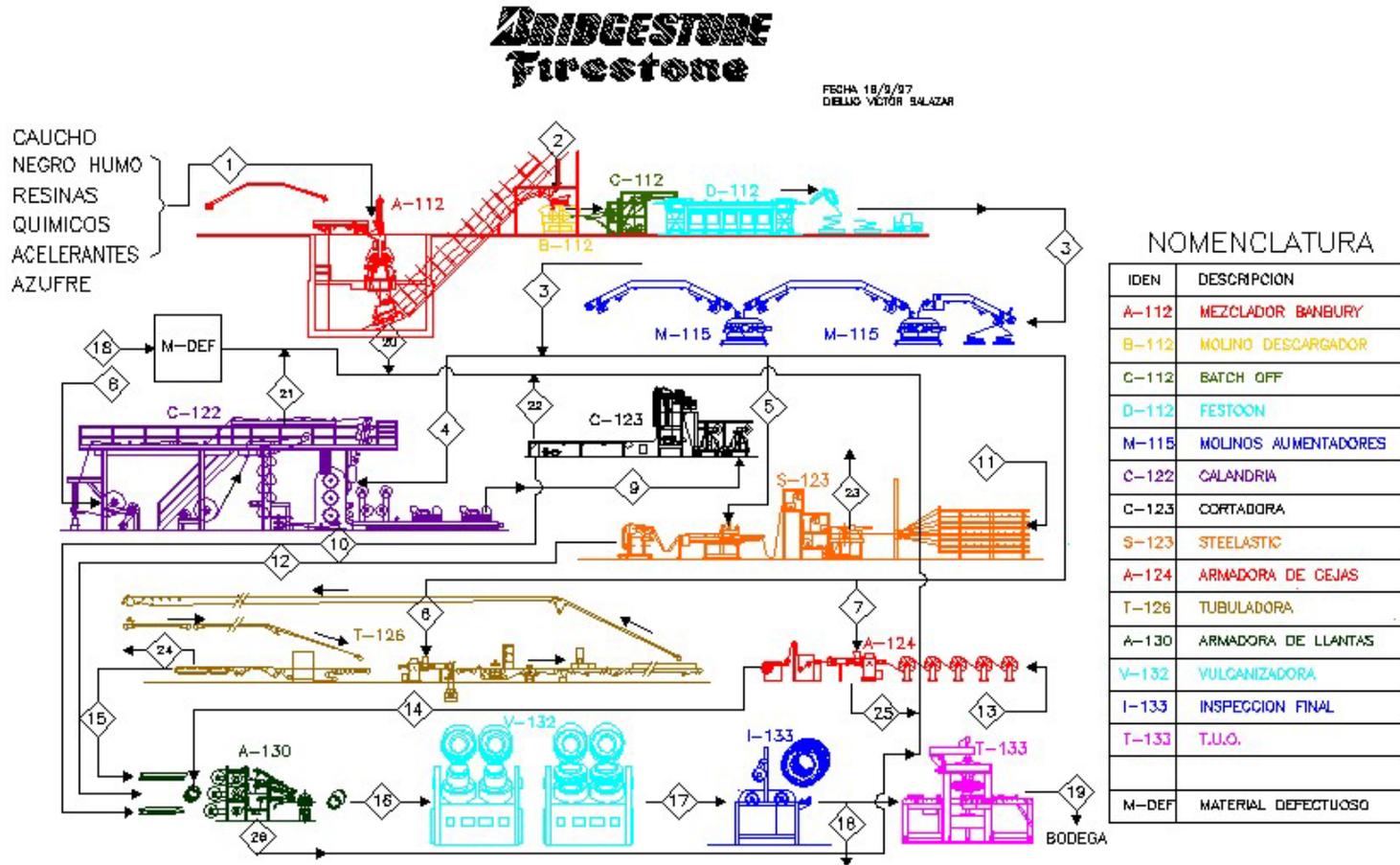


Fig. 1.2 Flujo del proceso

V. Capítulo II. Descripción del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento

A. Organización del departamento de ingeniería

El departamento de ingeniería está formado por 97 personas.

Su gerente es el ingeniero Alfredo Vargas egresado de la carrera de Mantenimiento Industrial el cual cuenta con un asistente o staff el señor Julio Jiménez.

El departamento se divide en tres secciones, la sección de mantenimiento, la cual está a cargo del ingeniero Roy Bermúdez, egresado de Mantenimiento Industrial, la sección de ingeniería a cargo del ingeniero Daniel Solís y la sección de Bodegas a cargo del señor Alexander Brenes.

La planta está dividida en tres áreas por ello la sección de mantenimiento industrial se divide de igual manera. Cada división cuenta con una cuadrilla de mantenimiento preventivo y otra de correctivo. El personal de mantenimiento preventivo tiene una sola jornada diurna de 8 horas, mientras que el personal de mantenimiento correctivo tiene su horario dividido en tres turnos.

El departamento de mantenimiento dispone de dos talleres para la realización de sus trabajos. Para las divisiones uno y dos se utiliza el taller más cercano a éstas y la división tres dispone de un taller, de esta forma aunque el personal de mantenimiento de las divisiones uno y dos compartan el mismo taller, puede hablarse de que se utiliza el mantenimiento por áreas, esto porque el personal cumple con las labores de mantenimiento únicamente de su área; sin embargo, cuando se programan máquinas especiales, todo el personal que se necesite, se envía hacia esa máquina sin importar la división en que se ubique ésta.

La sección de ingeniería cuenta, además, con un ingeniero para la casa de fuerza que tiene a cargo los técnicos de casa de fuerza, los instrumentistas que atienden los tres turnos y el personal encargado del mantenimiento general de la empresa.

El orden jerárquico puede observarse en el siguiente organigrama.

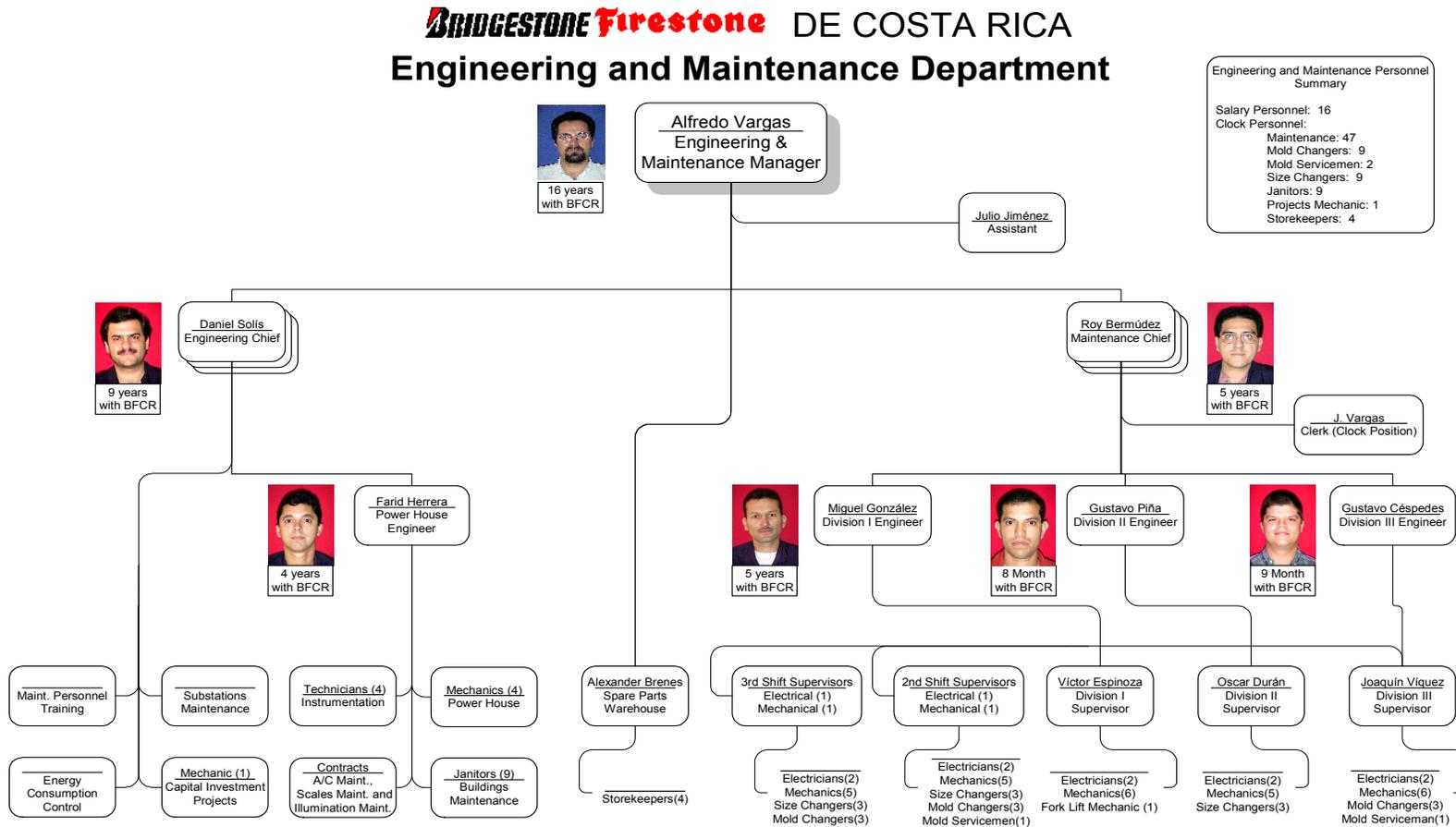


Fig. 2.1 Organigrama del departamento de ingeniería y mantenimiento

B. Clasificación de problemas por grado

Para el análisis de las fallas se clasifica cada una de éstas, dependiendo de la demora en la producción que ocasionaron. A continuación se describe la forma de clasificarlas.

Problema Grado D: Cuando este tipo de problema se presenta no hay paro de producción generalmente son algún tipo de ajustes, válvulas cerradas, lubricación o inclusive cambio de alguna válvula, pero que no amerita el paro de la producción.

Problema grado C: Para este tipo de problemas el paro en la producción es inferior a los 20 minutos de duración. Problemas de este tipo pueden ser alguna manguera floja o algún ajuste.

Problema Grado B: En este tipo de clasificación, el tiempo de paro para el cual se asigna este problema depende si la máquina es de línea o no. Se considera una máquina de línea aquella, cuyo paro de producción ocasiona la detención de dos o más máquinas que dependen de ésta.

En este tipo de falla el tiempo de paro debe ser inferior a 2 horas. Para una máquina cuyo paro no afecta la producción de otras, el tiempo de paro debe ser inferior a 4 horas.

Problema Grado A: Son los más críticos, ya que son los que más afectan la producción. Para una máquina de línea se considera como clase A una falla de más de 2 horas. Para una máquina que no es considerada de línea, los tiempos de paro son mayores a 4 horas.

Dentro del departamento de mantenimiento se tiene planteado como objetivo no superar el máximo de 10 llamadas clase A al mes, además de un máximo de 15 llamadas por día al personal de mantenimiento por alguna falla y un máximo de 15 horas por estas fallas.

C. Documentos utilizados por el departamento

En este punto se realiza una breve descripción de algunos de los documentos utilizados por el departamento, éstos son los utilizados por toda la Corporación Bridgestone Firestone, y se tiene como material confidencial, por lo tanto no pueden brindarse muestras de éstos.

Nombre del documento

Plan y resultados del equipo

Se utiliza para registrar la información de trabajos de mejoramiento continuo (KAIZEN) en el equipo. Algunos datos que se incluyen en este documento son el proceso en el cual se encuentra la máquina, el resultado del trabajo realizado, las condiciones de la máquina antes del KAIZEN, y efectos y resultados del KAIZEN.

Plan de reducción de Fallas en Equipo/Matriz de seguimiento

Este tipo de trabajos se utiliza para programar trabajos en máquinas de un mismo tipo. Cuando se registra una falla en una máquina, se realiza la reparación, y como la máquina pertenece a un grupo de máquinas iguales, antes que éstas presenten el mismo problema se les realiza el mismo trabajo, incluyendo cambios de partes. Entre los datos que recoge este documento está el proceso en el que se desempeña la máquina, el responsable del trabajo, la indicación de la falla, los resultados esperados, la fecha límite entre otros.

Contramedidas de emergencia en proceso

Este documento se utiliza para registrar la reparación temporal y, posteriormente, registrar la reparación permanente que se le realizó a una máquina. Esta reparación temporal puede deberse a falta de algún repuesto, falta de tiempo para realizar una reparación completa y es necesario que esta trabaje lo más pronto posible.

La fecha en que ocurrió la falla, el número de máquina, el tipo de reparación de emergencia y las razones del porqué se hizo ésta, el personal responsable, los repuestos utilizados, son algunos de los datos que lleva este documento.

Hoja de información de problemas

Esta hoja es utilizada para informar el tipo de problemas presentado y registrar toda la información recolectada sobre éste, además de indicar las acciones seguidas y clasificación del problema. Algunos datos que se registran en esta hoja son la fecha en que ocurrió el problema, debe clasificarse el problema por grado (A, B, C, D), si el problema es inicial o repetitivo, el departamento, la condición o “status” del problema, acciones ejecutadas, supuesta causa de la falla, tiempo de reparación entre otros.

Causa y Contramedidas de las fallas clase A

Al ser las fallas clase A las más críticas y de mayor costo, se utiliza este documento para recolectar toda la información posible sobre ésta, con el fin de tomar las medidas para que ésta no se repita. Entre los datos que se registran está la ocurrencia de la falla, fecha, el proceso, si la máquina es de línea, la condición, la causa (error de diseño, poco mantenimiento, error humano, sin partes de reemplazo), tiempo de producción perdido, categoría (mecánica, eléctrica), razón por la cual llegó a ser A.

Programación de Trabajos 2º y 3º Turno

En este documento se listan los trabajos programados que deben realizarse durante los turnos indicados, este tipo de documentos son entregados día a día, si durante estos turnos se presentan trabajos no programados, los trabajos indicados en este documento quedan como pendientes y se programan para el siguiente día u otras fechas según la urgencia.

La fecha, el tipo de trabajo (eléctrico, mecánico, lubricación), nombre del supervisor del 2 ó 3º turno, porcentaje de avance, la máquina, división, descripción del trabajo, el tiempo trabajado, son algunos de los aspectos que requiere el documento.

Boletas de Trabajo

Ésta es la orden de trabajo utilizada, y son de dos tipos, una es llenada por el departamento de mantenimiento y la otra por el de producción.

En la boleta utilizada por mantenimiento debe llenarse con información como el número de boleta de trabajo, el nombre del supervisor que solicito y el que lo recibe, la fecha de solicitud y de recibido, afecta la seguridad (sí, no), la descripción del trabajo por realizar. La boleta de solicitud de trabajo debe ser llenada por ambos lados y al dorso la información es de uso sólo para mantenimiento. Al dorso debe suministrarse información como el nombre del trabajador que empieza el trabajo y el nombre del que lo termina, la fecha de iniciado el trabajo y la de finalizado, tiempo total y la descripción del trabajo realizado.

La boleta que llena producción incluye aspectos como la descripción del problema, descripción del trabajo ejecutado, el nombre del supervisor y del trabajador, la fecha, hora de inicio y de finalizado el trabajo, si es mecánico o eléctrico y el tiempo total.

Proceso, informe diario de reparaciones, mecánico-eléctricas

Este documento es utilizado con dos propósitos, uno es recolectar toda la información sobre las fallas ocurridas durante el turno y el otro propósito es informar el trabajo de mantenimiento preventivo que se hizo durante ese tiempo.

Alguna de la información que se recolecta es la categoría de la falla, la división en que se produjo, el tipo (mecánico, eléctrica), la máquina, la descripción de la falla, la reparación realizada, las horas de iniciada y finalizada la reparación, entre otros.

Documentos técnicos

Los siguientes son documentos utilizados para registrar todos los datos necesarios de distintos equipos.

Ficha Técnica para bombas

Este documento se utiliza para registrar todas las características de cualquier tipo de bombas, de manera que cuando se necesite se tenga disponible toda la información sobre éstas.

Aquí se registra la máquina en que se encuentra la bomba, el código de la bomba, la ubicación, la marca, el tipo de bomba, los Hp del motor, los galones por minuto que entrega, los tipos de rodamientos, las medidas del sello mecánico y empaquetadura, el número de plano del eje y la propela, el tipo de acople y sus medidas, entre otros datos.

Ficha Técnica de los pistones

En este documento se indican todas las dimensiones y características del pistón. La información que aquí se anota corresponde a las dimensiones del cilindro y vástago, el código de bodega, la cantidad de limpiador, o-ring, sello del eje, sello del cilindro, auto-multiplicación, el nombre de la persona que recogió los datos, el número de pistón, la ubicación y fecha.

Control de motores de c.a.

En este documento se registran todos los datos de placa, la máquina en que se encuentra, la ubicación específica, el departamento, el número de motor, el código de máquina, las mediciones del megómetro, los códigos de bodega, observaciones, el nombre del que recogió la información y del supervisor.

Hojas de datos del reductor

Aquí se anota información como el número de máquina, el número de reductor, el número de plano, el código de reductor, la ubicación, el número y código de los rodamientos, los Hp del motor, las medidas de los retenedores, el modelo, el tipo, el diámetro de la corona, el tipo de piñones, el diámetro del tornillo sin fin, el sello mecánico, el tipo de acoplamiento y medidas, las rpm en la entrada y en la salida, comentarios y el nombre de quien lo realizó.

VI. Capítulo III. Programa de Mantenimiento Preventivo

A. Introducción

En la actualidad, Firestone de Costa Rica, S.A., al igual que muchas otras industrias, están utilizando programas de mantenimiento preventivo como herramienta para mejorar la productividad.

Además de la importancia que tiene este programa en sí mismo, se conoce que éste es parte fundamental en la estrategia de sistemas modernos de administración del mantenimiento como son el mantenimiento productivo total (TPM) y mantenimiento centrado en la confiabilidad, RCM.

En esta empresa, el mantenimiento preventivo ha sido desarrollado con éxito desde hace mucho tiempo, con lo que se ha logrado ya la coordinación entre los departamentos de mantenimiento y producción para lograr la disponibilidad necesaria de los equipos para tal fin.

En la elaboración del programa de mantenimiento preventivo de las nuevas máquinas se seguirán algunos lineamientos con los que se trabajan actualmente en la empresa.

B. Objetivos del programa

Con la implantación del programa se pretende:

- Mantener o disminuir el tiempo de paro por fallas mecánicas y eléctricas durante la producción.
- Lograr que las máquinas y equipos no sufran deterioro excesivo o prematuro.
- Aumentar la vida útil del equipo.
- Organizar la programación de trabajos.

- Lograr que las máquinas funcionen eficientemente y que garanticen condiciones seguras de operación.
- Servir como un medio para optimizar los costos de mantenimiento.

C. Selección de máquinas

El programa de mantenimiento preventivo se realiza desde hace muchos años en esta empresa, por lo tanto este proyecto tiene como objeto complementar el programa ya existente de manera que la totalidad de la maquinaria forme parte de dicho programa.

Por la razón mencionada anteriormente, la selección de las máquinas se realiza de manera tal que, una vez instaladas, éstas puedan contar con sus programas lo más pronto posible. Actualmente, dada la expansión de la planta física, están siendo instaladas muchas máquinas importadas desde otras empresas de la corporación en los Estados Unidos, las cuales requieren del programa de mantenimiento apegado, en su mayoría, a los procedimientos ya existentes en la empresa, así como a el sistema de codificación que utilizan, el cual es el mismo para las demás empresas de la corporación.

Para la selección de las máquinas también han sido tomados en cuenta criterios como la importancia que éstas tienen para el proceso productivo, ya que son máquinas que trabajan en líneas de producción con otras máquinas, por lo que es indispensable y deseable su buen funcionamiento para que no se detenga la línea.

Las máquinas seleccionadas para la realización del programa de mantenimiento preventivo son:

- La máquina armadora de llantas TAM 85 E, la cual fue instalada a inicios de enero del presente año. TAM siglas del inglés tire assembly machine.

- La máquina vulcanizadora NAF 39, este programa se aplicará también a otras 5 máquinas iguales instaladas a partir de noviembre del año anterior hasta febrero.
- La máquina vulcanizadora NAF 45, este programa difiere del anterior en que algunos de sus subsistemas corresponden a otro modelo.

Fue instalada en marzo del año en curso.

- Se diseñará el programa para la NAF 46 y su gemela, NAF 47.

Estas máquinas fueron instaladas en marzo del presente año.

- La máquina programable de aros BPM de sus siglas en inglés Bead Program Machine.

Fue instalada hace año y medio aproximadamente.

D. Estudio técnico de la máquina TAM 85 E

El modelo TAM (Tire Assembly Machine) 85E fue diseñado y desarrollado por el Departamento de Ingeniería de la corporación Bridgestone/Firestone. Esta máquina es una versión modificada de la TAM 85D.

Esta es la primer máquina de este modelo que se ha instalado en la planta de Costa Rica y tiene escasos dos meses de haber sido instalada, su producción actualmente es irregular, pues aún está en periodo de pruebas y ajustes. A pesar de ello, no es una máquina nueva, sino más bien data del año 1978, aproximadamente, aunque ha sufrido algunos cambios en pos de su modernización, principalmente en lo que a control y automatismo se refiere, así también en el reemplazo y adaptación de algunos mecanismos hechos en Costa Rica.

Las partes principales de la máquina y que servirán igualmente para realizar la división de partes y subpartes son: stitcher de platos, unidad hidráulica, servidor, brazo oscilador del tambor, eje de expansiones, stitcher de rodillo y banda de transferencia (Oring o transfer). Algunas de las cuales se describirán brevemente.

La banda de transferencia es una especie de anillo con seis cilindros de aire (pistones) que permiten cerrar o expandir su diámetro para agarrar la capa de rodado. Está montado sobre un carro que le permite el movimiento en forma axial con respecto al eje de expansiones. La energía para el movimiento del carro es provista por un pistón que cuenta con su propia unidad hidráulica, ya que es el único mecanismo o elemento de la máquina que lo requiere, los restantes elementos son neumáticos o eléctricos. Este carro cuenta con 12 ruedas que sirven no solo para permitir el movimiento, sino también para dar estabilidad al mismo, sirviendo de guía. En estos elementos es conveniente realizar una lubricación periódica según fabricante, lo que será tomado en cuenta en el mantenimiento preventivo.

Los stitchers se encargan de extraer el aire entre capas y de unir el rodado a la carcasa. Esto se logra con unos elementos giratorios (platos y rodillo), cuya presión se logra con pistones y una bolsa accionados por aire. Tres motores son usados para dar los movimientos radial, axial o transversal y pivote al stitcher de platos para su efectiva operación.

El servidor es un conjunto de mesas que se encarga de dispensar las diferentes capas de hule, así como el rodado según requiera el operario. Esto lo hace mediante sensores de posición y fotoceldas que accionan motores y pistones.

El brazo oscilador cuenta con un tambor giratorio que permite formar las capas exteriores de la llanta. Un motor eléctrico hace girar el tambor, pero el movimiento pivote que permite al brazo moverse se realiza mediante un cilindro rotatorio compuesto de pistones.

Finalmente, el eje de expansiones como se describirá más adelante posee discos que cierran herméticamente la llanta haciendo las de aro e introduciendo aire para inflarla, de igual manera gira para permitir que los stitcher entren a realizar su parte del proceso. Este eje está compuesto por dos flechas o ejes, uno interno y otro externo. El interno cuenta con un tornillo que realiza la expansión de los discos, para lograr giro independiente de las flechas o que funcionen como una sola unidad se tiene un clutch o embrague adaptado al eje exterior. También tiene un freno de bolsa de aire para asegurar el no-movimiento durante algunos momentos del proceso. Ambos operan con una presión de aire de 551,6 kPa y cuentan con una válvula de alivio cada uno para liberar el aire.

El sistema que utiliza esta máquina ensambladora de llantas consta de tres etapas que serán explicadas a continuación:

A esta TAM 85E llegan las carcazas de las llantas que son ensambladas por las máquinas TAM 88.

El operario coloca dos capas de hule textiles o de acero, según sea el tipo de llanta, sobre el tambor de la máquina con el objetivo de ir formando la capa más exterior de la llanta. Posteriormente, se coloca el rodado, capa final de la llanta, que después se moldea formando los tacos de la llanta sobre las capas anteriores. Este conjunto de capas se lleva por medio de un brazo mecánico hasta la banda de transferencia u oring. En forma paralela la carcaza ha sido montada en el eje de expansiones de la máquina para ser inflado, en ese momento la banda de transferencia ensambla el rodado y demás capas sobre la carcaza ya inflada, tomando así la forma casi final de la llanta.

Una vez colocado el rodado el stitcher ejerce presión sobre la llanta que está girando con el objeto de extraer el aire que puede haber quedado atrapado entre capas y que puede provocar un defecto en la llanta.

Las capas deben ser colocadas de tal forma que sus uniones tengan un ángulo específico con respecto al centro de la llanta para así garantizar que el peso de la misma esté uniformemente distribuido.

De esta manera, el producto final que se obtiene de esta máquina se llama llanta verde (green tire) la cual sale lista, después de pasar por el departamento de dopado, para su vulcanizado (cocción) dentro de los moldes.

E. Estudio técnico de la máquina NAF 39

La máquina vulcanizadora NRM 46/385 Modelo H conocida como NAF fue diseñada para curar las llantas con vapor. La unidad está equipada de tal forma que la carga y descarga de llantas se realiza de forma automática, es decir, las vulcanizadoras o prensas NAF realizan diferentes operaciones en una secuencia completamente automática como: levantar, dar forma, curar y descargar las llantas, con un mínimo de servicio y funcionamiento; y el menor tiempo posible requerido para que la llanta sea curada. Excepto en el caso de las llantas muy grandes la prensa es diseñada para procesar dos llantas por ciclo, es decir, al mismo tiempo.

La única función manual que requiere la máquina es la colocación de las llantas verdes enfrente de la máquina sobre los servidores dispuestos para tal fin.

La máquina se divide en tres partes principales: la prensa, los brazos cargadores y el posinflado.

La completa operación de procesamiento de llantas por medio de la vulcanizadora consiste en tres ciclos básicos descritos a continuación.

El ciclo de cierre de la prensa: Cuando salen las llantas de la prensa los brazos cargadores depositan dos nuevas llantas verdes en los moldes. Una membrana flexible de hule llamada bladder es expandida dentro de llanta por una presión interna. Los brazos cargadores automáticamente libera las llantas en el tiempo apropiado y se levanta, retirándose de los moldes. Las llantas son infladas y moldeadas dentro de los moldes con una presión interna y otra externa, internamente bajo calor y presión interna proveniente del bladder y externamente por la presión ejercida sobre los moldes por la prensa. El próximo ciclo comienza con la prensa completamente cerrada.

El ciclo de cura: este es un período cronometrado por la misma máquina, durante el cual las llantas son retenidas en los moldes bajo las condiciones apropiadas de calor y presión interna. Durante este ciclo, los brazos cargadores recogen dos nuevas llantas verdes y las sostiene hasta que llegue el momento para depositarlas en los moldes, esto una vez que haya concluido el ciclo de cura y la prensa abra nuevamente.

La parte inferior y superior que forman los moldes se mantienen unidas durante el curado de la llanta mediante la fuerza ejercida por la parte integral de la estructura superior y la base de la prensa actúa contra el molde inferior.

La fuerza de compresión en los moldes debe ser mayor que las fuerzas internas en la llanta (presión interna) que actúan para separar ambas partes del molde.

El ciclo de apertura de la prensa: cuando el curado de las llantas se completa la presión interna es liberada y los bladder se evacuan del interior de las llantas. Entonces, la prensa abre para expulsar las llantas terminadas.

Después de que el proceso de vulcanización o curado ha sido completado, la llanta emerge de la prensa para la siguiente operación, el posinflado. Este término, simplemente, significa que la llanta caliente es inflada con aire y retenida así por un breve período. Este proceso enfría y estabiliza la llanta.

El NRM posinflado fue instalado con la prensa de tal forma que forman una unidad integral. Está totalmente equipada con todas las válvulas necesarias, tuberías y componentes eléctricos requeridos para lograr el postinflado de llantas tan rápido como sea posible.

Es completamente automático e independiente e iniciará un nuevo ciclo seguro hasta que la última llanta curada sea inflada y liberada a pesar de que la prensa no esté en operación por un período largo de operación.

Cuenta con interruptores de seguridad para prevenir la apertura de la unidad bajo presión y en caso de falla energética se mantendrá estacionario en la misma posición que tenía cuando ocurrió la falla.

Cualquiera de los dos lados puede ser bloqueado dependiendo de las necesidades de producción. El modelo del posinflado utilizado en esta máquina es llamado volteador, el cual tiene capacidad para cuatro llantas con dos posiciones para cada cavidad de la prensa. Las posiciones del recibidor de llantas se logra haciendo rotar un eje horizontal en 180 grados.

La lubricación de la máquina se realiza mediante el sistema automático de lubricación de una bomba de grasa que supe lubricante por medio de un sistema de tubos y distribuidores de grasa a los puntos vitales de lubricación en la prensa. La presión de aire es mantenida en la bomba y la aplicación de lubricantes durante el ciclo de la prensa es controlada por la caja de levas.

F. Estudio técnico de las máquinas NAF 45 y NAF 46

Estas máquinas realizan la misma función de la máquina descrita anteriormente y pertenece a la misma familia; sin embargo, difieren en algunos aspectos que se discutirán a continuación.

Las máquinas NAF 46 tiene un sistema de seguridad para los brazos cargadores diferentes pues éste está compuesto por dos pistones verticales mientras que el de la NAF 39 lo hacía mediante un solo pistón horizontal y un subsistema de cadena, el panel principal es más antiguo. Cabe resaltar que estas máquinas fueron instaladas posteriormente a la NAF 39, pero son más antiguas, así como algunos de sus componentes, por lo que se ha tenido que elaborar un manual de mantenimiento preventivo para cada uno.

El cambio más significativo de las NAF 45 y 46 con respecto a las NAF 39 y sus gemelas es que el sistema del posinflado que cumple una función vital es completamente diferente, ya que corresponde a otro modelo, el elevador con capacidad para cuatro llantas. Este modelo se describirá con detalle en las próximas líneas. Dentro del sistema neumático del inflador de poscura o posinflado NRM existen para su operación tres sistemas de aire separados. Estos son:

El sistema de aire para instrumentos: éste por medio de tuberías de cobre y tuberías flexible o mangueras en partes con movimiento alimenta de aire las válvulas solenoides que tiene las funciones de levantar y bajar los brazos para detener las llantas, mientras son cargadas por el posinflado, asegurar y quitar las grapas de seguro y la otra función es inflar y desinflar las llantas.

El sistema de aire para la operación de los cilindros: en el sistema del posinflado hay cuatro pistones neumáticos, dos para accionar los brazos que detienen las llantas, uno para cada lado. El flujo de aire es controlado mecánicamente por el movimiento del carro y eléctricamente por medio de la válvula solenoide.

Los otros dos pistones están localizados uno en la parte superior y el otro en la inferior de la máquina en donde sirven para accionar barras que aseguran los anillos en su lugar para lograr el inflado de las llantas, a la vez, que envían la señal para el inflado de llantas.

El sistema de aire para inflado: el aire utilizado en el inflado de llantas el filtrado, pero no lubricado y es controlado por una válvula reguladora de presión. Desde esta válvula reguladora ubicada en la entrada principal el aire es llevado hasta dos válvulas de diafragma (una para las cavidades inferiores y otra para las superiores) que permiten el ingreso de aire hacia las llantas.

El funcionamiento normal del posinflado es el siguiente: el ciclo inicia con los brazos detenedores de llantas están arriba y la llanta curada o vulcanizada permanece en el carro inferior, el carro superior está vacío. Entonces, el motor arranca, levantando el carro inferior, el cual recoge la llanta, esto acción permite que los pistones de los brazos detenedores bajen. El carro continúa subiendo hasta que hace contacto con un final de carrera que detiene el motor y admite aire al pistón que asegura las llantas en su lugar. El brazo que asegura la llanta contacta con una válvula actuada por cabeza, y esto permite la apertura de la válvula de diafragma que infla la llanta.

Debe notarse que la llanta no puede ser inflada a no ser que el seguro permite el sellado entre la llanta y los anillos de registro. Cuando se han enfriado estas llantas los dos carros se desplazan hacia abajo, y esto hace que los brazos detenedores suban y bloqueen las llantas. El carro superior recibe las llantas de la prensa y ambos carros vuelven a subir, los brazos para detener bajan una vez más. De igual manera, como se explicó arriba las llantas son aseguradas e infladas una vez que se han cargado las llantas inferiores. Las llantas permanecen infladas por un periodo, mientras se enfría antes de ser desinfladas mediante una válvula solenoide. El interruptor de presión detecta que la presión ha caído y quita el seguro de las llantas. Así, las llantas son expulsadas del sistema del posinflado.

G. Estudio técnico de la máquina programable de aros (Bead Program Machine)

El proceso que involucra esta máquina se inicia cuando se corta el hule en tiras para que pueda ser procesado por la extrusora. Este proceso puede dar inicio hasta que los departamentos suplidores trasladen los componentes que se requiere trabajar, éstos son: hules para aros, carruchas de hilos de acero de 450 kg de alambre, tela para cobertor de aros. Este hule viene desde el banbury en forma de banda de un metro de ancha aproximadamente, ésta es cortada por una máquina “cortadora de hule” que está compuesta de un rodillo con portacuchillas que gira cuando la potencia es transmitida mediante cadenas desde el moto-reductor principal.

Además, cuenta con una serie de rodillos que acarrear el material por medio de la máquina, uno de los cuales es accionado por el mismo motor principal; sin embargo, pasa primero por un reductor de velocidad que puede ser regulado por el operador de la máquina, según el ancho de banda que se requiera. El otro rodillo, el de salida, tiene un pequeño moto-reductor independiente.

Otros elementos que componen la cortadora de hule son: un sensor de proximidad, interruptores límite o finales de carrera, interruptores de emergencia-paros de emergencia.

El hule en tiras alimenta a la extrusora de la máquina, donde es molido, llevado a alta temperatura y pasado por medio de la cabeza bajo presión en lo que constituye el proceso de extrusión mediante, el cual el hule se une al alambre. El alambre proviene de la mesa de bobinas de hilo de acero, en donde están las carruchas que lo contienen, un sistema de freno para cada lado y todo el sistema automático de detección del alambre, es decir, el servidor del alambre cuenta con un sistema que detecta cuando el alambre de acero se ha gastado y debe reponerse.

Este sistema es muy interesante y su principio de funcionamiento es el siguiente: se hace circular corriente eléctrica por medio de dos varillas de aluminio que están en contacto con el hilo de acero, siendo este último el que cierra el circuito eléctrico. De esta manera, cuando los conductores o varillas de aluminio tocan la madera de la carrucha a falta de hilo de acero se abre el circuito enviando la señal respectiva.

El alambre cubierto de hule entra en el acumulador, esto permite que la máquina no se detenga durante el cambio de carruchas con alambre.

El aro de la ceja de la llanta está compuesto por un único hilo de acero, el cual rota en un tambor formador, cuyo tamaño depende de la llanta en producción. Este tambor gira un número de revoluciones determinado para lograr la construcción que requiere el aro. Luego, unas tijeras neumáticas se encargan de cortar el alambre. La máquina elabora dos aros al mismo tiempo.

Posteriormente, un brazo mecánico constituido por uñas movibles traslada los aros hasta la parte de recubrimiento. Este recubrimiento consiste en la colocación de un protector de tela, el cual evita que quede aire atrapado en el aro. Después otro brazo mecánico dispone el aro en un carro de transporte llamado helicóptero. Finalmente, los aros se almacenan temporalmente hasta que son llevados al departamento cliente: Departamento de cejas.

H. Codificación de la máquina

La empresa cuenta con una codificación, que se utiliza en todas las empresas de la corporación Bridgestone. Esta codificación, además es utilizada por otros departamentos aparte de mantenimiento, obviamente ésta es utilizada en el programa de mantenimiento preventivo en desarrollo.

La codificación que se lleva a cabo en la empresa para identificar y localizar cada parte de la máquina, ésta está constituida por sistemas y subsistemas. Por ejemplo:

131	167	01	01
-----	-----	----	----

131: Identifica dentro de la empresa al departamento de Armado de acero, y es el código internacional utilizado por la Corporación Bridgestone/Firestone para la identificación de esas máquinas.

167: Identifica el número de máquina asignado en la empresa a la TAM 85 E. Es decir, éste es el número del sistema.

01: Este es el número del subsistema, es decir, la sección del TAM 85 E en que se encuentra ubicada la parte. Esta identificación corresponde a la sección del Stitcher de Platos. Esta codificación puede ser numérica o alfabética.

01: Identifica el número dentro del subsistema Stitcher de Platos al que se hace referencia. Este punto corresponde al motor-reductor que permite el movimiento axial del stitcher.

Tabla 3.1 Codificación de la máquina TAM 85 E

CODIGO	SUBSISTEMA
131 – 167 – 01	Stitcher de platos
131 – 167 – 02	Unidad hidráulica
131 – 167 – 03	Servidor y brazo oscilador
131 – 167 – 04	Carro del tooling
131 – 167 – 05	Eje de expansiones y stitcher de rodillos

Tabla 3.2 Codificación de la máquina NAF 39

CODIGO	SUBSISTEMA
132 – 151 – 01	Prensa
132 – 151 – 02	Sistema cierre/apertura de prensa
132 – 151 – 03	Brazos cargadores
132 – 151 – 04	Sistema de posinflado
132 – 151 – 05	Sistema neumático del posinflado.
132 – 151 – 06	Circuito de tuberías
132 – 151 – 07	Sistema de lubricación

Tabla 3.3 Codificación de la máquina NAF 45

CODIGO	SUBSISTEMA
132 – 157 – 01	Prensa
132 – 157 – 02	Sistema cierre/apertura de prensa
132 – 157 – 03	Brazos cargadores
132 – 157 – 04	Sistema de posinflado
132 – 157 – 05	Sistema neumático del posinflado.
132 – 157 – 06	Circuito de tuberías
132 – 157 – 07	Sistema de lubricación

Tabla 3.4 Codificación de la máquina NAF 46

CODIGO	SUBSISTEMA
132 – 158 – 01	Prensa
132 – 158 – 02	Sistema cierre/apertura de prensa
132 – 158 – 03	Brazos cargadores
132 – 158 – 04	Sistema de posinflado
132 – 158 – 05	Sistema neumático del posinflado.
132 – 158 – 06	Circuito de tuberías
132 – 158 – 07	Sistema de lubricación

Tabla 3.5 Codificación de la máquina programable de aros BPM

CODIGO	SUBSISTEMA
124 – 212 – 01	Bobinas de hilo de acero
124 – 212 – 02	Acumulador, extrusora y formado de aro
124 – 212 – 03	Brazo descargador
124 – 212 – 04	Posicionador
124 – 212 – 05	Recubrimiento
124 – 212 – 06	Helicóptero o trompo
124 – 212 – 07	Cargador de aros

I. División de partes

La división de partes y subpartes se hace conforme se explicó en la codificación de partes, es decir en sistemas y subsistemas. Se realiza conforme sus partes fundamentales, según la función específica que cumplen dentro del proceso que realiza cada máquina.

Sistema: TAM 85 E

Subparte o Subsistema:

Stitcher de platos.
Unidad hidráulica.
Servidor y brazo.
Transfer (tooling)
Eje de expansiones y stitcher de rodillos.

Sistema: NAF 39

Subparte o Subsistemas:

Prensa.
Sistema de cierre / apertura de prensa.
Brazos cargadores.
Sistema de posinflado.
Sistema neumático del posinflado.
Circuito de tuberías.
Sistema de lubricación.

Sistema: NAF 45

Subparte o Subsistemas:

Prensa.
Sistema de cierre/apertura de prensa.
Brazos cargadores.
Sistema de posinflado.
Sistema neumático del posinflado.
Circuito de tuberías.
Sistema de lubricación.

Sistema: NAF 46

Subparte o Subsistemas:

Prensa.
Sistema de cierre/apertura de prensa.
Brazos cargadores.
Sistema de posinflado.
Sistema neumático del posinflado.
Circuito de tuberías.
Sistema de lubricación.

Sistema: Máquina Programable de aros BPM

Subparte o Subsistemas:

Bobinas de hilo de acero.

Acumulador, extrusora y formado de aro.

Brazo descargador de aros.

Posicionador de aros.

Helicóptero o trompo.

Descargador de aros.

J. Manual de mantenimiento preventivo

A continuación se presenta el manual de mantenimiento preventivo en donde se muestra el conjunto de inspecciones que lo conforman. Sin embargo, por política de la empresa no es posible adjuntar al manual los planos que se realizaron y en los cuales se muestran los elementos a los que se hace referencia en las inspecciones.

Debe aclararse que este manual se clasifica, según la máquina a la que pertenece, además de la especialidad a la que corresponde el mantenimiento, mecánica, eléctrica o lubricación. Y, por último, se separan las inspecciones que deben realizarse con máquina detenida o no.

La programación Gantt de las inspecciones se muestra a la par de cada inspección. Esta programación se realiza de acuerdo con la disponibilidad calculada.

INSPECCIONES MECÁNICAS

INSPECCIONES ELÉCTRICAS

INSPECCIONES DE LUBRICACIÓN

**DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS POR MES CON MÁQUINA PARADA
SEGÚN ESPECIALIDAD DE INSPECCIÓN**

Tabla 3.6 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina TAM 85E

BRIDGESTONE FIRESTONE.

TAM 85 E

INSPECCIONES MECANICAS

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina.	Periodo	Frecuencia	Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
167	MEN	13	1	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
167	BIM.	6	1	0,5	0,05	0,5	0,05	0,5	0,05	0,5	0,05	0,5	0,05	0,5	0,05
167	TRIM	4	1												
167	CUAT	3	1												
167	SEM.	2	1	0,55						0,55					
167	ANUAL	1	1	2	4	4	4	4	4	3	1,5	2,5	4	3,1	4
DISPONIBILIDAD				6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
PROGRAMADO				4,95	5,95	6,4	5,95	6,4	5,95	5,95	3,45	4,9	5,95	5,5	5,95
DIFERENCIA				1,05	0,05	-0,4	0,05	-0,4	0,05	0,05	2,55	1,1	0,05	0,5	0,05

En los meses que se tiene una diferencia negativa se puede pedir ayuda al

Nota: personal

de otras divisiones siempre y cuando el trabajo lo amerite.

Tabla 3.7 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina TAM 85E

BRIDGESTONE FIRESTONE.

TAM 85 E

INSPECCIONES ELECTRICAS

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina	Periodo	Frecuencia	Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
167	MEN	13	1	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
167	BIM.	6	1												
167	TRIM	4	1												
167	CUAT	3	1												
167	SEM.	2	1	1,2	0,5	0,8	1	0,3	1	1,2	0,5	0,8	1	0,3	1
167	ANUAL	1	1	1,5	3	3	3	4	3			4,25	3		3
DISPONIBILIDAD				6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
PROGRAMADO				3,45	4,25	4,55	4,75	5,05	4,75	1,95	1,25	5,8	4,75	1,05	4,75
DIFERENCIA				2,55	1,75	1,45	1,25	0,95	1,25	4,05	4,75	0,2	1,25	4,95	1,25

Tabla 3.8 Distribución de tiempo de inspecciones de lubricación para la máquina TAM 85E

BRIDGESTONE FIRESTONE.

TAM 85 E

INSPECCIONES LUBRICACION

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina.	Periodo	Frecuencia	OPERARIOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
167	MEN	13	1	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
167	BIM.	6	1												
167	TRIM	4	1	1			1			1			1		
167	CUAT	3	1												
167	SEM.	2	1		1						1				
167	ANUAL	1	1		0,25	0,25	0,25		0,25	0,25		1	0,25		0,25
DISPONIBILIDAD				6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
PROGRAMADO				2,15	2,4	1,4	2,4	1,15	1,4	2,4	2,15	2,15	2,4	1,15	1,4
DIFERENCIA				3,85	3,6	4,6	3,6	4,85	4,6	3,6	3,85	3,85	3,6	4,85	4,6

Tabla 3.9 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina NAF 39

BRIDGESTONE FIRESTONE.

NAF 39

INSPECCIONES MECANICAS

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina.	Periodo	Frecuencia	Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
151	MEN	13	2	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
151	BIM.	6	2	0,3	0,05	0,3	0,05	0,3	0,05	0,3	0,05	0,3	0,05	0,3	0,05
151	TRIM	4	2	0,2	0,25		0,2	0,25		0,2	0,25		0,2	0,25	
151	CUAT	3	2			0,25				0,25				0,25	
151	SEM.	2	2												
151	ANUAL	1	2	8,75	5	12	4	4	4,25	6,25	8,5	4	4	7,25	11
DISPONIBILIDAD				16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
PROGRAMADO				11,14	7,19	14,44	6,14	6,44	6,19	8,89	10,69	6,19	6,14	9,94	12,94
DIFERENCIA				4,86	8,81	1,56	9,86	9,56	9,81	7,11	5,31	9,81	9,86	6,06	3,06

Tabla 3.10 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina NAF 39

BRIDGESTONE FIRESTONE.

NAF 39

INSPECCIONES ELECTRICAS

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina	Periodo	Frecuencia	Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
151	MEN	13	1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
151	BIM.	6	1						0,5						0,5
151	TRIM	4	1												
151	CUAT	3	1												
151	SEM.	2	1	0,5		1,25	0,3	0,3		0,5		1,25	0,3	0,3	
151	ANUAL	1	1	1			6,25		3	3				4,25	
DISPONIBILIDAD				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
PROGRAMADO				2,4	0,9	2,15	7,45	1,2	4,4	4,4	0,9	2,15	1,2	5,45	1,4
DIFERENCIA				5,6	7,1	5,85	0,55	6,8	3,6	3,6	7,1	5,85	6,8	2,55	6,6

Tabla 3.11 Distribución de tiempo de inspecciones de lubricación para la máquina NAF 39

BRIDGESTONE FIRESTONE.

NAF 39

INSPECCIONES LUBRICACION

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina.	Periodo	Frecuencia	Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
151	MEN	13	1	7,27	7,27	7,27	7,27	7,27	7,27	7,27	7,27	7,27	7,27	7,27	7,27
151	BIM.	6	1												
151	TRIM	4	1												
151	CUAT	3	1												
151	SEM.	2	1				0,2						0,2		
151	ANUAL	1	1				0,25		0,25	0,25				0,25	
DISPONIBILIDAD				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
PROGRAMADO				7,27	7,27	7,27	7,72	7,27	7,52	7,52	7,27	7,27	7,47	7,52	7,27
DIFERENCIA				0,73	0,73	0,73	0,28	0,73	0,48	0,48	0,73	0,73	0,53	0,48	0,73

Tabla 3.12 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina NAF 45

BRIDGESTONE FIRESTONE.

NAF 45

INSPECCIONES MECANICAS

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina.	Periodo	Frecuencia	Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
157	MEN	13	2	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09
157	BIM.	6	2	0,55	0,05	0,55	0,05	0,55	0,05	0,55	0,05	0,55	0,05	0,55	0,05
157	TRIM	4	2	0,2	0,25		0,2	0,25		0,2	0,25		0,2	0,25	
157	CUAT	3	2		0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5
157	SEM.	2	2												
157	ANUAL	1	2	6	4	6	4	5	3	4,25	9,5	2	2	4,25	5
DISPONIBILIDAD				16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
PROGRAMADO				8,84	6,89	9,14	6,84	7,89	5,64	7,59	12,39	4,64	4,84	7,64	7,64
DIFERENCIA				7,16	9,11	6,86	9,16	8,11	10,36	8,41	3,61	11,36	11,16	8,36	8,36

Tabla 3.13 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina NAF 45

BRIDGESTONE FIRESTONE.

NAF 45

INSPECCIONES ELECTRICAS

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina	Periodo	Frecuencia	Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
157	MEN	13	1	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
157	BIM.	6	1												
157	TRIM	4	1												
157	CUAT	3	1												
157	SEM.	2	1	0,5			0,3	0,5		0,5			0,3	0,5	
157	ANUAL	1	1				6,25			4			1,5	3	
DISPONIBILIDAD				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
PROGRAMADO				1,75	1,25	1,25	7,8	1,75	1,25	5,75	1,25	1,25	3,05	4,75	1,25
DIFERENCIA				6,25	6,75	6,75	0,2	6,25	6,75	2,25	6,75	6,75	4,95	3,25	6,75

Tabla 3.14 Distribución de tiempo de inspecciones de lubricación para la máquina NAF 45

BRIDGESTONE FIRESTONE.

NAF 45

INSPECCIONES LUBRICACION

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina.	Periodo	Frecuencia	Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
157	MEN	13	1	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
157	BIM.	6	1												
157	TRIM	4	1												
157	CUAT	3	1												
157	SEM.	2	1				0,2						0,2		
157	ANUAL	1	1				0,25			0,25				0,25	
DISPONIBILIDAD				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
PROGRAMADO				6,8	6,8	6,8	7,25	6,8	6,8	7,05	6,8	6,8	7	7,05	6,8
DIFERENCIA				1,2	1,2	1,2	0,75	1,2	1,2	0,95	1,2	1,2	1	0,95	1,2

Tabla 3.15 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina NAF 46

BRIDGESTONE FIRESTONE.

NAF 46

INSPECCIONES MECANICAS

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina.	Periodo	Frecuencia	Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
158	MEN	13	2	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
158	BIM.	6	2	0,55	0,05	0,55	0,05	0,55	0,05	0,55	0,05	0,55	0,05	0,55	0,05
158	TRIM	4	2	0,2	0,25		0,2	0,25		0,2	0,25		0,2	0,25	
158	CUAT	3	2	0,4		1		0,4		1		0,4		1	
158	SEM.	2	2												
158	ANUAL	1	2	6	4	4	4	2		4,25	9	2	7,25	3	9
DISPONIBILIDAD				16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
PROGRAMADO				8,34	5,49	6,74	5,44	4,39	1,24	7,19	10,49	4,14	8,69	5,99	10,24
DIFERENCIA				7,66	10,51	9,26	10,56	11,61	14,76	8,81	5,51	11,86	7,31	10,01	5,76

Tabla 3.16 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina NAF 46

BRIDGESTONE FIRESTONE.

NAF 46

INSPECCIONES ELECTRICAS

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina	Periodo	Frecuencia	Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
158	MEN	13	1	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
158	BIM.	6	1												
158	TRIM	4	1												
158	CUAT	3	1												
158	SEM.	2	1	0,5			0,5			0,5			0,5		
158	ANUAL	1	1		1	6,55				3	1,5		3,3		
DISPONIBILIDAD				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
PROGRAMADO				1,65	2,15	7,7	1,65	1,15	1,15	4,65	2,65	1,15	4,95	1,15	1,15
DIFERENCIA				6,35	5,85	0,3	6,35	6,85	6,85	3,35	5,35	6,85	3,05	6,85	6,85

Tabla 3.17 Distribución de tiempo de inspecciones de lubricación para la máquina NAF 46

BRIDGESTONE FIRESTONE.

NAF 46

INSPECCIONES LUBRICACION

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina.	Periodo	Frecuencia	Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
158	MEN	13	1	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45
158	BIM.	6	1												
158	TRIM	4	1												
158	CUAT	3	1												
158	SEM.	2	1												
158	ANUAL	1	1				0,45			0,25			0,45		
DISPONIBILIDAD				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
PROGRAMADO				3,45	3,45	3,45	3,9	3,45	3,45	3,7	3,45	3,45	3,9	3,45	3,45
DIFERENCIA				4,55	4,55	4,55	4,1	4,55	4,55	4,3	4,55	4,55	4,1	4,55	4,55

Tabla 3.18 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina BPM

BRIDGESTONE FIRESTONE.

BPM

INSPECCIONES MECANICAS

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina.	Periodo	Frecuencia	OPERARIOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
212	MEN	13	1	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55
212	BIM.	6	1												
212	TRIM	4	1												
212	CUAT	3	1												
212	SEM.	2	1												
212	ANUAL	1	1	3,75	4	4,25	4,5	4,25	5,25	1,5	5	5,4	1	4	4,5
DISPONIBILIDAD				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
PROGRAMADO				6,3	6,55	6,8	7,05	6,8	7,8	4,05	7,55	7,95	3,55	6,55	7,05
DIFERENCIA				1,7	1,45	1,2	0,95	1,2	0,2	3,95	0,45	0,05	4,45	1,45	0,95

Tabla 3.19 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina BPM

BRIDGESTONE FIRESTONE.

BPM

INSPECCIONES ELECTRICAS

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina	Periodo	Frecuencia	Operarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
212	MEN	13	1	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
212	BIM.	6	1												
212	TRIM	4	1												
212	CUAT	3	1												
212	SEM.	2	1	5,1	3,9	1	0,5	2,5		5,1	3,9	1	0,5	2,5	
212	ANUAL	1	1			4	4,25	2	5			4	4,25	2	5
DISPONIBILIDAD				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
PROGRAMADO				7,9	6,7	7,8	7,55	7,3	7,8	7,9	6,7	7,8	7,55	7,3	7,8
DIFERENCIA				0,1	1,3	0,2	0,45	0,7	0,2	0,1	1,3	0,2	0,45	0,7	0,2

Tabla 3.20 Distribución de tiempo de inspecciones de lubricación para la máquina BPM

BRIDGESTONE FIRESTONE.

BPM

INSPECCIONES LUBRICACION

TIEMPO EN HORAS.

INSPECCIONES				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Máquina.	Periodo	Frecuencia	OPERARIOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
212	MEN	13	1	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
212	BIM.	6	1	0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15	
212	TRIM	4	1												
212	CUAT	3	1												
212	SEM.	2	1												
212	ANUAL	1	1			0,25		0,25	0,25		0,25	0,5		0,5	0,25
DISPONIBILIDAD				8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
PROGRAMADO				2,45	2,3	2,7	2,3	2,7	2,55	2,45	2,55	2,95	2,3	2,95	2,55
DIFERENCIA				5,55	5,7	5,3	5,7	5,3	5,45	5,55	5,45	5,05	5,7	5,05	5,45

K. Disponibilidad para mantenimiento preventivo

La empresa Firestone de Costa Rica, S.A., labora de lunes a sábado en forma continua en tres turnos. Por esto puede programarse mantenimiento preventivo en casos especiales o cuando las máquinas son muy grandes.

El departamento de mantenimiento tiene coordinado con el de producción el paro de las máquinas grandes de 8 a 12 horas en un solo día una vez al mes para máquinas pequeñas puede ser de 4 a 6 horas una vez al mes. La mínima periodicidad que se utiliza en esta empresa es mensual. Los técnicos de la cuadrilla de mantenimiento preventivo tienen un horario de trabajo de lunes a sábado de 8 a.m. hasta las 4 p.m., los técnicos dedicados al mantenimiento correctivo trabajan de lunes a sábado que rotan turnos. El primer turno trabaja de 6 a.m. hasta las 2 p.m., el segundo turno trabaja de 2 p.m. hasta las 10 p.m., y el tercer turno laboran de 10 p.m. hasta las 6 a.m. A continuación se lista la cantidad de operarios disponibles para realizar mantenimiento preventivo por división.

Tabla 3.21 Número de operarios por división para mantenimiento preventivo

División	Mecánicos	Eléctricos	Lubricadores
I	2	1	1
II	1	1	1
III	2	1	1

Se tiene como política que el día que debe pararse una máquina grande para mantenimiento preventivo todo el personal de preventivo de las tres divisiones pasan a esa máquina, y no se programa parar otra máquina ese día.

1. Disponibilidad para la TAM 85E

Se cuenta con solo el personal de la cuadrilla de preventivo de la división II, es decir, un mecánico, un electricista y un lubricador. El cálculo de disponibilidad se hará con 6 horas.

Las siguientes son las horas de paro disponibles mensualmente, esto por especialidad.

Tabla 3.22 Disponibilidad de tiempo para mantenimiento preventivo para la TAM 85E

Especialidad	Tiempo (horas al mes)
Mecánica	6
Eléctrica	6
Lubricación	6

2. Disponibilidad para la vulcanizadora NAF 39

Se cuenta con solo el personal de la cuadrilla de preventivo de la división III para realizar el mantenimiento de la misma, es decir, dos mecánicos, un electricista y un lubricador. El cálculo de disponibilidad se hará con 8 horas. Las siguientes son las horas de paro disponibles mensualmente, esto por especialidad.

Tabla 3.23 Disponibilidad de tiempo para mantenimiento preventivo para la NAF 39

Especialidad	Tiempo (horas al mes)
Mecánica	16
Eléctrica	8
Lubricación	8

3. Disponibilidad para la vulcanizadora NAF 45

Se cuenta con solo el personal de la cuadrilla de preventivo de la división III para realizar el mantenimiento de esta máquina, es decir, dos mecánicos, un electricista y un lubricador. El cálculo de disponibilidad se hará con 8 horas.

Las siguientes son las horas de paro disponibles mensualmente, según especialidad.

Tabla 3.24 Disponibilidad de tiempo para mantenimiento preventivo para la NAF 40

Especialidad	Tiempo (horas al mes)
Mecánica	16
Eléctrica	8
Lubricación	8

4. Disponibilidad para la vulcanizadora NAF 46

Se cuenta con solo el personal de la cuadrilla de preventivo de la división III para realizar el mantenimiento de esta máquina, es decir, dos mecánicos, un electricista y un lubricador. El cálculo de disponibilidad se hará con 8 horas. Las siguientes son las horas de paro disponibles mensualmente, según especialidad.

Tabla 3.25 Disponibilidad de tiempo para mantenimiento preventivo para la NAF 46

Especialidad	Tiempo (horas al mes)
Mecánica	16
Eléctrica	8
Lubricación	8

5. Disponibilidad para la máquina programable de aros BPM

Se cuenta con solo el personal de la cuadrilla de preventivo de la división II para realizar el mantenimiento de esta máquina, es decir, dos mecánicos, un electricista y un lubricador. El cálculo de disponibilidad se hará con 8 horas.

Las siguientes son las horas de paro disponibles mensualmente, según especialidad.

Tabla 3.26 Disponibilidad de tiempo para mantenimiento preventivo para la BPM

Especialidad	Tiempo (horas al mes)
Mecánica	8
Eléctrica	8
Lubricación	8

VII. Capítulo IV. Cálculo de la carga de refrigeración y selección de equipo

A. Introducción

El cuarto de enfriamiento se encuentra en la Entubadora N° 3, esta máquina es utilizada para producir tres tipos de hule: filler (el hule para las cejas de la llanta), pared radial (el hule para las paredes de la llanta) y goma de abrasión (el hule goma), este último utilizado para ensamblar el sellante. El sellante es la primera capa de hule que lleva la llanta y gracias a sus propiedades hace que la llanta sea de tipo tubular, o sea, que no requiera neumático.

Es importante indicar que éste no es un cuarto de almacenamiento, ya que el material por enfriar no permanece allí un período prolongado. Para optimizar la transferencia de calor desde las bandas de hule hacia el ambiente se recurre a aumentar el recorrido de la banda de hule por medio del cuarto, al hacer que éste sea en forma de serpentín. Otra forma para lograr un mayor enfriamiento es hacer que la transferencia de calor se realice mediante un proceso por convección forzada, para tal fin se tienen instalados 34 ventiladores. Allí, también se encuentran seis motores relativamente grandes (2 Hp cada uno) responsables de mover las bandas transportadoras.

Este proyecto, nace de la necesidad de mejorar el enfriamiento de las bandas de hule que se utilizan en la fabricación de las llantas. Cuando estas bandas de hule no se enfrían en forma apropiada, se estropean. Para recuperar el hule debe reciclarse, y se vuelve al inicio del proceso. Esto genera grandes gastos en producción y tiempo, además, de la energía consumida por los equipos involucrados en el proceso.

Actualmente, existe un cuarto o cámara de enfriamiento de amplias dimensiones para tal fin, el cual es enfriado con seis unidades de aire acondicionado Carrier de 10,55 kW (3 toneladas de refrigeración) cada una, dos de estas unidades se instalaron en el último año con el objetivo de aumentar la capacidad del cuarto y mejorar el enfriamiento, sin embargo esta mejora no se ha logrado, además el hecho de que sean tantas unidades controladas en forma individual complica la labor de mantenimiento, por lo que se ha decidido instalar equipo de refrigeración industrial con mayor capacidad y en menor cantidad, es aquí en donde se muestra la importancia del proyecto.

La mayor parte de los equipos instalados actualmente requieren ser reemplazados a causa del estado en que se encuentran. En su lugar se ha decidido reemplazarlos por equipo de refrigeración industrial.

B. Objetivos

Los objetivos de este proyecto son los siguientes:

- Calcular la carga térmica del cuarto de refrigeración.
- Seleccionar el refrigerante y el equipo apropiado para dicha aplicación.
- Lograr un enfriamiento eficiente del hule.
- Disminuir la cantidad de hule que debe ser devuelto en el proceso.

C. Descripción del proceso en la entubadora

Con el objetivo de que se entienda mejor la función que este cuarto de enfriamiento realiza se explicará en detalle el proceso que lleva el hule en la máquina entubadora 3.

El proceso inicia cuando el hule proveniente del Bambury es introducido a través de una tolva a una pequeña extrusora, la cual consta de un tornillo sin fin que muele el hule contra sus paredes. Este proceso de extrusión se lleva a cabo a una temperatura controlada, según la receta de hule a preparar. El funcionamiento de toda la tubuladora es programado y controlado en un PLC. En un panel digital (panel view) el operario introduce los valores de las tres variables que controlan el proceso según la receta, las cuales son la velocidad del motor principal, la velocidad de las bandas transportadoras, y la temperatura de las cinco zonas de la extrusora, todas estas variables afectan el funcionamiento del proceso y deben mantenerse en el valor programado.

Por medio del panel view el operador programa la velocidad del motor, el cual es controlado por un drive, por medio de un tacómetro generador se mide la velocidad del motor, esa señal de velocidad es convertida a una señal de voltaje y es enviada al drive, si la diferencia entre el voltaje que debe tener a causa de la velocidad programada y el voltaje real tiene una variación mayor al rango, entonces el drive aumenta el voltaje de armadura, con lo que aumenta la velocidad del motor hasta el valor programado por el operador.

El calor en la extrusora se controla utilizando agua a la temperatura necesaria según la receta, y para controlar la temperatura del agua se cuenta con cuatro unidades de control de temperatura (TCU) para cinco zonas. Una válvula solenoide acciona una válvula de diafragma que controla el paso del agua que es utilizada para producir el intercambio de calor con el agua que circula en la extrusora.

El hule después de ser molido por el tornillo sin fin de la extrusora y calentado en su recorrido por medio del cilindro, finalmente llega a la matriz que se encarga de darle el grosor y el ancho requeridos a la banda de hule.

Cuando el hule sale caliente de la extrusora, es halado por una banda transportadora y un rodillo. La banda de hule es conducida hacia la cámara de enfriamiento para reducir su temperatura. La cámara debe estar a 16 °C, lo que contribuye a la pegajosidad del material.

Dentro del cuarto frío, el hule es transportado en una sección utilizando bandas transportadoras en forma horizontal en tres niveles, en cada nivel existen 6 ventiladores. Al pasar el hule de un nivel a otro, queda colgando con una holgura que debe mantenerse al mismo nivel. Si los sensores sónicos detectan variación en el nivel del hule se detiene el proceso, pues esto podría indicar que la velocidad de la banda es diferente a la requerida, lo que provoca una indeseable elongación del hule. Es por ello importante monitorear esta holgura.

Una vez que el hule pasa por estas bandas llega a unos rodillos movidos por una transmisión de barra, que lo coloca en una posición aproximada de 75° sobre la horizontal, con lo que 3 ventiladores en la parte superior y 3 en la inferior continúan la labor de enfriamiento.

En la última sección del cuarto frío del hule pasa por medio de rodillos de la misma forma descrita anteriormente, solo que esta vez son 7 ventiladores en la parte superior y 7 en la parte inferior.

El operador desde el panel view puede arrancar y parar los aires acondicionados, los abanicos y las unidades de control de temperatura.

Al salir el hule del cuarto frío es llevado a través de una cama de rodillos hasta las carruchas en donde son bobinados. Algunos tipos de hule se bobinan con una entretela para evitar que exista contacto entre hules.

D. Marco teórico

El sistema más utilizado hoy en día para la producción de frío en la industria es el de compresión mecánica. Este sistema se basa en los tres fenómenos siguientes: 1) todos los líquidos al evaporarse absorben calor del entorno; 2) la temperatura a la que hierve o se evapora un líquido depende de la presión que se ejerce sobre dicho líquido y 3) todo vapor puede volver a condensarse, pasando a estado líquido si se comprime y enfría debidamente.

Es así como en el interior del circuito frigorífico, compuesto esencialmente por los elementos: evaporador, condensador, compresor y válvula de expansión, el fluido frigorígeno pasa por una serie de cambios de estado termodinámicos.

La carga de enfriamiento raras veces es el resultado de una fuente de calor. Más bien es la suma de las cargas térmicas en la que están involucradas diferentes fuentes. Algunas de las fuentes de calor más comunes que suministran la carga de refrigeración del equipo son:

- Calor que pasa del exterior al espacio refrigerado por conducción a través de las paredes.
- Calor que llega al espacio por radiación directa a través de vidrieras o de otros materiales transparentes.
- Calor a causa del aire exterior caliente, el cual pasa a través de puertas que se abren y a través de rendijas alrededor de puertas y ventanas.
- Calor cedido por el producto caliente a medida que su temperatura es bajada hasta el nivel deseado.
- Calor cedido por las personas dentro del espacio refrigerado.

- Calor cedido por cualquier equipo productor de calor localizado dentro del espacio, tales como motores eléctricos, alumbrado, equipo electrónico, planchas de vapor, entre otros.

No necesariamente todas estas fuentes intervienen en cada caso y la importancia de cualquiera de ellas con respecto a la carga de enfriamiento total varía considerablemente para cada aplicación específica.

1. Factores por considerar en el diseño de la instalación frigorífica

Una instalación para enfriamiento estará bien diseñada desde el punto de vista energético y funcional si se han seleccionado correctamente los siguientes puntos:

- Determinación de distribución en el tiempo de las necesidades de enfriamiento de los sistemas de proceso.
- Determinación de las temperaturas de evaporación y condensación del fluido frigorífico elegido.
- Selección del refrigerante.
- Selección y dimensionado de los componentes principales del sistema frigorífico: compresores, evaporadores y condensadores.

1.1 Temperatura de evaporación

La temperatura de evaporación del fluido se establece conociendo:

- a) la temperatura a la que se ha de enfriar y/o mantener el producto y el recinto enfriado donde se almacena;
- b) el salto térmico o diferencia entre la temperatura de régimen de la cámara (o de salida del producto frío del evaporador) y la temperatura de evaporación del fluido frigorígeno en el evaporador. El salto térmico se determina teniendo en cuenta:
 - Consideraciones de tipo energético-económico.
 - La rapidez de enfriamiento deseada.

- El efecto de salto térmico sobre la humedad relativa en el interior de la cámara.

De este modo:

$$T_{EV} = T_P - \Delta T$$
 Donde T_P : temperatura enfriamiento y ΔT es el salto térmico.

Desde el punto de vista energético, ha de tenerse el ΔT lo más bajo posible, aunque esto signifique aumentar la superficie de intercambio de los evaporadores.

1.2 Temperatura de condensación

Toda la inversión inicial necesaria en condensadores como los costos de operación o energéticos a causa de su funcionamiento, dependerán del sistema de condensación que se adopte. En efecto, la temperatura de condensación (T_C) vendrá determinada principalmente por el tipo de condensador, tal como se indica a continuación.

- Sistema de condensación por aire, en estos equipos se establece la temperatura de condensación $15\text{ }^\circ\text{C}$ por encima de la temperatura del aire más desfavorable.

$$T_C = T_{amb} + 15\text{ }^\circ\text{C}$$

- Sistema de condensación con agua, con condensador multitubular horizontal y torre de enfriamiento. Si se toma como temperatura de entrada del agua al condensador la de enfriamiento máximo del agua que se consigue en una torre de enfriamiento, es decir, $T_{ambiente} + 7\text{ }^\circ\text{C}$, en un sistema de condensación de este tipo se tendrá:

$$T_C = (T_{amb} + 7\text{ }^\circ\text{C}) + (\Delta T)_C + \Delta T$$

Donde DT es el salto térmico entre la temperatura de salida del agua del condensador y la temperatura de condensación. Según consideraciones de tipo energético, este salto térmico debe ser del orden de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $(DT)_C$ es el incremento de temperatura del agua en el condensador. Suele ser de $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ en promedio y T_{amb} es la temperatura más desfavorable de la zona.

Al disminuir la temperatura de condensación aumenta de forma interesante la eficiencia frigorífica y la potencia frigorífica específica con lo que se necesitará un motor eléctrico más pequeño y, además, se consumirá menos energía durante el funcionamiento de la instalación. Desde el punto de vista energético, interesan tipos de condensadores que provocan temperaturas de condensación bajas. Los condensadores han de ser sobredimensionados para que el calentamiento del fluido (agua o aire) encargado de enfriar el refrigerante sea relativamente bajo.

1.3 Refrigerantes

En general, un refrigerante es cualquier fluido que actúa como agente de enfriamiento, tomando calor de un determinado foco caliente. El fluido refrigerante que se utiliza en sistemas frigoríficos o de compresión mecánica recibe el nombre de fluido frigorígeno o refrigerante primario. El mecanismo de acción de éste consiste en tomar calor del producto por enfriar cambiando de fase, de líquido a vapor, manejando el calor latente de vaporización en la producción de frío.

Algunas propiedades físicas de un refrigerante pueden tener un efecto sobre la capacidad del equipo y la potencia requerida. Entre ellas están las características de presión y temperatura, el calor latente de vaporización, el volumen específico y densidad del vapor y el calor específico del líquido.

En general, los costos energéticos no son decisivos en la selección del refrigerante. Sin tener en cuenta las razones de seguridad, son más importantes aquellas características que tienden a reducir el tamaño de la instalación y, en consecuencia, la inversión inicial necesaria. Es decir, para producir una potencia frigorífica dada se elegirá aquel refrigerante que necesite los menores caudales másicos, lo que implicará tuberías de líquido relativamente pequeñas, y los menores caudales volumétricos, con lo que los compresores serán más pequeños.

Los científicos han encontrado que la liberación de gases CFC desde algunos refrigerantes puede dañar la capa de ozono.

Los refrigerantes más comúnmente usados hoy se clasifican en cuatro áreas:

- Clorofluorocarbonos (CFC)
- Hidroclorofluorocarbonos (HCFC)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Mezcla de refrigerantes (Azeotrópicos-Zeotrópicos)

Los refrigerantes son identificados por números. El número sigue a la letra R que significa refrigerante. Este sistema de identificación ha sido estandarizado por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers).

A continuación se señalan algunas de las características generales que presenta cada una de las familias mencionadas anteriormente.

CFC: es una de las mayores causas de la destrucción de la capa de ozono. No se han fabricado desde 1995 por acuerdo internacional. Sin embargo, todavía son ampliamente usados en unidades residenciales existentes. Algunos de los refrigerantes pertenecientes a esta familia son: R-11, R-12, R-113, R-114 y R-115.

HCFC: compuesto por metano o etano combinado con un halógeno. Tienen una vida más corta que los CFC y causan menor reducción del ozono. Este tipo de refrigerantes, tales como el R-22 y R-123 se consideran provisionales hasta que no estén disponibles los reemplazos adecuados. Para esto se ha propuesto como meta el año 2030.

HFC: esta familia incluye refrigerantes como el R-134a y R-124. Estos contienen hidrógeno en lugar de átomos de cloro. Se consideran no dañinos para la capa de ozono y tienen un efecto ínfimo en el efecto de calentamiento global o invernadero.

Mezcla de refrigerantes (Azeotrópicos-Zeotrópicos): La categoría más reciente es la de las mezclas y su uso se está expandiendo.

R-22 y R-134a

Se detallarán brevemente algunas de las características de los dos refrigerantes que se eligieron como candidatos por ser utilizado en esta aplicación: R-22 y R-134a.

Monoclorodifluorometano (CHClF₂) o R-22: Pertenece a los hidroclorofluorocarbonos. Es un refrigerante sintético, es decir, hecho en laboratorios y no se encuentra en la naturaleza. Fue desarrollado para instalaciones que necesitan bajas temperaturas de evaporación.

Ha sido usado exitosamente en unidades de aire acondicionado y en refrigeradores domésticos.

Una aplicación del R-22 es en unidades de enfriamiento rápido las cuales mantienen temperaturas de -40 a -29 °C. Para obtener estas bajas temperaturas no es necesario usar el R-22 a presiones más bajas de la atmosférica. Este refrigerante es usado tanto con compresores recíprocos como centrífugos.

Tetrafluoretano (CF₃CH₂F) o R-134a: El refrigerante R-134a es un hidrofluorocarbono (HFC) y es usado como sustituto del R-12. Es apto en compresores centrífugos, reciprocantes y de tornillo. Su nivel de capacidad para reducir el ozono es cero. El coeficiente de rendimiento para el R-134a es ligeramente más bajo que el del R-12. Para usar este refrigerante numerosos cambios han sido desarrollados y están siendo desarrollados. Estos incluyen un incremento del 30% en el tamaño de los condensadores y evaporadores, el uso de mangueras más pequeñas y un incremento del 30% en regulaciones del control de presión.

El R-134a está siendo usado como refrigerante estándar en aires acondicionados de los vehículos y ha sido nombrado como sustituto para un amplio rango de aplicaciones, tales como: aire acondicionado y sistema de refrigeración residenciales, comerciales e industriales.

El R-134a es comúnmente usado en sistemas nuevos que son diseñados específicamente para su uso. Sin embargo, el concepto de que el R-134a puede reemplazarse fácilmente por el R-12 en una sistema ya existente es erróneo, porque al hacerse este cambio muchos factores deben tomarse en cuenta. Por ejemplo, el R-134a no se mezcla con aceites minerales, sino este tipo de gases (hidrofluorocarbonos) deben ser lubricados mediante aceites sintéticos. Otros factores aparte de la compatibilidad del lubricante son: el desempeño del sistema y los cambios en el equipo.

1.4 Compresores

Elección del compresor

El número de posibilidades en cuanto a compresores que ofrece un solo fabricante es importante, si además de esto se por el número de fabricantes, la elección del compresor frigorífico se convierte en un auténtico problema, especialmente si además de las características mecánicas de estos compresores, también tenemos en cuenta todas aquellas razones que podríamos definir como subjetivas, pero que, muchas veces, pesan tanto o más que el mero análisis técnico.

Desgraciadamente, no existe un método infalible para la correcta elección del compresor frigorífico, ya que son muchas las partes que intervienen y, por lo tanto, muchos los puntos de vista. En cualquier caso, y tal y como veremos a continuación, existen ciertos conceptos que ayudan y deben ser tenidos en cuenta.

Los pilares fundamentales para una correcta elección podríamos definirlos y ordenarlos del siguiente modo:

Fiabilidad mecánica: Evidentemente, lo que quieren todas las partes implicadas en la elección de un compresor es que éste no se rompa, ya que de suceder esto, el más afectado sería el cliente final al que no sólo se le rompe un compresor, sino que también se le para toda la línea de producción. En consecuencia, el cliente final reclamará al instalador y éste al proveedor, y será para todos ellos un gran problema. Por lo tanto, un compresor debe ser fiable y funcionar correctamente.

Rendimiento energético: Una vez que tenemos la seguridad de que el compresor es robusto, nuestra principal preocupación debería ser el consumo de energía eléctrica que el compresor necesita para producir el frío que demanda el cliente final. No olvidemos que el compresor se paga una vez, pero la energía que éste consume, se pagará por cada minuto que funcione. En algunos casos, las diferencias de consumo eléctrico entre los compresores disponibles en el mercado son muy importantes, sobrepasando incluso el 15%. Por lo tanto, este factor debe ser tenido en cuenta.

Hasta aquí el cliente final presupone que todas las opciones encima de la mesa cumplen con estos requisitos. Un análisis más profundo nos demostrará que también existen ciertos matices que hacen de la diferencia entre opciones un punto muy importante por tratar.

Precio: Este factor suele ser situado erróneamente en primer lugar por ser la principal preocupación de la persona que realiza la inversión, pero si se tienen en cuenta las diferencias de precios entre las distintas opciones del mercado y la influencia que éstas tienen en el funcionamiento del sistema, seguro que se concluye que no merece la pena situar el precio en el primer lugar. Dicho de otro modo, el negocio se hace con la producción, no con el ahorro en la inversión.

Opciones

Antes de entrar en más consideraciones, se definirán los dos compresores más empleados en el sector del frío industrial, y el objeto de nuestras dudas: compresores reciprocantes y de tornillo.

Compresor alternativo

Actualmente, el máximo número de pistones es de 8 (9 en algún caso). Antiguamente, estos compresores tenían hasta 16 pistones, pero dejaron de fabricarse con la entrada del compresor de tornillo del cual se pensó erróneamente, que podría desbancar al compresor alternativo en todos los frentes y de hecho, se emplearon masivamente en el rango de 80 a 4.000 m³/h. En la actualidad, se aprecia una recuperación importante de los compresores alternativos de hasta 400m³/h así como la vuelta a filosofías, que algunos consideraban obsoletas, tales como el accionamiento por correas, que como se verá más adelante, cuenta con indudables ventajas.

Ventajas del compresor alternativo

Precio hasta un 50% más barato que su equivalente en compresor de tornillo.

Mantenimiento frecuente pero sencillo y conocido por prácticamente todo el personal mecánico: El mantenimiento de un compresor alternativo se realiza cada 10 000 horas aproximadamente y varía según potencia y fabricante. Como norma, puede decirse que cuanto menor es la potencia menor es el mantenimiento. Sigue siendo el compresor que más se emplea en el frío comercial.

Inconvenientes del compresor alternativo

- Regulación de capacidad por etapas.
- Frecuentes mantenimientos: Relación 2,5 = 1.
- Temperaturas de descarga más elevadas, lo que implica más consumo de aceite: Esta afirmación se basa en los sistemas de separación de aceite empleados con más frecuencia. Para obtener los mismos niveles de separación que en un compresor de tornillo es necesario que el sistema sea más complejo.

Compresor rotativo de tornillo:

Este compresor es el último en incorporarse al mercado de la refrigeración y como ya se ha comentado, ha provocado un cambio en la fabricación de compresores alternativos. Es el compresor que más se emplea en volúmenes superiores a 400m³/h.

Ventajas del compresor de tornillo

- Es el compresor más empleado en refrigeración industrial.
- Cuenta con menos mantenimiento: Relación 2,5 = 1
- Cuenta con menos partes móviles y, por lo tanto, susceptibles de problemas.

Inconvenientes del compresor de tornillo

- Precio
- Mano de obra especializada para su mantenimiento

Las características generales del compresor nos han permitido establecer la fiabilidad del mismo, sus pautas de mantenimiento y su vida útil así como sus prestaciones.

En este punto puede decirse que finaliza lo que una gran mayoría de los clientes finales llega a analizar de ambas opciones, pero, como se verá a continuación, existen otras características técnicas que modifican en mayor o menor medida todo lo comentado, y que son fundamentales para garantizar una correcta elección.

Otras consideraciones técnicas

El sistema

Será necesario analizar el comportamiento de los dos tipos de compresores en situaciones extremas de demanda de capacidad, de forma que puede verse con claridad cuál es el compresor que menos energía consume en la situación más típica del sistema que sea objeto de estudio.

Deberá tomarse en cuenta si la carga varía, por lo que debe determinarse si el compresor trabajará mayormente a plena carga o con cargas parciales. Dependiendo de ello, debe seleccionarse el compresor que mejor se adapte a dichas condiciones.

Existen elementos que pueden beneficiar al funcionamiento del compresor. Estos elementos se definen a continuación: velocidad del compresor, separador de aceite, diseño de la instalación.

Velocidad del compresor

En el caso del compresor alternativo

Además de la posibilidad de utilizar variador de velocidad, existe la posibilidad de utilizar el accionamiento del motorcompresor del tipo poleas, que si bien puede parecer anticuado, siguen siendo un método muy eficaz para ajustar la velocidad del compresor a la producción frigorífica necesaria. También, se presenta la posibilidad de emplear un compresor menor a mayor velocidad para la misma producción frigorífica. El resultado sería un compresor más pequeño y, por lo tanto, más competitivo en precio, pero con un mantenimiento superior.

El tipo de accionamiento y, en consecuencia, la velocidad del compresor se encuentran directamente relacionadas con lo que se ha definido como pautas de mantenimiento del compresor, su vida útil y prestaciones, siendo fundamental considerar este detalle para una correcta elección desde el punto de vista mecánico.

Separador de aceite

En el caso de los compresores de tornillo, el aceite cumple una función de válvula de cierre entre los rotores, sin la cual no sería posible conseguir la máxima eficiencia en la compresión del gas. En consecuencia, existe un contacto muy estrecho entre el aceite y el refrigerante, el cual hay que eliminar en la salida del gas del compresor.

En el caso de los compresores alternativos es un problema delicado ya que, aunque el aceite no se encuentra en un contacto tan estrecho con el refrigerante, las temperaturas de descarga son más elevadas y en consecuencia es más el aceite que se encuentra en estado gaseoso y por tanto imposible de ser separado a no ser que sea previamente enfriado.

En cualquier caso, el aceite fuera de la unidad de compresión se convierte en una molestia que resta rendimiento al sistema. Por tanto, el aceite debe permanecer en la medida de lo posible en la unidad de compresión. Lo que la eficiencia del separador de aceite (que siempre incorpora una unidad de compresión) debe ser facilitada por el fabricante y conocida por el usuario. Los niveles de eficacia exigibles rondan los 5 p.p.m. para el NH₃ y los 10 p.p.m. para HCFC's.

Diseño de la instalación

El diseño de la instalación es determinante para la vida útil del compresor así como para el consumo eléctrico. A continuación se citan algunas de las normas que dicta el sentido común, pero que, sin embargo, se incumplen con más frecuencia.

Un compresor sobredimensionado es un compresor que funcionará a cargas parciales más tiempo de lo necesario y, por lo tanto, con un peor rendimiento energético. El número de arranques será más elevado aumentando el consumo eléctrico y el esfuerzo mecánico.

Igualmente es necesario mencionar que es mejor evaporar 1 °C más bajo y almacenar frío en cámaras que en ese momento no lo solicitan, que tener el compresor parcializado, ya que la pérdida de rendimiento es menor.

E. Problema que se presenta actualmente en el cuarto

El mayor problema que presenta la cámara de refrigeración es que, a pesar de las seis unidades de aire acondicionado instaladas actualmente, no se logra el objetivo de enfriar las bandas de hule que recorren el cuarto en un tiempo dado, para con ello lograr los efectos deseados en dicho hule. Este cuarto originalmente se diseñó para trabajar con equipo de aire acondicionado posiblemente a causa de la temperatura a la que se mantiene el mismo, aproximadamente 16 °C.

En el transcurso del tiempo se han dado cuenta de que este equipo no es el idóneo para dicha tarea, esto como consecuencia de varios factores, entre estos están la necesidad frigorífica, pues es muy grande para ser suplida por aires acondicionados, por lo que es necesario tener muchas unidades operando. Esto aumenta la labor de mantenimiento. Otro factor por considerar es el fenómeno de recirculación del aire frío que sale del equipo de aire acondicionado. Esta recirculación tiene lugar en las proximidades del bulbo del equipo, lo que provoca una falsa lectura en el termostato y éste apaga el equipo. El fenómeno descrito se debe a la posición que tienen las unidades en el cuarto y, principalmente, a las cortinas de aire verticales que forman dieciocho ventiladores grandes que trabajan en forma continua, y no permite que el aire proveniente de los equipos circule por el cuarto.

Lo anterior provoca que algunas veces, de los seis equipos funcionen solamente tres, este hecho propiciado por un control independiente de cada uno de ellos, ocasionando fallas frecuentes en los equipos que se recargan el trabajo. Además, este descontrol resulta en un enfriamiento irregular del cuarto con respecto a la carga, por lo que, en algunas ocasiones, principalmente en la demanda máxima no se cuenta con el efecto refrigerante requerido y como consecuencia se tiene un aumento en la temperatura.

Punto aparte es el estado de las unidades, pues en su mayoría son viejas y cuentan con múltiples reparaciones, por lo que se ha recurrido a soldadura para reparar los daños causados por la corrosión, siendo su punto crítico la zona de contacto entre los tubos del serpentín (cobre) y las láminas de galvanizado en las que están incrustados dichos tubos. De lo anterior se deduce la necesidad de reemplazarlas, pero esta vez por equipo de refrigeración industrial.

F. Estudio de factores por tomar en cuenta en el cálculo

Para el diseño de la cámara de refrigeración se tomaron en cuenta una serie de factores que ayudan a que el cálculo de la cámara frigorífica sea lo mas precisa posible. Entre los datos por tomar en cuenta para tal diseño se encuentran:

- Dimensiones del espacio refrigerado.
- Cantidad de producto por ser refrigerado.
- Tipo de producto que se almacena.
- Condiciones internas y externas de temperatura.
- Tipo de refrigerante usado en las líneas de refrigeración.

Una vez que obtienen todos estos datos, deberán tomarse en cuenta una serie de aspectos que formaran la carga total de refrigeración del sistema:

- Permanencia de las personas en la cámara.
- Calor al que entra el producto para ser refrigerado.
- Clase y cantidad de equipos e iluminación, ubicados dentro del espacio de refrigeración.

Una vez recolectados todos los datos necesarios se procede a realizar el cálculo de la cámara de refrigeración. Los datos necesarios se muestran en el siguiente apartado.

G. Datos necesarios para el cálculo de la carga térmica

1. Aspectos generales del cuarto



Fig. 4.1 Fotografía de la cámara de enfriamiento de Bridgestone Firestone.

Aquí se exponen las dimensiones del cuarto, el tipo de aislamiento, los materiales de las paredes, entre otros aspectos.

Esta cámara de enfriamiento es relativamente grande con un área de 54 m² aproximadamente. Ésta se encuentra bajo techo, pues se ubica dentro de la planta, ya que forma parte integral de la máquina Entubadora N° 3, la cual consta de un molino, una extrusora, bandas transportadoras, el cuarto de enfriamiento y el área de empaque para el almacenaje temporal.

Como se muestra en la fotografía de la página anterior la cámara fue construida de paredes rellenas de poliestireno expandido de 2,54 cm como material aislante, además cuenta con una ventana de 85 cm de altura alrededor de todas las paredes. Estas ventanas se encuentran a una altura de 1,25 m del piso. La altura del cuarto es de 3 m. Las ventanas en el cuarto fueron instaladas no sólo por estética, sino principalmente, a causa del proceso que se lleva a cabo. Es necesario de que el operador de la máquina que generalmente se encuentra fuera del cuarto, observe que la banda de hule recorre libremente el cuarto, pues es muy importante evitar que ésta se pegue y sufra elongación, principalmente, cuando la producción se detiene por algunos instantes surge el riesgo de que esto ocurra, porque la banda al estar caliente se tiende a pegar en los diferentes elementos con los que está en contacto.

Los cálculos de la carga térmica se harán considerando doble vidrio en las ventanas, aunque actualmente cuentan con vidrio sencillo. El doble vidrio tendrá una cama de aire entre ellos. En esta empresa no se planea realizar modificaciones al cuarto como dimensiones o cambiar el aislante; sin embargo, poner doble vidrio es un cambio que puede realizarse sin mayor costo, y esto permitirá obtener una disminución considerable en la transferencia de calor por medio del vidrio.

La humedad relativa promedio anual en la zona es de 76% y en el interior del cuarto es de 38% aproximadamente, según la medición realizada con un higrómetro.

Se requiere una temperatura interior del cuarto igual a 16 °C para obtener el efecto deseado en el hule.

Con los datos proporcionados en los párrafos anteriores se calcula la carga de transmisión por medio de las paredes, piso y techo. Este cálculo se muestra en el Anexo A.

2. Infiltración de aire al cuarto

La entrada de aire a esta cámara se produce por medio de las aperturas de la puerta y, principalmente, por medio de los espacios abiertos necesarios para que entren y salgan del cuarto las bandas transportadoras que acarrearán el hule.

La cantidad de cambios de aire que deben darse para las dimensiones dadas del cuarto es del 7,2, según la recomendación del libro Principios de Refrigeración de Edward Pita en la tabla 14.5 mostrada en el Anexo C. Además, este valor se multiplica por un factor por el uso intensivo para considerar las aberturas en las paredes. Dentro de las recomendaciones que se realizan en el este trabajo se señalan algunas, cuyo objetivo es minimizar la transferencia de calor por medio de estas zonas.

El calor removido causado por el aire proveniente del exterior a las condiciones indicadas anteriormente corresponde a $53,63 \text{ kJ/ m}^3$. Dato tomado del Dossat, ver bibliografía.

3. Tipo de producto por enfriar

El producto por enfriar es una banda de hule, la cual recorre el cuarto por medio de bandas transportadoras con una velocidad determinada como se ha explicado en otras secciones. Este hule es fabricado por la misma empresa.

En la fabricación del hule se utilizan productos como: caucho natural, caucho sintético, pigmentos, azufre, negro de humo, aceite del proceso y otros productos químicos. De la mezcla de estos productos se obtiene la masa de hule llamada batch, cuya composición dependerá del elemento o pieza que constituirá el hule en la llanta terminada, ya que cada parte de la llanta tiene una contextura y flexibilidad determinada, dependiendo de la función y los esfuerzos a los que se ve sometida.

Cuando el hule llega a la Entubadora N° 3 es molido y pasa a través de la extrusora, por lo que adquiere una alta temperatura. Posteriormente, las bandas transportadoras lo acarrearán hacia el cuarto de enfriamiento. La temperatura a la entrada del cuarto es de 115 °C y debe llevarse hasta 18 °C al salir del cuarto.

A este hule se le llama hule crudo y, por lo tanto, presenta características especiales, su calor específico no se encuentra tan fácilmente, pues este varía dependiendo de la composición del mismo y algunos otros factores. En el proceso de calentamiento y posterior a él, el hule sufre una reacción endógena (consume parte de su energía), y esto representa un efecto favorable en el cálculo de la carga de refrigeración, pues en el cálculo la energía consumida en el enfriamiento del producto será ligeramente mayor a la real.

A causa de este calentamiento cuando el hule entra al cuarto libera gases como resultado de la sublimación de algunos de sus componentes, lo que debe tomarse en cuenta a la hora de seleccionar el equipo por el efecto corrosivo que pueda presentarse.

El personal del laboratorio sospecha que algunos de estos elementos son resinas que se evaporan y posteriormente se cristalizan. Los cristales quedan adheridos a la estructura de las bandas. Lo mismo ocurre con el azufre que podría causar una especie de lluvia ácida ligera en el ambiente interior del cuarto, lo que acentúa su poder corrosivo.

El dato de calor específico utilizado en el cálculo corresponde al hule vulcanizado, y no al hule crudo. Este valor es de 1,73 kJ/kg°C, tomado del Manual del Ingeniero Químico, ver bibliografía. Bajo criterio del ingeniero químico, el utilizar este valor como si se tratara de hule crudo, no corresponde a ningún desplome de cálculo, ya que la variación entre uno y otro no es tan alta, además es el único dato con el que se dispone. De lo contrario, sería necesario realizar un experimento con una bomba calorimétrica para calcularlo.

4. Cantidad de producto por enfriar

El cálculo de la carga térmica debe hacerse con la cantidad más crítica de producto. La demanda máxima se presentará cuando se enfríe la banda de hule de mayor masa por metro lineal. Ésta corresponde a la banda de hule de pared negra radial M-3788 para el tipo de llanta 205 70 14 F 570 que tiene un peso de 0,451 kg/m.

En la receta para la fabricación de esta banda de hule se establecen los parámetros de temperaturas en las diferentes etapas de la extrusora y la velocidad de la banda transportadora, la cual es de 0,254 m/s.

Realizando el cálculo de flujo másico se obtiene: 9897,5 kg por 24 horas, para los efectos del cálculo se utilizarán 10000 kg por día. Esto con el objetivo de prever la producción de una banda de hule de mayor peso a futuro.

5. Cargas misceláneas

Las cargas misceláneas es factor que debe ser tomado en cuenta y para esta aplicación específica juega un papel muy importante.

Deben considerarse las cargas misceláneas por iluminación y ocupantes dentro del espacio por refrigerar; sin embargo, éstos no representan una carga térmica grande. Por otro lado, las cargas añadidas por equipo instalado dentro del cuarto si es muy representativa. Existen 17 ventiladores pequeños de 50 W cada uno y 18 ventiladores grandes de 186,5 W cada uno, además las bandas transportadoras son movidas por 7 motores instalados dentro del cuarto cada uno con una potencia de 1492 W.

El cálculo de la carga de refrigeración se muestra en el Anexo A, aquí se puede observar la significativa carga que añade el equipo instalado al cuarto. Esto ha motivado a realizar un análisis de la transferencia de calor para verificar la necesidad de tener este equipo instalado dentro del cuarto.

De la carga miscelánea no pueden modificarse la producida por los acupantes, el alumbrado o la de los motores de las bandas transportadoras; sin embargo, la producida por los 34 ventiladores será objeto de estudio.

Los cálculos realizados se muestran en el Anexo N y los resultados se discuten en el apartado J, discusión de resultados.

H. Selección del refrigerante

Se han realizado cálculos del comportamiento de los refrigerantes R-22 y R134a para las condiciones específicas de esta aplicación tanto en el ciclo ideal como real, estos cálculos se muestran en los Anexos G y J. Esto para poder seleccionar el refrigerante que mejores características presenta.

Ambos refrigerantes pueden funcionar en compresores tipo: reciprocantes, centrífugos y rotatorios, además, el R-134a con compresor de tornillo.

Las ventajas que presenta el R-134a son su mejor carta de presentación, ya que son de gran importancia en la protección al medio ambiente, esto por cuanto se considera no destructor de la capa de ozono, y tiene una ínfima participación en el efecto de calentamiento global del planeta conocido como efecto invernadero. Su rango de aplicación es amplio: aires acondicionados y sistemas de refrigeración residenciales, comerciales e industriales.

Este refrigerante, se considera provisional hasta que sea encontrado un reemplazo adecuado. Sin embargo, sigue y seguirá siendo ampliamente empleado en la industria, pues es permitida su utilización por diversos organismos internacionales. Esto se debe a que no es tan perjudicial como los CFC, porque su vida es más corta y causa una menor reducción del ozono en la atmósfera.

Los resultados obtenidos se analizan en la discusión de resultados. Se han analizado las variables de flujo volumétrico y el coeficiente de rendimiento, porque son medidas especialmente importantes del rendimiento del refrigerante, y con base en ellos se ha elegido el R-22 para el desarrollo de este proyecto.

Otro factor importante por considerar es el hecho de que la mayoría del equipo de refrigeración utilizado en Bridgestone Firestone trabaja con este mismo refrigerante, por ello debe considerarse el volumen de refrigerante que requiere la planta, pues con ello se obtienen beneficios económicos de los proveedores

I. Selección de equipo

1. Selección del compresor

La elección del compresor resulta un tanto difícil por la gran variedad de fabricantes y los diversos tipos de compresores que ellos ofrecen. Deben considerarse no sólo el análisis técnico, sino también otras características catalogadas inicialmente como subjetivas, pero que, en muchas ocasiones, podrían alcanzar un alto valor en dicho análisis.

Desgraciadamente, no existe un método infalible para la correcta elección del compresor frigorífico, ya que son muchas las partes que intervienen y, por lo tanto, muchos los puntos de vista.

La fiabilidad es uno de los pilares fundamentales en la elección del compresor; sin embargo, esto es algo que los fabricantes deben garantizar, por lo que la responsabilidad consiste en seleccionar un equipo reconocido en el mercado y con respaldo.

El rendimiento energético, así como el precio son factores importantes por considerar; no obstante, este último no debe considerarse como el más importante, pues deben estudiarse las ganancias obtenidas en operación.

Los tipos de compresores con mayor uso en la industria de refrigeración son los compresores alternativos y de tornillo. Ambos presentan ventajas y desventajas que ya han sido expuestas en este trabajo. Para la aplicación en cuestión se ha seleccionado el compresor alternativo (pistones), ya que éste se utiliza para volúmenes de refrigerante relativamente pequeños como es este caso, cuyo flujo es de $48 \text{ m}^3/\text{h}$, según se muestra en los cálculos, Anexo B. Los compresores de tornillo, generalmente, aplican para cantidades mayores de los $400 \text{ m}^3/\text{h}$. El compresor alternativo es más barato que su equivalente de tornillo; sin embargo, el mantenimiento que debe recibir es mayor.

Esto, principalmente, porque tiene más cantidad de partes móviles. A pesar de ello, la ventaja que presenta dicho mantenimiento es que resulta más simple del que debe dársele a uno de tornillo, lo que facilita la labor del personal mecánico y la frecuencia del mismo puede realizarse una vez por año, según algunos fabricantes como MYCOM. El compresor alternativo sigue siendo el compresor que más se utiliza en el frío comercial y en la refrigeración industrial es el de tornillo, pero esto responde a lo anteriormente escrito sobre los volúmenes por manejar en dichas aplicaciones.

Se ha seleccionado para esta aplicación una unidad condensadora, es decir, se encuentran integrados el compresor y el condensador. El condensador es enfriado por aire, ya que la capacidad de enfriamiento lo permite, una carga de 18 toneladas de refrigeración no es tan elevada, y puede manejarse con enfriamiento por aire. Además, se ha tomado en cuenta de que el medio de enfriamiento no podría haber sido agua, pues las torres de enfriamiento instaladas en la empresa no cuentan con la capacidad para absorber a este nuevo equipo.

2. Selección de la unidad evaporativa

Para lograr una buena circulación del aire frío y evitar que las cortinas de aire del cuarto interfieran en este proceso, deberá estudiarse el sitio ideal para la colocación de la unidad evaporativa y lograr los resultados deseados.

La mejor opción para la ubicación es sobre la pared oeste, porque existe amplio espacio, por lo que podría pensarse en un evaporador de perfil alto; además, en este sitio no se presentaría el problema que representan las cortinas de aire.

En el ciclo de refrigerante, a través del evaporador, el fluido generalmente se sobrecalienta con fines de control en un evaporador de tipo de expansión directa. Las temperaturas típicas de control de sobrecalentamiento varían entre 2,77 °C y 7,77 °C.

Como se mencionó anteriormente, se ha seleccionado un sobrecalentamiento de 5,55°C. En otras palabras el sobrecalentamiento es un buen método para controlar el flujo del refrigerante, cuando se utiliza una válvula de expansión termostática y ayuda a evitar que entre líquido al compresor.

En la selección de los evaporadores se recomienda un DT lo más bajo que se pueda, lo que provoca que el equipo sea más grande. Sin embargo, al contar con ventiladores más grandes se garantiza un mejor flujo de aire frío por todo el cuarto.

3. Cotización del equipo

Se ha seleccionado una unidad condensadora modelo SIS51Y, con compresor semi-hermético marca FRASCOLD de 15 hp, diseñado para trabajar con refrigerante R-22 como se había señalado anteriormente. Conectado a una línea trifásica de 230 V, 60 Hz.

Es condensador es enfriado por aire, éste cuenta con sus respectivos abanicos, motores y protectores de abanicos.

Las dimensiones de la unidad son de 1,5 m de ancho; 1,9 m de largo y 1,6 m de alto.

Dos evaporadores marca ECO de fabricación europea, modelo ICE36-6. Diseñado para operar con R-22. Tienen tres abanicos de 1/3 hp (249 W) cada uno conectado a 220 V, línea monofásica de 60 Hz. Cuyas dimensiones son: 2 m de largo, 0,79 m de alto y 0,75 m de ancho.

Se recibió la cotización del equipo a la empresa MYCOM CENTROAMERICANA, S. A., ésta se muestra en el Anexo M.

J. Discusión de resultados

Las cargas por transmisión a través de las paredes, la debida a la infiltración de aire y las misceláneas por alumbrado y ocupantes representan apenas un 14% de la carga total. La carga de enfriamiento del producto es la más importante como es de esperar, ésta representa un 46%. Lo más interesante que puede observarse es la importancia de las cargas misceláneas, pero la que se refiere exclusivamente al equipo instalado, ventiladores y motores, la cual representa un 40% de la carga total.

Como se explicó anteriormente, una de las causas por las cuales el equipo instalado actualmente, no funciona de forma adecuada son las cortinas de aire que estos ventiladores producen.

De ser posible, eliminarlos se obtendría una disminución de 3 toneladas de refrigeración, además del ahorro energético que puede representar el no mantener encendidos estos 34 ventiladores.

La carga por motores de ventiladores y bandas transportadoras pasaría a representar el 25% de la carga total de refrigeración para esta aplicación, en lugar del 40%.

Con los cálculos elaborados y mostrados en el Anexo N, se demuestra que si se eliminan los ventiladores no sería posible lograr el enfriamiento adecuado del hule en el tiempo necesario. Pues, el hule solo podría perder 9,14 kW cuando requiere perder 19,26 kW para lograr enfriarse de 115 a 18°C en un tiempo de 333 segundos, es decir, tan sólo se logra un 47% de la transferencia de calor requerida. Por lo tanto debe mantenerse estos ventiladores operando.

En cuanto al cálculo de la carga térmica, un factor que lo afecta considerablemente es el tiempo de operación del compresor.

El compresor no opera en forma continua, porque el control termostático tiene un diferencial de temperatura. Esto es, el compresor sale de operación dentro de un estrecho intervalo de temperaturas satisfactorias dentro del cuarto, y no entra de nuevo en operación, sino hasta que se alcanza la máxima temperatura permisible. Otra razón es el tiempo que requiere el equipo para la descongelación. Es una práctica común utilizar para cámaras a 2 °C o más de 18 a 20 horas sin descongelación como en este caso específico, por lo que se han seleccionado 18 horas de operación para el compresor.

En el Anexo A se muestra el cálculo de la transferencia de calor a través de las ventanas con vidrio sencillo y con doble vidrio, el resultado demuestra que utilizando el doble vidrio se obtiene una reducción aproximada de 60%.

Al estudiar el comportamiento de los dos refrigerantes, el R-22 y el R-134a, en este sistema se demostró según los resultados obtenidos en los cálculos que se muestran en los Anexos G y J lo siguiente: el R-22 tiene un volumen específico bajo, esto reduce el desplazamiento requerido por el compresor y el diámetro de las tuberías. Esto se muestra en los cálculos del Anexo G en donde se obtiene una reducción de más del 30% en el desplazamiento volumétrico con respecto al R-134a. Esta reducción del desplazamiento es una importante ventaja del R-22, pues el tamaño del compresor es significativamente menor. También de los cálculos realizados se observa que el porcentaje de gas de vaporización súbita presentado por el R-22 es menor y esto reduce el flujo total de refrigerante requerido para producir una capacidad de enfriamiento dada. Este es uno de los factores que provocan que se obtenga un mayor efecto de refrigeración y, por consiguiente, un menor flujo másico de refrigerante al utilizar R-22, lo que, a su vez, reduce el tamaño de las tuberías empleadas.

Los coeficientes de rendimiento (CDR) presentado por ambos refrigerantes son similares, según se muestra en los cálculos, por lo que no existe ninguna ventaja considerablemente significativa de un refrigerante sobre otro, desde el punto de vista de eficiencia energética, ya que el CDR es una medida del consumo de energía. Obsérvese, también, que el CDR para el ciclo ideal del R-22 es mayor que el del R-134a. Esto significa que maximizando el rendimiento de ambos refrigerantes se obtendrían mejores resultados con el R-22.

Se han analizado estas dos variables; el flujo volumétrico y el coeficiente de rendimiento, porque son medidas especialmente importantes del rendimiento.

K. Recomendaciones

- Instalar doble vidrio en las ventanas.
- Instalar cortinas de aire en los espacios abiertos en las paredes por donde pasan las bandas transportadoras.
- Mejorar el sistema de cierre de la puerta para asegurar una menor infiltración de aire.
- Concienciar al operario sobre la importancia de mantener la puerta cerrada el mayor tiempo posible.

L. Conclusiones

- Con la instalación del equipo propuesto se garantiza un enfriamiento adecuado de las bandas de hule.
- De los dos refrigerantes analizados el mejor refrigerante para esta aplicación es el R-22.
- La carga miscelánea produce un calor similar a la carga por el enfriamiento del producto para este caso específico.
- Los ventiladores son imprescindibles para lograr el adecuado enfriamiento del hule.

VIII. Nomenclatura empleada

Abreviatura y símbolo

cc	calor de compresión	Tcond	temperatura de condensación
CDR	coeficiente de rendimiento	Tev	temperatura de evaporación
CDRmáx	coeficiente de rendimiento máximo	t	tonelada de refrigeración
CR	calor de rechazo	TPM	Mantenimiento productivo total
DT	diferencial de temperatura	v	volumen específico
Elect	electricista	Valv.	Válvula
ER	efecto refrigerante	Vt	desplazamiento volumétrico
h	entalpía		
hf	entalpía de líquido saturado		
Hr	hora		
Lubric	lubricación		
Mec	mecánico		
m°	flujo másico		
NO-P	Inspecciones no paro		
P	presión		
Pot	potencia		
Q	flujo de calor		
Qr	flujo total de calor de rechazo		
RCM	Mantenimiento centrado en la confiabilidad		
SI-P	Inspecciones si paro		
T	temperatura		

IX. Bibliografía

Alpízar Rojas, Luis Fernando. **Informe de Práctica de Especialidad** (Industria Firestone de Costa Rica, S.A.). Cartago: ITCR, 2002.

Althouse, Andrew Daniel; Turnquist, Carl H. y Bracciano, Alfred F. **Modern refrigeration and air conditioning**. 7th edition. Illinois: The Goodheart-Willcox, 1996.

Dossat, Roy J. **Principios de Refrigeración**. México: Editorial Continental, 1980

Firestone Corporate Engineering. **Instruction Manual: 85H Tire Assembly Machine**. Ohio (USA), 1978.

Firestone Corporate Engineering. **Instruction Manual: 85E Tire Assembly Machine**. Ohio (USA), 1978.

Lopez Gómez, Antonio. **Las instalaciones frigoríficas en las bodegas (Manual de Diseño)**. Madrid: Ediciones A. Madrid Vicente, 1992.

National Rubber Machinery Company. **Slideback dual platen autoform tire vulcanizer**, Ohio (USA), 1962.

Perry, John H., **Chemical Engineers' Handbook**, 4th ed., USA: Mac Graw Hill, 1963.

Pita, Edward G. **Pincipios y Sistemas de Refrigeración**. México D.F.: Editorial Limusa, 1991.

Valverde Vega, Jorge. **Administración de Mantenimiento**. Cartago: Editorial Tecnológica, 2001.

Van Wylen, Gordon J. **Fundamentos de termodinámica**. 2^a ed. México: Editorial Limusa, 2000.

<http://www.mycomspain.com/>, 12/04/2003.

X. ANEXOS

A. Cálculo de la carga térmica del cuarto de enfriamiento

CARGA DE REFRIGERACION

Cuarto

Dimensiones

ancho	5.05m	*Altura por material aislante de pared	
largo	10.1m	Poliestireno	1.25m
alto*	3m	Vidrio doble	0.85m
Area adicional		Poliestireno	0.9m
ancho	1.5m	Total	3m
largo	1.85m		

Area del techo 53.78m²

Area del piso 53.78m²

Area lateral

Poliestireno 71.595m²

Vidrio doble 28.305m²

Humedad relativa

Almacenamiento 38.00%

Ambiente exterior 76.00%

Temperaturas

Almacenamiento	16°C	289K
Ambiente exterior	33°C	306K
DT	17°C	17K

Aislamiento:	Poliestireno expandido	
Esesor	2.54cm	
Coeficiente de transferencia calor	0.558W/m2*°C por cada cm	

CARGA DE TRANSMISION DE CALOR

Elemento	Ganancia transmisión de Calor kJ/m2 por 24h	Carga de transmisión kJ por 24h
Poliestireno	2044.062	146344.62
vidrio sencillo	9198.279	260357.29
Vidrio doble	3747.447	106071.49
Piso	1533.0465	82447.241
Total		334863.35kJ por 24h

INFILTRACION DE AIRE

Volumen de cuarto	161.34m3	
Cambios de aire	7.2en 24 horas (Tabla 14.5)	
Factor de servicio	2.5(uso intensivo)	
Cambios de aire con factor	18en 24 horas	
Calor removido del aire que entra	<u>53.63619kJ/m3</u>	Dossat
Calor por infiltración	155765.9kJ por 24 h	

CARGA DE ENFRIAMIENTO DEL PRODUCTO

Cantidad de producto	10000kg por 24 h	
Temperatura ingreso	115°C	
Temperatura salida	18°C	
DT	97°C	
Calor específico hule	<u>1.7336463kJ/kg°C</u>	(Hule vulcanizado)
Q	1681636.9kJ por 24 h	

CARGAS MISCELANEAS

Carga por ocupantes			
# Ocupantes	1		
Tiempo	5h por 24h		
Equivalente térmico/persona	210.8346W	tabla 14.9	
Q	3795.022kJ por 24 h		
Alumbrado			
Area	53.78m ²		
Cantidad de W/m ²	16.1376W/m ²		
Factor de conversión	1W/W		
Tiempo por 24 h	24h/24h		
Q	20829.12kJ por 24 h		

Motores	Potencia (W)	Cantidad	Equivalente Térmico (kJ/W/h) tabla 14.10	Horas por 24h	Carga kJ en 24 h
Bandas transportadoras	1492	6	4.66689008	20	835560
Ventiladores pequeños	49.73	17	8.060991957	24	163567.2
Ventiladores grandes	186.50	18	5.656836461	24	455760
				Total	1454887
Total cargas misceláneas		1479511kJ por 24 h			

Carga refrigeración	3651777.54kJ por 24 h	
Factor de seguridad	10.00%	
Total carga refrigeración	4016955.3kJ por 24 h	
Tiempo de operación del compresor	18h/24 h	
Carga horaria	223164.183kJ/h	62.0kW
	17.6275026Ton de refrigeración	

B. Tabla 14.1 Ganancias por transmisión de calor

Tabla 14.1 Ganancias por transmisión de calor (Btu/pie² por 24 horas)*.

Aislamiento ^b		Diferencia de temperatura en °F (temperatura ambiente-temperatura de almacenamiento)																						
Esesor, en pulgadas	Factor K ^c	1	10	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	
1	0.30	7.2	72	144	216	288	324																	
	0.25	6.0	60	120	180	240	270	300	330															
	0.20	4.8	48	96	144	192	216	240	264	288	312													
	0.16	3.84	38	77	115	154	173	192	211	230	250	269	288	307										
	0.14	3.36	34	67	101	134	151	168	185	202	218	235	252	269	286	302								
2	0.30	3.6	36	72	108	144	162	180	198	216	234	252	270	288	306									
	0.25	3.0	30	60	90	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300						
	0.20	2.4	24	48	72	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240	252	264	276	288	300	
	0.16	1.92	19	38	58	77	86	96	106	115	125	134	144	154	163	173	182	192	202	211	221	230	240	
	0.14	1.68	17	34	50	67	76	84	92	101	109	118	126	134	143	151	160	168	176	185	193	202	210	
3	0.30	2.4	24	48	72	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240	252	264	276	288	300	
	0.25	2.0	20	40	60	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	
	0.20	1.6	16	32	48	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152	160	168	176	184	192	200	
	0.16	1.28	13	26	38	51	58	64	70	77	83	90	96	102	109	115	122	128	134	141	147	154	160	
	0.14	1.13	11	23	34	45	50	56	62	67	73	78	84	90	95	101	106	112	118	123	129	134	140	
4	0.30	1.8	18	36	54	72	81	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189	198	207	216	225	
	0.25	1.5	15	30	45	60	68	75	83	90	98	105	113	120	128	135	143	150	158	165	173	180	188	
	0.20	1.2	12	24	36	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	
	0.16	0.96	10	19	29	38	43	48	53	58	62	68	72	77	82	87	91	96	101	106	111	115	120	
	0.14	0.84	9	17	25	34	38	42	46	50	55	59	63	68	71	75	80	84	88	92	97	101	105	
5	0.30	1.44	14	29	42	58	65	72	79	87	94	101	108	115	122	130	137	144	151	159	166	172	180	
	0.25	1.2	12	24	36	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	
	0.20	0.96	10	19	29	38	43	48	53	58	62	67	72	77	82	86	91	96	101	106	110	115	120	
	0.16	0.76	8	15	23	31	35	38	42	46	50	54	58	61	65	69	73	77	81	84	88	92	96	
	0.14	0.67	7	13	20	27	30	34	37	40	44	47	50	54	57	60	64	67	71	74	77	81	84	
6	0.30	1.2	12	24	36	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150	
	0.25	1.0	10	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	
	0.20	0.8	8	16	24	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	
	0.16	0.64	6	13	19	26	29	32	35	38	42	45	48	51	54	58	61	64	67	70	74	77	80	
	0.14	0.56	6	11	17	22	25	28	31	34	36	39	42	45	48	50	53	56	59	62	64	67	70	
7	0.30	1.02	10	20	30	41	46	52	57	62	67	72	77	82	88	93	98	103	108	113	118	124	129	
	0.25	0.85	9	17	26	34	39	43	47	51	56	60	64	69	73	77	81	86	90	94	99	103	107	
	0.20	0.68	7	14	21	27	31	34	38	41	45	48	51	55	58	62	65	69	72	75	79	82	86	
	0.16	0.51	6	10	15	20	23	26	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	
	0.14	0.45	6	9	13	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	
8	0.30	0.90	9	18	27	36	41	45	50	54	59	63	68	72	77	81	86	90	95	99	104	108	113	
	0.25	0.75	8	15	23	30	34	38	41	45	49	53	56	60	64	68	71	75	79	83	86	90	94	
	0.20	0.60	6	12	18	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	
	0.16	0.48	6	11	16	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	
	0.14	0.42	6	10	14	19	22	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	
9	0.30	0.80	8	16	24	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	
	0.25	0.67	7	13	20	27	30	34	37	40	44	47	50	54	57	60	64	67	70	74	77	80	84	
	0.20	0.54	6	11	17	22	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	
	0.16	0.43	6	10	14	19	22	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	
	0.14	0.38	6	9	13	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	
10	0.30	0.72	7	14	21	29	32	36	40	43	47	50	54	58	61	65	68	72	76	79	83	86	90	
	0.25	0.60	6	12	18	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	
	0.20	0.48	6	11	16	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	
	0.16	0.37	6	10	13	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	
	0.14	0.32	6	9	12	17	20	23	26	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	
11	0.30	0.65	6.5	13	19.5	26	30	33	36	40	43	46	50	53	56	60	63	66	69	73	76	79	82	
	0.25	0.55	5.5	11	17	22	25	28	30	33	36	39	41	44	47	50	52	55	58	61	63	66	69	
	0.20	0.44	5	10	14	19	22	25	28	30	33	36	39	41	44	47	50	52	55	58	61	63	66	
	0.16	0.33	5	9	12	16	19	22	25	28	30	33	36	39	41	44	47	50	52	55	58	61	63	
	0.14	0.29	5	8	11	15	18	21	24	27	30	33	36	39	41	44	47	50	52	55	58	61	63	
12	0.30	0.60	6	12	18	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	
	0.25	0.50	5	10	15	20	23	25	28	30	33	35	38	40	43	45	48	50	53	55	58	60	63	
	0.20	0.40	4	8	12	16	19	22	25	28	30	33	35	38	40	43	45	48	50	53	55	58	60	
	0.16	0.30	4	7	10	14	17	20	23	25	28	30	33	35	38	40	43	45	48	50	53	55	58	
	0.14	0.27	4	6	9	12	15	18	21	23	26	28	31	33	36	38	41	43	46	48	51	53	56	
Vidrio sencillo		27	270	540	810	1080	1220	1350	1490	1620														
Vidrio doble		11	110	220	330	440	500	500	610	660	715	770	825	880	936	990	1050	1100	1160	1210	1270	1320	1375	
Vidrio triple		7	70	140	210	280	320	350	390	420	454	490	525	560	595	630	665	700	740	770	810	840	875	
Área del piso menor de 144 pie ²		6	60	120	180	240	270																	
Área del piso mayor de 144 pie ²		4.5	45	90	135	180	203																	

* Para un piso de concreto de 6 a 8 pulgadas de espesor, colado sobre el terreno y sin aislamiento, utilícese la DT entre la temperatura promedio del terreno en el verano y la temperatura del local.

(Nota: Lo anterior no se recomienda para congeladores o enfriadores que operan cerca de la temperatura de congelación. Se recomienda utilizar pisos aislados en todos los enfriadores y congeladores (utilícese el espesor del aislamiento y la DT del cuarto para determinar la temperatura de la losa).

^b Aislamiento *k = 0.30, planchas de corcho, lana mineral.

k = 0.25, fibra de vidrio, espuma de estireno, poliestireno expandido.

k = 0.20, poliestireno moldeado.

k = 0.16, uretano esparado, hojas, losas y paneles de espuma de uretano.

k = 0.14, paneles de uretano (espumado (expandido) en el lugar).

^c factor k en Btu/h/pie²/°F/pulg

Cortesía de Dunham-Bush, Inc.

C. Tabla 14.5 Infiltración de aire en cuartos fríos

Tabla 14.5 Infiltración de aire en cuartos fríos para almacenamiento.

Promedio de cambios de aire por 24 horas en cuartos de almacenamiento a temperaturas mayores de 32°F, debidos a la abertura de la puerta y a la infiltración^a.

Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 h	Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 h	Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 h	Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 h
200	44.0	800	20.0	5000	7.2	25,000	3.0
250	38.0	1000	17.5	6000	6.5	30,000	2.7
300	34.5	1500	14.0	8000	5.5	40,000	2.3
400	29.5	2000	12.0	10,000	4.9	50,000	2.0
500	26.0	3000	9.5	15,000	3.9	75,000	1.6
600	23.0	4000	8.2	20,000	3.5	100,000	1.4
						350,000	1.13 [*]
						700,000	0.97 ^{**}

Promedio de cambios de aire por 24 horas en cuartos de almacenamiento a temperaturas menores de 32°F, debidos a la abertura de la puerta y a la infiltración^b.

Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 h	Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 h	Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 h	Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 h
200	33.5	800	15.3	5000	5.6	25,000	2.3
250	29.0	1000	13.5	6000	5.0	30,000	2.1
300	26.2	1500	11.0	8000	4.3	40,000	1.8
400	22.5	2000	9.3	10,000	3.8	50,000	1.6
500	20.0	3000	7.4	15,000	3.0	75,000	1.3
600	18.0	4000	6.3	20,000	2.6	100,000	1.1
						150,000	0.88 ^{*c}
						200,000	.77

^a Para uso intenso, se multiplican los valores anteriores por un factor de servicio de 2. Para un período largo de almacenamiento, se multiplican por 0.6.

^b Para uso intenso, se multiplican los valores anteriores por un factor de servicio de 2. Para un período largo de almacenamiento, se multiplican por 0.6. Si hay 2 puertas en la misma pared, se multiplican por 1.25. Para el caso de 2 puertas situadas en paredes opuestas, se multiplican por 2.5, pero no se deben permitir dos puertas abiertas en paredes adyacentes u opuestas.

^c Extrapolado

Cortesía de Durham-Bush, Inc.

D. Tabla 14.6 Calor removido al enfriar el aire exterior hasta la temperatura del cuarto.

Tabla 14.6 Calor removido al enfriar el aire exterior hasta la temperatura del cuarto de almacenamiento, Btu/pie³

Temperatura del cuarto de almacenamiento, °F	Temperatura del aire exterior, °F								Temperatura del cuarto de almacenamiento, °F	Temperatura del aire exterior, °F							
	85		90		95		100			40		50		90		100	
	Humedad relativa, %									Humedad relativa, %							
	50	60	50	60	50	60	50	60		70	80	70	80	50	60	50	60
65	0.65	0.85	0.93	1.17	1.24	1.54	1.58	1.95	30	0.24	0.29	0.58	0.66	2.26	2.53	2.95	3.35
60	0.85	1.03	1.13	1.37	1.44	1.74	1.78	2.15	25	0.41	0.45	0.75	0.83	2.44	2.71	3.14	3.54
55	1.12	1.34	1.41	1.66	1.72	2.01	2.06	2.44	20	0.56	0.61	0.91	0.99	2.62	2.90	3.33	3.73
50	1.32	1.54	1.62	1.87	1.93	2.22	2.28	2.65	15	0.71	0.75	1.06	1.14	2.80	3.07	3.51	3.92
45	1.50	1.73	1.80	2.06	2.12	2.42	2.47	2.85	10	0.85	0.89	1.19	1.27	2.93	3.20	3.64	4.04
40	1.69	1.92	2.00	2.26	2.31	2.62	2.67	3.06	5	0.98	1.03	1.34	1.42	3.12	3.40	3.84	4.27
35	1.86	2.09	2.17	2.43	2.49	2.79	2.85	3.24	0	1.12	1.17	1.48	1.56	3.28	3.56	4.01	4.43
30	2.00	2.24	2.26	2.53	2.64	2.94	2.95	3.35	-5	1.23	1.28	1.59	1.67	3.41	3.69	4.15	4.57
									-10	1.35	1.41	1.73	1.81	3.56	3.85	4.31	4.74
									-15	1.50	1.53	1.85	1.92	3.67	3.96	4.42	4.86
									-20	1.63	1.68	2.01	2.09	3.88	4.18	4.66	5.10
									-25	1.77	1.80	2.12	2.21	4.00	4.30	4.78	5.21
									-30	1.90	1.95	2.29	2.38	4.21	4.51	4.90	5.44

Compañía de Durham-Bush, Inc.

E. Tabla 14.9 Calor corporal de los ocupantes**Tabla 14.9** Calor corporal de los ocupantes

Temperatura del refrigerador en °F	Equivalente térmico por persona En BTU/h
50	720
40	840
30	950
20	1050
10	1200
0	1300
-10	1400

Cortesía de Dunham-Bush

F. Tabla 14.10 Equivalente térmico de motores

Tabla 14.10 Equivalente térmico de los motores eléctricos^a.

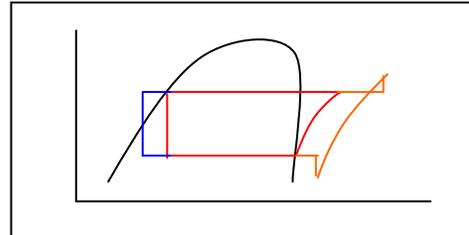
<i>Motor del ventilador del evaporador, hp</i>	<i>Carga conectada en el espacio refrigerado Btu/hp/h</i>	<i>Pérdidas en el motor fuera del espacio refrigerado, Btu/hp/h</i>	<i>Carga conectada fuera del espacio refrigerado, Btu/hp/h</i>
1/20	6400	2545	
1/15	5700	2545	
1/12	5300	2545	
1/10	4950	2545	
1/8	4650	2545	
1/6	4350	2545	
1/4	4000	2545	1455
1/3	3850	2545	1305
1/2	3700	2545	1155
3/4	3600	2545	1055
1	3500	2545	955
2	3300	2545	755
3	3200	2545	655
5	3100	2545	555
7 1/2	3050	2545	505
10 to 20	3000	2545	455

^aPara los motores con capacidad nominal en watts (de entrada), se multiplican watts por 3.41 Btu/W/h
Cortesía de Dunham-Bush, Inc.

G. Comportamiento del refrigerante R-22 en el ciclo

SELECCION DE EQUIPO

Refrigerante R-22
 Carga horaria= 214868,9BTU/h



Temperatura de evaporación	
T cuarto	60,8°F
Serpent. II DT	10°F
Tev	50,8°F
Temperatura de condensación	
Texterior	91,4°F
Por aire DT	20°F
Tcond.	111,4°F

Ciclo ideal presión-entalpía

Condición	T (°F)	P (psi a)	h (BTU/lb)	v (ft ³ /lb)
1	111	245	42--	
2	50	100	42--	
3	50	100	109	0,57
4	135	245	118	0,25
5	111	245	113	0,23
1'	100	245	40--	
2'	50	100	40--	
3'	58	97	111	0,62
4'	160	252	123	0,27

Pérdida en la tubería
2°F

Subenfriamiento	10°F
Sobre calentamiento	10°F

hf (evapor.) 22

Efecto refrigerante			Cantidad total calor de rechazo		
	ideal	real		ideal	real
ER=	67	71BTU/lb	Qr=	4062,198	4186,413BTU/min

Flujo másico del refrigerante			Coeficiente rendimiento		
	ideal	real		ideal	real
m°=	53,44998	50,43871lb/min	CDR=	7,444444	5,916667

Calor de compresión			Coeficiente máximo de rendimiento		
	ideal	real			
CC=	9	12BTU/lb	CDRmáx	8,429043	

Potencia teórica requerida por el compresor			Porcentaje rendimiento		
	ideal	real		ideal	real
P=	481,0498	605,2646BTU/min	percentage	88,3%	70,2%
	8,458459	10,64257kW			
	11,33842	14,26618hp			

Desplazamiento teórico por el compresor			Porcentaje de Gas Flash		
	ideal	real		ideal	real
Vt=	30,46649	31,272ft3/min	percentage	23,0%	20,7%

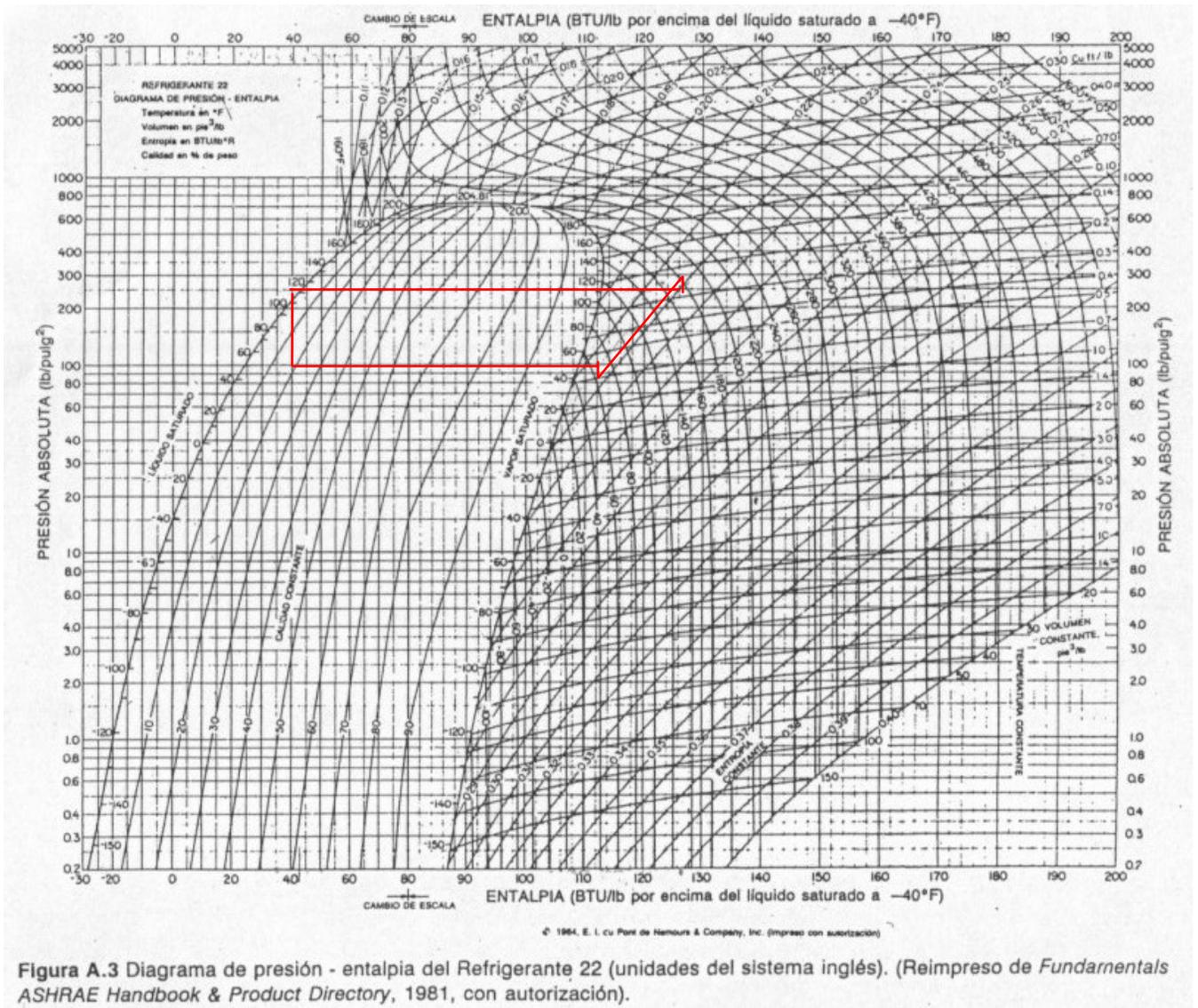
Calor de rechazo		
	ideal	real
CR=	76	83BTU/lb

H. Propiedades del R-22

Temperatura *F	Presión		Volumen	Densidad	Entalpia **		Entropia **		Temperatura *F	Presión		Volumen	Densidad	Entalpia **		Entropia **	
	psia	psig	pie ³ /lb	lb/ pie ³	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor		psia	psig	pie ³ /lb	lb/ pie ³	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor
			v _g	l _g	h _f	h _g	s _f	s _g							h _f	h _g	s _f
-150	0.27163	29.36816*	141.23	98.236	-25.374	87.521	-0.07147	0.25501	44	89.177	74.481	0.61448	78.770	22.558	108.472	0.24855	0.21912
-145	0.34999	29.20861*	111.34	97.800	-24.851	88.100	-0.06787	0.29106	46	92.280	77.584	0.59422	78.526	23.129	108.634	0.04967	0.21876
-140	0.44692	29.01126*	88.532	97.363	-23.725	88.681	-0.06432	0.28729	48	95.463	80.767	0.57476	78.280	23.701	108.795	0.05079	0.21839
-135	0.56584	28.76914*	70.981	96.922	-22.596	89.263	-0.06082	0.28369	50	98.727	84.031	0.55606	78.033	24.275	108.953	0.05190	0.21803
-130	0.71060	28.47441*	57.356	96.480	-21.463	89.848	-0.05736	0.28027	52	102.07	87.38	0.53808	77.784	24.851	109.109	0.05301	0.21768
-125	0.88551	28.11829*	46.692	96.035	-20.326	90.433	-0.05394	0.27700	54	105.50	90.81	0.52078	77.534	25.429	109.263	0.05412	0.21732
-120	1.0954	27.6910*	38.280	95.587	-19.185	91.020	-0.05055	0.27388	56	109.02	94.32	0.50414	77.282	26.008	109.415	0.05523	0.21697
-115	1.3455	27.1818*	31.594	95.137	-18.038	91.608	-0.04720	0.27090	58	112.62	97.93	0.48813	77.028	26.589	109.564	0.05634	0.21662
-110	1.6417	26.5788*	26.242	94.684	-16.886	92.196	-0.04389	0.26805	60	116.31	101.62	0.47272	76.773	27.172	109.712	0.05745	0.21627
-105	1.9903	25.8689*	21.930	94.228	-15.728	92.783	-0.04060	0.26533	62	120.09	105.39	0.45788	76.515	27.757	109.857	0.05855	0.21592
-100	2.3983	25.0383*	18.433	93.770	-14.564	93.371	-0.03734	0.26274	64	123.96	109.26	0.44358	76.257	28.344	110.000	0.05966	0.21558
-98	2.5798	24.6688*	17.222	93.585	-14.097	93.606	0.03605	0.26173	66	127.92	113.22	0.42981	75.996	28.932	110.140	0.06076	0.21524
-96	2.7724	24.2765*	16.104	93.401	-13.628	93.840	-0.03476	0.26074	68	131.97	117.28	0.41653	75.733	29.523	110.280	0.06186	0.21490
-94	2.9768	23.8604*	15.072	93.215	-13.158	94.075	-0.03347	0.25977	70	136.12	121.43	0.40373	75.469	30.116	110.414	0.06296	0.21456
-92	3.1934	23.4193*	14.118	93.030	-12.688	94.309	-0.03219	0.25881	72	140.37	125.67	0.39139	75.202	30.710	110.547	0.06406	0.21422
-90	3.4229	22.9522*	13.235	92.843	-12.216	94.544	-0.03091	0.25787	74	144.71	130.01	0.37949	74.934	31.307	110.677	0.06516	0.21388
-88	3.6657	22.4579*	12.417	92.657	-11.743	94.777	-0.02963	0.25695	76	149.15	134.45	0.36800	74.664	31.906	110.805	0.06626	0.21355
-86	3.9224	21.9352*	11.659	92.469	-11.268	95.011	-0.02836	0.25604	78	153.69	138.99	0.35691	74.391	32.506	110.930	0.06736	0.21321
-84	4.1936	21.3829*	10.955	92.282	-10.793	95.244	-0.02709	0.25515	80	158.33	143.63	0.34621	74.116	33.109	111.052	0.06846	0.21288
-82	4.4800	20.7998*	10.302	92.093	-10.316	95.478	-0.02583	0.25428	82	163.07	148.37	0.33587	73.839	33.714	111.171	0.06956	0.21255
-80	4.7822	20.1846*	9.6949	91.905	-9.838	95.710	-0.02547	0.25342	84	167.92	153.22	0.32588	73.560	34.322	111.288	0.07065	0.21222
-78	5.1007	19.5361*	9.1301	91.715	-9.359	95.943	-0.02331	0.25257	86	172.87	158.17	0.31623	73.278	34.931	111.401	0.07175	0.21188
-76	5.4363	18.8528*	8.6043	91.525	-8.878	96.175	-0.02206	0.25174	88	177.93	163.23	0.30690	72.994	35.543	111.512	0.07285	0.21155
-74	5.7896	18.1334*	8.1145	91.335	-8.397	96.406	-0.02081	0.25092	90	183.09	168.40	0.29789	72.708	36.158	111.619	0.07394	0.21122
-72	6.1614	17.3766*	7.6579	91.144	-7.914	96.637	-0.01956	0.25012	92	188.37	173.67	0.28917	72.419	36.774	111.723	0.07504	0.21089
-70	6.5522	16.5809*	7.2318	90.952	-7.429	96.868	-0.01832	0.24932	94	193.76	179.06	0.28073	72.127	37.394	111.824	0.07613	0.21056
-68	6.9628	15.7449*	6.8339	90.760	-6.944	97.098	-0.01708	0.24855	96	199.26	184.56	0.27257	71.833	38.016	111.921	0.07723	0.21023
-66	7.3939	14.8671*	6.4621	90.568	-6.457	97.328	-0.01584	0.24778	98	204.87	190.18	0.26467	71.536	38.640	112.015	0.07832	0.20989
-64	7.8463	13.9460*	6.1144	90.374	-5.968	97.557	-0.01460	0.24703	100	210.60	195.91	0.25702	71.236	39.267	112.105	0.07942	0.20956
-62	8.3208	12.9800*	5.7891	90.180	-5.479	97.786	-0.01337	0.24629	102	216.45	201.76	0.24962	70.933	39.897	112.192	0.08052	0.20923
-60	8.8180	11.9677*	5.4844	89.986	-4.987	98.014	-0.01214	0.24556	104	222.42	207.72	0.24244	70.626	40.530	112.274	0.08161	0.20889
-58	9.3388	10.9074*	5.1989	89.791	-4.495	98.241	-0.01092	0.24484	106	228.50	213.81	0.23549	70.317	41.166	112.353	0.08271	0.20855
-56	9.8839	9.7975*	4.9312	89.595	-4.001	98.468	-0.00969	0.24414	108	234.71	220.02	0.22875	70.005	41.804	112.427	0.08381	0.20821
-54	10.454	8.636*	4.6799	89.399	-3.506	98.694	-0.00847	0.24345	110	241.04	226.35	0.22222	69.689	42.446	112.498	0.08491	0.20787
-52	11.051	7.422*	4.4440	89.202	-3.009	98.920	-0.00725	0.24276	112	247.50	232.80	0.21589	69.369	43.091	112.564	0.08601	0.20753
-50	11.674	6.154*	4.2224	89.004	-2.511	99.144	-0.00604	0.24209	114	254.08	239.38	0.20974	69.046	43.739	112.626	0.08711	0.20718
-48	12.324	4.829*	4.0140	88.806	-2.012	99.369	-0.00483	0.24143	116	260.79	246.10	0.20378	68.719	44.391	112.682	0.08821	0.20684
-46	13.004	3.445*	3.8179	88.607	-1.511	99.592	-0.00361	0.24078	118	267.63	252.94	0.19800	68.388	45.046	112.735	0.08932	0.20649
-44	13.712	2.002*	3.6334	88.407	-1.009	99.814	-0.00241	0.24014	120	274.60	259.91	0.19238	68.054	45.705	112.782	0.09042	0.20613
-42	14.451	0.498*	3.4596	88.207	-0.505	100.036	-0.00120	0.23951	122	281.71	267.01	0.18692	67.714	46.368	112.824	0.09153	0.20578
-40	15.222	0.526	3.2957	88.006	0.000	100.257	0.00000	0.23888	124	288.95	274.25	0.18163	67.371	47.034	112.860	0.09264	0.20542
-38	16.024	1.328	3.1412	87.805	0.506	100.477	0.00120	0.23827	126	296.33	281.63	0.17648	67.023	47.705	112.891	0.09375	0.20505
-36	16.859	2.163	2.9954	87.602	1.014	100.696	0.00240	0.23767	128	303.84	289.14	0.17147	66.670	48.380	112.917	0.09487	0.20468
-34	17.728	3.032	2.8578	87.399	1.524	100.914	0.00359	0.23707	130	311.50	296.80	0.16661	66.312	49.059	112.936	0.09598	0.20431
-32	18.633	3.937	2.7278	87.195	2.035	101.132	0.00479	0.23649									

(continúa)

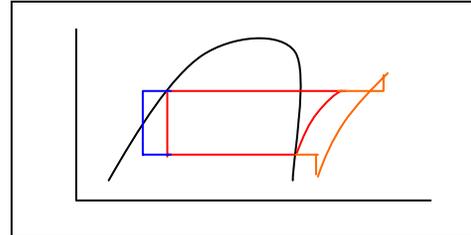
I. Diagrama de presión- entalpía para el R-22



J. Comportamiento del refrigerante R-134-a en el ciclo

SELECCION DE EQUIPO

Refrigerante R-134a
 Carga horaria= 214868,9BTU/h



Temperatura de evaporación	
T cuarto	60,8°F
Serpent. II DT	10°F
Tev	50,8°F
Temperatura de condensación	
Texterior	91,4°F
Por aire DT	20°F
Tcond.	111,4°F

Ciclo ideal presión-entalpía

Condición	T (°F)	P (psi a)	h (BTU/lb) v (ft ³ /lb)
1	111	164	50--
2	50	60	50--
3	50	60	109
4	118	164	118
5	111	164	116
1'	100	164	45--
2'	50	60	45--
3'	58	58	112,5
4'	113	169	123
hf (evapor.)			27

Pérdida en la tubería
2°F

Subenfriamiento
10°F

Sobre calentamiento
10°F

Efecto refrigerante			Cantidad total calor de rechazo		
	ideal	real		ideal	real
ER=	59	67,5BTU/lb	Qr=	4127,425	4138,216

Flujo másico del refrigerante			Coeficiente rendimiento		
	ideal	real		ideal	real
m°=	60,69743	53,05405lb/min	CDR=	6,555556	6,428571

Calor de compresión			Coeficiente máximo de rendimiento		
	ideal	real		ideal	real
CC=	9	10,5BTU/lb	CDRmáx	8,429043	

Potencia teórica requerida por el compresor			Porcentaje rendimiento		
	ideal	real		ideal	real
P=	546,2769	557,0676BTU/min	percentage	77,8%	76,3%
	9,605369	9,795105kW			
	12,87583	13,13017hp			

Desplazamiento teórico por el compresor			Porcentaje de Gas Flash		
	ideal	real		ideal	real
Vt=	48,55795	46,15703ft3/min	percentage	28,0%	22,0%

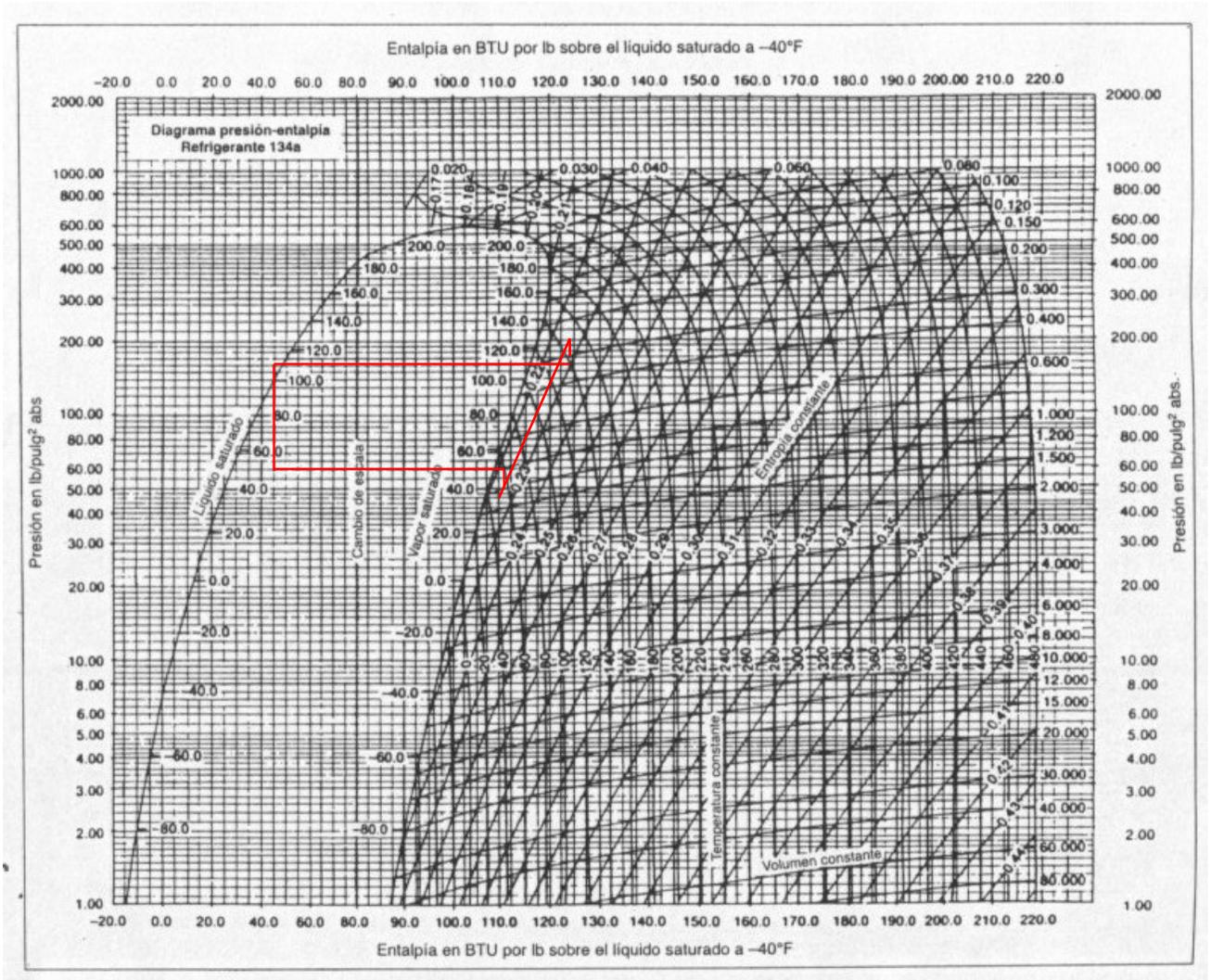
Calor de rechazo		
	ideal	real
CR=	68	78BTU/lb

K. Propiedades del R-134-a

TABLA A.5I Propiedades termodinámicas del refrigerante-134a (1, 1, 1, 2-tetrafluoroetano)
TABLA A.5.II Refrigerante-134a saturado (unidades inglesas)

Temp. °F	Presión absoluta lbf/pulg ² P	Volumen específico, pies ³ /lbm			Entalpía, Btu/lbm			Entropía, Btu/lbm°R		
		Líquido saturado v_f	Evap. v_{fg}	Vapor saturado v_g	Líquido saturado h_f	Evap. h_{fg}	Vapor saturado h_g	Líquido saturado s_f	Evap. s_{fg}	Vapor saturado s_g
-25	11.4028	0.011526	3.8551	3.8666	68.382	94.451	162.833	0.2010	0.2173	0.4183
-20	13.0097	0.011592	3.4049	3.4164	69.863	93.724	163.587	0.2044	0.2132	0.4175
-10	16.7602	0.011729	2.6804	2.6921	72.868	92.220	165.089	0.2111	0.2051	0.4162
0	21.3150	0.011873	2.1339	2.1458	75.924	90.658	166.582	0.2178	0.1972	0.4150
10	26.7864	0.012024	1.7162	1.7282	79.024	89.039	168.064	0.2244	0.1896	0.4140
30	40.9608	0.012350	1.1398	1.1522	85.344	85.632	170.976	0.2375	0.1749	0.4124
35	45.2708	0.012437	1.0339	1.0464	86.948	84.742	171.690	0.2408	0.1713	0.4121
40	49.9206	0.012526	0.93952	0.9520	88.563	83.834	172.397	0.2440	0.1678	0.4118
45	54.9278	0.012619	0.85509	0.8677	90.188	82.910	173.097	0.2472	0.1643	0.4115
50	60.3101	0.012714	0.77942	0.7921	91.823	81.966	173.789	0.2504	0.1608	0.4112
55	66.0855	0.012812	0.71145	0.72426	93.469	81.002	174.471	0.2536	0.1574	0.4110
60	72.2724	0.012913	0.65024	0.66316	95.127	80.017	175.144	0.2568	0.1540	0.4108
65	78.8898	0.013017	0.59502	0.60803	96.797	79.010	175.807	0.2600	0.1506	0.4105
70	85.9569	0.013125	0.54508	0.55820	98.479	77.979	176.457	0.2631	0.1472	0.4103
75	93.4933	0.013237	0.49983	0.51307	100.174	76.922	177.096	0.2663	0.1439	0.4101
80	101.5189	0.013353	0.45875	0.47210	101.882	75.838	177.720	0.2694	0.1405	0.4099
85	110.0543	0.013474	0.42138	0.43485	103.605	74.725	178.330	0.2725	0.1372	0.4097
90	119.1203	0.013599	0.38731	0.40091	105.342	73.582	178.924	0.2757	0.1339	0.4095
95	128.7381	0.013730	0.35621	0.36994	107.095	72.406	179.501	0.2788	0.1305	0.4093
100	138.9297	0.013866	0.32775	0.34162	108.864	71.194	180.059	0.2819	0.1272	0.4091
110	161.1238	0.014156	0.27772	0.29188	112.455	68.657	181.113	0.2882	0.1205	0.4087
120	185.8877	0.014475	0.23540	0.24988	116.123	65.949	182.072	0.2945	0.1138	0.4082
130	213.4166	0.014830	0.19933	0.21416	119.876	63.043	182.919	0.3008	0.1069	0.4077
140	243.9180	0.015227	0.16837	0.18360	123.729	59.904	183.633	0.3071	0.0999	0.4070
150	277.6140	0.015679	0.14156	0.15724	127.698	56.487	184.185	0.3135	0.0927	0.4062

L. Diagrama de presión- entalpía para el R-134a



M. Cotización del equipo

Esta cotización fue realizada por la empresa MYCOM CENTROAMERICANA, en ella se cotiza tanto equipo como la instalación.



Señores:

FIRESTONE
Atn: Sr. Marco Antonio Gomes
Departamento de ingeniería
Tel: (506) 293 3939
Fax: (506) 2931515

PRESUPUESTO MCR11270503

REF: SUMINISTRO DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN PARA CUARTO DE ENFRIAMIENTO DE TIRAS DE HULE VULCANIZADO A UNA TEMPERATURA DE 16°C.

CARACTERÍSTICA:

Temperatura de la cámara 16°C
Temperatura de entrada del producto 115°C
Cantidad del producto 10.000 KG/24 horas.

1. Una (1) unidad condensadora, con compresor SEMI-HERMETICO marca FRASCOLD de 15 HP, diseñado para funcionar con refrigerante R-22, 230 Vol. 3 fases, 60 Hz.
Compuesta por:

- Condensador enfriado por aire, con sus respectivos abanicos, motores y protectores de
- abanicos.
- Recibidor de liquido
- Control de presión de alta y baja
- Visor de liquido
- Filtro deshidratador.

2. Dos (2) evaporadores marca ECO, Fabricación Europea, con descongelamiento eléctrico. Diseñado para operar con R22, 220/1/60Hz.

VALOR DE SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN.....\$16.138.00

EXCLUSIONES:

- Accesorio de instalación mecánica de los equipos
- demolición ni movimiento de estructuras u obra civil.
- Ningún material o servicio no mencionado o consignado expresamente en esta oferta.

Centro Comercial Chayfer, S.A. Costado Norte de la Iglesia de San Antonio de Belén (Heredia) Segundo Piso Oficina # 15
Tel., (506) 293-2098 / 293-7661 / 293-7661 FAX 293-5991 E-mail: mycomcr@sol.racsa.co.cr Apdo. postal No. 167-4003
San José, Costa Rica.



CONDICIONES COMERCIALES

- VIGENCIA** : Treinta (30) días a partir de la fecha.
- FORMA DE PAGO** : 60% Contra orden de compra.
30 % Contra entrega del equipo.
10 % Contra instalación y puesta en marcha.
- NOTA** : Impuesto de ventas (13%) no incluido en los precios.
- PLAZO DE ENTREGA** : De cuatro (4) a seis (6) semana después de recibir la orden de Compra y el anticipo.
- GARANTIA** : Equipos de refrigeración (1) un año contra defectos de fabrica, siempre y cuando reciba el correcto mantenimiento. La garantía no cubre daños por fuerzas naturales mayores ni problemas en la alimentación eléctrica.

Atentamente,
MYCOM CENTROAMERICA, S.A.


Guillermo Rodríguez
Dpto. Servicio Técnico

Centro Comercial Chayfer, S.A. Costado Norte de la Iglesia de San Antonio de Belén (Heredia) Segundo Piso Oficina # 15
Tel., (506) 293-2098 / 293-7661 / 293-7661 FAX 293-5991 E-mail: mycomcr@sol.racsa.co.cr Apdo. postal No. 167-4003
San José, Costa Rica.

N. Análisis sobre la necesidad de mantener los ventiladores dentro del cuarto.

Para demostrar la necesidad de tener los ventiladores trabajando y con ello aumentar la transferencia de calor por convección forzada, se calculará la cantidad de energía que debe perder el hule en un tiempo de 333 segundos que tarda el proceso de enfriamiento.

Este cálculo se realizó anteriormente y se muestra en el Anexo A, cuyo resultado fue el siguiente: 1 681 636,9 kJ en 24 horas ó 19,46 kW.

Sin embargo, se mostrará el mismo cálculo de energías internas correspondientes a las temperaturas dadas, para así demostrar, que este valor es independiente del volumen de control utilizado para dicho fin.

Tiempo: 333 s

Velocidad de la banda: 0,254 m/s

Distancia: $d = v * t = 84,58 \text{ m}$

Peso: $0,451 \text{ kg/m} * 84,58 \text{ m} = 38,14 \text{ kg en } 333 \text{ segundos}$

$U = m * C_p * (\Delta T)$, Considerando que el calor específico del hule no sufre una variación considerable, al pasar de una temperatura de 115 a 18 °C. Esto con base en el criterio del ingeniero químico de la empresa.

$C_p = 1,7336463 \text{ kJ/kg} * ^\circ\text{C}$, tomado del Chemical Engineer's Handbook.

$$\begin{aligned}\Delta U &= m * C_p * (T_1 - T_2) \\ &= 38,14 \text{ kg} * 1,733646,3 \text{ kJ/kg} * ^\circ\text{C} * (115 ^\circ\text{C} - 18 ^\circ\text{C})\end{aligned}$$

$$= 6 414,85 \text{ kJ en } 333 \text{ s}$$

$$\Delta U = 19,26 \text{ kJ}$$

Se puede observar que el resultado obtenido es prácticamente el mismo para cualquier cantidad de producto.

Si se eliminan los ventiladores se tendrían las siguientes condiciones.

Temperatura de la cámara: 16°C

Velocidad de la banda de hule: 0,254 m/s

Velocidad relativa del aire: 0,254 m/s en la dirección opuesta

Las propiedades del aire a una temperatura de 16 °C (289 K) y a presión atmosférica son.

$$\rho = 1,229 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu = 14,73 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 0,02537 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Pr} = 0,71108$$

Se debe analizar como un proceso de transferencia por convección forzada, debido a la velocidad relativa del aire.

$$\text{Re} = \frac{V \cdot L_C}{\nu}, \quad V = 0,254 \text{ m/s}$$

$$L_C = \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}} = \frac{12,687 \text{ m}^2}{169,46 \text{ m}} = 0,0749 \text{ m}$$

$\text{Re} = 1290,98$, como $\text{Re} < 5 \cdot 10^5$ entonces corresponde a convección forzada con flujo laminar. Por lo tanto;

$$\text{Nu} = 0,664 \cdot \text{Re}^{1/2} \cdot \text{Pr}^{1/3} = 21,29$$

$$\text{Nu} = \frac{h_c \cdot L_C}{K} \Rightarrow h_c = \frac{\text{Nu} \cdot K}{L_C} = 7,21 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

El flujo de calor es:

$Q = A_i \cdot h_c \cdot \Delta T$, donde la temperatura del hule corresponde al promedio entre la temperatura de entrada y salida del volumen de control.

$$T_{hule} = \frac{115\text{ }^{\circ}\text{C} + 18\text{ }^{\circ}\text{C}}{2} = 66,5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = T_{hule} - T_{cuatro} = 66,5\text{ }^{\circ}\text{C} - 16\text{ }^{\circ}\text{C} = 50,5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$A_t = 2 * l * a = 2 * 84,58\text{ m} * 0,15\text{ m} = 25,37\text{ m}^2$$

$$Q = 9\ 241\text{ W} = 9,24\text{ kW}$$

Con el anterior resultado se observa que el calor perdido por el hule sin los ventiladores en un tiempo de 333 segundos es de apenas 9,24 kW.

A continuación se muestra información sobre los programas en donde fueron elaborados las tablas y figuras mostradas en el trabajo.

Programa: AUTOCAD 2000

Fig. 1.2 Flujograma del proceso

Programa: Excel (Office 2000)

Tabla 3.6 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina TAM 85E

Tabla 3.7 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina TAM 85E

Tabla 3.8 Distribución de tiempo de inspecciones de lubricación para la máquina TAM 85E

Tabla 3.9 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina NAF 39

Tabla 3.10 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina NAF 39

Tabla 3.11 Distribución de tiempo de inspecciones de lubricación para la máquina NAF 39

Tabla 3.12 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina NAF 45

Tabla 3.13 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina NAF 45

Tabla 3.14 Distribución de tiempo de inspecciones de lubricación para la máquina NAF 45

Tabla 3.15 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina NAF 46

Tabla 3.16 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina NAF 46

Tabla 3.17 Distribución de tiempo de inspecciones de lubricación para la máquina NAF 46

Tabla 3.18 Distribución de tiempo de inspecciones mecánicas para la máquina BPM

Tabla 3.19 Distribución de tiempo de inspecciones eléctricas para la máquina BPM

Tabla 3.20 Distribución de tiempo de inspecciones de lubricación para la máquina BPM

Anexo A. Cálculo de la carga térmica del cuarto de enfriamiento

Anexo E. Tabla 14.9 Calor corporal de los acupantes

Anexo G. Comportamiento del refrigerante R-22 en el ciclo

Anexo J. Comportamiento del refrigerante R-134-a en el ciclo

Las restantes figuras y tablas mostradas son imágenes o fueron elaboradas en WORD (Office 2000)