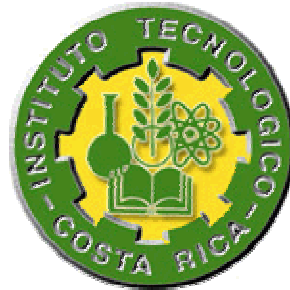


Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electromecánica



Irex de Costa Rica

Rediseño completo, cálculo de materiales y costos del sistema de distribución de aire comprimido de la planta

Creación de una plataforma para la implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad, RCM, a los equipos que se definan como críticos, de la planta de Irex

Informe de Práctica de Especialidad para optar por el grado de Licenciatura en
Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Omar Steve Mora Zúñiga

Cartago, Junio 2006

Profesor Guía

Ingeniero Oscar Bastos

Asesor Industrial

Ingeniero Luis Ortiz Oviedo

Dedicatoria

A Dios todopoderoso, como centro de mi vida,
que me ha guiado en este difícil camino y me ha dado las armas
para terminar con éxito mi carrera.

A mi Tita que me ha ayudado con su ejemplo de entrega y dedicación; y ahora lo
sigue haciendo desde el cielo.

A Liete por tenerme siempre en oración, por su amor, su confianza y sobretodo por
ser un pilar para ver realizado hoy este sueño.

A mis padres Omar y Bernardita, gracias por todos estos años de amor, esfuerzo y
sacrificio para hacer de mi lo que soy hoy. A mis hermanos Andrey, Yahaira y Gaby,
por brindarme su cariño y apoyo incondicional.

A mi esposa Tatiana, mi preciosa, por el todo el amor y la paciencia demostrado
durante estos años de sacrificio.

Agradecimientos

A Dios por permitirme hoy alcanzar este sueño y por no apartarse de mi lado en todos estos años.

A la empresa Irex de Costa Rica por brindarme la oportunidad de realizar mi práctica profesional en sus instalaciones. En particular a:

Ing. Luis Ortiz Oviedo (Jefe del Taller de Mantenimiento)

Sr Jorge Cedeño (Encargado del Mantenimiento Preventivo)

Sr Federico Monge (Encargado del Mantenimiento Preventivo)

Sr Luis Mena (Jefe del Área Mecánica)

Sr Jairo Quesada (Jefe del Área Eléctrica)

Además de todo el personal del área mecánica, eléctrica y administrativa del taller de mantenimiento que me brindaron su ayuda.

A la familia de mi esposa: Don Abel, Doña Marta, Carla y especial a Adriana por su presencia y apoyo incondicional en todo este tiempo.

A la Escuela de Ingeniería Electromecánica por brindarme las herramientas necesarias para desenvolverme como profesional.

Resumen

El presente trabajo corresponde al informe de Práctica de Especialidad para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial. Es el resultado de las labores realizadas en la compañía Irex de Costa Rica. En el primer capítulo se presenta una descripción de la empresa, procesos productivos, además de la forma en que se administra el departamento de mantenimiento. Se exponen los problemas por resolver, en los cuales se fundamenta este proyecto, los objetivos generales y específicos.

En el segundo capítulo se expone el problema y los procedimientos para resolverlo. Este problema que es de orden técnico se define como Rediseño completo, cálculo de materiales y costos del sistema de aire comprimido. Este rediseño y revisión se aplica a la red de aire comprimido de la planta de producción de Irex de Costa Rica y desarrolla un procedimiento de diseño de acuerdo con las condiciones de operación de la red actual, según las variables establecidas. Además permite seleccionar las tuberías y accesorios para el buen funcionamiento de ésta.

El tercer y último capítulo describe las tareas realizadas para la obtención de los resultados planteados en el proyecto administrativo denominado Implementación de la plataforma para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM, para una caldera Cleaver – Brooks de 200 Hp. En este se establecen los pasos a seguir para el buen diseño y desarrollo de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, que se propone para los equipos críticos, específicamente la caldera Cleaver – Brooks de 200 Hp.

Palabras Claves: Neumática, aire comprimido, compresores, tuberías, tanque de aire, unidad de mantenimiento, RCM, grupo natural de trabajo, equipos auxiliares, caldera.

Summary

This work is the report of the Practice of Speciality to get the bachelor's degree in Engineering in Industrial Maintenance. It is the result of the work that was done in the Company named Irex of Costa Rica. The first chapter introduces the company to the reader. It has a description of the enterprise; it shows the processes of production and how the Department of Maintenance is managed. It exposes the problems to be solved -- which are the basis of this project-- and the general and specific objectives.

The second chapter presents the problem and the applied procedures to solve it. It is a technical problem that is defined as a complete redesign, calculation of materials and costs of the system of compressed air. This redesign and inspection is made to the net of compressed air of the department of production of Irex of Costa Rica in order to develop a new design according to working conditions of the current net but following the established variables. Also, it allows to select the plumbings and accessories for the good working of the net.

The third and last chapter describes all the work done to get the planned results in the administrative project called Implementation of the platform for the Reliability – centred Maintenance, RCM, for a steam boiler Cleaver - Brooks of 200 Hp. This project establishes the steps to follow to get a good design and development of Reliability – centred Maintenance that is proposed for the main equipments specifically the steam boiler Cleaver –Brooks of 200 Hp.

Key Words: Pneumatic, Compressed air, compressors, plumbing, air tank, unit of maintenance, RCM, natural group of work, auxiliary equipments, steam boiler.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| Capítulo I..... | 12 |
| 1.1 INTRODUCCION..... | 12 |
| 1.2 Descripción de la empresa..... | 12 |
| 1.2.1 Ubicación de la empresa..... | 12 |
| 1.2.2 Historia de la empresa..... | 13 |
| 1.2.3 Marca Irex..... | 13 |
| 1.2.4 Grupo IREX..... | 14 |
| 1.2.5 Políticas de calidad..... | 14 |
| 1.2.6 Misión..... | 15 |
| 1.2.7 Visión..... | 15 |
| 1.2.8 Líneas de producción..... | 16 |
| 1.2.9 Organización..... | 17 |
| 1.3 PROCESOS PRODUCTIVOS..... | 18 |
| 1.3.1 Detergentes..... | 18 |
| 1.2.1.1 Acerca de los detergentes sintéticos..... | 18 |
| 1.2.1.2 Proceso de producción del detergente en polvo Irex en la Torre de Secado..... | 19 |
| 1.2.1.3 Proceso de producción del ácido dodecil benceno sulfónico en la Planta Sulfonadora..... | 19 |
| 1.2.1.4 Elaboración del detergente en cilindro, crema lavaplatos y cera cremosa..... | 20 |
| 1.4 ADMINISTRACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO..... | 21 |
| 1.4.1 Organigrama del Departamento de Mantenimiento..... | 21 |
| 1.4.2 Organización del Departamento de Mantenimiento..... | 22 |
| 1.4.3 Situación actual de los tipos de mantenimiento que se realizan..... | 22 |
| 1.4.4 Definición de funciones en el Departamento de Mantenimiento..... | 23 |
| 1.4.5 Formas de comunicación dentro de la planta..... | 23 |
| 1.4.6 Asignación de trabajos..... | 24 |
| 1.4.7 Procedimientos de compras..... | 24 |
| 1.4.8 Control de costos de mantenimiento..... | 24 |
| 1.5 PROBLEMAS DEL PROYECTO..... | 25 |
| 1.5.1 Proyecto técnico: Rediseño completo, cálculo de materiales y costos del sistema de distribución de aire comprimido de la planta..... | 25 |
| 1.5.2 Proyecto administrativo: Creación de una plataforma para la implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad, RCM, a los equipos que se definan como críticos, de la planta de Irex..... | 25 |
| 1.6 Objetivo general..... | 25 |
| 1.6.1 Proyecto técnico..... | 25 |
| 1.6.2 Proyecto administrativo..... | 25 |
| 1.7 Objetivos específicos..... | 26 |
| 1.7.1 Proyecto técnico..... | 26 |
| 1.7.2 Proyecto administrativo..... | 26 |

| | |
|---|----|
| Capítulo II..... | 27 |
| Rediseño completo, cálculo de materiales y costos del sistema de aire comprimido de la planta de Irex de Costa Rica | 27 |
| 2.1 Introducción | 27 |
| 2.2 Marco teórico | 28 |
| 2.2.1 Fundamentos de la neumática..... | 28 |
| 2.2.2 Compresores | 30 |
| 2.2.3 Compresores de tornillo..... | 30 |
| 2.2.3.1 Fases de trabajo | 31 |
| 2.2.3.2 Desempeño..... | 32 |
| 2.2.3.3 Ventajas de los compresores de tornillo | 33 |
| 2.2.3.4 Desventajas de los compresores de tornillo..... | 34 |
| 2.2.4 Depósito de aire..... | 35 |
| 2.2.5 Tuberías | 37 |
| 2.2.6 Red de aire comprimido..... | 37 |
| 2.2.7 Planeamiento nuevo de una red | 37 |
| 2.2.8 Aplicaciones del aire comprimido | 38 |
| 2.3 Metodología | 40 |
| 2.3.1 Cálculo de la presión absoluta del sistema..... | 44 |
| 2.3.2 Cálculo del caudal de diseño | 46 |
| 2.3.3 Nuevo factor de ampliación | 47 |
| 2.3.4 Selección de los diámetros de la tubería | 49 |
| 2.2.4.1 Tipo de tubería y disposición del anillo | 49 |
| 2.2.4.2 Nuevos caudales de diseño | 51 |
| 2.2.4.3 Determinación de los flujos másicos | 52 |
| 2.2.4.4 Determinación del índice de resistencia..... | 53 |
| 2.2.4.5 Cálculo de los diámetros de las tuberías | 53 |
| 2.2.4.6 Caída de presión en la tubería | 55 |
| 2.3.5 Selección de los bajantes | 58 |
| 2.2.5.1 Caudales de diseño | 58 |
| 2.2.5.2 Determinación de los flujos másicos | 59 |
| 2.2.5.3 Determinación del índice de resistencia..... | 60 |
| 2.2.5.4 Cálculo de los diámetros de los bajantes..... | 60 |
| 2.2.5.5 Caída de presión en los bajantes..... | 61 |
| 2.2.5.6 Cálculo del volumen del depósito..... | 69 |
| 2.2.5.7 Conclusiones..... | 71 |
| 2.2.5.8 Recomendaciones | 73 |

| | |
|---|-----|
| Capítulo III | 74 |
| Implementación de la plataforma para el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, RCM..... | 74 |
| 3.1 Introducción | 74 |
| 3.2 Marco teórico | 75 |
| 3.2.1 La primera generación | 76 |
| 3.2.2 La segunda generación | 76 |
| 3.2.3 La tercera generación..... | 77 |
| 3.2.3.1 Nuevas expectativas | 77 |
| 3.2.3.2 Nuevas investigaciones | 78 |
| 3.2.3.3 Nuevas técnicas..... | 79 |
| 3.2.4 Los desafíos que enfrenta el mantenimiento | 80 |
| 3.2.5 Mantenimiento y RCM | 81 |
| 3.2.6 RCM: Las siete preguntas básicas | 82 |
| 3.2.6.1 Funciones y parámetros de funcionamiento | 82 |
| 3.2.6.2 Fallas funcionales | 83 |
| 3.2.6.3 Modos de falla..... | 83 |
| 3.2.6.4 Efectos de falla..... | 84 |
| 3.2.6.5 Consecuencias de la falla | 84 |
| 3.2.6.6 Tareas proactivas..... | 85 |
| 3.2.7 El Proceso de selección de tareas de RCM | 87 |
| 3.2.8 Aplicando el proceso de RCM | 87 |
| 3.2.9 Planeamiento..... | 88 |
| 3.2.10 Grupos de revisión (Grupo Natural de Trabajo)..... | 88 |
| 3.2.11 Qué logra el RCM | 89 |
| 3.3 Metodología | 90 |
| 3.3.1 Selección de los equipos | 90 |
| 3.3.2 Selección del Grupo Natural de Trabajo (GNT)..... | 92 |
| 3.3.3 Capacitación inicial | 92 |
| 3.3.4 Implementación del RCM | 93 |
| 3.2.4.1 Límites del análisis..... | 93 |
| 3.2.4.2 Ejemplo para ilustrar cómo se completaron las hojas de RCM..... | 96 |
| 3.3.5 Mejoramiento del Plan Preventivo (PMP)..... | 100 |
| 3.2.5.1 Inclusión en el software..... | 101 |
| 3.2.5.2 Conclusiones..... | 107 |
| 3.2.5.3 Recomendaciones | 108 |
| 4 Bibliografía | 109 |

Índice de Figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 1.1. Planta de producción de Irex de Costa Rica, ubicada en Concepción de Tres Ríos | 12 |
| Figura 2.1. Configuraciones características de los compresores de tornillo | 30 |
| Figura 2.2. Horas trabajadas al día por punto de consumo | 46 |
| Figura 2.3. Ubicación de los puntos de consumo en la planta de Irex de Costa Rica | 49 |
| Figura 3.1. Expectativas de mantenimiento crecientes. | 77 |
| Figura 3.2. Cambios en los puntos de vista sobre la falla de equipos..... | 78 |
| Figura 3.3. Cambios en las técnicas de mantenimiento..... | 79 |
| Figura 3.4. La perspectiva tradicional de la falla | 85 |
| Figura 3.5. Seis patrones de falla..... | 86 |
| Figura 3.6. Grupo Natural de Trabajo del RCM realizado a la caldera de 200 Hp | 92 |
| Figura 3.7. Caldera de 200 Hp, objeto de RCM | 96 |
| Figura 3.8. Ícono de Planeación de Tareas del software e-main | 101 |
| Figura 3.9. Espacio donde se coloca el código de la tarea | 102 |
| Figura 3.10. Espacio donde se coloca la descripción de la tarea..... | 103 |
| Figura 3.11. Espacio donde se coloca la unidad de mantenimiento | 103 |
| Figura 3.12. Espacio donde se selecciona la frecuencia | 104 |
| Figura 3.13. Espacio donde se colocan las tareas..... | 105 |
| Figura 3.14. Ícono de calcular frecuencias..... | 105 |
| Figura 3.15. Pantalla de calcular frecuencias | 106 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1 | |
| Compresores de la planta de Irex de Costa Rica | 41 |
| Tabla 2.2 | |
| Puntos de consumo de la planta de Irex de Costa Rica | 42 |
| tabla 2.3 | |
| Consumo de aire por tramo con su respectiva longitud | 50 |
| Tabla 2.4 | |
| Selección de tuberías para el anillo principal | 57 |
| Tabla 2.5 | |
| Selección de los diámetros de los bajantes | 63 |
| Tabla 2.6 | |
| Ajuste de los diámetros de las tuberías de empaque | 65 |
| Tabla 2.7 | |
| Ajuste de los diámetros de las tuberías de plásticos | 65 |
| Tabla 2.8 | |
| Ajuste de los diámetros de las tuberías de líneas menores | 66 |
| Tabla 2.9 | |
| Ajuste de los diámetros de las tuberías de sulfanadora | 67 |
| Tabla 2.10 | |
| Ajuste de los diámetros de las tuberías de sulfanadora | 67 |
| Tabla 2.11 | |
| Ajuste de los diámetros de las tuberías de la torre de secado | 68 |

1 Capítulo I

1.1 INTRODUCCION

En este capítulo se presenta una descripción de la compañía Irex de Costa Rica, compañía donde se realizó el estudio de Práctica de Especialidad.

También se incluye la justificación y la reseña de los proyectos desarrollados. Se mencionan los objetivos generales y específicos de cada uno de los proyectos y los resultados obtenidos, los cuales se describen en fundamento y procedimiento de manera detallada en los capítulos posteriores.

1.2 Descripción de la empresa

1.2.1 Ubicación de la empresa

La empresa Irex de Costa Rica S.A., cuenta actualmente con oficinas centrales y bodegas en Curridabat, San José. También posee una planta de producción ubicada en Concepción de Tres Ríos.



Figura 1.1. Planta de producción de Irex de Costa Rica, ubicada en Concepción de Tres Ríos

1.2.2 Historia de la empresa

En el año de 1955, en su casa, el fundador y actual propietario don Ricardo Amador Céspedes, efectuó las primeras pruebas con jabones caseros. Para ello contó con el apoyo de su madre y utilizó unos baldes y dos estañotes. Así inició su gran sueño. De ese modo y con tecnología totalmente artesanal se fue abriendo camino en las provincias de San José, Cartago, Alajuela y Heredia. Para el año de 1960, la empresa inició la diversificación de productos y con la fabricación de ceras para pisos conocida como "Justrina".

Poco a poco se alcanzaron excelentes niveles de producción con buen control de calidad, ya para el año de 1966, jabón La Familia ocupaba el primer lugar en importancia en el mercado nacional.

1.2.3 Marca Irex

Con la apertura del Mercado Común Centroamericano, ingresaron al país artículos con el mismo nombre que los nacionales, por lo que estos debieron cambiar de nombre. Uno de esos productos era de Guatemala, llamado "Jabón La Familia", hecho que obligó a patentar la marca *Irex*.

1.2.4 Grupo IREX

La empresa Irex de Costa Rica S.A., se dedica a la fabricación de productos para la industria y el hogar, con una política de integración vertical que ofrece bienes y servicios para satisfacer las necesidades internas del grupo Irex y de los clientes nacionales y extranjeros. Además la empresa cuenta con otras compañías afiliadas como lo son: Irex Aduanera, Agencia de Publicidad y del Trópico.

1.2.5 Políticas de calidad

En **Irex de Costa Rica** la prioridad es conocer constantemente los parámetros de calidad del consumidor, adaptando los productos y servicios a las tendencias de mercado para que sean por su calidad y costo, la mejor alternativa para nuestros clientes.

El compromiso será mejorar continuamente con tecnología nuestros productos y procesos y desarrollar de manera integral a nuestros colaboradores y proveedores.

Mantendremos una relación armoniosa con el medio ambiente y grupos de interés, siendo así un ejemplo vivo de responsabilidad social para Costa Rica.

1.2.6 Misión

La empresa estará enfocada a competir en el mercado latinoamericano y del Caribe, con productos de limpieza y cuidado personal de alta calidad y a un precio justo, buscando siempre su crecimiento y permanencia para los próximos 50 años, asegurándose su rentabilidad y satisfacción de los clientes, reinvertiendo en la renovación de equipos, tecnología y mejorando el capital humano; siendo los valores compartidos, la guía para alcanzar los objetivos y metas.

1.2.7 Visión

Irex de Costa Rica, buscará su crecimiento y permanencia manteniendo sus mercados en Latinoamérica y el Caribe e incursionando en el mercado norteamericano, con productos competitivos en calidad y precios.

Reinvertiremos en capital humano y tecnología que nos permitirá la satisfacción de los clientes y la rentabilidad de la empresa.

Los valores compartidos serán la guía para alcanzar los objetivos y metas.

1.2.8 Líneas de producción

La empresa Irex de Costa Rica S.A., cuenta con líneas de producción tanto para el hogar como para la industria, desglosadas de la siguiente manera:

Uso doméstico:

- Cloro Irex (botella y burbuja)
- Lavaplatos Irex (crema y líquido)
- Detergente Irex
- Cera Irex (crema)
- Desinfectante (botella y burbuja)
- Pastillas desodorantes
- Cilindro Irex
- Bolsa para basura
- Suavizante
- Fórmula industrial

La fabricación de estos productos responde a las necesidades de las amas de casa, por lo que la tecnología y la calidad de estos productos hacen la diferencia; de ahí que algunos de los productos se han presentado en nuevos empaques para mantener las características de los mismos.

La empresa cuenta con aproximadamente 553 empleados en la planta de producción ubicada en Concepción de Tres Ríos, y 183 empleados en las oficinas ubicadas en Curridabat.

Además, Irex posee dos plantas auxiliares:

- Sulfonadora: la cual produce el ácido duobecil benceno sulfónico, principal materia prima del detergente.
- Irex Plas: encargada de la producción del material de empaque plástico.

La empresa se ha convertido en exportadora de sus productos a países como: Nicaragua, Guatemala, Panamá, El Salvador, Belice, Jamaica, Haití, Aruba, Guyana, República Dominicana, Trinidad & Tobago, Barbados, Bahamas, México, Puerto Rico y Venezuela.

1.2.9 Organización

Estructura Organizativa: la estructura de toma de decisiones se encuentra detallada en el organigrama de la compañía en el Anexo 1.

1.3 PROCESOS PRODUCTIVOS

1.3.1 Detergentes

1.2.1.1 Acerca de los detergentes sintéticos...

Históricamente, para lavar diferentes prendas de vestir se han utilizado diferentes productos, tales como arenas y cenizas. También, se han utilizado grasas y aceites minerales mezclados con arenas y otros materiales. Estos eran sometidos a cierto calentamiento en ollas. De esta manera se fabricó, a nivel casero, lo que hoy se conoce como jabón.

Al pasar los años, las prendas de vestir han ido modificándose a tal punto que los productos para lavar, tuvieron que ir variando de acuerdo con ello; aparecieron las máquinas lavadoras, domésticas, industriales y del tipo hospitalario. Con el descubrimiento del petróleo y sus componentes, se marca el origen de los detergentes sintéticos; entre los compuestos derivados del petróleo se encuentran los alcanos o aquilbencenos, siendo estos la materia prima principal o Ingrediente Activo.

El primer detergente fue el jabón ordinario, inventado hace unos 2500 años. El detergente es un producto químico sintético de acción limpiadora, debido a una combinación de algunas propiedades.

1.2.1.2 Proceso de producción del detergente en polvo Irex en la Torre de Secado

Esta torre cuenta con un sistema central de control automatizado que muestra en la pantalla de una PC los diagramas (Ver Anexo 2). Con estas figuras se puede seguir el proceso y controlar la parada o marcha de los diferentes equipos de la torre.

El proceso de producción se lleva a cabo en una torre de secado. Esta tiene una altura de 37 m, dividida en 9 niveles. Parte del equipo es importado de Italia a la empresa Ballestra, que es la compañía que vende el diseño. Además otra parte de este equipo es suplido por el mercado nacional.

1.2.1.3 Proceso de producción del ácido dodecil benceno sulfónico en la Planta Sulfonadora

La mayoría de los detergentes sintéticos en polvo tienen en su composición varios elementos y compuestos. Uno de ellos y quizás el más importante es el ácido dodecil benceno sulfónico. Este ácido es el ingrediente activo del detergente. También se le conoce con los nombres de tensoactivo aniónico, detergente, surfactante, agente dispersante, humectante, etc. Su principal función consiste en modificar la tensión superficial del líquido (agua) lográndose una humectación efectiva. Se considera que es un producto desengrasante por sí solo.

Para su uso en la elaboración de detergentes se neutraliza por medio de un producto alcalino (básico) proporcionando un fácil manejo en cuanto a seguridad. Una vez neutralizado se llama dodecil benceno sulfonato de sodio.

1.2.1.4 Elaboración del detergente en cilindro, crema lavaplatos y cera cremosa

Detergente en cilindro (Barra Veteada)

La elaboración del cilindro inicia con el traslado de materia prima y material de empaque según la producción a elaborar. Posteriormente se hace el pesado de las materias primas, para luego colocarlas en el respectivo tanque de preparación. Una vez terminada la mezcla ("tanda") se procede a bajar el producto a las tolvas de almacenamiento, para su posterior dosificación (azul y blanca). Con la dosificación se da paso al producto hacia la extrusora la cual se encarga de compactar el detergente y generar la beta en la trompa de salida.

Detergente cera cremosa

El proceso inicia con el traslado de materia prima y material de empaque hasta la línea de producción. La materia prima es pesada y trasladada al mezanine, para preparar la tanda según el procedimiento establecido, en los tanques de fundición, mezclado y almacenamiento, donde en este último se mantiene el producto para ser pasado al empaque (burbuflex). El empaque, una vez lleno, es pasado por la selladora por alta frecuencia. Esta separa el producto en unidades de 0,308 Kg para ser cortados manualmente y pesados con el fin de asegurar las cantidades correctas de producto. Una vez verificada cada unidad es empacada y entarimada para luego ser pasada a la bodega de producto terminado.

1.4 ADMINISTRACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

1.4.1 Organigrama del Departamento de Mantenimiento

Estructura Organizativa: toma de decisiones (Véase Organigrama del Departamento de Mantenimiento en el Anexo 3)

La estructura organizativa del Departamento de Mantenimiento está formada de la siguiente manera:

- Gerencia de Mantenimiento
- Jefe de Mantenimiento

Bajo el mando de la jefatura de mantenimiento se encuentran las siguientes jefaturas:

- Jefatura Área Mecánica.
- Jefatura Área Eléctrica.
- Jefatura de Obra Civil.

En este departamento se cuenta con 22 técnicos del área mecánica, 14 técnicos eléctricos del área eléctrica, 7 trabajadores del área civil y 9 administrativos.

1.4.2 Organización del Departamento de Mantenimiento

El tipo de mantenimiento que se realiza en la planta es centralizado. En este el personal encargado del mantenimiento se moviliza por toda la planta para cumplir con sus labores.

1.4.3 Situación actual de los tipos de mantenimiento que se realizan

Los programas de mantenimiento preventivo se iniciaron en 1994 y antes de esto el tipo de mantenimiento que se practicaba era únicamente el correctivo. Hoy, además de lo anterior, se cuenta con mantenimiento programado, general y extraordinario.

Actualmente existe un encargado del Mantenimiento Preventivo, quien es el responsable de velar por la ejecución de este, del Mantenimiento Programado y del Mantenimiento Predictivo. Para la realización de estas tareas el encargado del Mantenimiento Preventivo cuenta con un instrumento muy valioso, que es un software para mantenimiento (e-main) que le sirve para programar las inspecciones periódicas necesarias con base en la información técnica recogida. Además, vale la pena destacar que para algunos de los trabajos se utiliza asistencia técnica externa.

1.4.4 Definición de funciones en el Departamento de Mantenimiento

Las siguientes son funciones del Departamento de Mantenimiento:

- Velar por el correcto funcionamiento de los equipos de servicios generales.
- Reparación de averías en la maquinaria de producción.
- Efectuar modificaciones de maquinaria.
- Construcción de repuestos y estructuras.
- Velar por la existencia de un “stock” mínimo de repuestos.
- Velar por el uso y operación de todos los equipos de planta.
- Coordinar y colaborar con las visitas técnicas realizadas por los representantes de los fabricantes del equipo.
- Velar por la optimización de los costos de operación de la planta, a través del equilibrio de los costos de mantenimiento.

1.4.5 Formas de comunicación dentro de la planta

- a) Para solicitar algún tipo de trabajo de mantenimiento, el encargado de mantenimiento preventivo llena el documento “Orden de Trabajo” (Ver Anexo 4) en el software de mantenimiento, e-main, y se le entrega al técnico que va a realizar la reparación o revisión. Una vez que ha sido solucionado el problema el mismo técnico le devuelve el documento al encargado del mantenimiento para que la cierre en el e-main.
- b) La solicitud de herramientas o repuestos a bodega se realiza por medio de la “Orden de Trabajo”.
- c) Se utilizan además las reuniones como un medio para plantear y coordinar métodos de trabajo e informar acerca del desempeño del departamento.

1.4.6 Asignación de trabajos

Los trabajos son asignados por el Jefe de Mantenimiento, o el Jefe de taller eléctrico o mecánico, de acuerdo con la disponibilidad del personal.

1.4.7 Procedimientos de compras

Cuando sea necesaria la compra de materiales, se utiliza la hoja de “Control de Pedidos”, en la que el Jefe de Mantenimiento, Gerente Técnico, Gerente de Planta, anota lo requerido y da su autorización. Una vez realizado este trámite se envía al proveedor quien se encarga de analizar el presupuesto y la prioridad del pedido.

1.4.8 Control de costos de mantenimiento

Este control de costos es efectuado por el Departamento de Costos, donde serán desglosados en costos los conceptos de mano de obra, materiales y repuestos para cada una de las líneas.

1.5 PROBLEMAS DEL PROYECTO

1.5.1 Proyecto técnico: Rediseño completo, cálculo de materiales y costos del sistema de distribución de aire comprimido de la planta

Se necesita optimizar el consumo del aire comprimido, asegurando el suministro de éste a toda la planta y en el momento que sea necesario.

1.5.2 Proyecto administrativo: Creación de una plataforma para la implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad, RCM, a los equipos que se definan como críticos, de la planta de Irex

Se necesita realizar un Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, RCM, para poder mejorar los programas de Mantenimiento Preventivo a los equipos definidos como críticos, empezando por la Caldera de 200 Hp.

1.6 Objetivo general

1.6.1 Proyecto técnico

Optimizar el consumo de aire comprimido para toda la planta de Irex de Costa Rica, S.A.

1.6.2 Proyecto administrativo

Asegurar una alta confiabilidad a los equipos críticos que se asignen de la planta, por medio de la implementación de una plataforma de mantenimiento centrado en la confiabilidad, RCM, específicamente a la caldera de 200 HP.

1.7 *Objetivos específicos*

1.7.1 Proyecto técnico

- Alcanzar una adecuada eficiencia energética del sistema de distribución del aire comprimido.
- Lograr una distribución adecuada de aire comprimido en cada uno de los puntos que lo requiere.
- Utilizar los compresores que se encuentran instalados en la planta para lograr este fin.
- Plantear la opción de utilizar un tanque para aire comprimido.

1.7.2 Proyecto administrativo

- Alargar la vida útil de los equipos críticos.
- Disminución del costo de la intervención por mantenimiento correctivo.
- Mantener una existencia óptima de repuestos para dichos equipos.
- Optimizar el costo directo del mantenimiento.

2 Capítulo II

Rediseño completo, cálculo de materiales y costos del sistema de aire comprimido de la planta de Irex de Costa Rica

2.1 Introducción

En este segundo capítulo se desarrollan los cálculos y estimaciones necesarias de acuerdo con las especificaciones planteadas para el buen funcionamiento de un sistema de aire comprimido.

Primeramente se brinda un marco teórico que permite entender ciertos criterios y conceptos relacionados con el campo del aire comprimido y el diseño de los sistemas y componentes utilizados en esta área de la ingeniería.

La metodología bajo la cual se abordó el problema y se le dio solución se describe en el tercer apartado de este capítulo. En este, también se describen los métodos, la secuencia y los criterios para obtener los resultados, así como la verificación de los mismos, lo que permitirá cumplir con los objetivos planteados en la primera parte de este proyecto.

Al final del documento, específicamente en los Apéndices, se brindan datos más detallados de los resultados obtenidos, específicamente en los apéndices. En estos se ofrecen tablas, hojas de cálculo, recomendaciones, limitaciones y conclusiones; de esta manera se ilustran mejor los resultados obtenidos de este proceso de diseño.

2.2 Marco teórico

El término neumática proviene de la palabra griega “Pneuma”, que significa “aliento” o “soplo”. En su acepción original, la neumática se ocupaba de la dinámica del aire y de los fenómenos gaseosos, pero la técnica ha creado de ella un concepto propio, pues en Neumática sólo se habla de la aplicación de la sobrepresión o de la depresión (vacío).

La mayoría de las técnicas neumáticas se basan en el aprovechamiento de la energía de sobrepresión previamente generada, respecto de la presión atmosférica. El portador de esta energía es el aire comprimido.

2.2.1 Fundamentos de la neumática

Actualmente el aire comprimido es utilizado como una eficaz herramienta de trabajo como fuente de energía para diversas aplicaciones.

Una red de aire comprimido está compuesta básicamente por los siguientes elementos

- Compresor o Compresores
- Depósito de aire (central y periféricos)
- Mandos y reguladores
- Purgadores
- Refrigeradores
- Secadores
- Tuberías y accesorios

La sala de compresores debe estar ubicada en el lugar más frío de la fábrica, para que a la hora de la succión el compresor pueda espirar la mayor cantidad de moléculas de aire, haciendo su trabajo más eficiente. Se recomienda que la temperatura ambiente del cuarto esté entre 30 °C y 38 °C.

El aire es comprimido con el compresor y, a continuación, es guiado hacia el sistema de distribución de aire y de este hacia la “**unidad de mantenimiento**” de cada equipo o útil neumático. La unidad de mantenimiento combina los siguientes elementos:

- Filtro para aire comprimido.
- Regulador de aire comprimido
- Lubricador de aire comprimido

La combinación correcta, el tamaño y el tipo de estos elementos es determinada por la aplicación concreta y por las exigencias que se planteen al sistema. Para garantizar la calidad de aire necesaria en cada aplicación, se instalan unidades de mantenimiento en todos los sistemas de control de la red neumática.

El filtro para aire comprimido tiene la función de eliminar impurezas y condensado del aire a presión que pasa por él. El aire comprimido fluye hacia el vaso del filtro guiado a través de ranuras de entrada. En el vaso se produce la separación de partículas de líquido y de suciedad mediante fuerza centrífuga. Las partículas de suciedad se depositan en el fondo del vaso. El condensado tiene que ser evacuado antes de que llegue al nivel máximo, ya que, de lo contrario, sería alimentado otra vez al flujo de aire.

El regulador de aire a presión tiene la función de mantener constante la presión de servicio (presión secundaria), independientemente de las oscilaciones que se produzcan en la presión de potencia (presión primaria) y del consumo de aire. *El lubricador de aire a presión* tiene la función de agregar aceite al aire en determinado tramo del sistema de distribución de aire, en caso de que el funcionamiento del sistema neumático así lo requiera.

2.2.2 Compresores

Un compresor es un equipo diseñado para aspirar aire, gas, o vapores que se encuentran a presión ambiental (semanalmente) y los comprime aumentándole la presión deseada para que estos sean utilizados en una determinada aplicación.

Los tipos de compresores se dividen en 3 grandes ramas:

- Compresores rotativos
- Compresores de pistón
- Turbo compresores

2.2.3 Compresores de tornillo

Los compresores de tornillo tienen una configuración característica como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1. Configuraciones características de los compresores de tornillo

En la carcasa del compresor se encuentran acomodados dos tornillos helicoidales con rotación contraria; las boquillas de admisión y descarga se encuentran localizadas en extremos opuestos. Se producen en rotores de 3, 4 y 5 lóbulos.

2.2.3.1 Fases de trabajo

El compresor de tornillo es una máquina de desplazamiento positivo y, como tal, tiene fases de trabajo distintivas: succión, compresión y descarga. Este análisis se limitará a la descripción de las fases de trabajo de un solo lóbulo del rotor macho y del espacio interlobular del rotor hembra. Una vez que se comprende la operación, no es difícil imaginar la interacción relativa de todos los lóbulos y los espacios interlobulares con el resultante flujo de gas continuo y no pulsante a través del compresor.

En la fase de succión, el lóbulo del rotor macho empieza a desengranarse de un espacio interlobular, en el rotor hembra se crea un vacío y el gas aspirado a través del puerto de admisión. A medida de que los rotores continúan girando, el espacio interlobular aumenta su tamaño y el gas fluye de manera continua hacia el espacio interlobular.

El puerto de admisión es grande y en cada rotación se llena una porción grande. Justo antes del punto en el cual el espacio interlobular deja el puerto de admisión del extremo de succión, el espacio interlobular se abre en su total extensión de extremo a extremo, los lóbulos y el espacio interlobular se encuentran desengranados por completo. En consecuencia, el espacio interlobular se llena en su totalidad con gas aspirado.

La fase de transferencias es una fase de transición entre la succión y la compresión, donde la bolsa de gas atrapada dentro del espacio interlobular se aísla de los puertos de admisión y solo se transporta en forma radial por medio de un número fijo de grados de rotación angular, manteniendo la presión de succión constante.

En la fase de compresión, la rotación subsecuente engrana un lóbulo macho con el espacio interlobular lleno de gas en el extremo de succión y comprime el gas en la dirección del puerto de descarga. El punto de engranaje se mueve en forma axial desde el extremo de entrada hasta el de descarga; de esta manera, el volumen ocupado por el gas atrapado dentro del espacio interlobular disminuye y, por consecuencia, la presión del gas aumenta.

En la fase de descarga un punto determinado por la relación de compresión incorporada por el diseño, se descubre el puerto de expulsión y se descarga el gas comprimido por un engranaje subsecuente del lóbulo con el espacio interlobular.

Mientras el punto de engranaje de un par de lóbulos se mueve de manera axial, la siguiente carga se aplica a la porción desengranada y, de esa manera, se repiten las fases de trabajo del ciclo del compresor.

2.2.3.2 Desempeño

En el desempeño de un compresor de tornillo influyen diversos factores, tales como las propiedades del gas, espacios libres internos, la proporción entre longitud y diámetro de los rotores, la relación de compresión incorporada y la velocidad de operación. Aunque los fabricantes de compresores todavía no han encontrado formas prácticas de presentar el desempeño de los compresores para varios tamaños y condiciones de admisión y expulsión, en un solo diagrama o distribución gráfica, pueden hacerse estimaciones empíricas para los compresores centrífugos convencionales mediante el empleo de las gráficas y tablas.

2.2.3.3 Ventajas de los compresores de tornillo

Tal y como sería el caso con casi cualquier otro tipo específico o categoría de maquinaria de fluidos, los compresores de tornillo rotatorio presentan ventajas así como desventajas sobre otros equipos que compiten por la participación en el mercado. Se enlistan primero las ventajas, cualquier ingeniero de aplicación consideraría las siguientes:

- Reducción considerable de la sensibilidad a los cambios de pesos moleculares comparada con las máquinas centrífugas.
- Tolerancia mucho mayor a servicios de polimerización que otros compresores, con excepción tal vez de las máquinas de anillo líquido.
- Capacidad de aceptar más entremezclado de líquido y de sólidos finos que otros compresores, excepto los compresores de anillo líquido.
- Mayor eficiencia y menor necesidad de mantenimiento que las máquinas de anillo líquido.
- Disponibilidad estimada superior al 99.5%. Esto puede acercarse o, en algunos servicios, exceder la de los compresores centrífugos y axiales.
- Menor tamaño y costo más bajo que el de los compresores recíprocos con rango de capacidad igual.
- Costo menor que los compresores centrífugos en el rango de tamaño de pequeño a moderado (por debajo de valores cercanos a 3000 kW o alrededor de 4000 hp).
- Capacidad de presión mayor que otros tipos de máquinas rotatorias del desplazamiento positivo.

2.2.3.4 Desventajas de los compresores de tornillo

Entre las desventajas encontradas, existen algunas que dependen de la forma de percepción y otras que son reales. Estas últimas se enlistan seguidamente:

- Sensibilidad a la temperatura de descarga que pudiera afectar holguras estrechas y, como consecuencia, la facilidad de operación y disponibilidad.
- La corrosión y desgaste del rotor y de la carcasa afectan el desempeño. Los espacios libres agrandados provocan efectos de reciclaje o de desplazamiento del gas; esto no es de gran preocupación en los compresores de tornillo rotatorio con inyección de aceite.
- Su nivel de ruido es tan alto que se necesita un silenciador; un factor que debe tomarse en cuenta.
- Los sistemas de compresores de tornillo rotatorio necesitan supresión de pulsaciones.
- Las opciones de materiales del rotor y la carcasa son más limitados que para los compresores centrífugos. Esta observación se relaciona con lo intrincado y cerrado de los límites de tolerancia del proceso de maquinado. Asimismo, un fabricante bien informado tiene conocimiento de ciertas desviaciones en los coeficientes de expansión de diferentes aceros inoxidables.
- Mayor costo de mantenimiento y duración de los tiempos muertos que los compresores centrífugos. Alta dependencia al servicio y no siempre así; amerita una investigación más profunda.
- La flexibilidad para el control de flujo es inferior a la de los compresores centrífugos y reciprocantes; un malentendido común que evita que se tome en cuenta el específico completo de opciones disponibles dado con anterioridad.

2.2.4 Depósito de aire

El tamaño del depósito es función del consumo de aire comprimido y de la potencia del compresor. Como por principio, en las industrias con equipos neumáticos el depósito debe desempeñar una función de acumulador, casi siempre con un consumo continuo que puede calcularse dentro de estrechas tolerancias, puede determinarse el tamaño del acumulador de forma relativamente sencilla.

Una manera sencilla y rápida de determinar el tamaño del depósito de aire para compresores de tornillo, es tomando el volumen total que suministra el compresor o los compresores a la red, y la tercera parte de este volumen es igual a la capacidad mínima del tanque.

$$V_T = \frac{V_R}{3}$$

Donde:

V_T = Volumen del depósito de aire.

V_R = Volumen entregado por el(los) compresor(es).

Este cálculo solo puede interpretarse como una regla empírica, y en ciertos casos deberán de considerarse todos los factores. Los manuales y las hojas de características de los fabricantes de compresores sirven de ayuda para llevar a cabo esta misión.

Naturalmente, el tamaño del acumulador depende también de otros factores como, por ejemplo, la regulación del funcionamiento del compresor y de la frecuencia de conexión máxima, pero las más decisivas son la función de acumulación y el consumo proporcionalmente continuo de aire comprimido. La función del acumulador es necesaria, porque en caso de perturbaciones, por ejemplo, fallo de la corriente, los dispositivos neumáticos deben alcanzar su posición de partida o de reposo.

Los depósitos deberían instalarse al aire libre (y si ello fuera posible a la sombra de algún edificio). Esto mejora la refrigeración del aire comprimido y la separación del agua condensada; puesto que el calor liberado no puede calentar un recinto tal vez demasiado pequeño. Si se instalan los acumuladores en un recinto demasiado pequeño debe procurarse una buena aireación.

Además los acumuladores de aire comprimido sirven para equilibrar las fluctuaciones de presión dentro de una red, con el fin de garantizar a todos los consumidores una presión de trabajo lo más uniforme posible.

Con alimentación central de aire comprimido para varias salas o plantas, cada sala y cada planta ha de estar provista de un acumulador intermedio con el que puede compensarse la caída de presión en las condiciones largas y mantener mejor la velocidad óptima de circulación en las tuberías.

Además, los acumuladores son también necesarios dentro de los sistemas neumáticos de mano o dentro de una instalación, sobre todo si en estos se incluyen elementos neumáticos de trabajo con gran consumo periódico y repentino de aire comprimido, ya que sin el acumulador podría desaparecer momentáneamente la presión de la red cada vez que se conectara un gran consumidor de aire, debido al fuerte y repentino consumo.

2.2.5 Tuberías

Las tuberías de aire comprimido pueden tener desde algunos mm de diámetro interior hasta varios cm pudiendo ser de goma, plástico o metal, pero nunca debe emplearse el antiguo tubo de gas.

2.2.6 Red de aire comprimido

Se entiende por red de aire comprimido el conjunto de todas las tuberías que parten del depósito, colocadas fijamente unidas entre sí y que conducen al aire comprimido a los puntos de toma para los equipos consumidores individuales. Los criterios principales de una red son la velocidad de circulación y la caída de presión en las tuberías así como la estanqueidad de la red en conjunto.

2.2.7 Planeamiento nuevo de una red

Para la determinación del diámetro interior, la magnitud decisiva es el consumo de aire comprimido o más una reserva adicional para los equipos neumáticos que en corto tiempo puedan incorporarse.

Además de esto, existen valores procedentes de la práctica que indican cuál debe ser la velocidad de circulación y la caída de presión en la tubería. La selección del diámetro interior de la tubería depende de:

- La velocidad de circulación admisible
- La pérdida admisible de presión
- La presión de trabajo
- El número de puntos de estrangulación existentes en la tubería
- La longitud de la tubería

2.2.8 Aplicaciones del aire comprimido

Entre las ventajas inherentes al material de aire comprimido se cita, en primer lugar, la seguridad de funcionamiento y de empleo, no solo en lo que concierne a las máquinas motrices y a las máquinas de trabajo, sino también, sobre todo, a la seguridad del mismo operario. Las máquinas de aire comprimido han logrado imponerse principalmente gracias a la simplicidad de su concepción y se aprecia siempre, de manera particular el hecho de que su funcionamiento puede ser comprendido incluso por los que no poseen más que conocimientos técnicos generales restringidos. La ventaja de la seguridad personal reside en la propiedad de aire comprimido de no ser tóxico ni inflamable.

Las tuberías no defectuosas disminuyen el rendimiento de la instalación, pero no la seguridad, ventaja que asegura al aire comprimido, con exclusividad, campos enteros de aplicación. Una red de aire comprimido puede ser sobrecargada sin que la seguridad de la explotación o las canalizaciones sufran por ello, propiedad que, con excepción del vapor, solo posee el aire comprimido. Por el contrario, no puede producir más que esfuerzos limitados que dependen de las dimensiones de la máquina y de la presión de aire, lo que es susceptible de presentar importancia no solamente para las herramientas a mano, sino igualmente para regulaciones neumáticas.

Una característica agradable de los motores accionados por aire comprimido es la facilidad de regulación de la velocidad de rotación que no es, sin embargo, rentable desde todos los puntos de vista de la explotación.

Naturalmente, el aire comprimido tiene también sus inconvenientes como por ejemplo, la humedad que contiene, puesto que, a medida que la relación de compresión isotérmica aumente, se condensa, por lo tanto debe ser evacuada para evitar que provoque averías.

Se sabe que con los aparatos usuales, solo el agua en estado líquido puede ser separada de manera que en caso de fuerte expansión del aire comprimido y como consecuencia de la baja temperatura que de ello resulta, aparecen fenómenos de formación de escarcha. Además de una buena separación del agua, que es preferible practicar después de la compresión y el enfriamiento del aire, es indispensable filtrar cuidadosamente el aire de aspiración. Esta filtración protege al compresor así como a los útiles neumáticos contra un desgaste exagerado.

El aire aspirado por el compresor siempre contiene cierto grado de humedad en forma de vapor de agua. Ese contenido de humedad es expresado en un porcentaje de humedad relativa. La humedad relativa depende de la temperatura y de la presión. Cuanto mayor es la temperatura del aire, tanto más vapor de agua puede contener el aire. Si se alcanza el 100% de humedad relativa, el agua se condensa y se deposita en las paredes.

Si la evacuación del condensado es insuficiente, éste pasa al sistema y puede causar corrosión en tuberías, válvulas, cilindros y otros elementos, además de un lavado de la lubricación de piezas móviles. De este modo se produce una merma del funcionamiento de los elementos y, además, una inactivación precoz del sistema.

2.3 Metodología

Lo primero que se hizo fue establecer las condiciones del lugar donde operará la nueva red de distribución de aire comprimido. La planta de producción de Irex de Costa Rica se encuentra ubicada en Concepción, distrito del cantón de Tres Ríos de la provincia de Cartago. Concepción se encuentra a una altura de 1350 m.s.n.m., posee una temperatura promedio de 20 °C, una presión atmosférica promedio de 0,844 Bar. Mientras que los elementos neumáticos poseen una presión manométrica máxima de 7,99 bar.

La actual red de aire comprimido se ramifica en una disposición de circuito abierto, y sus ramas llegan a todos los puntos de consumo. Toda la tubería y sus accesorios son de hierro galvanizado, cédula 40, y tiene una antigüedad aproximada de 10 años.

Teniendo en consideración las fugas de la red y la antigüedad de la tubería de aire comprimido, a continuación se plantea el nuevo diseño para la planta; esto como una de las soluciones más adecuadas a los problemas encontrados en el sistema.

Primero que todo se propone una distribución del aire en anillo, esto presenta las siguientes ventajas:

- la distribución en anillo funciona como una tanque acumulador adicional
- garantiza aire comprimido en todas las tuberías
- se mantiene un caudal uniforme en todo el anillo
- no es necesario dejar una pendiente a la hora de hacer la instalación

Con esta disposición las pérdidas de presión en los puntos más alejados no son tan significativas como si fuera un circuito abierto. Actualmente, el aire comprimido debe llevarse por largos tramos para alimentar los equipos de toda la planta y en algunas ocasiones cuando se alcanza un nivel alto de producción, la presión de trabajo no es la adecuada para el funcionamiento normal de algunos equipos.

La empresa cuenta, en estos momentos, con dos compresores de tornillo Ingersoll Rand con su respectiva unidad de secado, y estos están ubicados al costado oeste de la planta. Estos tienen las siguientes características:

**TABLA 2.1
COMPRESORES DE LA PLANTA DE IREX DE COSTA RICA**

| CÒDIGO DEL COMPRESOR | POTENCIA (HP) | CAPACIDAD (CFM) | |
|-------------------------|------------------|-----------------|------|
| | | TEÒRICA | REAL |
| ESCO3 | 75 | 320 | 300 |
| ESCO4 | 75 | 320 | 270 |

El compresor ESCO3 (código para el mantenimiento preventivo) es de 75 Hp y tiene una capacidad teórica de 320 CFM y el ESCO4 (código para el mantenimiento preventivo) es de 75 Hp y tiene una capacidad teórica de 320 CFM. Ambos compresores, debido al desgaste normal producto del tiempo y condiciones de trabajo, han disminuido su capacidad y el ESCO3 está en capacidad de entregar 300 CFM (capacidad real), mientras que el ESCO4 está en capacidad de entregar 270 CFM (capacidad real). Estos datos de capacidad fueron obtenidos según una prueba que se le realizó a cada compresor el 06 de diciembre del año 2003 con un medidor de flujo RACINE (AIR SCFM @ 70°C 100 – 1000 , modelo N° H871 A – 999 – EG).

Después de establecer estas condiciones se procedió a determinar los puntos de mayor consumo y estos se encuentran detallados en la siguiente tabla:

**TABLA 2.2
PUNTOS DE CONSUMO DE LA PLANTA DE IREX DE COSTA RICA**

| SALIDA | PRESIÓN MÁXIMA TRABAJO | | PUNTOS DE CONSUMO | CONSUMO | |
|--------|------------------------|-----|--------------------------|---------|-------|
| | BAR | PSI | | CFM | L/MIN |
| 1 | 7,99 | 116 | TORRE DE SECADO | 120 | 3398 |
| 2 | 7,99 | 116 | EMPAQUE | 120 | 3398 |
| 3 | 7,99 | 116 | LLENADO LIQUIDOS (CLORO) | 40 | 1133 |
| 4 | 7,99 | 116 | SULFANADORA | 10 | 283 |
| 5 | 7,99 | 116 | PLASTICOS | 190 | 5380 |
| 6 | 7,99 | 116 | TANQUES DE GASÓLEO | 120 | 3398 |

Para determinar estos consumos fue necesario tomar el tiempo de descarga del compresor ESCO3 (se pudo haber escogido cualquiera de los dos compresores de la planta) y así por medio de este, obtener los de carga por diferencia. Este es un procedimiento sencillo: lo que se hizo fue poner a funcionar solo un compresor y luego se aisló cada punto de consumo para dejarlo trabajando solo con este compresor. Para aislar las líneas se buscaron momentos en los cuales estas estuvieran trabajando de manera individual. Con los otros puntos fue más sencillo ya que se pudieron manipular a conveniencia; como es el caso de los tanques de gasóleo y sulfanadora debido a que el primero posee su propio compresor de respaldo y el segundo la llave de entrada del aire. Esta se puede cerrar si es necesario. Esta prueba se realizó en varias ocasiones para disminuir su incertidumbre y se promediaron los resultados.

Luego de hacer esto se obtuvo el tiempo efectivo del trabajo del compresor por medio de una diferencia entre el tiempo de descarga, tomado a pie del mismo, y el tiempo total de la prueba (previamente definido) para así determinar el tiempo efectivo que trabajó dicho compresor en ese período, y este es el *tiempo de carga*.

Esta prueba se realizó con el compresor ESCO3 y se obtuvo que, aislando, por ejemplo, el punto de consumo de la torre de secado de detergente, esta mantenía el compresor en carga un porcentaje del 40% del tiempo total de la prueba. Esto significa que un compresor que entrega 300 CFM está entregando 120 CFM a este punto de consumo, ya que el 40% de 300 CFM es 120 CFM y el restante 60% del tiempo se mantiene sin entregar aire a la red. El mismo razonamiento se utilizó para determinar los demás puntos de consumo, comprobando así la conveniencia de la prueba para este caso en donde no se cuenta con un aparato para medir el flujo y hay una gran cantidad de elementos que consumen aire comprimido. Además, algunos elementos de estos no poseen información técnica de capacidad (consumos) y es muy difícil obtenerla por otro medio.

Para el procedimiento de cálculo de diámetros de tubería se utilizó la tabla de Cobre tipo L (Anexo # 5). Actualmente en el mercado están disponibles los mismos diámetros en *hierro galvanizado*. Por otra parte, se recomendará la instalación de tubería en hierro galvanizado, esta mediante la cotización de una empresa externa.

Una vez que se conocen las condiciones en que las que se va a desempeñar la nueva red de aire comprimido, es importante determinar el *factor de fugas* y el *factor de ampliación*. Con respecto al factor de ampliación se discutió con los señores Luis Ortíz (Jefe del Taller) y Eduardo Díaz (Gerente de Mantenimiento) con quienes se acordó que un valor de un 25% es un valor adecuado para este fin. El factor de fugas se definió en un valor de 10%, que es aceptable para el diseño de una instalación de este tipo.

2.3.1 Cálculo de la presión absoluta del sistema

Para determinar la presión absoluta del sistema se debe conocer que, para que el sistema de aire comprimido se desempeñe bien, no debe haber una caída de presión mayor al 2% entre el compresor y el útil neumático.

A continuación se procede a determinar la presión mínima a la que puede trabajar el sistema, la cual se obtiene de la suma de la presión atmosférica y la presión manométrica más el 2% de las mismas.

$$P_{\min} = (P_{\text{man}} + P_{\text{atm}}) * 2\% + P_{\text{man}} + P_{\text{atm}}$$

$$P_{\min} = (7,99 + 0,844) * 2\% + 7,99 + 0,844$$

$$P_{\min} = 9,01\text{bar}$$

Donde:

P_{\min} = Presión mínima del sistema en bar.

P_{man} = Presión manométrica del sistema en bar.

P_{atm} = Presión atmosférica del lugar en bar.

Después de obtener esta presión, se procede a obtener la presión de conexión y desconexión del compresor:

$$P_{\text{conexión}} = P_{\min} - P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{conexión}} = 9,01 - 0,844$$

$$P_{\text{conexión}} = 8,166\text{bar}$$

$$P_{desconexión} = P_{conexión} + 1$$

$$P_{desconexión} = 8,166 + 1$$

$$P_{desconexión} = 9,166 \text{ bar}$$

Donde:

$P_{conexión}$ = Presión de conexión de los compresores en bar

$P_{desconexión}$ = Presión de desconexión de los compresores en bar

Seguidamente se fija el mejor rango de presiones a la que puede trabajar los compresores, y para este caso estaría entre 8,5 Bar y 9,5 Bar. Se toman estos valores por que son más fáciles de fijar en los compresores.

Por último, se obtiene la presión absoluta de todo el sistema, sumando la presión de conexión del sistema y la presión atmosférica.

$$P_{abs} = P_{conexión} + P_{atm}$$

$$P_{abs} = 8,5 + 0,844$$

$$P_{abs} = 9,344 \text{ Bar}$$

Donde:

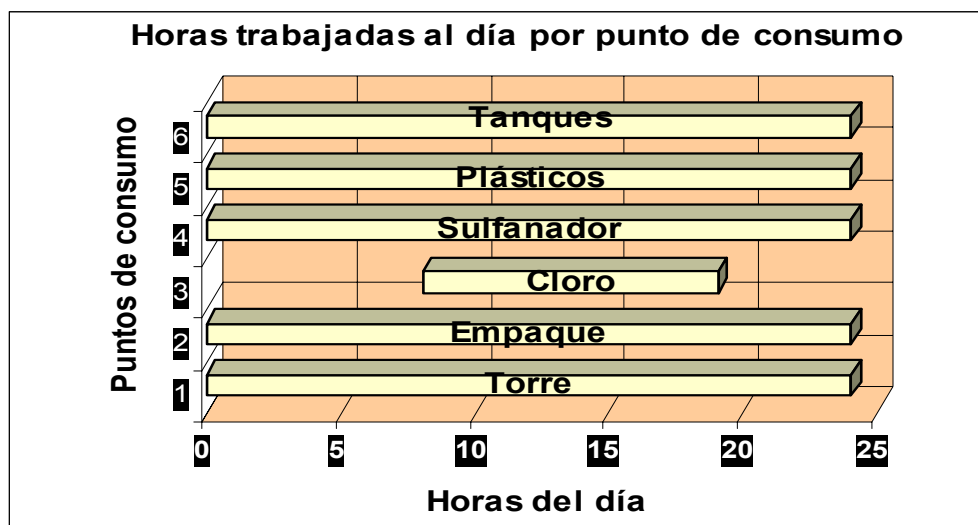
P_{abs} = Presión absoluta del sistema en bar.

$P_{conexión}$ = Presión de conexión del compresor en bar.

P_{atm} = Presión atmosférica del lugar en bar.

2.3.2 Cálculo del caudal de diseño

Para obtener el caudal de diseño lo que se hace es tomar los horarios de trabajo de todos estos puntos de consumo y buscar la intersección de los mismos, para así, por medio de esto, saber cuánto es el caudal máximo que va a trasegar el sistema.



POWERPOINT

Figura 2.2. Horas trabajadas al día por punto de consumo

En este gráfico se muestra la cantidad de horas que trabajan los distintos puntos de consumo en un día completo, de lunes a viernes. Como se observa, todos los puntos trabajan las 24 horas del día, excepto el número 3 (Cloro burbuja) que lo hace en un horario de 7:30 a.m. a 5:30 a.m. Por tanto, se concluye que el caudal máximo va a ser la suma de todos los caudales (consumos) de los seis puntos ya que se intersecan en ese horario.

Ahora con el dato de caudal máximo se procede a calcular el caudal de diseño y para esto se utiliza la fórmula:

$$Q_{dis} = Q_{max}(ff + fa + 1)$$

$$Q_{dis} = 600(0,1 + 0,25 + 1)$$

$$Q_{dis} = 810CFM$$

Donde:

Q_{dis} = Caudal de diseño en CFM.

Q_{max} = Caudal máximo en CFM.

ff = Factor de fugas en %.

fa = Factor de ampliación en %.

2.3.3 Nuevo factor de ampliación

Para obtener el nuevo factor de ampliación se debe considerar algo muy importante, como el caudal disponible. Este caudal es la cantidad que tiene la empresa a disposición de aire comprimido en todo el sistema, es decir, la cantidad total de aire que entregan los compresores.

Actualmente la empresa cuenta con dos compresores (Tabla 2.1). En tiempos de alta producción su presión no es la adecuada para el funcionamiento normal de algunos equipos. Conciente de este problema es que la gerencia tiene presupuestada la compra de un nuevo compresor, para lo cual se sugirió la adquisición de un compresor de tornillo de 125 Hp, con una capacidad de 510 CFM .

Con la capacidad del nuevo compresor se tiene disponible los 570 CFM, de los dos compresores de la planta, más los 510 CFM del nuevo compresor. Así se

tendrá a disposición 1080 CFM (caudal disponible) para el diseño de la nueva red de aire comprimido.

Con esta información se puede obtener el nuevo factor de ampliación, por medio de esta ecuación:

$$fa = \frac{Qdis - Qmax \cdot ff - Qmax}{Qmax}$$

$$fa = \frac{1080 - 600 * 0,1 - 600}{600}$$

$$fa = 0,70 = 70\%$$

Donde:

Qdis= Caudal de diseño en CFM.

Qmax = Caudal máximo en CFM.

ff = Factor de fugas en %.

fa = Factor de ampliación en %.

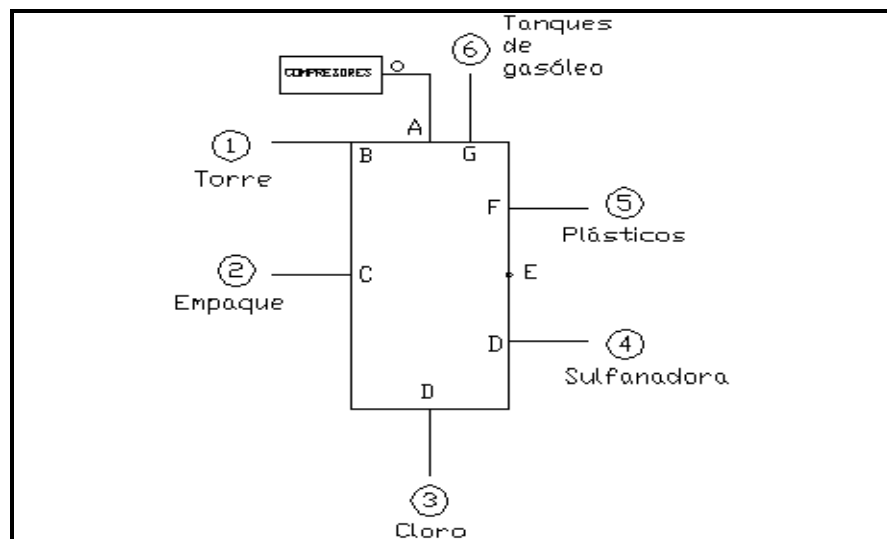
Al observar un factor de ampliación tan amplio, es normal preguntarse si no será mejor seleccionar un compresor de menor capacidad; sin embargo, la gerencia acordó utilizar uno de estos compresores como respaldo en caso de que alguno de los más antiguos se dañe. Aunque se no se cuente con uno de estos compresores la red queda bien cubierta, debido a que habría todavía un sobrante de alrededor de un 25% para futuras ampliaciones.

2.3.4 Selección de los diámetros de la tubería

2.2.4.1 Tipo de tubería y disposición del anillo

El cálculo de diámetros se hará con tubería en hierro galvanizado (HG) cédula 40. El anillo principal posee 10 metros de ancho por 20 metros de largo y se diseñará con base en el nuevo factor de ampliación. Esto como medida preventiva en caso de futuras ampliaciones del circuito.

Lo primero que se hizo fue ubicar el lugar donde se podía colocar el anillo en la planta. Por la comodidad, con respecto al espacio y ubicación de la sala de compresores, se escogió una sección donde se encuentran ubicadas las líneas menores. Con esta información se procedió a buscar el tamaño del anillo y a determinar las distancias entre cada punto de consumo. A continuación se muestra un esquema de cómo quedará conformado el anillo principal.



AUTOCAD

Figura 2.3. Ubicación de los puntos de consumo en la planta de Irex de Costa Rica

Los caudales y distancias entre los puntos se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 2.3
CONSUMO DE AIRE POR TRAMO CON SU RESPECTIVA LONGITUD

| TRAMO | LONGITUD (m) | CONSUMO | |
|-------|-----------------|---------|---------|
| | | (CFM) | (L/MIN) |
| OA | 8 | 600 | 16991 |
| AB | 5 | 290 | 8212 |
| BC | 10 | 170 | 4814 |
| CD | 15 | 50 | 1416 |
| DE | 15 | 10 | 284 |
| AG | 2,5 | 310 | 8779 |
| GE | 12,5 | 190 | 5380 |

Para obtener estos consumos por tramos lo que se busca es un punto estratégico para poder realizar los cálculos; ese punto se determina sumando caudales a partir del punto A. Se suman los caudales a partir de A hacia la izquierda y de A hacia la derecha hasta encontrar un punto en donde las dos sumas son más o menos parecidas y es de aquí de donde sale el punto E del diagrama. La suma de los caudales hacia la izquierda de A (1, 2, 3 y 4) suman 290 CFM, los que están hacia la derecha (5 y 6) suman 310 CFM y por tanto son similares.

Una vez calculadas las tuberías, los diámetros de los tramos DE y GE deben ser similares para no tener problemas de cambios bruscos de diámetros que puedan afectar la red.

$$Q_{OA} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$Q_{OA} = 120 + 120 + 40 + 10 + 120 + 190$$

$$Q_{OA} = 600CFM$$

Donde:

Q_{OA} = Caudal en el tramo OA en CFM.

Con esto se puede concluir que por la tubería OA pasa un caudal de 600 CFM, y de la misma forma se realiza con los otros tramos de la tubería. A partir de A se debe sumar hacia la izquierda hasta el punto D y de la misma forma a partir de A hacia la derecha, también hasta el punto D.

2.2.4.2 Nuevos caudales de diseño

Para obtener los nuevos caudales de diseño lo que se hace es sumar cada consumo con su porcentaje de fugas (10%) y su porcentaje del nuevo factor de ampliación (70%) y así se obtiene este resultado. Un ejemplo de este caudal obtenido es el siguiente:

$$Q_{AB} = Q_{AB} * (1 + fa + ff)$$

$$Q_{AB} = 8212 * (1 + 0,7 + 0,1)$$

$$Q_{AB} = 14782L / \text{min}$$

Donde:

Q_{AB} = Nuevo caudal de diseño en el tramo AB en L/min.

ff = Factor de fugas en %.

fa = Factor de ampliación en %.

2.2.4.3 Determinación de los flujos máxicos

Para obtener los flujos máxicos es necesario calcular primero la densidad del aire a las condiciones ambientales. Para calcular esta densidad se hace lo siguiente:

$$\rho = \frac{P}{R * T}$$

$$\rho = \frac{84400}{287 * 293,15}$$

$$\rho = 1,00 \text{Kg} / \text{m}^3$$

Donde:

ρ = densidad del aire en Kg / m^3 .

P= presión en Pa

R = constante de los gases, 287 J/ $\text{Kg} * \text{K}$.

T= .temperatura en K

Con el dato de la densidad se puede calcular el flujo máxico, simplemente multiplicando el nuevo caudal de diseño (de ese tramo) por ese dato de densidad que se acaba de obtener. El siguiente ejemplo ilustra cómo calcular ese flujo máxico:

$$m_{AB} = \rho * Q_{AB} * 0,06$$

$$m_{AB} = 1 * 14781 * 0,06$$

$$m_{AB} = 890 \text{Kg} / \text{h}$$

Donde:

m_{AB} = flujo máxico en Kg / h .

0,06= factor de conversión para pasar de minutos a horas y de m^3 a litros.

2.2.4.4 Determinación del índice de resistencia

El siguiente paso es obtener el índice de resistencia, que es el grado medio de rugosidad y que varía con el caudal. Este índice es similar al factor de fricción para el agua y se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\beta_{AB} = 2,8466 * m_{AB}^{-0,1468}$$

$$\beta_{AB} = 2,8466 * (890)^{-0,1468}$$

$$\beta_{AB} = 1,05$$

Donde:

β_{AB} = índice de rugosidad

m_{AB} = flujo másico en Kg/ h.

2,8466 = constante de la ecuación

-0,1466 = constante de la ecuación

2.2.4.5 Cálculo de los diámetros de las tuberías

Para el cálculo de las tuberías se determinan valores máximos de velocidad; 8 m/s para las tuberías principales, 10 m/s para las tuberías secundarias y 15 m/s para las tuberías de servicio o bajantes.

El diámetro de la tubería lo determina la siguiente expresión:

$$d_{AB} = \sqrt{\frac{(Q_{dis})_{AB} * 100}{4.71 * P_{abs} * V_{AB}}}$$

$$d_{AB} = \sqrt{\frac{14781 * 100}{4.71 * 9.34 * 10}}$$

$$d_{AB} = 93,20mm$$

Donde:

d_{AB} = diámetro del tramo AB en mm

$Q_{dis_{AB}}$ = caudal disponible en el tramo AB en l/min.

P_{abs} = presión absoluta del sistema en Bar

V_{AB} = velocidad en el tramo AB en m/s

100 = constante de la ecuación

4,71 = constante de la ecuación

De acuerdo con las medidas estándar de los diámetros de las tuberías comerciales, se seleccionan los diámetros de la tubería de hierro galvanizado (Tabla 9 del Anexo # 5) de la misma forma para todos los tramos:

Tubería para el tramo AB

Diámetro interno: 62,61 mm

Diámetro nominal: 62 mm (2 1/2 pulgadas)

2.2.4.6 Caída de presión en la tubería

Las pérdidas en la tubería están relacionadas con el diámetro y la longitud de las tuberías, como se muestra en la siguiente expresión:

$$\Delta P_{AB} = \frac{\beta * (Qdis)_{AB}^2 * 15,2 * L_{AB}}{T * (\phi_{sel})^5 * Pabs}$$

$$\Delta P_{AB} = \frac{1,05 * (14782)^2 * 15,2 * 5}{293,15 * (62,61)^5 * 9,34}$$

$$\Delta P_{AB} = 0,00662bar = 6,62mbar$$

Donde:

ΔP_{AB} = caída de presión en el tramo AB en bar

β_{AB} = índice de rugosidad

$Qdis_{AB}$ = caudal disponible en el tramo AB en l/min.

$Pabs$ = presión absoluta del sistema en Bar

L_{AB} = longitud del tramo AB

T = temperatura en K

$\phi_{sel_{AB}}$ = diámetro seleccionado en mm

15,2 = constante de la ecuación

Hasta el momento se tiene definida la caída de presión por cada tramo, según los diámetros seleccionados. Luego, se debe confirmar si esta caída de presión obtenida es menor a la permitida para ese tramo. Para obtener esa caída permitida se debe recordar que el sistema solamente permite caer un 2% de la presión total del mismo, por lo que se obtendría

$$\Delta P_{sist} = 9,34 * 2\%$$

$$\Delta P_{sist} = 0,1868bar = 186,8mbar$$

Donde:

ΔP_{sist} = caída del sistema en bar

El 2% de 9,34 bar es 186,8 mbar y esta es la caída máxima que puede haber hasta el punto E. Entonces para obtener la *ruta crítica* del sistema se debe tomar el dato de 186,8 mbar y dividirlo entre la distancia al punto más lejano en el sistema para así obtener la caída de presión permitida por metro

$$\Delta P_{sist} = 186,8mbar / 53m$$

$$\Delta P_{sist} = 3,52mbar / m$$

Donde:

ΔP_{sist} = caída máxima permitida del sistema por metro en mbar/m

El resultado indica que para que no haya problemas de presión en el anillo, debe haber una caída máxima de presión de 3,52 mbar por cada metro. Con esta información se puede conocer si los diámetros seleccionados son los correctos; y en caso de que no sean, entonces seleccionar el siguiente diámetro mayor, hasta lograr que no se sobrepase esa caída de presión permitida.

$$\Delta P_{AB} = (3,52mbar / m) * 5m$$

$$\Delta P_{AB} = 17,63mbar$$

Donde:

ΔP_{sist} = caída máxima permitida en el tramo AB en mbar

Comparando la caída de presión del tramo AB con la caída de presión permitida en el mismo tramo, se puede concluir que la primera es menor que la permitida, por lo que se afirma que se seleccionó el diámetro correcto. De la misma forma se hace con los restantes tramos; cabe destacar que al tramo CD y DE se le tuvo que aumentar el diámetro seleccionado para que no se sobrepasara esa caída de presión permitida.

A continuación se muestra una tabla con el resumen de todos estos cálculos para la selección de las tuberías.

**TABLA 2.4
SELECCIÓN DE TUBERÍAS PARA EL ANILLO PRINCIPAL**

| Tramo | Qmax | Qdis | m | β | V | Φ_{cal} | Φ_{sel} | Φ_{nom} | L | ΔP_{calc} | ΔP_{perm} | Estado |
|-------|---------|---------|--------|---------|-------|--------------|--------------|--------------|------|-------------------|-------------------|----------|
| | (l/min) | (l/min) | (kg/h) | | (m/s) | (mm) | (mm) | (mm) | (m) | (mbar) | (mbar) | |
| OA | 16990 | 30582 | 1841 | 0,94 | 8 | 93,20 | 99,18 | 100 | 8 | 4,08 | 28,21 | Correcto |
| AB | 8212 | 14781 | 890 | 1,05 | 10 | 57,95 | 62,61 | 62 | 5 | 6,62 | 17,63 | Correcto |
| BC | 4814 | 8665 | 522 | 1,14 | 10 | 44,37 | 50,41 | 50 | 10 | 14,54 | 35,26 | Correcto |
| CD | 1416 | 2549 | 153 | 1,36 | 10 | 24,06 | 32,12 | 32 | 15 | 21,50 | 52,89 | Correcto |
| DE | 283 | 510 | 31 | 1,72 | 10 | 10,76 | 16,92 | 16 | 15 | 26,85 | 52,89 | Correcto |
| AG | 8778 | 15801 | 951 | 1,04 | 10 | 59,92 | 62,61 | 62 | 2,5 | 3,74 | 8,82 | Correcto |
| GE | 5380 | 9684 | 583 | 1,12 | 10 | 46,91 | 50,41 | 50 | 12,5 | 22,34 | 44,08 | Correcto |

Para aprovechar al máximo la capacidad de la red y evitar una excesiva caída de presión se seleccionan tuberías del mismo tamaño. En este caso se hace el anillo con tuberías de 2 ½ pulgadas. Este ajuste ayuda a no estar adquiriendo tuberías y accesorios de diferentes tamaños, además de que las mismas funcionarán como un depósito de aire en los tramos donde se aumente dicho diámetro.

2.3.5 Selección de los bajantes

Para la selección de los bajantes, se utilizó el mismo procedimiento que para la selección de las tuberías, con algunas pequeñas diferencias. A continuación se detalla este procedimiento:

2.2.5.1 Caudales de diseño

Los caudales de diseño son el resultado de la suma del caudal en el punto de consumo más este mismo caudal por su porcentaje de fugas (10%). No se utiliza el factor de ampliación porque ya fue utilizado para seleccionar las tuberías del anillo y un ejemplo de este caudal obtenido es el siguiente:

$$Q_1 = Q_1 * (1 + ff)$$

$$Q_1 = 3398 * (1 + 0,1)$$

$$Q_1 = 3738L/min$$

Donde:

Q_1 = caudal de diseño en el punto de consumo 1 en L/min.

ff = factor de fugas en %.

2.2.5.2 Determinación de los flujos máxicos

Para el cálculo de los flujos máxicos, se necesita el valor de la densidad del aire, y esta ya se había obtenido y es $\rho = 1\text{Kg} / \text{m}^3$. Ahora con estos datos se procede a obtener el flujo máxico de la misma forma en que se había calculado anteriormente.

$$m_1 = \rho * Q_1 * 0,06$$

$$m_1 = 1 * 3738 * 0,06$$

$$m_1 = 225\text{Kg} / h$$

Donde:

m_1 = flujo máxico en Kg/h.

0,06= factor de conversión para pasar de minutos a horas y de m^3 a litros.

ρ = densidad del aire en Kg / m^3 .

Q_1 = caudal de diseño en el punto de consumo 1 en L/min.

2.2.5.3 Determinación del índice de resistencia

El siguiente paso es obtener el índice de resistencia de la misma forma que se hizo en el apartado 2.3.4.4, por medio de la ecuación:

$$\beta_1 = 2,8466 * m_1^{-0,1468}$$

$$\beta_1 = 2,8466 * (225)^{-0,1468}$$

$$\beta_1 = 1,29$$

Donde:

β_1 = índice de rugosidad

m_1 = flujo másico en Kg/ h.

2,8466= constante de la ecuación

-0,1466 = constante de la ecuación

2.2.5.4 Cálculo de los diámetros de los bajantes

Para el cálculo de los diámetros se determinan un valor máximo de velocidad de 15 m/s para las tuberías de servicio o bajantes. El diámetro del bajante lo determina la siguiente expresión:

$$d_1 = \sqrt{\frac{Q_1 * 100}{4.71 * P_{abs} * V_1}}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{3738 * 100}{4.71 * 9,34 * 15}}$$

$$d_1 = 23,80mm$$

Donde:

d_1 = diámetro en el punto de consumo 1 en mm

Q_1 = caudal disponible en el punto de consumo 1 l/min.

P_{abs} = presión absoluta del sistema en Bar

V_1 = velocidad en el punto de consumo 1 en m/s

100 = constante de la ecuación

4,71 = constante de la ecuación

De acuerdo con las medidas estándar de los diámetros de las tuberías comerciales, se seleccionan los diámetros de los bajantes en hierro galvanizado (Anexo # 5) de la misma forma para todos los puntos de consumo:

Tubería para el punto de consumo 1

Diámetro interno: 38,22 mm

Diámetro nominal: 38 mm (1¹/₂ pulgada)

2.2.5.5 Caída de presión en los bajantes

Las pérdidas en la tubería están relacionadas con el diámetro y la longitud de las tuberías, como se muestra en la siguiente expresión:

$$\Delta P_1 = \frac{\beta * (Q)_1^2 * 15,2 * L_1}{T * (\phi_{sel})_1^5 * P_{abs}}$$

$$\Delta P_1 = \frac{1,05 * (3738)^2 * 15,2 * 70}{293,15 * (38.22)^5 * 9,34}$$

$$\Delta P_1 = 0,08353bar = 85,53mbar$$

Donde:

ΔP_1 = caída de presión en el punto de consumo 1 en bar

β_1 = índice de rugosidad

Q_1 = caudal disponible en el punto de consumo 1 en l/min.

P_{abs} = presión absoluta del sistema en Bar

L_1 = longitud al punto de consumo 1 en m

T = temperatura en K

Φ_{sel_1} = diámetro seleccionado para el punto de consumo 1 en mm

15,2 = constante de la ecuación

Hasta el momento se tiene definida la caída de presión por cada punto de consumo, según los diámetros seleccionados. Seguidamente se debe obtener la caída de presión permitida para ese punto. Esa caída permitida se obtiene diferente a la forma que se hizo para las tuberías del anillo principal; para este caso lo que se hace es ir sumando todas las caídas en los tramos hasta llegar a sumarla con la del punto de consumo y así obtener un valor total de caída de presión, por lo que se tiene que:

$$\Delta P_{total_1} = \Delta P_{0A} + \Delta P_{AB} + \Delta P_1$$

$$\Delta P_{total_1} = 4,08 + 6,62 + 85,53$$

$$\Delta P_{total_1} = 96,24 \text{ mbar}$$

Donde:

ΔP_{total_1} = caída total hasta el punto de consumo 1 en mbar

ΔP_{0A} = caída en el tramo OA en mbar

ΔP_{AB} = caída en el tramo AB en mbar

ΔP_1 = caída en el punto de consumo 1 en mbar

De la misma forma se realiza con los demás puntos de consumo y se comparan con la caída máxima del sistema, que para el presente caso es de 2% de la presión absoluta. Para estar seguros de que el bajante está bien dimensionado, estas caídas no deben sobrepasar los 186,88 mBar, que es el 2% de los 9,34 Bar de presión absoluta.

En este ejemplo se ajustaron los diámetros para que la caída de presión en los bajantes sea menor a la caída de presión permitida. Esto se hace aumentando el diámetro seleccionado hasta encontrar un valor que no sobrepase esta caída permitida.

A continuación se muestra una tabla con el resumen de todos estos cálculos para la selección de los bajantes

**TABLA 2.5
SELECCIÓN DE LOS DIÁMETROS DE LOS BAJANTES**

| Tramo | Qmax | Qdis | m | β | V | Φ_{cal} | Φ_{sel} | Φ_{nom} | L | ΔP_{calc} | ΔP_{perm} | Estado |
|-------|---------|---------|--------|---------|-------|--------------|--------------|--------------|-----|-------------------|-------------------|----------|
| | (l/min) | (l/min) | (kg/h) | | (m/s) | (mm) | (mm) | (mm) | (m) | (mbar) | (mbar) | |
| 1 | 3398 | 3738 | 225 | 1,29 | 15 | 23,80 | 38,22 | 38 | 70 | 85,53 | 96,24 | Correcto |
| 2 | 3398 | 3738 | 225 | 1,29 | 15 | 23,80 | 38,22 | 38 | 60 | 73,31 | 98,56 | Correcto |
| 3 | 1133 | 1246 | 75 | 1,51 | 15 | 13,74 | 26,03 | 25 | 45 | 48,99 | 95,74 | Correcto |
| 4 | 283 | 311 | 19 | 1,85 | 15 | 6,87 | 16,92 | 16 | 100 | 71,87 | 145,47 | Correcto |
| 5 | 5380 | 5918 | 356 | 1,20 | 15 | 29,94 | 38,22 | 38 | 30 | 85,90 | 93,73 | Correcto |
| 6 | 3398 | 3738 | 225 | 1,29 | 15 | 23,80 | 32,12 | 32 | 35 | 102,02 | 109,85 | Correcto |

Al momento de pensar en una nueva red de aire comprimido, se debe tener presente que para diseñarla hay que hacerlo hacia los puntos más críticos. En la Tabla 2.4 se muestran los diámetros calculados hacia el destino más crítico de cada punto de consumo y es el criterio que se usó para el cálculo de estos bajantes.

Se debe tener presente que antes de estos destinos críticos hay otros elementos que consumen aire pero que no ofrecen una caída de presión mayor al elemento que se utiliza para diseñar. Es por esto que estos puntos de consumo (del 1 al 6) deben mantener las características de la tubería intacta, mientras que otros puntos que se encuentran en el trayecto consumen menos aire o lo hacen esporádicamente y en tiempos muy pequeños. Debido a esto es que se podría generalizar, diciendo que a estos destinos menos significativos (válvulas reguladoras, balanzas, etc) se le puede disminuir el diámetro de la tubería de conexión. Por la experiencia con la actual red es que se pueden ajustar los siguientes diámetros de los puntos que no son críticos. Otro punto que favorece la red es que los elementos de menor consumo se encuentran cerca de la tubería que va hacia el punto crítico.

En algunos casos con los elementos de mayor consumo no se les varía dicho diámetro para evitar cualquier caída excesiva de presión y a la vez se aprovecha para que la tubería en ese tramo sirva como “depósito de aire”.

Comercialmente las tuberías no se piden en milímetros, por lo que se deben solicitarlas en pulgadas. En el mercado nacional se encuentran todos los diámetros especificados en la Tabla # 9 (Anexo # 5), por lo que se debe seleccionar uno de estos y hacer la conversión a pulgadas.

A continuación se muestran las tablas con el resumen de la selección de los diámetros de los bajantes y los puntos de menor consumo por áreas o líneas en pulgadas; además se muestran los equipos críticos (en amarillo) a los cuales les fueron calculados los tamaños de las tuberías.

TABLA 2.6
AJUSTE DE LOS DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS DE EMPAQUE

| LÍNEA | CÓDIGO DE | EQUIPO | Diámetro (pulgadas) |
|---------|-----------|---|---------------------|
| | EQUIPO | | |
| Empaque | 19EM22 | Máquina ENV-A-FLEX | 1/2 |
| | 19EM21 | Máquina ENV-A-FLEX | 1/2 |
| | 19EM16 | Máquina ENV-A-FLEX | 1/2 |
| | 19EM08 | Máquina ENV-A-FLEX | 1/2 |
| | 19EM20 | Máquina ENV-A-FLEX | 1/2 |
| | 19EM11 | Máquina ENV-A-FLEX | 1/2 |
| | 19EM12 | Máquina ENV-A-FLEX (1500) | 1/2 |
| | 19EM13 | Máquina ENV-A-FLEX (1500) | 1/2 |
| | 19EM14 | Máquina MULTI - PACK | 1/2 |
| | 19EM07 | Máquina MULTI - PACK | 1/2 |
| | 19EM10 | Máquina MULTI - PACK | 1 1/2 |
| | 19EM15 | Máquina MULTI - PACK | 1/2 |
| | 19EC2 | Encintadora neumática empaque detergente al detalle | 1/2 |

TABLA 2.7
AJUSTE DE LOS DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS DE PLÁSTICOS

| LÍNEA | CÓDIGO DE | EQUIPO | Diámetro (pulgadas) |
|-----------|-----------|--------------------|---------------------|
| | EQUIPO | | |
| Plásticos | PCS2 | Cortador Vega 1000 | 1/2 |
| | PCS3 | Cortadora Vega 800 | 1/2 |
| | PIMP2 | Imprenta 2 | 1/2 |
| | PIMP3 | Imprenta 3 | 1/2 |
| | PE1 | Extrusora 1 | 1/2 |
| | PE4 | Extrusora 4 | 1/2 |
| | PCE2 | Coextrusora 2 | 1/2 |
| | PINY1 | Inyectora 1 | 1 1/2 |
| | PINY2 | Inyectora 2 | 1/2 |
| | PS1 | Sopladora 1 | 1/2 |
| | PS3 | Sopladora 3 | 1/2 |

TABLA 2.8
AJUSTE DE LOS DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS DE LÍNEAS MENORES

| LÍNEA | CÓDIGO DE EQUIPO | EQUIPO | Diámetro (pulgadas) |
|----------------|------------------|--|---------------------|
| | EQUIPO | | |
| Líneas menores | 17LL2 | Máquina llenadora No 2 (1000kg) | 1/2 |
| | 13LL3 | Máquina llenadora neumática de detergente líquido | 1/2 |
| | 10LL4 | Máquina de llenado para cloro burbuja (8H) | 1/2 |
| | 10LL1 | Máquina de llenado para cloro burbuja (3C) | 1/2 |
| | 10LL2 | Máquina de llenado para cloro burbuja (1A) | 1/2 |
| | 10LL5 | Máquina de llenado para cloro burbuja (2B) | 1/2 |
| | 10LL3 | Máquina de llenado para cloro burbuja (9I) | 1 |
| | 10LL7 | Máquina de llenado para cloro burbuja (7G) | 1/2 |
| | 10LL6 | Máquina de llenado para cloro burbuja (6F) | 1/2 |
| | 10LL9 | Máquina de llenado para cloro burbuja (5E) | 1/2 |
| | 10LL8 | Máquina de llenado para cloro burbuja (4D) | 1/2 |
| | 10EC3 | Encintadora neumática | 1/2 |
| | 10EC4 | Encintadora neumática | 1/2 |
| | 10LL0 | Máquina llenadora de 5 boquillas para cloro botella | 1/2 |
| | 35O22 | Bomba neumática de diafragma | 1/2 |
| | 10LL1 | Máquina llenadora de 7 boquillas para lavaplatos líquido botella y desinfectante botella | 1/2 |
| | 12EX2 | Extrusora de detergente en barra No 2 | 1/2 |

TABLA 2.9
AJUSTE DE LOS DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS DE SULFANADORA

| LÍNEA | CÓDIGO DE | EQUIPO | Diámetro (pulgadas) |
|--------------------|--|--|------------------------|
| | EQUIPO | | |
| Sulfanadora | 21-5VA02 | Válvula automática en la tubería azul | 1/2 |
| | 21-5VN01 | Válvula neumática cerca de la motobomba 5P20.1A | 1/2 |
| | 21-5VN02 | Válvula neumática en tubería azul que sale de 5E20.1 | 1/2 |
| | 21-VA019 | Válvula automática | 1/2 |
| | 21-VA020 | Válvula automática | 1/2 |
| | 21-VA03 | Válvula automática en la tubería azul | 1/2 |
| | 21-VA04 | Válvula automática | 1/2 |
| | 21-VA05 | Válvula automática en la batería de regeneración | 1/2 |
| | 21-VA06 | Válvula automática en la batería de regeneración | 1/2 |
| | 21-VA17 | Válvula automática en la tubería azul que está en el reactor | 1 |
| | 21-VA08 | Válvula automática entre el filtro de gases | 1/2 |
| | 21-VA09 | Válvula automática entre el filtro de gases | 1/2 |
| | 21-VA10 | Válvula automática en la tubería que viene del enfriador | 1/2 |
| | 21-VA11 | Válvula automática en la tubería de aire arriba | 1/2 |
| | 21-VA12 | Válvula automática enfrente del E21.4 | 1/2 |
| | 21-VA13 | Válvula automática en la tubería azul que va al reactor R51 | 1/2 |
| | 21-VA14 | Válvula automática en la tubería que sale del R51 | 1/2 |
| | 21-VA15 | Válvula automática en la tubería que sale del R51 | 1/2 |
| | 21-VA16 | Válvula automática en la tubería de agua que sale de P25.5 | 1/2 |
| | 21-VA07 | Válvula automática en un costado del horno H21.1 (FV21.1) | 1/2 |
| 21-VN01 | Válvula neumática entre los filtros de aire 11C1A, 11C1B y F20.1 | 1/2 | |
| 21-VN02 | Válvula neumática que sirve de regulador de paso | 1/2 | |
| 21-VN03 | Válvula neumática que funciona como regulador de paso | 1/2 | |

TABLA 2.10
AJUSTE DE LOS DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS DE SULFANADORA

| LÍNEA | CÓDIGO DE | EQUIPO | Diámetro (pulgadas) |
|---------|-----------|---------------------------------------|------------------------|
| | EQUIPO | | |
| Tanques | BMP-TA18 | Tanque No 18 gasóleo grande (piletas) | 1 1/2 |
| | BMP-TA19 | Tanque No 19 gasóleo No1 (piletas) | 1/2 |
| | BMP-TA21 | Tanque No 21 gasóleo (piletas) | 1/2 |

TABLA 2.11
AJUSTE DE LOS DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS DE LA TORRE DE SECADO

| LÍNEA | CÓDIGO DE EQUIPO | EQUIPO | Diámetro (pulgadas) |
|-------|------------------|--|---------------------|
| | EQUIPO | | |
| TORRE | 65F1 | Filtro de depolvoración (Extractor de finos) | 1 1/2 |
| | 65WG6 | Descarga con trampa de doble aleta control neumático | 1/2 |
| | 65W4 | Válvula desviadora | 1/2 |
| | 64F2 | Filtro para separador de aire (succionador) | 1 1/2 |
| | 64WG3 | Descarga con trampa de doble aleta control neumático | 1/2 |
| | 64F2B | Filtro para separador de aire (succionador) | 1 1/2 |
| | 64WG4 | Descarga con trampa de doble aleta control neumático | 1/2 |
| | HV64.7 | Válvula neumática en la tubería de aire que da al ambiente | 1/2 |
| | IC64-1 | Válvula neumática en la bifurcación | 1/2 |
| | 62F1B | Filtro de depolvoración para finos de materia prima sólida | 1 1/2 |
| | 62WG7B | Descarga con trampa de doble aleta control neumático | 1/2 |
| | 62F1 | Filtro de mangas depolvoración para sulfato | 1 1/2 |
| | 62WG7 | Descarga con trampa de doble aleta control neumático | 1/2 |
| | 64F1 | Filtro para aire para reciclado | 1 1/2 |
| | HV64.1 | Válvula neumática para control de aire (horno viejo) | 1/2 |
| | PY64.1 | Válvula para control de aire (extracción) | 1/2 |
| | 65W6 | Válvula desviadora neumática | 1/2 |
| | 65W7 | Válvula desviadora neumática | 1/2 |
| | 65LWF1 | Dosificador de enzimas | 1/2 |
| | 65LWF2 | Dosificador de enzimas | 1/2 |
| | 65V9 | Perfumador estático | 1/2 |
| | 65V9C | Perfumador rotativo grande | 1/2 |
| | 65V9A | Perfumador rotativo | 1/2 |
| | 65V9B | Perfumador estático | 1/2 |
| | 65V9D | Perfumador estático para fórmula | 1/2 |
| | HV64-2 | Válvula para control de aire | 1/2 |
| | 62WG8 | Grupo de dosificación de materia activa - Balanza - | 1/2 |
| | 62WG9 | Grupo de dosificación de silicato - Balanza - | 1/2 |
| | 62WG10 | Grupo de dosificación de reproceso - Balanza - | 1/2 |
| | 62WG11 | Grupo de dosificación de aguas - Balanza - | 1/2 |
| | 62WG1 | Grupo dosificador de sulfato de sodio - Balanza - | 1/2 |
| | 62WG2 | Grupo dosificador de tripolifosfato de sodio - Balanza - | 1/2 |
| | 62WG3 | Grupo dosificador de aditivos - Balanza - | 1/2 |
| | 62WG5 | Grupo dosificador de carbonato de sodio - Balanza - | 1/2 |
| | 64H2 | Quemador gasóleo para aire caliente (horno nuevo) | 1/2 |
| | HV64-4B | Válvula neumática (horno nuevo) -Damper- | 1/2 |
| | 61F2 | Filtro de depolvoración Nivel 0 | 1 1/2 |
| | 61WG1 | Descarga con trampa de doble aleta control neumático | 1/2 |

Para el caso particular de la Torre de secado se decidió mantener el diámetro a los filtros de mangas para asegurarse de que no haya una caída grande de presión para estos elementos tan importantes en el proceso (color morado).

En general y por la configuración de la planta, estos son los diámetros aptos para que estos elementos trabajen sin ningún problema.

2.2.5.6 Cálculo del volumen del depósito

El volumen del depósito de aire estará determinado por el caudal del compresor. En este caso, al ser compresores de tornillo entonces:

$$V_T = \frac{V_R}{3}$$

$$V_T = \frac{306584}{3}$$

$$V_T = 10195 \text{ litros} = 10,2 \text{ m}^3$$

Donde:

V_T = Volumen del depósito de aire.

V_R = Volumen entregado por el(los) compresor(es).

Este volumen es el volumen mínimo que debe tener el tanque de almacenamiento de aire. Esta capacidad del tanque también se puede distribuir en todas las líneas con el fin de contener los consumos locales y darle descanso al compresor, debido a esta consideración es que se propone colocar cuatro tanques de 1500 litros, cada uno, en la mitad del recorrido de los puntos de consumo 1, 2,5 y 6, Torre, Empaque, Plásticos y Tanques de gasóleo respectivamente, que son los mayores consumidores de la red y colocar un tanque de 5000 litros a la salida del compresor.

2.2.5.7 Conclusiones

- Tener aire comprimido de buena calidad es importante para asegurar una larga vida útil de los equipos neumáticos.
- La implementación del nuevo diseño permitirá reducir la cantidad de condensado y aceite en la línea.
- La red de aire comprimido actual experimenta caídas drásticas de presión debido a que no existe un depósito de aire que contenga estos picos de consumo.
- Actualmente los compresores instalados no están abasteciendo completamente el consumo de la planta en momentos de alta producción.
- Se debe colocar un depósito de aire para ayudar al sistema de aire en momentos de alta producción.
- La presencia de tuberías dentro de la red, que no se están utilizando, reducen la eficiencia del sistema considerablemente.

- Debido a la dificultad de obtener los datos del consumo de las líneas y al consecuente atraso, no se pudo cumplir con el objetivo de cotizar los materiales. No obstante, para el informe que se le debe entregar a la empresa Irex se cumplirá con esto.

2.2.5.8 Recomendaciones

- Instalar un tanque de almacenamiento para ayudar a equilibrar la presión en la red.
- Pintar de color azul los tramos que se han oxidado en la tubería de aire, para que esta sea fácilmente identificable.
- Minimizar al máximo el uso de aire comprimido para limpieza, debido al gran costo que representa.
- Aplicar el Programa de Mantenimiento Preventivo para toda la red de aire comprimido, en donde se procure localizar y eliminar fugas, el cambio periódico de válvulas y otros accesorios que presenten un deterioro considerable.

3 Capítulo III

Implementación de la plataforma para el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, RCM.

3.1 Introducción

En este capítulo se presenta el desarrollo del proyecto administrativo denominado *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM*. En este se indican los procedimientos y parámetros para la elaboración de dicha plataforma que permita el buen funcionamiento de los equipos seleccionados como críticos.

Primeramente se desarrolla un marco teórico que permita determinar el concepto de este tipo de mantenimiento puesto en práctica desde principios de los años sesenta por medio de la Aviación Civil Norteamericana.

Seguidamente, en el presente capítulo se muestran los pasos a seguir para el buen diseño y desarrollo de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM para una caldera Cleaver – Brooks de 200 HP.

Asimismo, se informa acerca de la mayor parte de las etapas que componen el RCM.

3.2 Marco teórico

Durante los últimos veinte años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y en variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento, y una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas de los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acotado el costo.

Estos cambios están llevando al límite las actitudes y habilidades en todas las ramas de la industria. El personal de mantenimiento se ve obligado a adoptar maneras de pensar completamente nuevas, y actuar como ingenieros y como gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se hacen cada vez más evidentes, sin importar cuánto se hayan computarizado.

Frente a esta sucesión de grandes cambios, los gerentes en todo el mundo están buscando un nuevo acercamiento al mantenimiento. Quieren evitar arranques fallidos y callejones sin salida que siempre acompañan a los grandes cambios. *Buscan en cambio una estructura estratégica que sintetice los nuevos desarrollos en un modelo coherente, para luego evaluarlo y aplicar el que mejor satisfaga sus necesidades y las de la compañía.*

3.2.1 La primera generación

La Primera Generación cubre el período que se extiende hasta la Segunda Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que el tiempo de parada de máquina no era de mayor importancia. Esto significaba que la prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes. A su vez, la mayor parte de los equipos eran simples, y la gran mayoría estaban sobredimensionados. Esto los hacía confiables y fáciles de reparar. Como resultado no había necesidad de un mantenimiento sistemático más allá de una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación. Se necesitaban menos habilidades para realizar el mantenimiento hoy día.

3.2.2 La segunda generación

Durante la Segunda Guerra Mundial todo cambió drásticamente. La presión de los tiempos de guerra aumentó la demanda de todo tipo de bienes, al mismo tiempo que decaía abruptamente el número de trabajadores industriales. Esto llevó a un aumento en la mecanización. Ya en los años '50 había aumentado la cantidad y complejidad de todo tipo de máquinas. La industria estaba empezando a depender de ellas.

Al incrementarse esta dependencia, comenzó a concentrarse la atención en el tiempo de parada de máquina. Esto llevó a la idea de que las fallas en los equipos podían y debían ser prevenidas, dando lugar al concepto de *mantenimiento preventivo*. En la década del sesenta esto consistió principalmente en reparaciones mayores a intervalos regulares prefijados. El costo del mantenimiento comenzó a crecer rápidamente en relación con otros costos operacionales. Esto llevó al desarrollo de *sistemas de planeamiento y control del mantenimiento*.

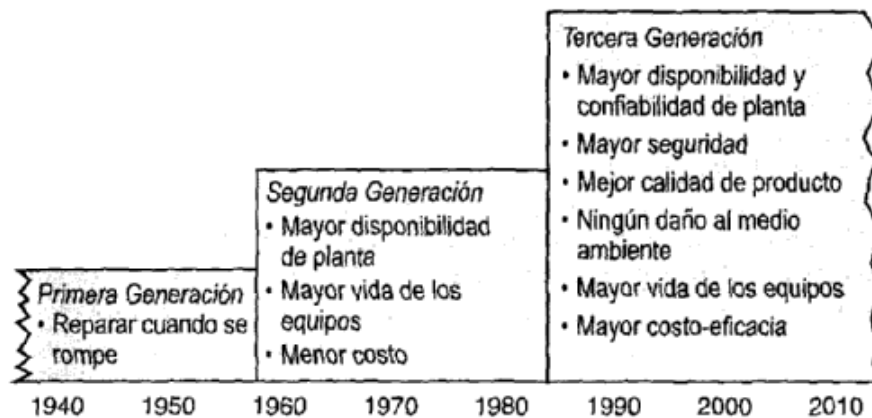


Figura 3.1. Expectativas de mantenimiento crecientes.

3.2.3 La tercera generación

Desde mediados de la década del setenta el proceso de cambio en la industria ha adquirido aún más impulso. Los cambios han sido clasificados en: nuevas expectativas, nuevas investigaciones, y nuevas técnicas.

3.2.3.1 Nuevas expectativas

La Figura 3.1 muestra la evolución de las expectativas de mantenimiento. El tiempo de parada de máquina afecta la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos operacionales, y al afectar el servicio al cliente. En consecuencia, ha pasado de ser un costo casi sin importancia a estar en la más alta prioridad en el control de costos.

3.2.3.2 Nuevas investigaciones

Más allá de la existencia de mayores expectativas, las nuevas investigaciones están cambiando muchas de las creencias más profundas referidas a la edad y las fallas. En particular, parece haber cada vez menos conexión entre la edad de la mayoría de los activos y la probabilidad de que estos fallen.

La Figura 3.2 muestra cómo, en un principio, la idea que prevalecía indicaba que la medida en que los elementos envejecían eran más propensos a fallar. Una creciente conciencia de la "mortalidad infantil" llevó a la Segunda Generación a creer en la curva de "bañera" o "bananera".

Sin embargo, investigaciones en la Tercera Generación revelan no uno ni dos sino seis patrones de falla que realmente ocurren en la práctica.

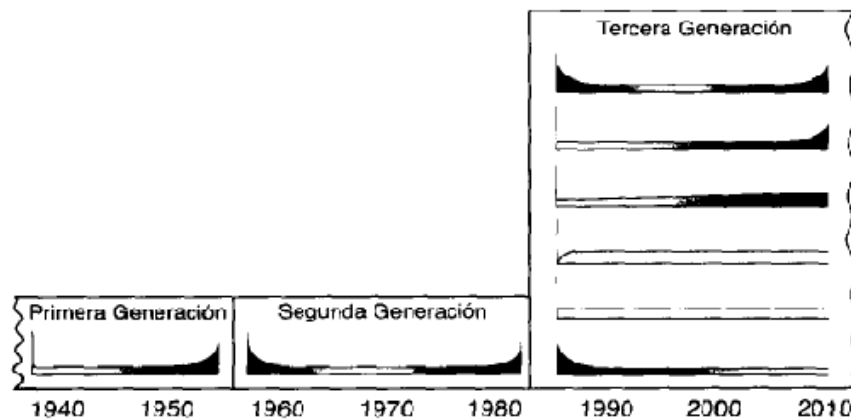


Figura 3.2. Cambios en los puntos de vista sobre la falla de equipos

En otras palabras, la industria en general tiende a prestar mucha atención para hacer las tareas de mantenimiento correctamente (hacer correctamente el trabajo), pero se necesita hacer mucho más para asegurarse que los trabajos que se planean son los trabajos que deben hacerse (hacer el trabajo correcto).

3.2.3.3 Nuevas técnicas

Ha habido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento. Cientos de ellos han sido desarrollados en los últimos veinte años, y emergen aún más cada semana. La Figura 3.3 muestra cómo ha crecido el interés por los clásicos sistemas administrativos y de control para incluir nuevos desarrollos en diferentes áreas. Los nuevos desarrollos incluyen:

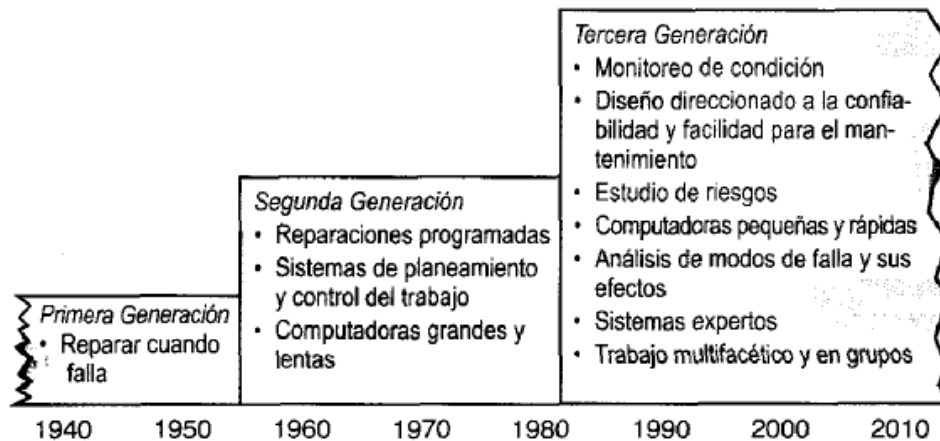


Figura 3.3. Cambios en las técnicas de mantenimiento

Como se dijo anteriormente, uno de los mayores desafíos que enfrenta el personal de mantenimiento es no solo aprender qué son estas técnicas sino decidir cuáles valen la pena y cuáles no para sus propias organizaciones. Si se hacen elecciones adecuadas es posible mejorar el rendimiento de los activos y al mismo tiempo contener y hasta reducir el costo del mantenimiento. Si se hacen elecciones inadecuadas se crean nuevos problemas mientras empeoran los que ya existen.

3.2.4 Los desafíos que enfrenta el mantenimiento

La primera industria que enfrentó sistemáticamente los desafíos propios del mantenimiento fue la aviación comercial. El elemento crucial que provocó esta reacción fue el darse cuenta que se debe dedicar tanto esfuerzo en asegurarse que se están realizando las tareas correctamente como en asegurarse que se están haciendo las tareas correctas. El darse cuenta de esto dio lugar al desarrollo de procesos de tomas de decisión comprensivos que se conocieron dentro de la industria aeronáutica con el nombre de MSNG3 y fuera de esta como Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o RCM.

En casi todos los campos de esfuerzos humanos organizados, RCM es fundamental para la custodia responsable de los activos físicos de la misma manera que lo es la contabilidad de doble entrada para la custodia responsable de los activos financieros. No existe ninguna otra técnica comparable para determinar la cantidad mínima segura de tareas que deben ser hechas para preservar las funciones de los activos físicos, especialmente en situaciones críticas o peligrosas. El creciente reconocimiento mundial del papel fundamental que juega el RCM en la formulación de las estrategias de la administración de activos físicos - y la importancia de aplicar RCM correctamente - condujo a la American Society of Automotive Engineers¹⁹⁹⁹ a publicar la norma SAEJA1011: *"Criterio de Evaluación del Proceso del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)"*.

3.2.5 Mantenimiento y RCM

Desde el punto de vista de la ingeniería hay dos elementos que conforman el manejo de cualquier activo físico. El primero es que este debe ser mantenido y el segundo que puede ser modificado.

Con base en el diccionario se define el término “mantener” como conservar cada cosa en su ser (Real Academia Española) o como “conservar su estado existente” (webster). A partir de estas definiciones se puede deducir que “mantenimiento” puede entenderse como “preservar algo”. Por otra parte el término “modificar” significa “cambiar algo de alguna manera” (Real Academia Española). No obstante, esta diferencia entre “mantener” y “modificar” tiene profundas implicaciones que se estudiarán con detalle en los capítulos siguientes.

Debe tenerse presente que todo activo físico es puesto en funcionamiento porque alguien quiere que haga algo, en otras palabras, se espera que cumpla una función o ciertas funciones específicas. Por ende al mantener un activo, el estado que se debe preservar es aquel en el que continúe haciendo aquello que los usuarios quieran que haga.

3.2.6 RCM: Las siete preguntas básicas

El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

3.2.6.1 Funciones y parámetros de funcionamiento

Antes de poder aplicar un proceso para determinar qué debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, se necesita hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga.
- Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Los usuarios de los activos generalmente están en la mejor disposición de conocer exactamente qué contribuciones físicas y financieras brinda el activo para el bienestar de la organización como un todo. Por ello es esencial que estén involucrados en el proceso de RCM desde el comienzo.

3.2.6.2 Fallas funcionales

Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones asociadas al activo en cuestión. Pero, ¿Cómo puede el mantenimiento alcanzar estos objetivos?

El único hecho que puede hacer que un activo no pueda desempeñarse conforme a los parámetros requeridos por sus usuarios es alguna clase de falla. Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar una política apropiada para el manejo de una falla. Sin embargo, antes de poder aplicar una combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla, se necesita identificar qué fallas pueden ocurrir. El proceso de RCM lo hace en dos niveles;

- En primer lugar identifica las circunstancias que llevaron a la falla.
- Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

En el mundo del RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales, porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo con el parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

3.2.6.3 Modos de falla

Como se mencionó en el párrafo anterior, una vez que se ha identificado cada falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denominan modos de falla. *Los modos de falla "razonablemente posibles"* incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

3.2.6.4 Efectos de falla

El cuarto paso en el proceso de RCM tiene que ver con hacer un listado de los **efectos de falla**, que describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como:

- Qué evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa).
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta).
- Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

3.2.6.5 Consecuencias de la falla

Un análisis detallado de la empresa industrial promedio probablemente muestre entre tres mil y diez mil posibles modos de falla. Cada una de estas fallas afecta a la organización de algún modo, pero en cada caso, los efectos son diferentes. Pueden afectar operaciones. También pueden afectar la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente. Todas para ser reparadas tomarán tiempo y costarán dinero.

Son estas consecuencias las que motivan la prevención de falla. En otras palabras, si una falla tiene serias consecuencias, se hará un gran esfuerzo para intentar evitarla. Por otro lado, si no tiene consecuencias o tiene consecuencias leves, quizás se decida no hacer más mantenimiento de rutina que una simple limpieza y lubricación básica.

3.2.6.6 Tareas proactivas

Mucha gente todavía cree que la mejor manera de optimizar la disponibilidad de la planta es hacer algún tipo de mantenimiento proactivo de rutina. El pensamiento de la Segunda Generación sugería grandes reparaciones o reposición de componentes a intervalos fijos. La Figura 3.4 muestra la perspectiva de la falla a intervalos regulares.

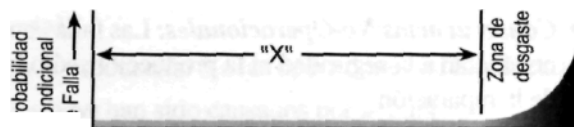


Figura 3.4. La perspectiva tradicional de la falla

La Figura 3.4 se basa en la presunción de que la mayoría de los equipos operan confiablemente por un período “X”, y luego se desgastan. El pensamiento clásico sugiere que los registros extensivos acerca de las fallas permiten determinar y planear acciones preventivas un tiempo antes de que estas ocurran.

Este patrón es cierto para algunos tipos de equipos simples, y para algunos ítemes complejos con modos de falla dominantes.

Sin embargo, los equipos en general son mucho más complejos de lo que eran hace veinte años atrás. Esto ha traído aparejado sorprendentes cambios en los patrones de falla, como lo muestra la Figura 3.5. Los gráficos muestran la probabilidad condicional de la falla en relación con la edad operacional para una variedad de elementos mecánicos y eléctricos.

El patrón A es la ya conocida curva de la “bañadera”. Comienza con una gran incidencia de fallas (llamada *mortalidad infantil*), seguida por un incremento constante o gradual de la probabilidad condicional de falla, y por último, una zona de desgaste.

El patrón B muestra una probabilidad condicional de falla constante o de lento incremento, y que termina en una zona de desgaste (igual que la Figura 3.4).

El patrón C muestra una probabilidad condicional de falla que crece lentamente, pero no tiene una edad de desgaste claramente identificable. El patrón D muestra una baja probabilidad condicional de falla cuando el equipo es nuevo o recién salido de la fábrica y luego un veloz incremento a un nivel constante, mientras que el patrón E muestra una probabilidad condicional de falla constante a todas las edades por igual (falla al azar). El patrón F comienza con una alta mortalidad infantil que finalmente cae a una probabilidad de falla constante o que asciende muy lentamente.

Estudios realizados en aeronaves comerciales demostraron que un 4% de los elementos correspondían al patrón A, un 2% al B, un 5% al C, un 7% al D, un 14% al E, y no menos de un 65% al patrón F. (El número de veces que estos patrones ocurren en aeronaves no es necesariamente el mismo que en la industria, pero no cabe duda que, a medida de que los elementos se hacen más complejos, se encuentran cada vez más patrones E y F).

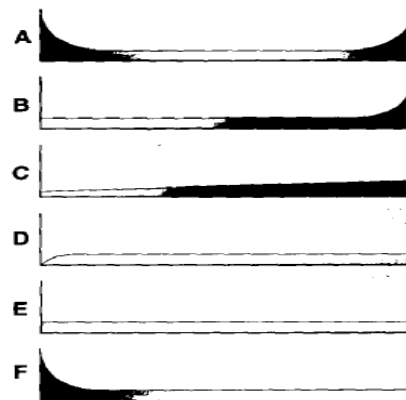


Figura 3.5. Seis patrones de falla.

Estos descubrimientos contradicen la creencia de que siempre hay conexión entre la confiabilidad y la edad operacional.

La toma de conciencia de estos hechos ha llevado a algunas organizaciones a abandonar por completo la idea de mantenimiento proactivo. Y esto puede que sea lo más acertado para fallas con consecuencias menores. Pero cuando las consecuencias de las fallas son importantes, *algo* debe hacerse para prevenir o predecir las fallas, o al menos para reducir las consecuencias.

3.2.7 El Proceso de selección de tareas de RCM

Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no se determina por las características técnicas de la tarea y de la falla que pretende prevenir. Si vale la pena hacerlo o no depende de la manera en que se manejen las consecuencias de la falla.

3.2.8 Aplicando el proceso de RCM

Antes de comenzar a analizar los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos de cualquier organización, es necesario conocer qué activos se tratan y decidir cuáles de ellos serán sometidos al proceso de revisión de RCM. Esto significa que debe prepararse un registro de planta, si es que no existe actualmente. De hecho la gran mayoría de las organizaciones industriales poseen hoy día registros de planta que son adecuados para este propósito.

3.2.9 Planeamiento

Si es aplicado correctamente, RCM logra grandes mejoras en la efectividad del mantenimiento, y a menudo lo hace sorprendentemente rápido. Sin embargo, la aplicación exitosa de RCM depende de un meticuloso planeamiento y preparación. Los elementos centrales del proceso de planeamiento son:

- Decidir cuáles activos físicos se beneficiarán más con el proceso RCM.
- Evaluar los recursos requeridos para la aplicación del proceso a los activos seleccionados.
- Decidir quién realizará y quién auditará cada análisis, cuándo y dónde, sobretodo en los casos en los que los beneficios justifican la inversión. Lo anterior también implica hacer ajustes para que las personas involucradas reciban el entrenamiento apropiado.
- Asegurar que el contexto operacional de cada activo físico esté claramente comprendido.

3.2.10 Grupos de revisión (Grupo Natural de Trabajo)

Se ha observado que el proceso RCM enmarca siete preguntas básicas. En la práctica, el personal de mantenimiento no puede responder a todas estas preguntas por sí solo. Esto es porque muchas de las respuestas (o la mayoría) sólo pueden ser dadas por personal de producción o de operaciones. Esto se aplica especialmente a las preguntas relacionadas con las funciones, efectos de falla, funcionamiento deseado, y consecuencias de falla.

3.2.11 Qué logra el RCM

Con el RCM se alcanzan los siguientes puntos:

- Mayor seguridad e integridad ambiental.
- Mejor funcionamiento operacional (cantidad, calidad de producto y servicio al cliente).
- Mayor costo-eficacia del mantenimiento.
- Mayor vida útil de componentes costosos.
- Una base de datos global.
- Mayor motivación del personal.
- Mejor trabajo de equipo.

RCM da resultados rápidamente. De hecho, si son enfocadas y aplicadas correctamente, las revisiones de RCM se repagan en cuestión de meses y hasta semanas y el resultado es un mantenimiento más eficaz, más armonioso y más exitoso.

3.3 Metodología

La metodología del diseño de la plataforma para la implementación del Programa de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM, se menciona a continuación, en cada una de las etapas que lo componen. Cabe mencionar que este proyecto forma parte de la implementación del Mantenimiento Productivo Total, TPM, que se está desarrollando actualmente en esta empresa.

3.3.1 Selección de los equipos

El Departamento de Mantenimiento ha establecido los lineamientos por medio de los cuales la empresa realizará la gestión del mantenimiento a los equipos e instalaciones de los procesos productivos de Irex de Costa Rica, en un documento llamado “Sistema de Gestión de Calidad”. Este pertenece al proceso de certificación ISO que pretende alcanzar la empresa. De esta normativa, específicamente en el punto 5.1 (Anexo # 6), se menciona la descripción del procedimiento de la “Clasificación de la criticidad de equipos e instalaciones”, donde se determina cuáles equipos son críticos y cuáles no son críticos.

Con base en la “Tabla de clasificación de equipos e infraestructura” (Anexo # 7), que pertenece al procedimiento “Clasificación de la criticidad de equipos e instalaciones”, se decidió realizar el RCM a los “equipos auxiliares” que son denominados como críticos. Para realizar este proyecto se tomó el equipo de esta tabla con mayor puntaje, que son las calderas, y se implementó el RCM, específicamente a la caldera de 200 Hp. A continuación se muestra una sección de la “Tabla de clasificación de equipos e infraestructura”, específicamente los equipos auxiliares.

TABLA 3.1
EXTRACTO DE LA TABLA DE CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS E
INFRAESTRUCTURA DE LA PLANTA DE IREX DE COSTA RICA

| Proceso | Equipo | A | B | C | D | E | F | G | H | Total |
|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|
| Equipos Auxiliares | Calderas | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 | 2 | 20 |
| | Compresores de aire principales | 0 | 0 | 3 | 3 | 2 | 0 | 3 | 3 | 14 |
| | Secadores de aire principales | 0 | 0 | 2 | 2 | 3 | 0 | 2 | 3 | 12 |
| | Chiller de servicios generales | 0 | 0 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 16 |
| | Transformadores principales | 2 | 0 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 | 17 |
| | Transformadores secos | 2 | 0 | 1 | 3 | 3 | 0 | 2 | 3 | 14 |
| | Tableros y disyuntores eléctricos | 2 | 0 | 3 | 3 | 3 | 0 | 2 | 2 | 15 |
| | Aire acondicionado del cuarto de servidores | 1 | 0 | 2 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 10 |
| | Bombas para agua | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 8 |
| | Bombas para combustible | 1 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 2 | 10 |

La forma en que se llega a obtener el puntaje total es la siguiente, evaluando el impacto que tienen estos equipos en la seguridad (A), en el medio ambiente (B), en la producción total (C), en la producción de línea (D), en la integridad de otros equipos (E), en la calidad (F), en su valor económico (G) y en la dificultad de adquirirlos (H). A cada uno de estos criterios de evaluación se le califica en una escala de 0 a 3, en donde 0 es “Nada Importante”, 1 es “Poco Importante”, 2 es “Importante” y 3 es “Muy Importante”. Después de asignarle un puntaje a cada criterio de evaluación, se suma el puntaje de cada criterio por equipo y se obtiene un total; si este total es mayor o igual a 12 entonces el equipo es considerado como *equipo crítico*, y si es inferior a 12 entonces es considerado como equipo *no crítico*.

3.3.2 Selección del Grupo Natural de Trabajo (GNT)

En esta etapa se analizó la situación de los equipos seleccionados y se determinaron las personas más indicadas para formar parte del Grupo Natural de Trabajo. Las personas seleccionadas son las siguientes: Gerardo Naranjo (Supervisor de los operadores de calderas), Gustavo Garita (Técnico mecánico), Alejandro Salgado (Técnico eléctrico) y Omar Mora (Estudiante investigador). Además se contó con la presencia del Ing. Jorge Valverde Vega, profesor del Instituto Tecnológico de Costa Rica e integrante del Comité Central para la implementación del proyecto TPM.



Figura 3.6. Grupo Natural de Trabajo del RCM realizado a la caldera de 200 Hp

3.3.3 Capacitación inicial

El día 6 de marzo se realizó la capacitación sobre Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM, impartida por el Ingeniero Jorge Valverde Vega a los Grupos Naturales de Trabajo. La sesión que empezó a las 2 pm y terminó a las 6 pm logró su objetivo, debido a que los integrantes de los grupos pudieron evacuar sus dudas y formar sus expectativas sobre este tema. Además, se logró definir el formato de la hoja de trabajo RCM por utilizar (Anexo # 8).

3.3.4 Implementación del RCM

El día 14 de marzo empezaron las reuniones entre los Grupos Naturales de Trabajo. Se realizaron 8 sesiones de trabajo, de 4 horas cada una, los días 14, 16, 21, 23, 28 y 30 de marzo, además del 20 y 28 de abril, en el horario de 2 pm a 6 pm.

3.2.4.1 Límites del análisis

Durante el desarrollo de las reuniones el grupo determinó los límites del análisis, definiendo claramente cuál es el “Objeto RCM” a partir del cual se iniciará el análisis y para determinarlo se dividió la máquina en partes y subpartes.

El grupo tomó la decisión de dividir la caldera en 6 partes y cada una de estas en subpartes, y la división que se le realizó a la caldera es la siguiente:

Sistema de combustible

- Tanque externo de abastecimiento
- Filtro de salida del tanque externo
- Electroválvula del tanque de consumo diario
- Tanque de consumo diario
- Válvula manual después del tanque diario
- Filtro de salida del tanque de consumo diario
- Conjunto motor – bomba
- Intercambiador de calor
- Termostato del calentador eléctrico del combustible (Resistencia)
- Termostato que permite la entrada de vapor (serpentín)
- Termostato de control del quemador (Arranque – Pare)
- Manómetro a la entrada de combustible al quemador
- Filtro a la entrada al quemador
- Válvula manual de la entrada del vapor
- Regulador de presión de la entrada de vapor
- Manómetro de control de presión de la entrada de vapor
- Electroválvula de control de entrada de vapor
- Trampa a la salida de los condensados
- Válvula manual de purga de los condensados
- Válvula de seguridad de la línea de retorno del combustible
- Transformador seco
- Breacker después del transformador seco
- Contactor con protección térmica

Quemador

- Termómetro a la entrada del combustible
- Regulador de presión a la entrada del combustible
- Manómetro de la presión del quemador de combustible
- Manómetro del retorno del combustible
- Válvula de compuerta con orificio
- Válvula de desvío manual
- Válvula de escape de contra presión
- Electroválvula de entrada de combustible al quemador
- Manómetro a la entrada del aire al quemador
- Fococelda
- Electrodo
- Boquillas
- Motor del abanico
- Abanico
- Registro rotatorio de aire
- Estabilizador
- Difusor
- Conjunto del piloto del gas
- Varillaje
- Leva
- Motor del modulador
- Transformador de alto voltaje

Alimentación de agua

- Tanque de condensados
- Válvula manual de entrada a la bomba
- Filtro antes de la bomba
- Conjunto motor – bomba
- Válvula check
- Válvula manual
- Válvulas Mc Donell (2) *
- Válvula manual que da hacia la línea de purga (2) *

Alimentación de gas

- Cilindro de gas
- Válvula manual de entrada del gas
- Regulador de presión a la entrada del gas
- Manómetro de presión a la entrada del gas
- Electro válvula de control de la entrada del gas

Alimentación del aire por el compresor de la caldera

- Compresor
- Motor
- Caja de aceite
- Caja refrigerante
- Válvula manual de entrada de aire al compresor
- Presostato a la salida del compresor
- Válvula manual a la entrada del aire auxiliar
- Regulador de presión a la entrada del aire auxiliar

Caldera

- Válvulas de descarga
- Válvulas de seguridad
- Chimenea
- Hogar
- Tubos
- Refractario
- Empaques
- Tapas
- Tortugas
- Tablero de control
- Caja de entrada electricidad
- Tubería de purgas
- Presostato de operación
- Presostato de fuego alto
- Presostato de emergencia
- Manómetro en la línea de los presostatos
- Manómetros en la línea de la Mc Donell (2)*
- Transformador seco
- Breacker después del transformador seco
- Alarmas (fuego y llama)

* Los elementos señalados con (2), indican que existen 2 iguales que realizan la misma función en el mismo sistema.

Luego de tener las listas de partes y las subpartes se procedió a levantar los diagramas de los elementos (Anexo # 9) y las fotografías necesarias para lograr visualizar mejor la situación y así poder iniciar con todo lo necesario para lograr el objetivo.



Figura 3.7. Caldera de 200 Hp, objeto de RCM

Después de tener todos estos elementos se procedió a completar las hojas de trabajo RCM.

3.2.4.2 Ejemplo para ilustrar cómo se completaron las hojas de RCM

Para completar las hojas de RCM se siguió el orden establecido por estas y se tomó el sistema de combustible utilizado para suministrarle combustible a la caldera, como ejemplo para describir este procedimiento. Seguidamente se detallará paso a paso como se fueron llenando estas hojas y las consideraciones que se deben tener con las mismas:

- **Función:**
 1. Suministrar combustible a una temperatura entre 90°C y 100°C.

- **Falla funcional:**
 - A. No suministrar combustible

- **Modos de falla:**

TABLA 3.2
MODOS DE FALLA EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE LA CALDERA DE
200 HP

| MODO DE FALLA | | |
|----------------------|---|---|
| 1 | E | Falta de combustible en el tanque externo de alimentación |
| 2 | I | Filtro obstruido por sedimentos de combustible y lodos |
| 3 | I | Electroválvula no recibe señal porque se disparó breacker |
| 4 | I | Electroválvula abierta por bástago oxidado |

La letra I indica que es un *modo de falla interno* al sistema de combustible. Mientras la letra E indica que es un *modo de falla externo* a este sistema.

Un elemento es externo al sistema de combustible, si no se encuentra dentro de las subpartes en que se dividió dicho sistema; aunque se encuentre presente en otro sistema que está dentro del objeto RCM.

- *Efectos de las fallas*

**TABLA 3.3
EFECTOS PROVOCADOS SI OCURRE LA FALLA FUNCIONAL(A) EN EL SISTEMA
DE COMBUSTIBLE DE LA CALDERA DE 200 HP**

| EFECTOS | | | | |
|---------|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | | |
| N | N | S | 1 | Se apaga la caldera |
| N | N | S | 2 | Se detiene la torre y se deja de producir 7200 kg/h de detergente |
| N | N | S | 3 | Se dejan de producir 227 kg/h de cera cremosa |

Los efectos se relacionan directamente con las fallas funcionales, es decir, el efecto se da si el objeto no realiza la función que se espera que cumpla.

Este paso permite decidir la importancia de las fallas y, por lo tanto, qué nivel de mantenimiento preventivo sería necesario. Se trata de considerar cuales serían las consecuencias, así como los componentes del equipo.

Para determinar los efectos se debe analizar el impacto en:

- 1) La seguridad de las personas
- 2) El medio ambiente
- 3) La propia máquina

En la casilla de los efectos existen los espacios 1, 2 y 3. En estos se niega (N) o se afirma (S) si estos efectos impactan a la persona, al medio ambiente o a la máquina respectivamente. La cuarta casilla es simplemente un consecutivo.

3.3.4.2.1 Acciones proactivas

**TABLA 3.4
ACCIONES PROACTIVAS PARA EL MODO DE FALLA (2) EN EL SISTEMA DE
COMBUSTIBLE DE LA CALDERA DE 200 HP**

| ACCIÓN PROACTIVA | | |
|-------------------------|----------|--|
| 4 | 2 | Limpiar periódicamente |
| 5 | 3 | Definir un procedimiento para el control de la calidad del combustible |

La Acción proactiva es la tarea que se ejecuta para eliminar o mitigar el impacto de los efectos de la falla funcional o de sus modos de falla. Se definen acciones proactivas para cada modo de falla.

Existen cinco tipos de acciones proactivas que son las siguientes:

- 1) Inspección de mantenimiento predictivo
- 2) Inspección de mantenimiento preventivo
- 3) Procedimiento de operación
- 4) Trabajo de rediseño
- 5) Dejar fallar. Trabajo de mantenimiento correctivo.

En la casilla de la acción proactiva existen dos espacios; en el espacio de la izquierda se coloca el consecutivo de esta que se lleva hasta el momento, y en la casilla de la derecha el tipo de acción proactiva, según el listado anterior. Con respecto a los tipos de acción proactiva, listados de 1 a 5, se toma la decisión de ejecutar uno de estos con base en el patrón de falla (Figura 3,5) presentado en el elemento en el cual se manifiesta el modo de falla.

3.3.4.2.2 Subparte

El espacio de subparte indica dónde se puede presentar el modo de falla y en dónde se debe realizar la acción proactiva. Esta casilla refiere a una de las subpartes del sistema en estudio, en este caso del sistema de combustible.

El contenido de las hojas de trabajo se puede consultar en los apéndices de este documento. En estas hojas se encuentra el RCM realizado a la caldera, de forma completa.

3.3.5 Mejoramiento del Plan Preventivo (PMP)

Luego de completar las hojas RCM (Apéndice # 1) se procede a tomar todas las acciones proactivas (marcadas con 2) generadas en las mismas (Anexo # 10) y se comparan con el actual Plan de Mantenimiento Preventivo de la caldera de 200 HP. Para realizar esta comparación es necesario utilizar el software de mantenimiento, e-main, para obtener las actuales tareas programadas (Anexo # 11); y las que no se encuentren, incluirlas (Anexo # 12).

Después se debe asignar a cada una el tiempo que dura la inspección, el encargado de realizarla, la frecuencia, indicar si la inspección se realiza con la máquina en marcha o detenida y la unidad de mantenimiento (equipo) a la que se le realiza (Anexo # 10).

3.2.5.1 Inclusión en el software

Seguidamente de asignarles estas características a cada acción proactiva se procede a incluirlas en el software. Para incluirlas en el e-main lo primero que se hace es ingresar al menú del mismo y seleccionar el ícono de “Planeación de Tareas”

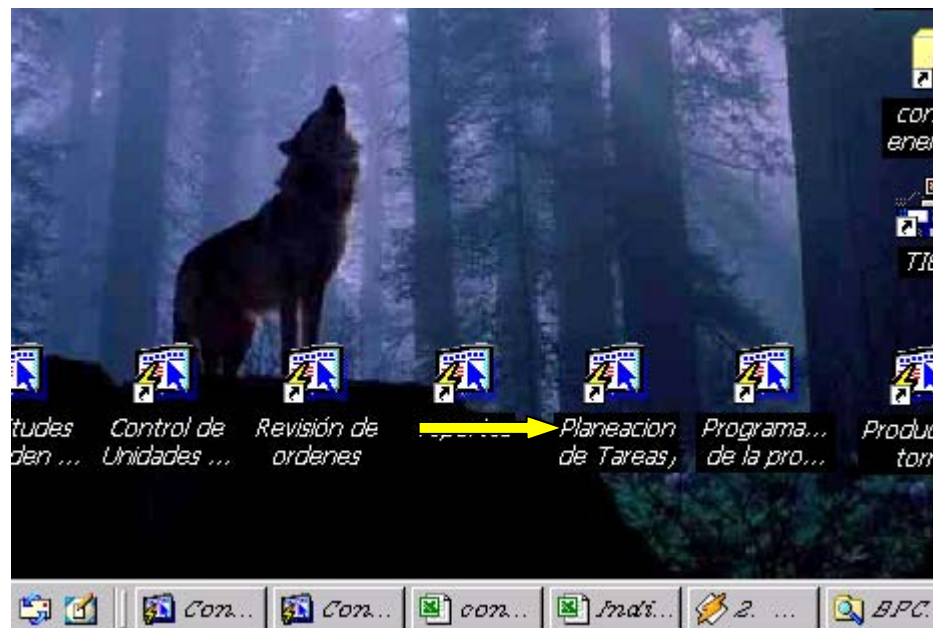


Figura 3.8. Ícono de Planeación de Tareas del software e-main

Después de la “Planeación de tareas” se procede a colocar el código de la tarea. Un código de tarea es QM-M4025 (Anexo # 12), en el cual todos sus elementos tienen un significado, para este caso la primera Q es de *Quincenal* (Frecuencia), la primera M es de *Máquina en Marcha*, la segunda M es de *Motor* y el número 4025 es el número del motor. En la Figura 3.10 se observa donde se incluye esta información.

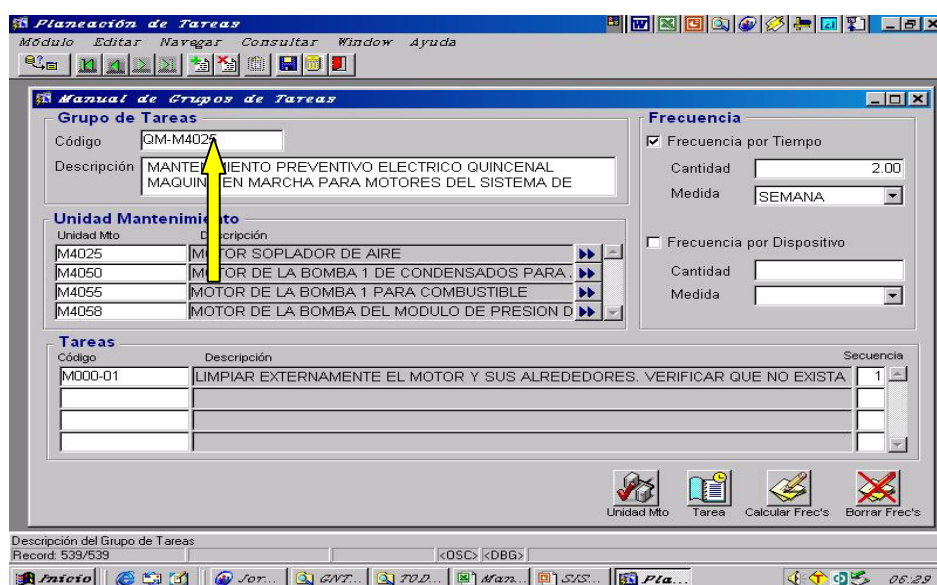


Figura 3.9. Espacio donde se coloca el código de la tarea

En la descripción se incluye el texto en detalle de lo que es la tarea programada. Para este caso se escribe *“MANTENIMIENTO PREVENTIVO ELÉCTRICO QUINCENAL MÁQUINA EN MARCHA PARA MOTORES DEL SISTEMA DE AIRE SECUNDARIO DE LA CALDERA DE 200 HP”*. En la figura 3.11 se puede observar donde se incluye esta leyenda.

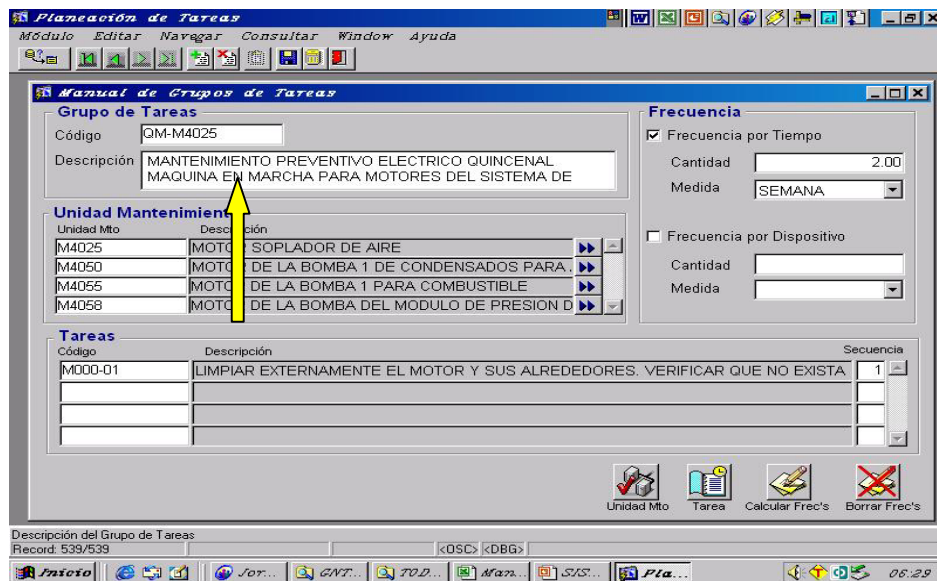


Figura 3.10. Espacio donde se coloca la descripción de la tarea

El siguiente paso es colocar el código del elemento al cual se le realizará la inspección en el espacio “Unidad de Mantenimiento” y el mismo sistema se encarga de ponerle el nombre que tiene asignado ese código. En la Figura 3.11 se observa que para el código *M4025* el sistema tiene registrado la descripción *MOTOR SOPLADOR DE AIRE*

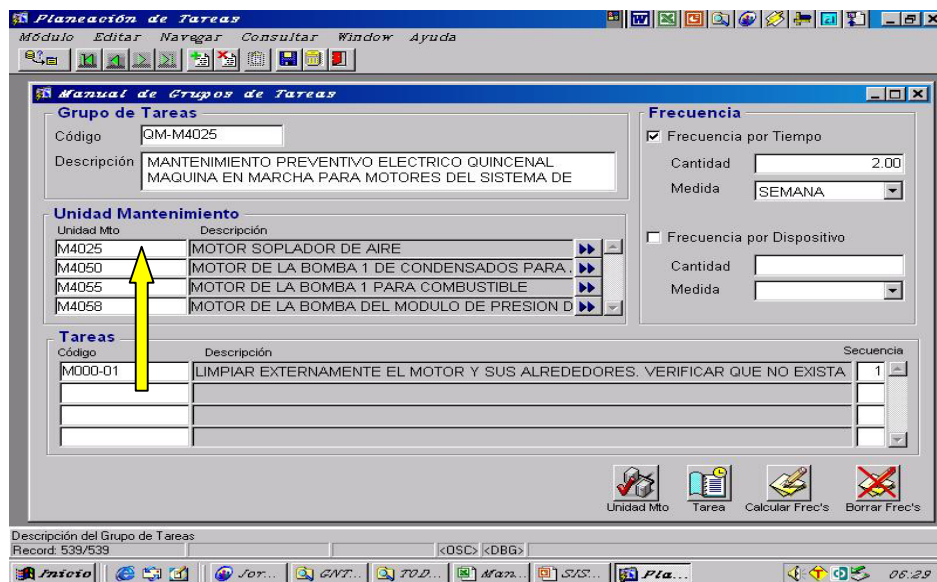


Figura 3.11. Espacio donde se coloca la unidad de mantenimiento

Ahora se debe colocar la frecuencia, se selecciona en “Frecuencia por Tiempo” y en la casilla de *Cantidad* se coloca el número de veces que se realiza la inspección. En la casilla de *Medida* se selecciona el periodo en que se realizará dicha cantidad de inspecciones. En la Figura 3.12 se coloca 2 en la casilla de cantidad y se escoge un periodo semanal, de manera de que esto indique que la inspección es quincenal a partir del momento en que se programa.

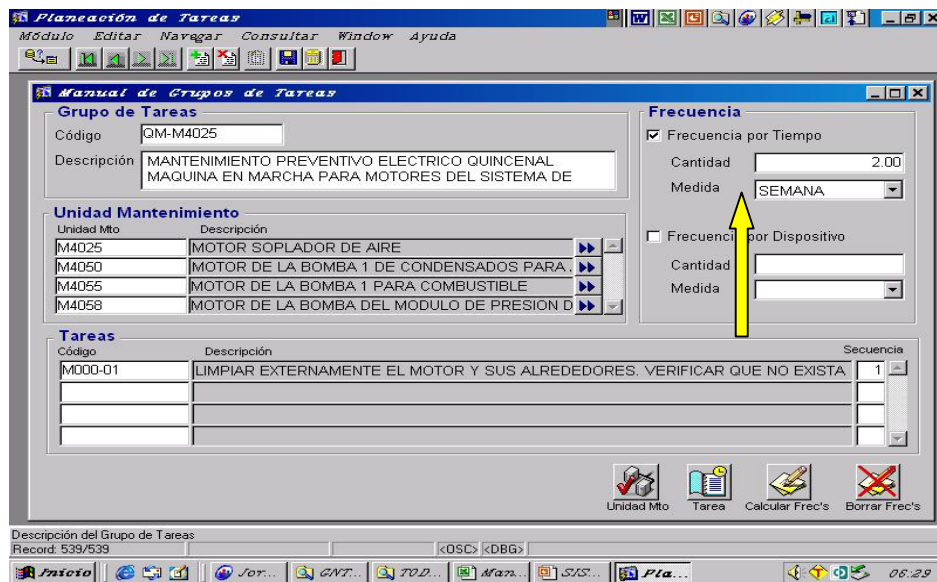


Figura 3.12. Espacio donde se selecciona la frecuencia

Por último se programa la tarea. Para realizar este paso se debe observar si dicha tarea está incluida en el software. Para este caso la tarea existe y posee el código *M000-01* y posee la descripción “*LIMPIAR EXTERNAMENTE EL MOTOR Y SUS ALREDEDORES Y VERIFICAR NO EXISTA DERRAMES DE ACEITE*”. En caso de que no exista la tarea se codifica la nueva y se le asigna el consecutivo de la misma. En la Figura 3.13 se indica el espacio donde se coloca esta información.

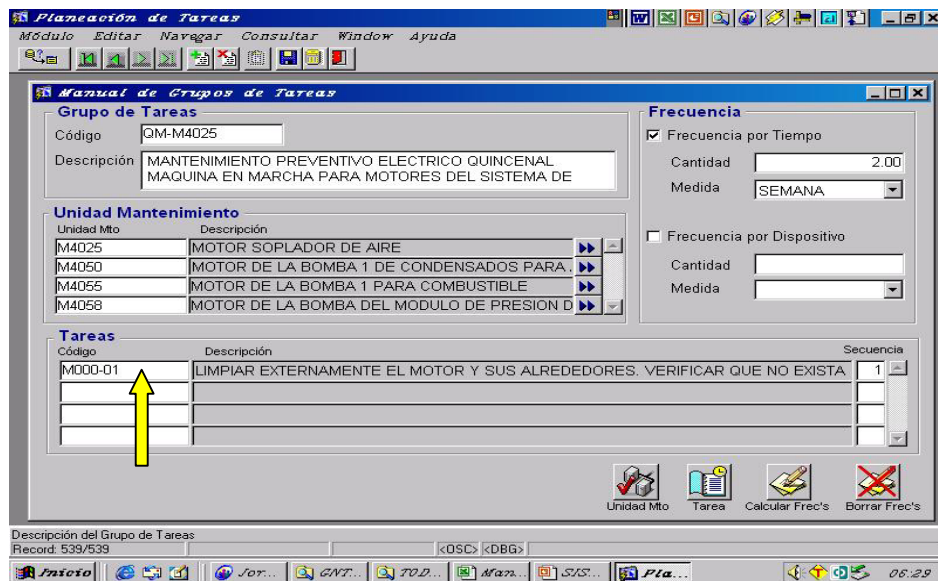


Figura 3.13. Espacio donde se colocan las tareas

Una vez concluido este paso se selecciona el ícono de calcular frecuencias, como se puede apreciar en la Figura 3.14

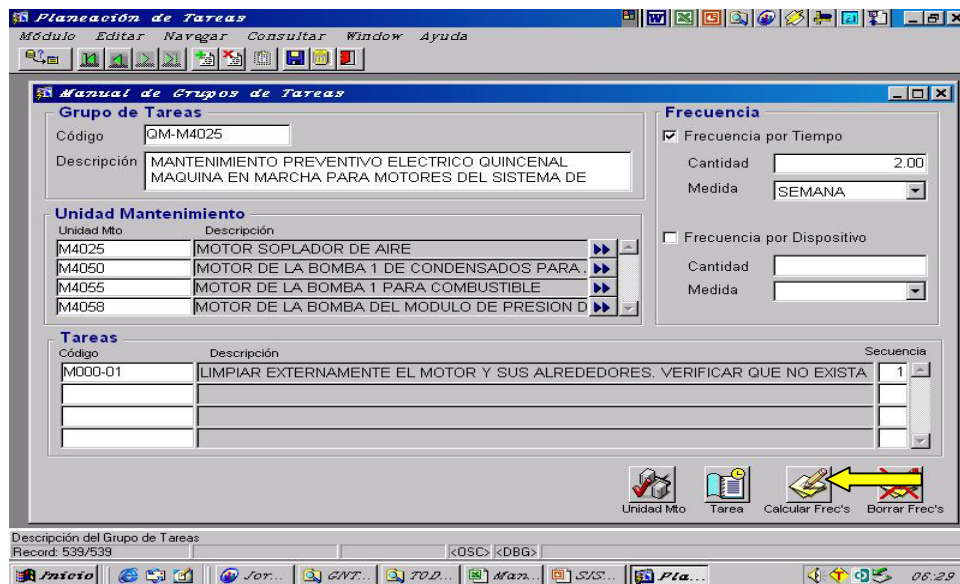


Figura 3.14. Ícono de calcular frecuencias

En la pantalla de la Figura 13.15 aparece el código y de descripción de la tarea que se está programando y al seleccionar la opción “Calcular Frec” estas quedan programadas.

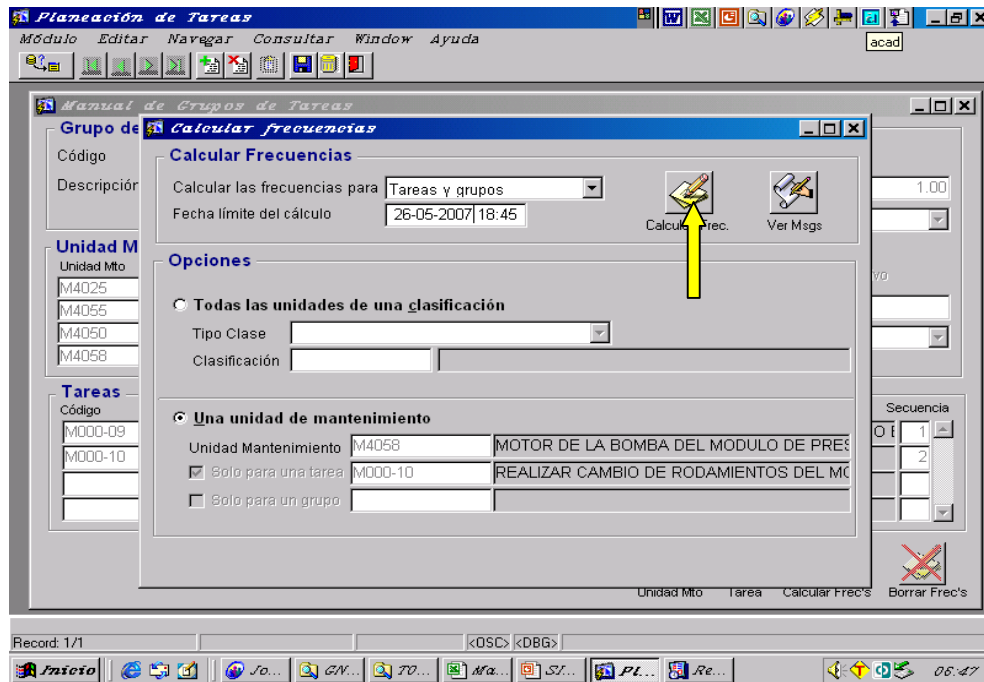


Figura 3.15. Pantalla de calcular frecuencias

Después de realizar todo este proceso de inclusión de la tarea en el e-main, solamente hay que esperar que el mismo genere la orden de trabajo (Anexo # 4) para entregársela al encargado de realizar la tarea.

El RCM es una herramienta muy útil para mejorar los Programas de Mantenimiento Preventivo (PMP) de las empresas, y este trabajo es una prueba de ello. Actualmente está funcionando el PMP de la caldera de 200 HP con las mejoras realizadas por medio del RCM y esto hace que exista una mayor confiabilidad sobre este equipo.

3.2.5.2 Conclusiones

- El RCM es una excelente herramienta para la optimización de los manuales de mantenimiento.
- La técnica de RCM ayuda a aumentar la vida útil de los equipos.
- El RCM es una técnica óptima para favorecer el trabajo en equipo y el compañerismo.
- El análisis de RCM le da a los participantes una motivación adicional en su trabajo, ya que se siente parte importante del mantenimiento de los equipos.
- El RCM brinda a todos los participantes un conocimiento más amplio de los equipos y ayuda a agilizar en el momento que se presente una falla.
- El análisis del RCM proporciona una amplia base de datos donde se brinda una gran cantidad de información respecto al equipo, motivo por el cual si alguna persona no conoce nada sobre los equipos en cuestión, tiene en el RCM un punto de apoyo para estudiar la constitución y funcionamiento de éstos.
- Con el desarrollo de esta técnica se tiene una justificación más segura y analítica en el mantenimiento que se le aplica a los diferentes componentes y al equipo en general, esto con el objetivo de no malgastar dinero ni tiempo en mantenimiento que no sea necesario y aplicar únicamente aquel que demuestre tener eficiencia en la aplicación.

3.2.5.3 Recomendaciones

- Continuar con el proceso de RCM a los restantes equipos. Hay que tener presente que en equipos donde se tenga mucha similitud con los analizados en este proyecto, el trabajo de aplicar RCM se puede reducir considerablemente.
- Mezclar a los nuevos participantes de los restantes RCM con los que ya tienen la experiencia, para que estos sirvan como apoyo al encargado del grupo. Además estos ayudan a agilizar el proceso del mismo.
- Las sesiones de RCM deben de tener una duración menor, ya que en algunos momentos el cansancio de los participantes se manifiesta con distracciones o conversaciones que no vienen al caso
- En caso de que no se pueda reducir la duración de las sesiones, se debe tomar tiempos de descanso o relajación cada cierto tiempo para lograr mantener concentrados a los participantes el mayor tiempo posible.
- Cuando se realice un RCM se debe tener a mano toda la información técnica necesaria como lo son manuales, esquemas y ubicación de la máquina en el proceso productivo.

4 Bibliografía

Cleaver – Brooks, 1975. *Manual de operación, mantenimiento y repuestos de 50 a 100 C.F.*

Coto Castillo, Juan Carlos. *Informe Final de Práctica de Especialidad*. Cartago, Costa Rica, 2005

Moubray, John. 2004. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Gran Bretaña: Aladon Ltda.

Mott, Robert L. 1996. *Mecánica de Fluidos Aplicada*. 4 ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.

Valverde, Jorge. 2006. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)*. Cartago, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Hoja de información

Información del estudiante

Nombre: Omar Steve Mora Zúñiga
Cédula: 1 977 367
Carné ITCR: 9611516
Dirección: De la escuela del Porvenir 100m sur, 200m este y 100m sur, edificio de apartamentos, apart. No 6, Desamparados, San José, Costa Rica.
Teléfono: (506) 218 – 1681 / 380 -8263
Celular : (506) 396 - 9549
Email: omoraz@gmail.com

Información de los proyectos

Nombre de los proyectos:

- Rediseño completo, cálculo de materiales y costos del sistema de distribución de aire comprimido de la planta.
- Creación de una plataforma para la implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad, RCM, a los equipos que se definan como críticos, de la planta de Irex.

Profesor asesor: Ing. Oscar Bastos

Horario de trabajo del estudiante: L a J de 7 a las 17:30 Hrs
V de 7 a las 16:30 Hrs

Información de la empresa:

Nombre: Irex de Costa Rica

Zona: Cartago, Tres Ríos

Dirección: De la Terminal de buses de Concepción de Tres Ríos, 500m al sur.

Teléfono: (506) 279 - 3333

Fax: (506) 234 0913

Email: www.irex.co.cr

Apartado: 12-2300, Curridabat, San José, Costa Rica

Actividad principal: La empresa se dedica a la fabricación de detergentes sintéticos.

Apéndice

Anexos