

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
PRÁCTICA PROFESIONAL**



Realizada en: IREX DE COSTA RICA

Informe sobre Proyectos de Graduación para optar por el grado de
Bachiller en Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Proyecto técnico: Evaluación y cálculo del sistema de succión de polvos de la torre de secado de detergente.

Proyecto administrativo: Diseño de programa piloto de RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) para el sistema de combustión del quemador de la torre de secado de detergente.

Julio Federico Monge Araya

Cartago, 2006

Profesor guía:

Ing. Oscar Bastos.

Asesor industrial:

Ing. Luis Ortiz Oviedo.

Tribunal examinador: Ing. Manuel Mata.

Ing. Víctor Hernández.

Ing. Ronald Bolaños.

Dedicatoria

A mi esposa, por la paciencia y el apoyo brindado. A mis padres, por el desinterés y apoyo desde su hogar para perseverar. A mis hermanos, hermana y familia por la ayuda cuando más lo necesité.

Agradecimiento:

A Dios, quien hace posible cada momento de nuestras vidas y nos da la oportunidad de trabajar para ser cada día mejores en el plano personal y profesional.

A la empresa Irex de Costa Rica, por darme la oportunidad para realizar el trabajo de graduación. Así mismo, agradezco en forma particular a:

Ing. Luis Ortiz (Jefe de mantenimiento).

Señor Alfonso Solano (Asistente administrativo).

Señor Luis Mena (Jefe del área mecánica).

Señor Jairo Quesada (Jefe del área eléctrica).

A mi compañero de puesto, Jorge Cedeño (encargado de mantenimiento preventivo).

A todo el personal del área mecánica, área eléctrica y personal administrativo del taller de mantenimiento, personal de producción y, en general, a todas las personas que me brindaron su valiosa colaboración dentro de la empresa.

Al profesor Ing. Jorge Valverde, al personal administrativo y a los compañeros estudiantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en especial a los de la Escuela de Ingeniería Electromecánica, quienes pusieron a disposición sus conocimientos en todo momento y con la mayor disposición del caso.



Índice general

RESUMEN EJECUTIVO	10
Introducción	11
Capítulo 1	12
Generalidades de la empresa	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
1 Identificación de la empresa	13
1.1 Ubicación de la empresa	13
1.2 Historia de la empresa	13
1.2.1 Marca Irex	14
1.2.2 Nueva tecnología	14
1.3 Grupo IREX	14
1.4 Políticas de calidad, misión y visión de las compañías del grupo Irex	15
1.5 Líneas de producción	17
1.6 Beneficios que brinda la empresa a su personal	18
1.7 Comunicación en la empresa	19
1.8 Organización	19
2 Procesos productivos	21
2.1 Detergentes	21
2.1.1 Acerca de los detergentes sintéticos	21
2.1.2 Características y requisitos generales para los detergentes de uso doméstico y los de uso industrial	26
2.1.3 Proceso de producción del detergente en polvo Irex en la torre de secado	27
2.1.3.1 Descripción	28
Capítulo 2	37
Administración del departamento de mantenimiento	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.1 Organigrama del departamento de mantenimiento	38
2.2 Relación entre el personal técnico y el administrativo	40
2.3 Organización del departamento de mantenimiento	41
2.4 Situación actual de los tipos de mantenimiento que se realizan	42
2.5 Definición de funciones en el departamento de mantenimiento	42
2.6 Formas de comunicación dentro de la planta	43



2.7	Asignación de trabajos	46
2.8	Procedimientos de compras	46
2.9	Control de costos de mantenimiento	47
Capítulo 3		48
Proyecto técnico		48
Evaluación y cálculo del diseño del sistema de succión de polvos de la torre de secado		49
3.1	Justificación del proyecto	49
3.2	Alcances y limitaciones del proyecto	50
3.3	Marco teórico	50
3.3.1	Ventilación mecánica	40
3.3.2	Conceptos	41
3.4	Descripción técnica del sistema.	64
3.4.1	Descripción técnica del ventilador y el motor	69
3.5	Evaluación de la condición del sistema	70
3.6	Análisis de la situación	71
3.7	Muestra de cálculos	73
3.8	Conclusiones y recomendaciones	77
Capítulo 4		79
Proyecto administrativo		79
4 Diseño de un programa de mantenimiento RCM para el sistema de combustión de la línea de producción torre de secado de detergente		80
4.1	Justificación del proyecto	80
4.2	Objetivos	80
4.3	Alcances y limitaciones del proyecto	81
4.4	Marco teórico	82
4.4.1	El mantenimiento	82
4.4.2	Mantenimiento correctivo	83
4.4.3	Mantenimiento preventivo	83
4.4.4	Mantenimiento predictivo	84
4.4.5	El mantenimiento y el RCM	87
4.4.6	Pasos para implementar el RCM	89
4.4.7	Ejemplo para aplicar el RCM.	91
4.4.8	Beneficios del RCM	92

4.5	Desarrollo del programa RCM	94
4.5.1	Selección de las máquinas que formarán parte del programa	94
4.5.2	Valoración del grado de deterioro de las máquinas	96
4.5.3	Estudio técnico y formación del archivo	97
4.5.4	Codificación de las máquinas	102
4.5.5	Determinar los parámetros de funcionamiento global	105
4.5.6	Definir los objetivos específicos del programa RCM	106
4.5.7	Dividir la máquina en partes y subpartes	106
4.5.8	Realización de las hojas RCM para el sistema de alimentación de combustible de la torre de secado	106
4.5.9	Comparación y elaboración de los nuevos manuales de mantenimiento preventivo	107
4.5.10	Organizar la ejecución de las inspecciones	108
4.5.11	Definir la estrategia de motivación	108
4.5.12	Calculo del costo total del RCM	109
4.5.13	Evaluar el programa de mantenimiento preventivo	111
4.5.14	Actualización del PMP	111
4.5.15	Puesta en marcha: ajuste y mejoramiento	112
	<i>Bibliografía</i>	113
	<i>Anexos</i>	114

Índice de tablas y gráficos

<i>Gráfico 2.1 Personal en el departamento de mantenimiento</i>	40
<i>Gráfico 2.2 Personal administrativo y técnico del departamento de mantenimiento</i>	41
<i>Tabla 3.1 Descripción técnica del ventilador</i>	69
<i>Tabla 3.3 Hoja de resultados de la medición de velocidades de flujos de aire y cálculos de caudales experimentales (ver anexo)</i>	70
<i>Tabla 3.4 Definición de caudales y cálculo de pérdidas en tuberías (ver anexo)</i>	76
<i>Tabla 4.2. Codificación</i>	103
<i>Tabla 4.4 Horas de paro para el quemador de la torre (ver anexos)</i>	105
<i>Tabla 4.5 Hojas RCM, línea de producción torre (ver anexos)</i>	106



Índice de figuras

<i>Figura 1.1 Estructura organizativa general Irex de Costa Rica</i>	20
<i>Figura 1.2 Nivel cero</i>	32
<i>Figura 1.3 Dosificación</i>	33
<i>Figura 1.4 Nivel uno</i>	34
<i>Figura 1.5 Almacenaje de detergente</i>	35
<i>Figura 1.6 Pantalla de control</i>	36
<i>Figura 2.1 Organigrama del departamento de mantenimiento</i>	38
<i>Figura 2.2. Horarios en el departamento de mantenimiento (anexo 1)</i>	41
<i>Figura 2.3 Solicitud (digital) actual de trabajo al taller</i>	44
<i>Figura 2.4 Orden (digital) actual de trabajo al taller</i>	45
<i>Figura 2.5 Boleta actual de distribución de tiempo</i>	46
<i>Figura 3.4 Sección 65</i>	64
<i>Figura 3.5. Distribución actual de tuberías del sistema de succión de polvos</i>	65
<i>Figura 3.6 Nivel 2 – Sección buguis</i>	66
<i>Figura 3.7 Nivel 2 - Sección buguis</i>	66
<i>Figura 3.7 Nivel 3</i>	67
<i>Figura 3.8 Nivel 4</i>	67
<i>Figura 3.9 Nivel 5</i>	68
<i>Figura 3.10 Nivel 6</i>	68
<i>Figura 3.11 Hoja técnica del motor del ventilador 65K1</i>	70
<i>Figura 3.11 Nuevos puntos de distribución de tuberías del sistema de succión de polvos</i>	72

RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo realizado consiste en dos proyectos, uno de ellos en el área técnica y otro en el área administrativa, desarrollado como piloto y plataforma para seguir el desarrollo con otros equipos.

En el área técnica, se trabajó en el análisis del sistema de succión de finos o polvo de detergente para la torre de secado. Se efectuaron mediciones de los parámetros de funcionamiento del sistema para comprobar la ineficiencia del conjunto.

Ante este problema, se hizo un análisis desde el punto de vista de usar el mismo motor y ventilador, las posibilidades de compra para otro ventilador de succión y el cambio de tuberías de succión y nuevos puntos de succión en otros equipos, en los diferentes niveles de la torre de secado.

En el área administrativa como proyecto, se complementó el manual de mantenimiento preventivo del programa que funciona en la línea de producción de detergente en polvo, con el desarrollo de un piloto de RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) aplicado al sistema de suministro de combustible del quemador de la torre de secado.

Introducción

El siguiente trabajo fue realizado en el departamento de proyectos y mantenimiento corporativo de la Empresa Irex de Costa Rica, en su planta ubicada en Concepción de Tres Ríos, durante los meses comprendidos entre febrero y junio del presente año 2006.

Es la intención del autor mostrar todos los detalles posibles respecto al desarrollo de los dos proyectos, tomando en cuenta el respeto hacia la confidencialidad de toda empresa privada en las áreas o en la información que se consideren convenientes.

Se siguió la siguiente metodología de trabajo:

- Recopilación de información sobre el tema.
- Evaluación de la situación actual.
- Consulta al personal con conocimiento en la materia.
- Desarrollo del trabajo en comunicación directa con el personal de la empresa.
- Análisis de resultados.
- Formulación de recomendaciones.

Capítulo 1

Generalidades de la empresa

1 Identificación de la empresa

1.1 Ubicación de la empresa

La empresa Irex de Costa Rica S.A. cuenta actualmente con oficinas centrales y bodegas en Curridabat, San José. Además, la empresa cuenta con la planta de producción ubicada en Concepción de Tres Ríos, específicamente en el cantón de la Unión, provincia de Cartago, 500 metros norte de la estación de buses de esta localidad.

1.2 Historia de la empresa

En el año 1955, en su casa, el fundador y actual propietario, don Ricardo Amador Céspedes, efectuó las primeras pruebas, contando con el apoyo de su madre y utilizando unos baldes y dos estañones. 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 fue entrando en la diversificación de productos y así inició la fabricación de ceras para pisos.

Poco a poco se alcanzaron excelentes niveles de producción con buen control de calidad, lo cual fue creando en los consumidores gran aceptación. Así ya para el año 1966, “Jabón la Familia” ocupaba el primer lugar de importancia en el mercado nacional, conformado en esa época por 25 industrias de diversos campos.

1.2.1 Marca Irex

Con la apertura del Mercado Común Centroamericano, ingresaron al país artículos con el mismo nombre que los nacionales, por lo que estos debían cambiar de nombre. Uno de esos productos era de Guatemala; se llamaba “Jabón la Familia”, hecho que obligó patentar la marca *Irex*.

1.2.2 Nueva tecnología

La nueva tecnología para la fabricación de detergentes se desconocía en el país, por lo que en el año 1970 se inició la investigación para desarrollar las primeras formulaciones, las cuales se comercializaban con grandes dificultades.

Luego, en 1975, se instaló la torre de secado para la fabricación de detergentes en polvo.

1.3 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 Alimentos del Trópico.

1.4 Políticas de calidad, misión y visión de las compañías del grupo Irex

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.

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.

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.

Ricardo Amador Céspedes

1.5 Líneas de producción

La empresa Irex de Costa Rica S.A. cuenta con líneas de producción tanto para el hogar como para la industria. Los productos de uso doméstico son los siguientes:

- Cloro.
- Lavaplatos (crema y líquido).
- Detergente.
- Cera (crema).
- Desinfectante.
- Pastillas desodorantes.
- Cilindro.
- Bolsa para basura.
- Suavizante.
- Familia 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 sus características de los mismos.

La empresa, a su vez, cuenta con aproximadamente 900 empleados en la planta de producción ubicada en Concepción de Tres Ríos, con oficinas ubicadas en Curridabat y con la filial DelTrópico, ubicada en San Antonio de Belén.

La Planta Irex tiene dos plantas auxiliares:

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

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

1.6 Beneficios que brinda la empresa a su personal

- Asociación solidarista.
- Médico de empresa.
- Servicio de comedor subsidiado.
- Servicio odontológico.
- Departamento de seguridad e higiene ocupacional.
- Tienda.
- Planes de vivienda.

- Comité de ayudas especiales: donaciones voluntarias a la gente de recursos económicos muy limitados, a través del descuento en los salarios, para la compra de alimentos.

1.7 Comunicación en la empresa

Dentro de la empresa se dan los siguientes tipos de comunicación:

- a. Comunicación en todos los sentidos del organigrama.
- b. Memorando.
- c. Teléfono.
- d. Fax.
- e. Un correo diario entre la planta de Curridabat y la planta de Concepción.
- f. Radio de onda corta entre las plantas de Curridabat y Concepción, así como dentro de la planta de producción.

1.8 Organización

A continuación se presenta un organigrama funcional con la estructura organizativa de la empresa (toma de decisiones).

	IREX DE COSTA RICA	Realizado <i>Verny Wilson</i>	Código IR-OF-
	ORGANIGRAMA FUNCIONAL	Revisado <i>Comité</i>	Página 1 de 1
	DIRECCIONES PRINCIPALES	Versión 0	Fecha Febrero 2005

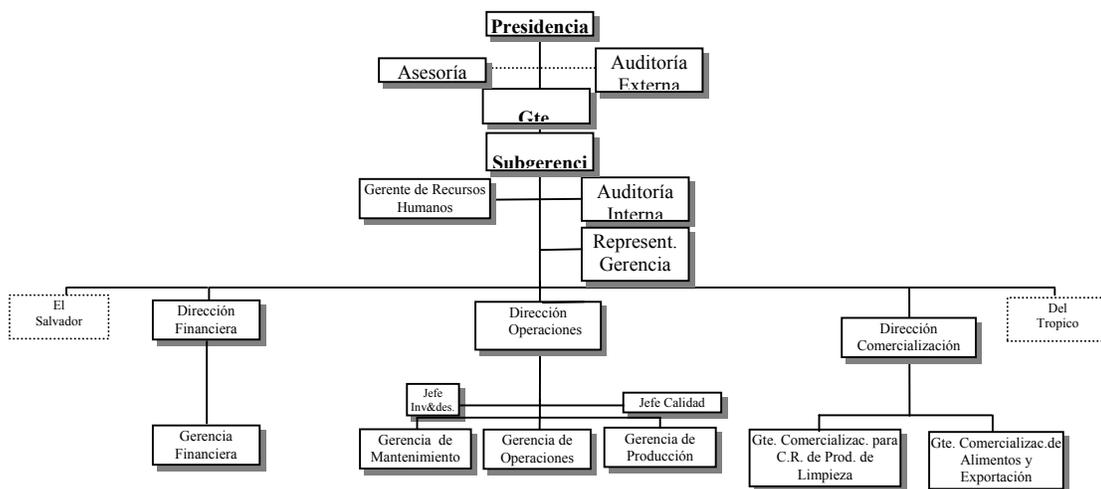


Figura 1.1 Estructura organizativa general Irex de Costa Rica.

Fuente: [Hipervínculos\Documentos de la empresa\Organigrama General.bmp](#)

2 Procesos productivos

2.1 Detergentes

2.1.1 Acerca de los detergentes sintéticos

Históricamente, para el lavado se han utilizado diferentes productos, tales como arenas y cenizas para lavar las pocas prendas de vestir.

Inicialmente, se utilizaban grasas y aceites minerales, mezclados con arenas y otros materiales, que sometidos a cierto calentamiento en ollas, en forma casera, dieron origen a lo que hoy conocemos 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 sus características; 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 encontramos los alcanos o aquilbencenos, siendo estos la materia prima principal o ingrediente activo de los detergentes.

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 propiedades, entre las cuales se incluyen:

- Humectante: acción por la cual se humedece una superficie.
- Emulsificante: es el material que aumenta la estabilidad de una dispersión de un líquido en otro.
- Dispersante: agente en una mezcla física (líquido y suciedad), constituida de dos fases, una de las cuales (fase dispersa) está finamente dividida y suspendida en la otra (fase dispersa). En ésta forma el detergente, que se conoce como agente surfactante o ingrediente activo, porque cuando se agrega a un líquido, modifica las propiedades de éste en la superficie o en la interfase entre dos líquidos.

A continuación se explicarán las materias primas del detergente, con el fin de tener una visión global del proceso de fabricación del detergente.

- Ácido dodecil benceno sulfónico: es el ingrediente activo del detergente. También se le conoce con los nombres de tensoactivo aniónico, detergente y surfactante, agente dispersante, humectante. Su principal función consiste en modificar la tensión superficial del líquido, con lo cual logra una humectación efectiva.

Se considera que es un producto desengrasante por sí solo. Para el uso en la formulación del detergente se hace una neutralización por medio de un producto alcalino (básico), lo que proporciona un fácil manejo en cuanto a seguridad.

Una vez neutralizado, se llama dodecil benceno sulfonato de sodio.

- Hidróxido de sodio (conocido como soda cáustica): base fuerte utilizada para neutralizar ácidos. Además de éste, se podrían utilizar otros como el carbonato de sodio, el hidróxido de potasio, la trietanolamina, etc.
- Silicato de sodio: agente antioxidante para las partes metálicas de las máquinas de lavado (por estar presente agua + base). Es regulador del PH del detergente final y regulador de la viscosidad de la pasta, que facilita poderlo transportar por las tuberías. Confiere características de mayor resistencia a los gránulos terminados (compacta la superficie del grano). Constituyen un agente antiredeposición de la suciedad sobre las telas, mediante la formación de un floculo o gel en el fondo del tanque de la máquina lavadora.
- Poliacrilatos: es un reforzador del detergente, o sea que complementa la acción detergente del ingrediente activo. Es un secuestrante de iones de calcio presentes en el agua, que de lo contrario limitarían la acción detergente. También es agente antiredeposición de la suciedad y regulador de la viscosidad de la pasta o «slurry», para transportarlo más eficazmente. Evita la aglomeración (apelotamiento) en el producto terminado, pues ésta causa sensación de humedad. Promueve que la humedad se pueda aumentar en un detergente. A su vez reduce los finos en el proceso de secado debido a un mejoramiento de la homogeneización en la pasta. Finalmente incrementa la solubilidad del detergente, pues promueve que los materiales duros sean más hidrocópicos.
- Sulfato de sodio: producto inerte (no interviene en la acción específica del lavado) usado en el detergente como relleno; es el soporte de los componentes en general y ayuda a formar la estructura del gránulo.

- Trípoli fosfato de sodio (TPP): ablandador de aguas. Es un secuestrante de iones metálicos (calcio, magnesio, hierro), que de otra forma provocarían el adrizamiento en las telas. Se le conoce como «Builder» o constructor, pues es un reforzador del detergente. A su vez es regulador de PH emulsificador. Tiene un efecto sinérgico con el ingrediente activo, para remover la suciedad de las telas; es también llamado un detergente primario. Destruye la suciedad derivada de las proteínas y las manchas. Permite fluidificar la pasta para el bombeo o la mecanización de ésta. Ayuda a conformar el gránulo del detergente. Finalmente confiere uniformidad en el proceso de secado del detergente respecto a la humedad final del detergente.
- Sulfato de aluminio: es un secuestrante de iones metálicos (calcio, magnesio, hierro), con lo cual evita el agrisamiento en las telas.
- Carbonato de sodio: ablandador de aguas. Agente más importante para la saponificación de la suciedad, como pueden ser las grasas vegetales y animales. También es regulador del PH del detergente.
- Blanqueador óptico: su naturaleza química es ser derivado del 4-4' Diestirilobifenilo. Es agente de blanqueo óptico y promueve blancos intensos sobre fibras celulósicas (algodón, poliéster o mezclas de éstas. A su vez, mejora el aspecto blanco del polvo detergente. Prolonga la estabilidad del color blanco en las prendas dando un matiz más blanco y puro. Finalmente elimina el matiz grisáceo.

- Perfume o fragancia: es desodorizante (modifica los malos olores), y residual (luego de lavarse, la ropa sigue desodorizando los olores típicos de la persona).
- Carboximetilcelulosa de sodio: producto natural extraído de árboles y vegetales. Es modificador de la viscosidad de la pasta y estabilizador de dispersiones (mantiene el flóculo). Constituye el ingrediente más importante en la formación de flóculos de suciedad luego del proceso de lavado. Retiene humedad, modifica las propiedades de consistencia, absorbe minerales de la superficie y los precipita formando coloides en el fondo.
- Hipoclorito de sodio: agente de blanqueo del ácido duodecil benceno sulfonatado de sodio.
- Bentonita: es un hidrosilicato de formación laminar y agente que mantiene o retiene humedad (la atrapa entre sus cristales). Es insoluble. Su efectividad se mide como porcentaje de hinchamiento, debido a esta aptitud ante el agua. Es el soporte de la deposición de la suciedad debido a su facilidad de dispersión. Mejora el efecto suavizante después de varias lavadas de la ropa; forma una suspensión coloidal y la mantiene en dispersión.
- Azul ultramarino: aluminio-silicato de sodio y azufre que no contiene metales pesados en su estructura. Es un pigmento inorgánico, conocido típicamente como un blanqueador óptico, el cual beneficia la apariencia del detergente y de la ropa, pues es un poderoso blanqueador o abrillantador de lo blanco.

2.1.2 Características y requisitos generales para los detergentes de uso doméstico y los de uso industrial

- a. El detergente en polvo deberá estar en forma de polvo o de gránulos, deberá ser homogéneo, de fácil flujo y libre de impurezas visibles.
- b. El producto deberá ser fácilmente soluble en agua.
- c. Después de almacenar el detergente en su envase primario original en condiciones adecuadas y a temperatura ambiente durante 6 meses, éste no deberá desarrollar olores desagradables y, si es perfumado, no deberá variar su fragancia.
- d. El agente activo deberá ser biodegradable por lo menos en un 90%.
- e. El detergente deberá ser adecuado para el lavado a mano o en lavadoras domésticas automáticas y no automáticas, bien sea en agua dura o blanda, de géneros textiles hechos con algodón, con hilatura de algodón o con fibras sintéticas.
- f. El detergente podrá colorearse, con la condición de que el color o los colores no cambien apreciablemente durante el almacenamiento adecuado en su envase original a temperatura ambiente, o modifique el color original de las telas que son lavadas con éste.
- g. La altura de la espuma no deberá exceder 75 mm cuando se realiza el ensayo de acuerdo con lo descrito en la norma ICAITI 30 022 h7.

2.1.3 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. Con éstas figuras se puede seguir el proceso; y puede controlar la parada o marcha de los diferentes equipos de la torre. Además de esto, cuenta con un sistema manual de paneles de botoneras por si fallara el sistema computadorizado; por razones de seguridad posee paneles de botoneras “in situ” para los equipos de cada nivel.

El proceso de producción se lleva a cabo en una torre de secado, la cual tiene una altura de 42 m, dividida en 9 niveles. Parte del equipo es importado de Italia a Ballestra (empresa que vendió el diseño y parte del equipo de la planta) y otro tanto es suplido por el mercado nacional.

La planta es de producción semiautomática, con posibilidades de que en el futuro sea totalmente automática; tiene incorporados sistemas de control automático, recuperación de calor, reciclaje de aguas y control de desechos. Todo esto permite un mayor aprovechamiento y eficiencia de los recursos, con lo cual se convertirá en la fábrica de detergente más grande y moderna a nivel centroamericano.

2.1.3.1 Descripción

El proceso se inicia en el nivel cero (figura 1.2): la materia prima sólida es alimentada manualmente a dos transportadores de tornillo sin fin o <cocleas>. La 61CL2, que conduce la materia prima sólida a un colador centrífugo (61SR1) o zaranda, que a su vez conduce la materia prima colada por un embudo a una válvula rotativa de materia prima (61Z1A). Esta sirve para que el aire del sistema neumático se encuentre con la materia prima y la transporte a los silos 62V1, 62V2 y 62V3 (figura 1.3) por medio de una junta rápida. La otra <<coclea>> de alimentación es la 61CL3 que pasa la materia prima (aditivos) por el mezclador de productos menores 61MX1. Luego es conducido a la válvula rotativa de materia prima (61Z1B) para que ésta sea transportada al silo de aditivos 62V5 (figura 1.3).

El contenido de los silos es el siguiente:

62V1: sulfato de sodio.

62V2: carbonato de sodio.

62V3: tripolifosfato de sodio.

62V5: aditivos.

La balanza 61WG2 sirve para introducir las cantidades necesarias de materia prima.

El sistema neumático utiliza el filtro 61F1A y dos compresores de desplazamiento positivo de lóbulos rectos para transporte neumático 61K1A/B y el enfriador de aire 61E1. El sistema cuenta con un equipo que recoge todos aquellos polvos en suspensión con un ventilador 61K2, que se encuentra después del filtro de depolveración 61F2, y los residuos del filtro son eliminados por la trampa de doble aleta en la descarga del filtro 61WG1.

Los productos de los silos son descargados a los transportadores de tornillo sin fin o «cocleas» 62CL1-2-3 y 5 (figura 1.3) que conducen la materia prima a los dosificadores 62WG1-2-3 y 5 (figura 1.3). Estos introducen los diferentes productos a un tornillo transportador o «coclea» premezcladora (62CL6) (figura 1.3). Los silos y dosificadores cuentan con un sistema de aspiración de polvos.

Los sobros o «recortes» son reutilizados, introduciéndolos por bombeo al tanque disolvedor de recortes y luego pasando al filtro para solución de recortes 62F6 (figura 1.3). Estos son transportados por la bomba 62P1 (figura 1.3), la cual envía a un colector de recortes 62A2 (figura 1.3). Luego hay una válvula que da o no el paso a un dosificador de solución de recortes (62WG10) (figura 1.3) y estos son enviados a un tanque de regulación de descarga de líquidos (63V1) (figura 1.3). Siguen dos tanques de materia prima líquida: silicato de sodio (62A3) (figura 1.3) y una materia líquida activa. A cada tanque le precede un dosificador 62WG9 y 62WG8, respectivamente (figura 1.3).

El silicato de sodio, la materia prima activa (ácido sulfónico) y los recortes se dirigen hacia un tanque de regulación de descarga de líquidos (63V1) (figura 1.3) y éste tiene la salida al preparador de pasta o «slurry». Hay un tanque de dosificación de agua 62WG11 (figura 1.3) que también entra al preparador de slurry. La salida por rebalse del preparador de slurry, pasa por un filtro magnético y va a la salida de su madurador o neutralizador (63A2) (figura 1.3). La salida de fondo va hacia la salida del madurador en caso de mantenimiento o alguna emergencia (por ejemplo, atascamiento de tuberías).

De la salida del madurador de slurry hay una ramificación en paralelo, en la cual cada rama cuenta con un filtro para alimentación de slurry 63F2 y 63F3 (figura 1.3) y una bomba auxiliar de slurry, puesto que éste va a entrar a una bomba de alta presión (63P3A/B) (figura 1.3) que necesita que el fluido entre a ella con cierta presión; ésta envía el slurry hacia el circuito de boquilla (64W1) (figura 1.4) en la torre de secado (64AT1) (figura 1.4). Esta ramificación, antes de cerrarse, tiene dos válvulas para poder darle mantenimiento a un ramal.

Si la presión excede cierto valor, hay un tanque de solución de recortes (63A3) (figura 1.3) el cual, junto con la bomba de recuperación de slurry (63P5) (figura 1.3), lo envía al tanque disolvedor de recortes; y la bomba de recuperación de agua (63P4) (figura 1.3) envía agua al tanque de agua caliente.

Desde el depósito de alimentación, el tanque de combustible alimenta al quemador de aire caliente (64H2) (figura 1.4), el cual quien tiene un ventilador para la combustión (64K2) (figura 1.4) y calienta el aire seco de alimentación proveniente del ventilador 64K2B (figura 1.4) en el generador de aire caliente 64H2 (figura 1.4). Este tiene una válvula de seguridad HC64.1 (figura 1.4) por si no se quiere introducir aire caliente a la torre de secado (64AT1) (figura 1.4).

La dirección de aire secado es contra el flujo de la atomización de slurry, lo cual provoca que el slurry quede granulado al secarse y quede con un bajo porcentaje de humedad. Al secarse, los gránulos son guiados por la banda transportadora (64N1) (figura 1.4), que descarga el producto a la tolva de carga del separador de aire para ser llevado al separador de aire (64V2) (figura 1.4).

Al separador de aire se le saca un porcentaje de aire filtrado (64F2) (figura 1.4) que sale a la atmósfera y otro que es reutilizado en el proceso por la regulación de la válvula HV64.5 (figura 1.4).

Tanto la descarga del filtro 64F1 como del 64F2 (figura 1.4) conducen a un Venturi (64J1) que funciona con el ventilador 64K5 para inyectar los polvos finos a la torre (64W1) (figura 1.4). Luego, por la descarga del separador de aire, el producto pasa por un tamiz vibrador (64SR1) (figura 1.4): que tiene dos salidas, una a un recolector de grumos y otra a una válvula de descarga (65W2) (figura 1.5) al silo de detergente 65V1C (figura 1.5); puede descargar por la banda transportadora giratoria que conduce el producto al silo de detergente 65V1A y 65V1B (figura 1.5)

La descarga de los silos de detergente conducen a bandas extractoras de detergente 65N2 y 65N3 (figura 1.5) que guían al detergente de la banda transportadora al perfumador estático 65V9 (figura 1.5), al cual se le había inyectado perfume con la bomba dosificadora de éste (65P1) (figura 1.5). La carga del perfume es manual en el tanque de alimentación de perfume 65V6. (figura 1.5). La bomba 65P1 inyecta a la vez el producto no iónico del tanque 65V7, el cual fue filtrado (figura 1.5). Una vez perfumado el detergente, pasa de la banda transportadora 65N6 a la tolva 65V8 para que finalmente el producto se dirija a las empacadoras. El proceso tiene un cambio respecto al diseño de Ballestra, el cual consiste en la desviación hacia las empacadoras directamente. En su lugar hay un transporte intermedio, los buggies, los cuales son trasladados a un almacenamiento temporal para posteriormente dirigirlos a las máquinas empacadoras. Esto se hace pues las máquinas empacadoras existentes no tienen la capacidad para empacar detergente con la misma velocidad de producción de la torre.

La válvula HV65.18 (figura 1.6) abre o cierra el paso a la sección de pos-adición para agregarle otros productos al detergente, como enzimas.

A continuación se muestran los diagramas que se visualizan en las pantallas de las computadoras que gobiernan el funcionamiento de la planta:

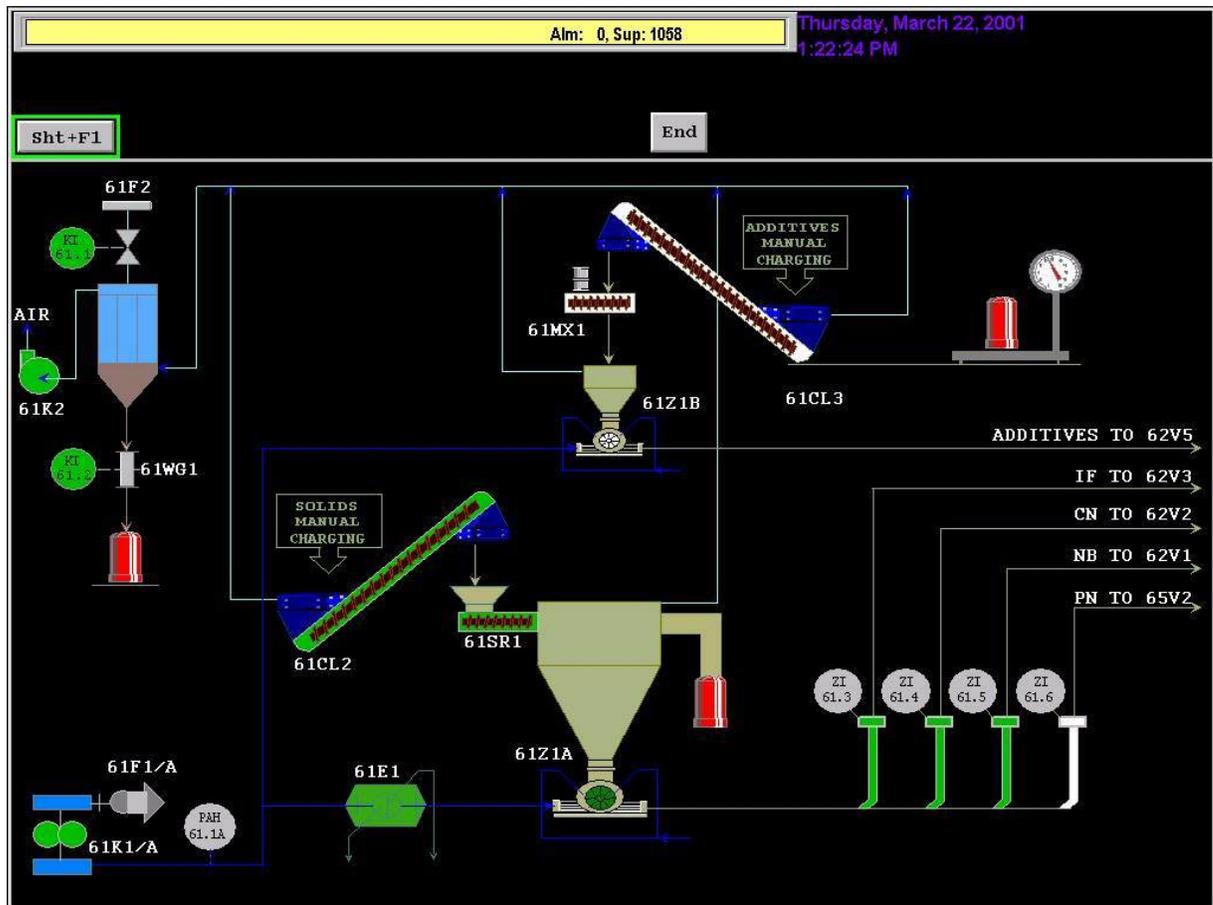


Figura 1.2 Nivel cero.

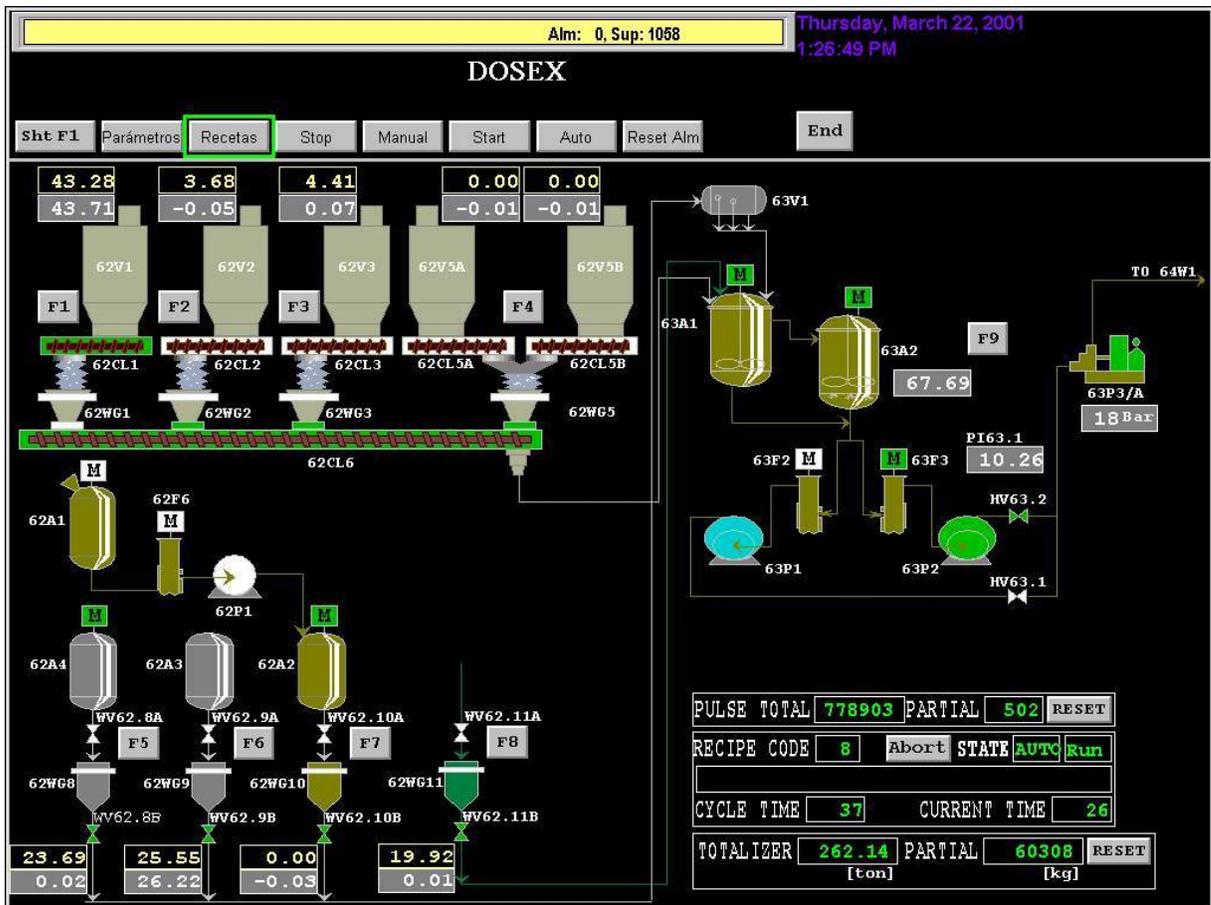


Figura 1.3 Dosificación.

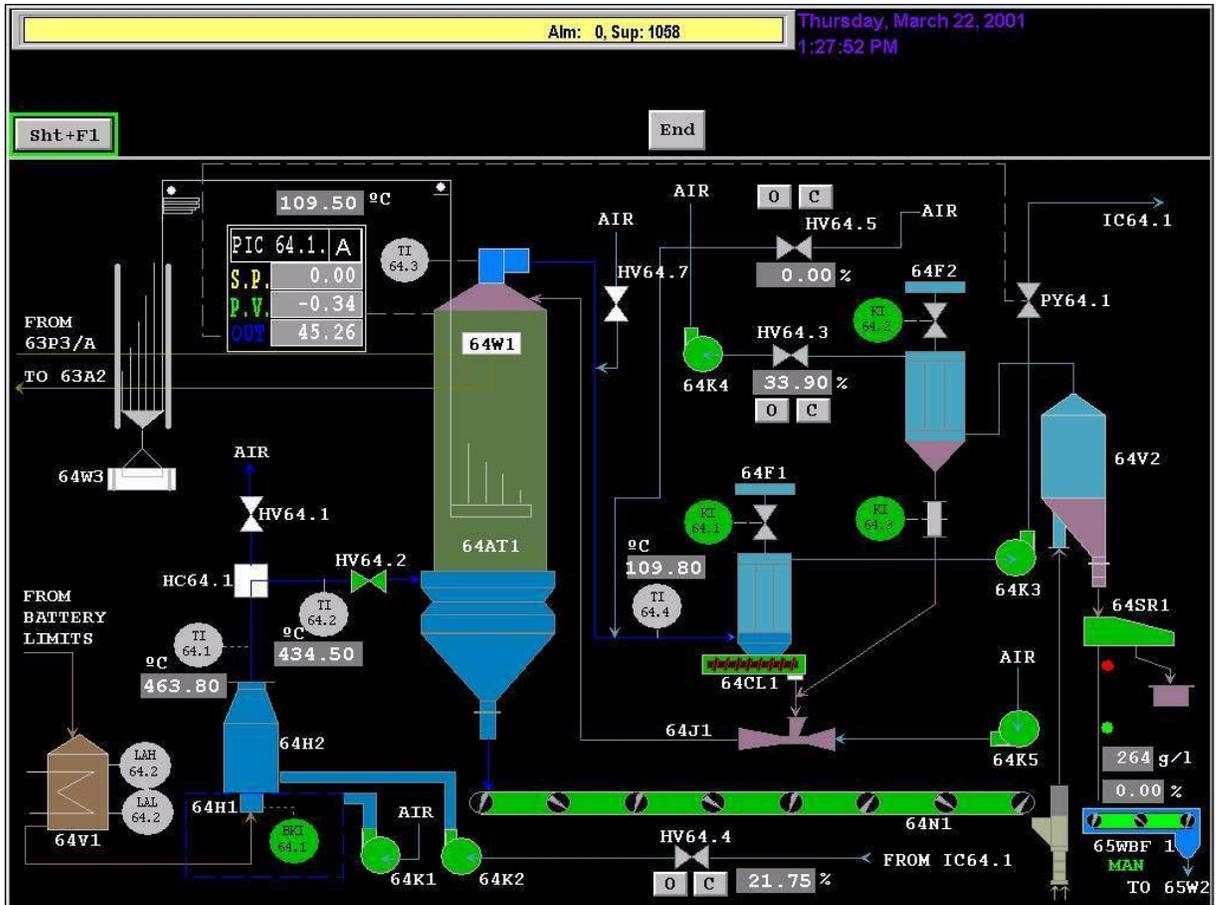


Figura 1.4 Nivel uno.

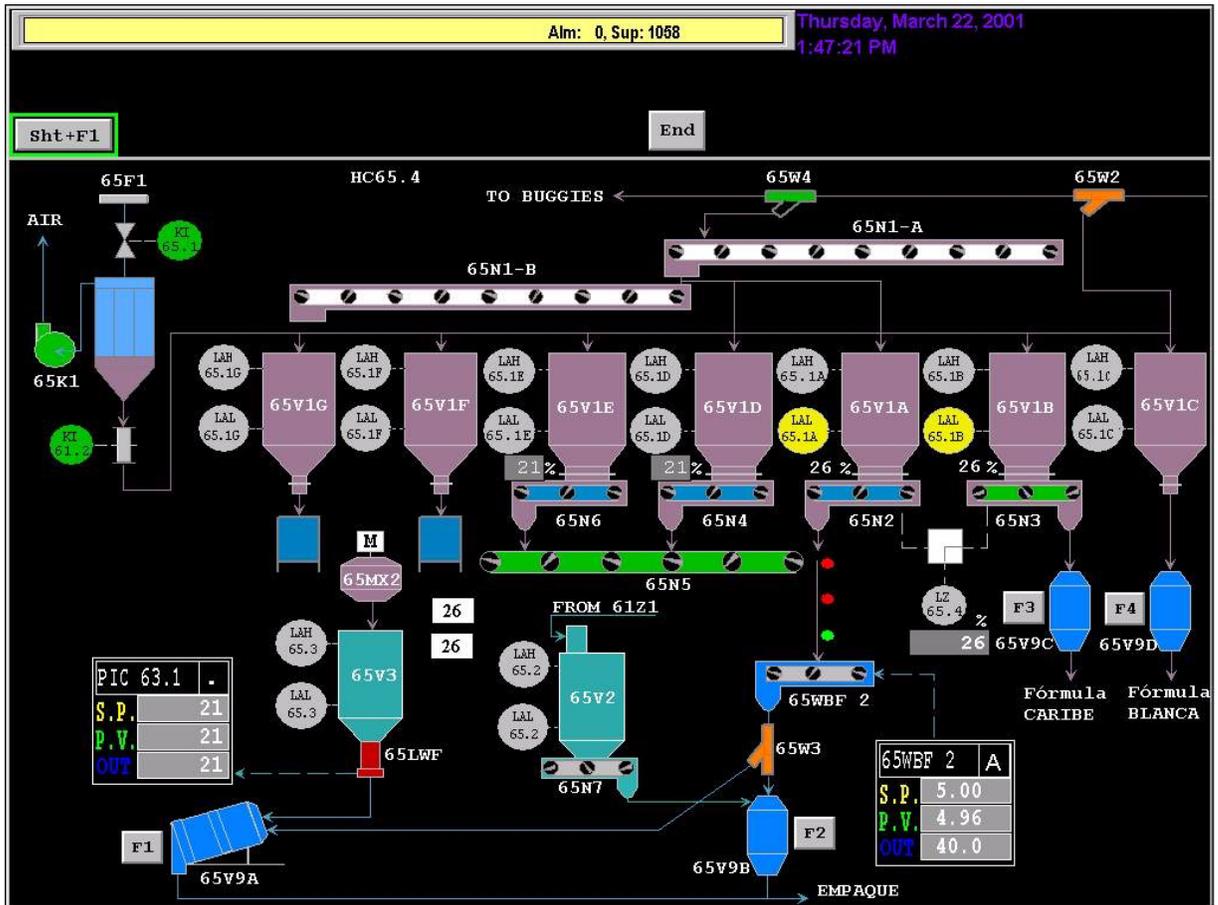


Figura 1.5 Almacenaje de detergente.

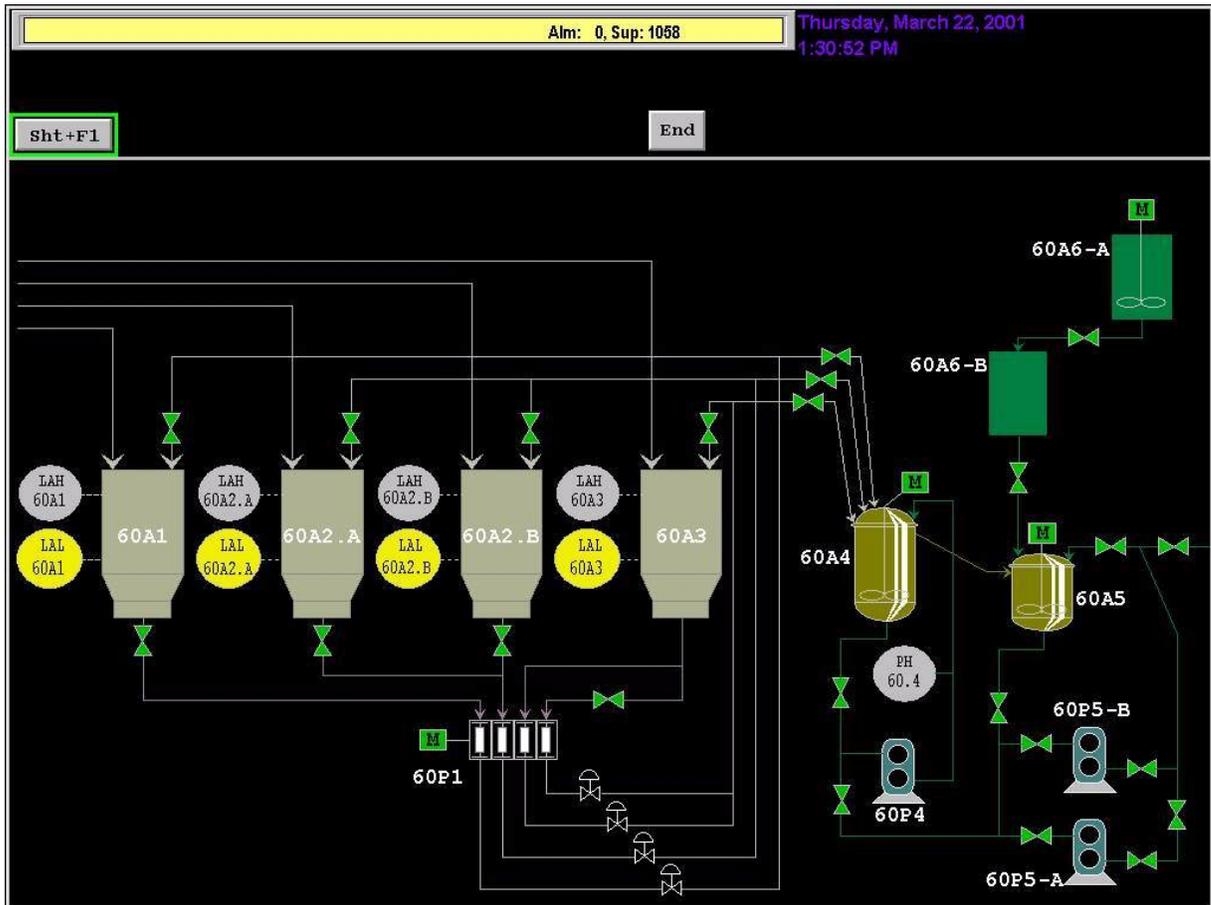


Figura 1.6 Pantalla de control.

Capítulo 2

Administración del departamento de mantenimiento

2.1 Organigrama del departamento de mantenimiento

Departamento de Mantenimiento Irex de Costa Rica S.A.

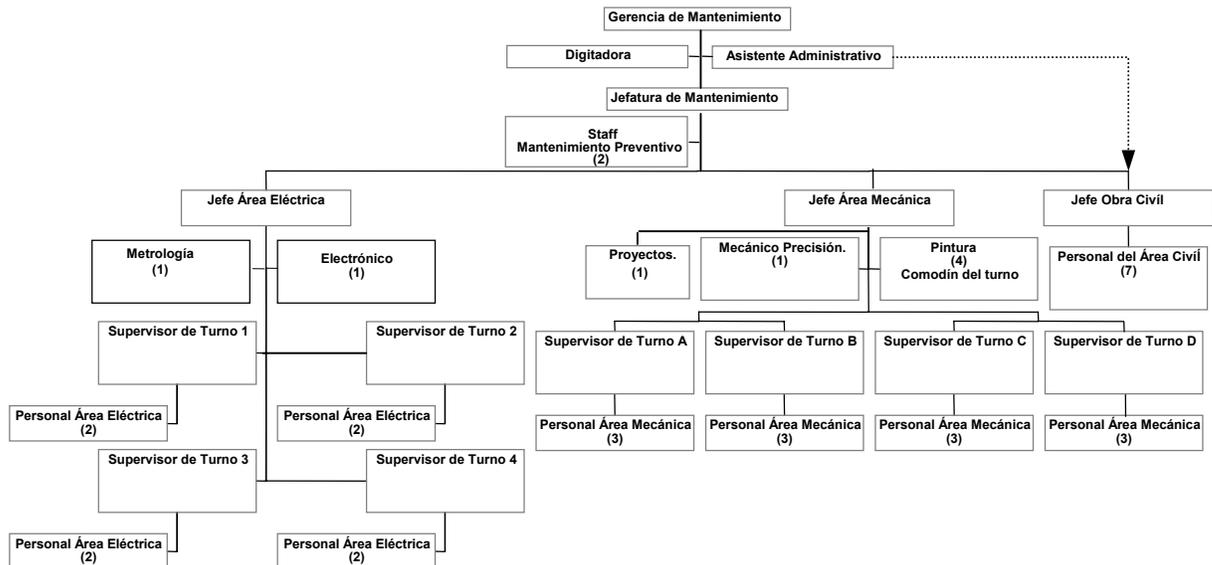


Figura 2.1 Organigrama del departamento de mantenimiento.

Fuente: [Hipervínculos\Documentos de la empresa\Documentos Mantenimiento\Organigrama Mto.bmp](#)

La estructura organizativa del departamento de mantenimiento está conformada de la siguiente manera:

- a) Gerencia de mantenimiento
- b) Jefe de mantenimiento

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

- a) Jefatura de área mecánica.
- b) Jefatura de área eléctrica.
- c) Staff de mantenimiento preventivo.

En este departamento, se cuenta con 28 técnicos del área mecánica, 14 técnicos del área eléctrica y 7 trabajadores del área civil.

2.2 Relación entre el personal técnico y administrativo

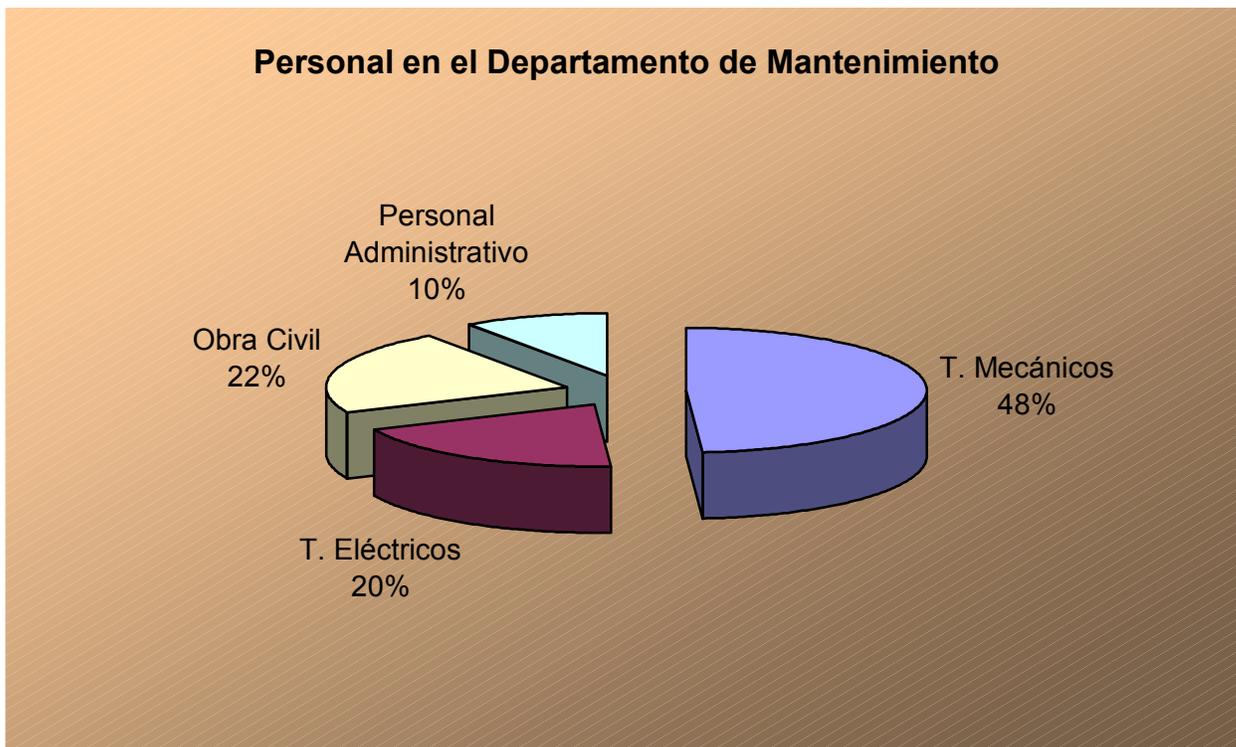


Gráfico 2.1 Personal en el departamento de mantenimiento.

Fuente: Departamento de proyectos y mantenimiento corporativo.

En el gráfico 2.1, se muestra la proporción del personal respecto al total de empleados del departamento de mantenimiento. Como puede observarse, el grupo de mayor importancia lo constituyen los técnicos del área mecánica, seguidos de los técnicos tanto del área eléctrica como de obra civil.

Personal Administrativo y Técnico del Departamento de Mantenimiento

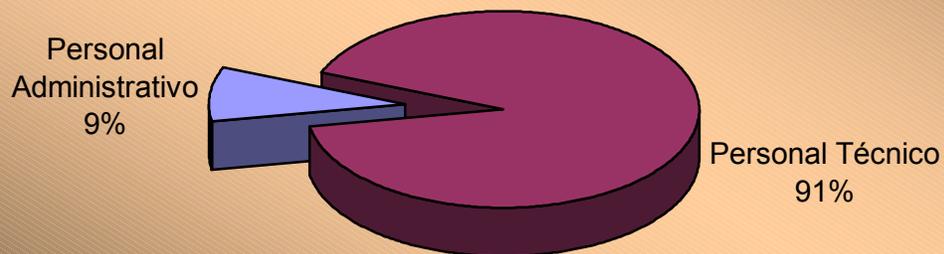


Gráfico 2.2 Personal administrativo y técnico del departamento de mantenimiento.
Fuente: Departamento de proyectos y mantenimiento corporativo.

En el gráfico 2.2, se hace la relación del personal administrativo respecto al total de trabajadores del área técnica. De ahí sobresale que la relación entre estos dos sectores es de uno a nueve, o bien, por cada administrativo hay diez trabajadores del área técnica, dentro de los cuales se incluyen los supervisores de cada área.

2.3 Organización del departamento de mantenimiento

El tipo de mantenimiento que se realiza en la planta es centralizado; el personal encargado del mantenimiento se moviliza por toda la planta para cumplir con sus labores. Los horarios de trabajo son los siguientes:

Figura 2.2. Horarios en el departamento de mantenimiento (anexo 1)

Fuente: [Hipervínculos\Documentos de la empresa\Documentos Mantenimiento\Horario del personal del 2006..xls](#)

Situación actual de los tipos de mantenimiento que se realizan

Los programas de mantenimiento preventivo se iniciaron en 1994 y continuaron en los años recientes con la realización de programas para las áreas de Torre y Sulfonadora. Antes de esto, el tipo de mantenimiento que se practicaba era únicamente el correctivo. Además de lo anterior, se cuenta con mantenimiento programado, general y extraordinario. Se tiene un programa de mantenimiento predictivo para los equipos claves de la planta, el cual se hace por terceros. Además vale la pena destacar que para algunos de los trabajos se utiliza asistencia técnica externa.

2.4 Definición de funciones en el departamento de mantenimiento

Son funciones del departamento de mantenimiento:

- a) Velar por el correcto funcionamiento de los equipos de servicios generales (agua, electricidad, aire comprimido, equipo neumático, etc.).
- b) Reparar averías en la maquinaria de producción.
- c) Efectuar modificaciones de maquinaria.
- d) Construir repuestos y estructuras.
- e) Velar por la existencia de un “stock” de repuestos mínimo, que permita la rápida reparación de cualquier falla.

- a) Velar por el uso y operación de todos los equipos de planta.
- b) Coordinar y colaborar con las visitas técnicas realizadas por los representantes de los fabricantes del equipo.
- c) Velar por la optimización de los costos de operación de la planta, a través del equilibrio de los costos de mantenimiento.

2.5 Formas de comunicación dentro de la planta

- a) Para solicitar algún tipo de trabajo de mantenimiento se hace el documento "Solicitud de Trabajo" ([Ver figura 2.3](#)). Así mismo, se llena, por parte del técnico, la "Boleta de Distribución de Tiempo" ([Ver figura 2.5](#)) con el fin de llevar un control del trabajo en términos de tiempo para cada trabajador de este departamento, al realizar un conjunto de "Ordenes de Trabajo" ([ver figura 2.4](#)).
- b) Para asignar algún trabajo al personal de mantenimiento, se utiliza el documento anteriormente mencionado.
- c) La solicitud de herramientas o repuestos a bodega se realiza por medio de la "Orden de Trabajo".
- d) Se utilizan, además, las reuniones como un medio para plantear y coordinar métodos de trabajo e informar acerca del desempeño del departamento.

Planeación de Tareas

Módulo Editar Navegar Consultar Window Ayuda

Solicitud de trabajo 3-R-TAM-01-01-01(1)

Solicitud de Trabajo

Número	35995	Estado	EN PROCESO	Observaciones
Solicitado por	303200330	MARTÍNEZ MORALES CARLOS		
Fecha/Hora	16-05-2006 13:06	Prioridad	ALTA	Taller
				TALLER ELECTRICO

Clasificación

Tipo	CCC	CENTRO DE COSTOS
Clasificación	10200	Llenado cloro burbuja

Detalle de la Solicitud

Unidad Mto	10LL10	MAQUINA DE LLENADO CLORO BURBUJA BI	Activo	
Descripción del Trabajo	REPARAR TARJETAS DE TEMPERATURA			
Código falla	FE09	FALLA DE REGULACION DE TEMPERATURA		

Inicio | [Icons] | 03.05

Figura 2.3 Solicitud (digital) actual de trabajo al taller

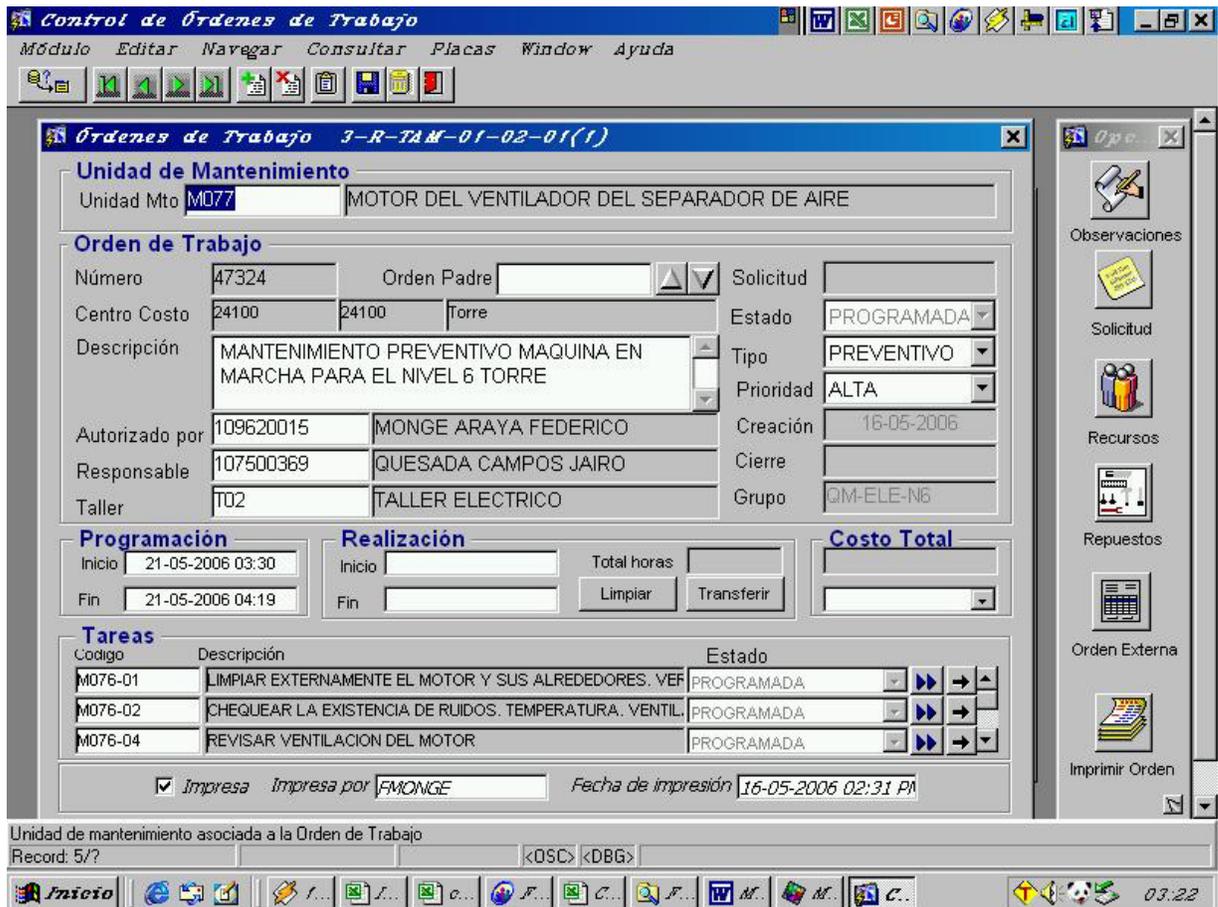


Figura 2.4 Orden (digital) actual de trabajo al taller

Irex IREX DE COSTA RICA, S.A.
BOLETA DE DISTRIBUCION DE TIEMPO

Fecha: _____
Operario: _____

No. Orden	HORARIO		Tiempo Utilizado
	Inico	Final	

Encargado de área
Ingeniero EDUARDO TELLEZ 244-4152

Figura 2.5 Boleta actual de distribución de tiempo

2.6 Asignación de trabajos

Los trabajos son asignados por el jefe de mantenimiento, el jefe de taller eléctrico o mecánico o el staff de mantenimiento preventivo, de acuerdo con la disponibilidad del personal.

2.7 Procedimientos de compras

Cuando es necesaria la compra de materiales, se utiliza la hoja de “Control de Pedidos», en la que el jefe de mantenimiento, el gerente técnico o el gerente de planta anotan lo requerido y dan su autorización. Una vez realizado este trámite, se envía al proveedor, el cual se encarga de analizar el presupuesto y la prioridad del pedido.

2.8 Control de costos de mantenimiento

Este control de costos es efectuado por el departamento de contabilidad, donde serán desglosados en costos por concepto de mano de obra, materiales y repuestos para cada una de las líneas. Sin embargo, lo más eficiente sería determinar los costos para cada uno de los equipos, obteniendo así su rentabilidad, además de saber el costo que implica el mantenimiento correctivo o preventivo.

Capítulo 3

Proyecto técnico

Evaluación y cálculo del sistema de succión de polvos de la torre de secado de detergente

3.1 Justificación del proyecto

El proyecto se plantea como una necesidad para la empresa, específicamente para la torre de secado, por razones de limpieza. Por lo anterior, y sumado al desperdicio que implica dicha anomalía, además de los problemas de emisiones asociados, se desea que el equipo, objeto de este estudio, esté funcionando al máximo de las necesidades requeridas en los diferentes puntos que se requieren.



Figura 3.0 Ventilador para succión de polvo de la torre de secado.

3.2 Alcances y limitaciones del proyecto

El estudio realizado en la empresa tiene carácter de recomendación y se limita a un análisis de mediciones obtenidas de parámetros de velocidades y su relación con la teoría y cálculos para el rediseño así como la regulación existente respecto al tema.

Como limitaciones encontradas durante el desarrollo del estudio, se pueden mencionar:

1. Carencia de información experimental del sistema en función.
2. El funcionamiento ineficiente del sistema dentro de la planta y, con ello, aspectos relacionados a rendimiento.

3.3 Marco teórico

3.3.1 Ventilación mecánica

La ventilación por medios mecánicos suele efectuarse mediante ventiladores y extractores de aire que pueden montarse de manera individual en el lugar elegido o bien emplear una instalación colectiva que ampare un circuito de tubería. La ventilación colectiva se lleva a cabo mediante un circuito de entrada y salida de aire, o por medio de un colector general de extracción conectado a un ventilador de potencia adecuada.

Dentro de la ventilación mecánica hay que considerar al elemento principal que da origen al nombre: el ventilador de accionamiento mecánico. Se define por ventilador un aparato para mover aire y que utiliza un rodete como unidad impulsora.

Un ventilador tiene al menos una abertura de aspiración y una abertura de impulsión. Las aberturas pueden tener o no elementos para su conexión al conducto de trabajo.

La densidad del aire estándar que movemos, llamado densidad del aire a la masa por unidad de volumen, es de 1.2kg/m³.

Los ventiladores pueden dividirse en dos grandes grupos: ventiladores axiales o helicoidales y ventiladores radiales o centrífugos. Los primeros lanzan el aire en dirección axial y en los segundos, la corriente de aire se establece radialmente. Van accionados por medio de un motor eléctrico y la transmisión puede ser directa o por medio de poleas y correas trapezoidales.

Los ventiladores también se conocen como extractores. La diferencia entre un ventilador y un extractor consiste en que el primero descarga aire venciendo una cierta presión en su boca de salida; el segundo saca aire de un recinto por aspiración y los descarga con una ligera presión.

3.3.2 Conceptos

Presión

La presión es la fuerza por unidad de superficie. Puede expresarse por la fórmula:

$$P \cong \frac{F}{A} \quad \text{tal que: } P = \text{presión, } F = \text{fuerza, } A = \text{área.}$$

En el estudio de los ventiladores, se insertan conceptos básicos que caracterizan el movimiento del aire, encontrándose dentro de ellos el caudal y la presión estática, dinámica y total, que se describe como:

Caudal

Es el volumen de aire movido por el ventilador en una unidad de tiempo, generalmente dado en m^3 / h , m^3 / s o l / s , independiente de la densidad del aire.

Presión estática

Es la presión que se debe solamente al grado de compresión del aire; es la fuerza por unidad de superficie ejercida en todas direcciones, al margen de la dirección y sentido de la velocidad.

Presión dinámica

Es la porción de presión de aire que se debe solamente a su movimiento. También se puede decir que proviene de una corriente de aire cuya transformación integra de la energía cinética pasa a ser energía de presión (densidad, aceleración de la gravedad).

$$P_d \cong \frac{\rho \cdot V^2}{2 \cdot g} \cong \left(\frac{V}{4}\right)^2 \text{ presión dinámica, donde } \rho = 1.204 \text{kg/m}^3 \text{ (densidad aire @ } 20^\circ\text{C)}$$

$$g = 9.81 \text{m/s}^2 \text{ (aceleración gravedad)}$$

Presión total

La presión total es la debida al grado de compresión del aire y su movimiento. Es la suma algebraica de la presión dinámica y de la presión estática en un punto. Según el teorema de Bernoulli, la presión es constante en todos los puntos de un conducto. Dicho teorema solamente es válido en el caso de que un gas sea perfecto e incompresible, o que pueda ser tratado como tal.

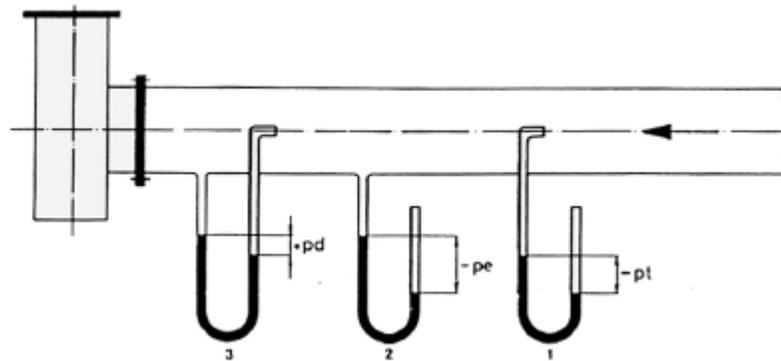


Figura 3.1 Medida de presión. Caso en aspiración.

En realidad, no hay ningún gas perfecto; sin embargo, se nos permite deducir que la presión dinámica puede transformarse en presión estática, e inversamente, cuando se producen cambios de sección en un conducto. La transformación contiene una pérdida de presión, tanto más adecuada cuanto mayor sea la variación de velocidades.

Diferencia de presión desarrollada por un ventilador

En régimen de funcionamiento, el fluido llega a la abertura de aspiración del ventilador a la presión atmosférica si no existe ningún conducto unido a su abertura; o a una presión inferior a la atmosférica, si el ventilador aspira por intermedio de un conducto motivado por la pérdida de presión causada por el paso del fluido a través del conducto.

Si la abertura de impulsión de este no va unido a ningún conducto, la presión estática en dicha abertura es cero y la presión total es igual a la presión dinámica media. En cualquier caso, la diferencia de presión total creada es igual a la presión total media a la salida del ventilador menos la presión total media a la entrada.

3.3.3 Leyes fundamentales de los ventiladores

Ordinariamente, cuando se elige un ventilador, hay que precisar sus cualidades de funcionamiento para acoplarlo al sistema utilizado. Esta adaptación es posible aplicando leyes que, aunque teóricas, se pueden aceptar con suficiente precisión para los ventiladores reales.

Si consideramos las funciones variables de un ventilador, estas son:

- . Q: caudal.
- . P_t : presión total.
- . PA: potencia absorbida.
- . N: velocidad de rotación (revoluciones por minuto, r.p.m.).
- . D: diámetro del rodete.
- . ρ : densidad del aire.

Podemos llegar a extraer principios básicos, por ejemplo:

$Q \cong Q_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$: el caudal es proporcional a la velocidad de rotación.

$P_{t2} \cong P_{t1} \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$: la presión total disponible varía con el cubo de la velocidad rotacional.

$P_{A2} \cong P_{A1} \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$: la potencia absorbida es proporcional al cubo de la velocidad de rotación.

$Q \cong \frac{V}{t}$: el caudal de un ventilador es la cantidad de fluido que pasa por unidad de tiempo.

$P_A \cong Q \cdot P_t$: la potencia absorbida por el ventilador equivale al caudal por la presión total.

3.3.4 Selección de un ventilador

Para seleccionar un ventilador en particular hay que acudir al catálogo del fabricante, donde se publican las características del ventilador en forma de gráfico o tabla.

Para seleccionarlo, hay que buscar el punto de funcionamiento (intersección entre caudal y presión) que se encuentre en la zona de máximo rendimiento. Ello es correcto si se mira el aspecto energético y también la cuestión de minimizar el ruido que se origina en la impulsión de aire forzado por el ventilador. El efecto inmediato que tiene el ruido y la vibración se traduce en posibles daños mecánicos.

Igualmente es muy importante tener en cuenta la naturaleza de los materiales. Si los que se van a mover son fibrosos, abrasivos o corrosivos, es posible que se deteriore prematuramente el ventilador y que disminuya su eficacia.

3.3.5 Tipos de ventiladores

3.3.5.1 Ventiladores axiales

Son especialmente apropiados para la impulsión o aspiración de grandes volúmenes de aire a baja presión, entendiéndose a una presión menor a 80mmcda.

Ventilador de ducto. (Fuente: Hartzell Fan, Inc., Piqua, OH.)

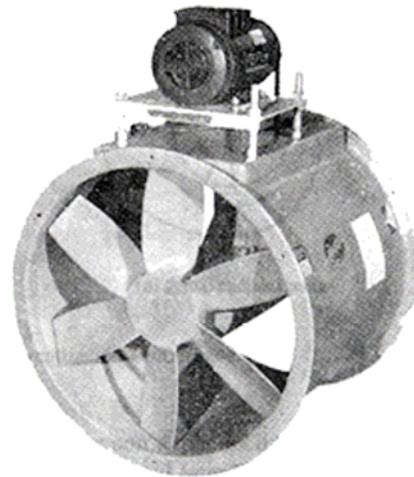


Figura 3.2 Ventilador axial. Fuente: Mott, 1996, pág. 493.

Los ventiladores de hélice son los más utilizados en la ventilación de locales ya que son más simples de montar y se puede invertir la dirección del giro. Su distinción es la forma de las palas, inclinadas con relación al eje de manera que al girar éste efectúa un movimiento semejante al que haría una hélice o tornillo, en virtud del cual el aire se ve forzado a pasar a través de aquellas, adquiriendo la velocidad que dichas palas le transfieren.

3.3.5.2 Ventiladores centrífugos

El ventilador centrífugo consiste esencialmente en una rueda provista de álabes radiales, denominada turbina, la cual gira dentro de una envolvente con figura de espiral, llamada voluta. Esta tiene dos bocas, una de aspiración situada en el eje de la turbina y otra de impulsión abierta tangencialmente con relación al rodete; se recomienda para mover caudales pequeños pero a elevada presión (mayor a 80 mmCDA).

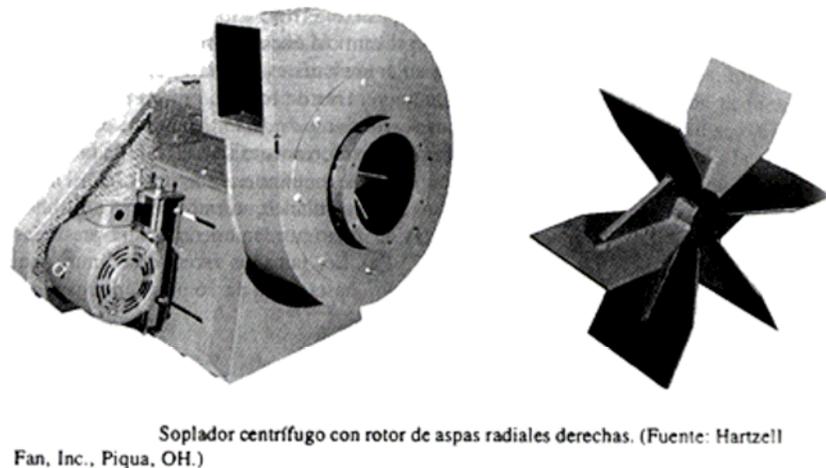


Figura 3.1 Ventilador centrífugo. Fuente: Mott, 1996, pág. 494.

Por la acción de la fuerza centrífuga causada por la rotación de la turbina, el fluido es acarreado por los álabes y despedido hacia la periferia, donde lo recoge la voluta de sección creciente de forma gradual, y lo conduce al orificio de salida, transformando parcialmente la energía cinética en energía estática.

El lanzamiento del fluido hacia la periferia crea en la boca de aspiración una depresión que facilita la entrada del fluido en cantidad igual a la desalojada, estableciéndose de esta manera un caudal continuo. La suma de la depresión en la boca de aspiración y de la presión en la boca de impulsión representa la presión manométrica total ejercida por ventilador.

El rendimiento de los ventiladores centrífugos es limitado a causa de que el aire impulsado cambia en 90°. Es decir, el fluido entra de manera axial, gira en ángulo recto a través de los álabes y es despedido en disposición radial. Esto provoca pérdidas de energía motivada por el choque y los remolinos.

3.3.6 Mecánica de fluidos

- **Número de Reynolds** (Fuente: Mott, 1996, pág. 221)

El comportamiento de un fluido, particularmente con respecto a las pérdidas de energía, depende bastante de si el flujo es laminar o turbulento. Por esta razón, se desea tener un medio para predecir este tipo de flujo sin tener necesidad de observarlo. La ecuación que describe el número de Reynolds se enuncia en los anexos. Esta definición es adimensional, y es el cociente entre la fuerza de inercia sobre un fluido entre la fuerza viscosa.

Los flujos que tiene un número de Reynolds grande, típicamente debido a una alta velocidad o a una baja viscosidad, o a ambas, tienden a ser turbulentos.

Aquellos fluidos que poseen una alta viscosidad o se mueven a bajas velocidades tendrán un número de Reynolds pequeño y tenderán a ser laminares.

Para aplicaciones prácticas en flujos en conductos, tenemos que si el número de Reynolds es menor que 2000, el flujo será laminar. Además, si el número de Reynolds es mayor que 4000, se puede suponer que el flujo es turbulento. En el intervalo de números de Reynolds comprendido entre 2000 y 4000, es imposible predecir qué tipo de flujo existe; por consiguiente, este intervalo se conoce como “región crítica”.

3.3.7 Ecuación de Darcy (Fuente: Mott, 1996, pág. 237)

Un componente de la pérdida de energía se debe a la fricción en el fluido en movimiento. La fricción es proporcional a la cabeza de velocidad de flujo y al cociente de la longitud entre el diámetro de la corriente de flujo, para el caso en conductos y tubos. Lo anterior se expresa de manera matemática en la ecuación de Darcy (ver anexos).

La ecuación de Darcy se puede utilizar para calcular la pérdida de energía en secciones largas y rectas de conductos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento. La diferencia entre los dos flujos, es la evaluación del factor de fricción, f , que carece de dimensiones. El procedimiento para encontrar este último valor, se describe en la muestra de cálculos.

3.3.8 Diseño ideal

En cualquier sistema de extracción, sea este simple o complejo, su estudio corresponde meramente a un arreglo de las subpartes más sencillas que se unen a un ducto en común. En este sentido, pueden emplearse dos métodos (tomado de: C.I.V, Industrial Ventilation. Michigan, 1978, pág. 6.1-6.42) que definen los diámetros de los ductos según su finalidad y disponibilidad.

3.3.8.1 Método A

Balanceo del aire sin compuerta de ajuste. Este procedimiento logra encontrar el flujo de aire deseado para un sistema balanceado, sin el uso de dampers. También se le llama método de la presión estática, y su diseño se hace principio con el cálculo del ramal con mayor resistencia y se procede, desde las ramas secundarias hasta el ducto principal, y de este hacia el ventilador. Cada punto de unión para dos flujos de aire es un punto de comparación para que se logre el flujo de deseado, y debe igualar a la caída de presión del ramal cuyo flujo se adiciona. Las presiones estáticas están balanceadas debido a la adecuada selección en los diámetros de tuberías, codos, intersecciones, entre otros.

3.3.8.2 Método B

Balanceo de aire por medio de compuertas de ajuste. Dependiendo del objetivo por lograr después de la instalación, puede ser necesario emplear dampers para obtener así el flujo de aire deseado. Este método de cálculo también principia con el ramal de mayor pérdida, a través de los ramales y secciones hasta llegar al ventilador. En el punto en que cada sección se une con otra ramal, los volúmenes de aire se agregan conformando un ducto principal.

Estos ramales que se unen son meramente dimensionados para dar la velocidad mínima necesaria deseada en ese punto. Esto aparentemente sería un ejercicio de mucho cuidado, porque al escoger el ramal con mayor resistencia y si su selección fue errónea cualquier otro ramal con mayor resistencia perdería el volumen que se desea. Sin embargo, en caso de dudas se verifica cada uno de los ramales para obtener así el de mayor resistencia. Estas variaciones de resistencia o caídas de presión en los ramales son compensadas al instalar dampers en la entrada de cada ducto.

A la hora de escoger entre estos dos métodos, se tienen que tomar en cuenta las condiciones de operación. Así, por ejemplo, el método A se utiliza cuando hay materiales que son altamente tóxicos o corrosivos, debido a que estos podrían dañar el funcionamiento de los dampers y afectar a los operarios.

Por otra parte, la habilidad para distribuir aire, dada la flexibilidad del método B, sugiere su uso cuando los materiales pueden controlarse y los polvos que se acumulan no son dañinos. Debe hacerse mención a que las velocidades en los ramales son apreciablemente mayores a las velocidades de los ductos principales, por lo que estos se convierten en los orificios que limitan la carga hacia el sistema y se pueden aprovechar para balancearlo, aunque las pérdidas sean calculadas según el método B.

3.3.8.3 Método empleado

Método C

Este método se conoce como “método mixto”. Consiste en un híbrido entre los métodos A y B, con el cual se logra una mayor aproximación al caso real.

Tiene como ventaja el aprovechar los criterios de dimensionado de los ductos expresos en el Método A; y la posibilidad de realizar un “ajuste fino” del Método B.

Su proceso de cálculo inicia en el ramal que se supone es el de mayor pérdida. Luego se avanza al siguiente punto, donde este ramal se une a otro y se selecciona un diámetro que asegure una velocidad mayor o igual a la mínima recomendada y que equilibre las caídas de presión.

Sin embargo, cabe la posibilidad de que, si las condiciones van más allá del límite de tolerancia permitido (normalmente alrededor de un 5%), se puede emplear un damper para equilibrar el ramal con menor resistencia (hasta un máximo de 10% con respecto al ramal en comparación).

Como se puede apreciar (ver muestra de cálculos), los diámetros que se han seleccionado en el diseño de los ductos de extracción varían significativamente con respecto al cálculo ideal. Su justificación yace en la disponibilidad de materiales en el mercado nacional.

3.4 Descripción técnica del sistema

La planta cuenta con 9 niveles, donde a partir del primero se genera polvo o finos producto del detergente (esto hasta el último nivel de la torre). Los ductos de succión se disponen desde el nivel 1 hasta el nivel 7, con un ramal en el segundo, tercero y otros en el quinto nivel.

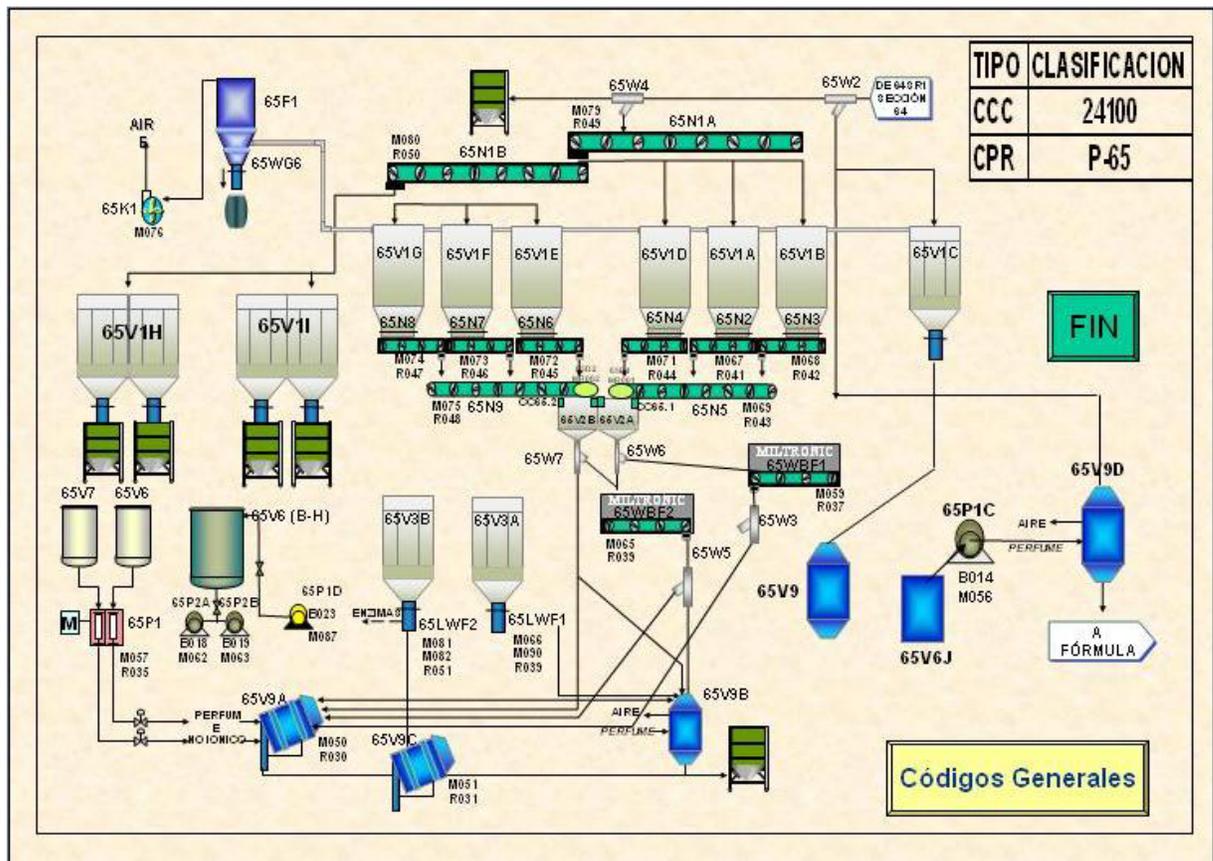
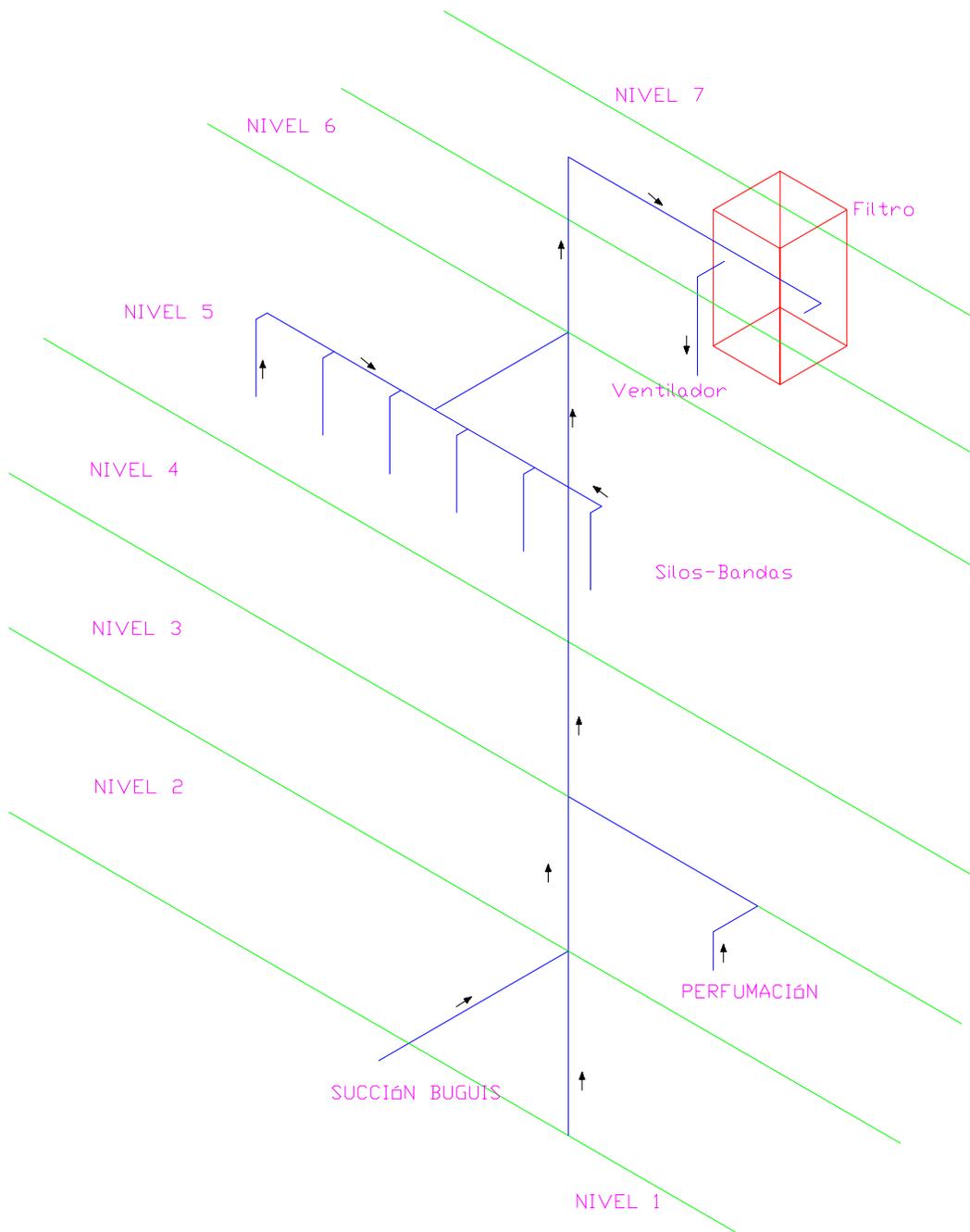


Figura 3.4 Sección 65.



(autocad)

Figura 3.5. Distribución actual de tuberías del sistema de succión de polvos.



Figura 3.6 Nivel 2 – Sección buguis.



Figura 3.7 Nivel 2 - Sección buguis.



Figura 3.7 Nivel 3.



Figura 3.8 Nivel 4.



Figura 3.9 Nivel 5.



Figura 3.10 Nivel 6.

3.4.1 Descripción técnica del ventilador y motor:

Tabla 3.1 Descripción técnica del ventilador

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Fabricante	Arivent Italiana
Fecha de fabricación	1993
Capacidad Nominal	10 000 m ³ /hr
Presión estática	300 mmH ₂ O
Modelo	RHS 24
Serie	1541 A
Potencia	10,9 KW
Clase	II
Presión total	327 mmH ₂ O

- Hoja técnica del ventilador 65K1 (ver anexo 8).
- Curva característica del ventilador (ver anexo 8).
- Plano del ventilador 65K1 (ver anexo 8).

Tabla 3.2 Descripción del motor.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca	ABB MOTORS
Fecha de fabricación	1983
Modelo	MBT 160L
Tensión	440 / 480 VAC
Intensidad	30 / 30 Amp
Velocidad	1760 rpm
Factor Potencia	0.83
Potencia	17 KW

Figura 3.11 Hoja técnica del motor del ventilador 65K1.

3.5 Evaluación de la condición del sistema

Como punto de partida, se obtuvo información experimental en el campo sobre el funcionamiento del sistema de succión de polvos.

Este sistema ha venido funcionando desde 1993, y su eficiencia se ha visto afectada por el crecimiento de la planta, específicamente de la torre de secado de detergente, para el cual funciona el sistema de extracción de polvo o finos, y en el crecimiento de la producción de detergente en los últimos años.

Se realizaron medidas de velocidades de aire en ciertos puntos de los ductos para la extracción de polvo (esto en diferentes niveles de la torre de secado). Estas mediciones se realizaron con los tubos de pitot de que dispone el departamento de mantenimiento para la realización de pruebas para cálculos de flujos de aire.

Tabla 3.3 Hoja de resultados de la medición de velocidades de flujos de aire y cálculos de caudales experimentales (ver anexo 2).

3.6 Análisis de la situación

Si bien el sistema ha estado funcionando siempre a lo largo de aproximadamente 12 años, se vuelve de vital importancia, por asuntos de costo y distribución del sistema, que éste continúe su funcionamiento con el motor, ventilador y filtro actual.

Adicionalmente, es imperativo brindar a los operarios un ambiente de trabajo adecuado, limpio y seguro. Esto se logra tanto al ubicar en los equipos los puntos de succión en posiciones estratégicas que mejoren la extracción, como capacitando al personal para que sea participe en el cuidado y mantenimiento éstos.

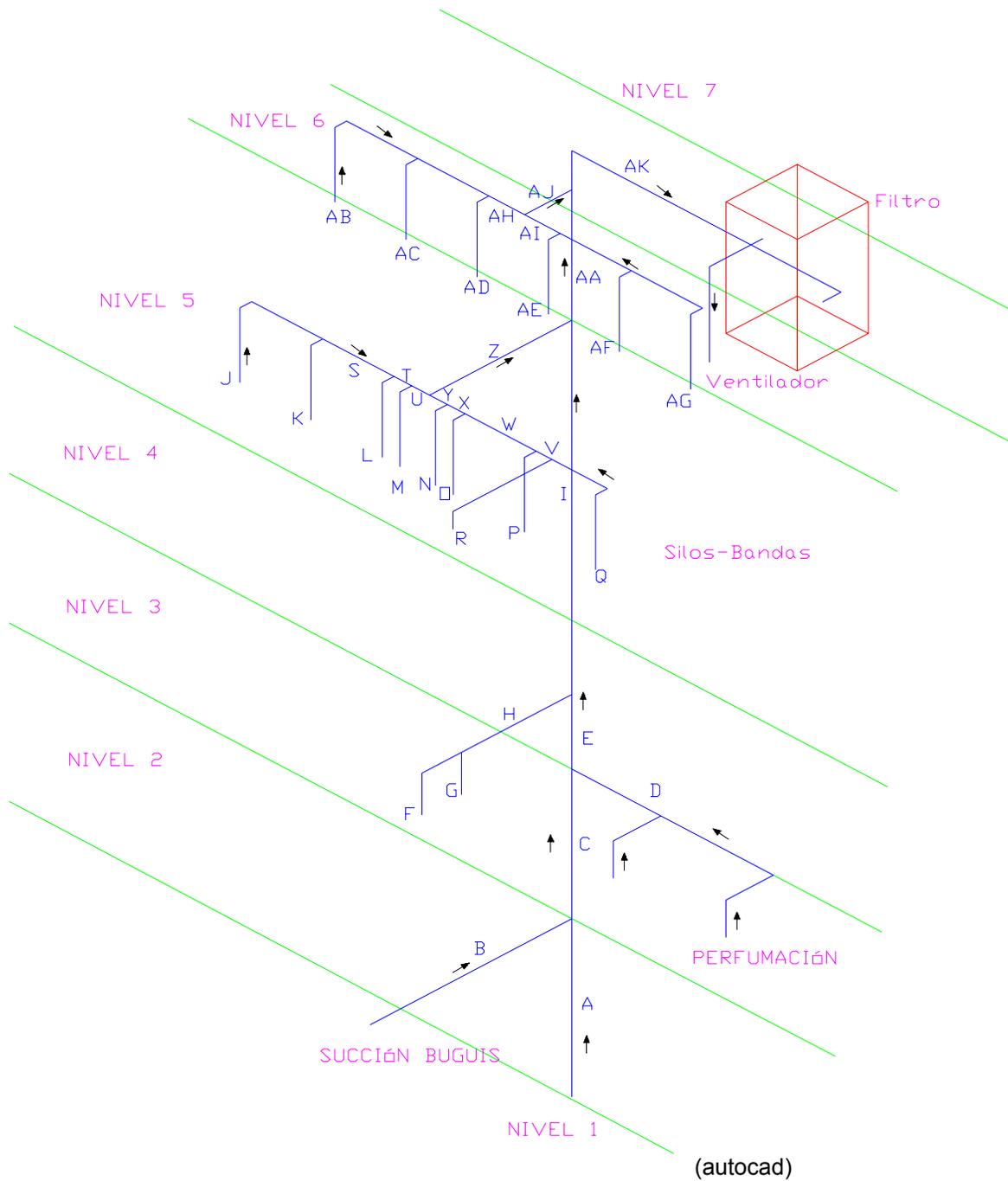


Figura 3.11 Nuevos puntos de distribución de tuberías del sistema de succión de polvos.

3.7 Muestra de cálculos

Con el objetivo de lograr equilibrio entre los ramales del sistema, se desarrolló una hoja de cálculo en Microsoft Excel, que emplea recursividad e interacciones para el cálculo de los diámetros recomendados y las pérdidas que corresponden.

Todo el procedimiento está basado en el uso de fórmulas desarrolladas para tales efectos. Mott, autor de “Mecánica de Fluidos Aplicada”, muestra con claridad los pasos seguidos para el cálculo de pérdidas de presión estática en un tramo determinado, mediante la aplicación del concepto “longitud equivalente”.

Ejemplo: Tramo A (sección crítica del sistema)

Sea el caso del tramo A de la situación en estudio (ver hoja de cálculo en anexos).

Las condiciones de operación para dicho tramo requieren:

$$Q = 14040 \text{ m}^3 / \text{hr} = 3.9 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (\text{caudal requerido})$$

La instalación propia de tubería es:

L1 = 5 m (longitud de la tubería)

El diámetro seleccionado de la tubería es:

$$\varnothing = 24 \text{ pulg} \rightarrow \varnothing_{\text{int}} 0.6314 \text{ m} \quad (\text{diámetro interno el ducto})$$

Bajo estas condiciones, la velocidad real del aire que se trasiega en esa zona se describe como:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \phi^2} = \frac{4 \cdot 3.9 \text{ m}^3 / \text{s}}{\pi \cdot (0.6314 \text{ m})^2} = 12.46 \text{ m} / \text{s}$$

Para realizar un cálculo adecuado, es necesario evaluar las condiciones de operación. Al estudiar el número de Reynolds y la rugosidad relativa, es posible determinar qué tipo de comportamiento tiene el flujo. Así, por ejemplo, se obtiene que:

$$N_R = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{12.46 \frac{m}{s} \cdot 0.6314 m}{1.51 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} = 5.21 \times 10^5 \quad (\text{número de Reynolds})$$

La viscosidad cinemática (ν) fue tomada de la tabla de propiedades del aire del Mott.

Dado que el número de Reynolds es mayor a 4000, se garantiza que el flujo es turbulento. Adicionalmente, dado que " $\varepsilon = 4.6 \times 10^{-5} m$ ", la rugosidad relativa tiene como valor:

$$\frac{D}{\varepsilon} = \frac{0.6314 m}{2.1 \times 10^{-6}} = 13726 \quad (\text{rugosidad relativa})$$

Esta rugosidad relativa asume que el conducto es liso.

Cuando se toman estas magnitudes y se aplican a la gráfica de Moody, se aprecia que el factor de fricción se puede aproximar en:

$$f = 0.014 \quad (\text{factor de fricción})$$

Sin embargo, para continuar con el cálculo, es necesario considerar la longitud equivalente de todo el trayecto. Para este efecto, se debe plantear la siguiente ecuación:

$$L_1 = 5m$$
$$L_{eq} = L_1 + 9 \cdot N_c \cdot D \quad (\text{longitud equivalente})$$

Los accesorios (codos) tienen su aporte en forma de longitud, y su proporción se asume como nueve veces el diámetro del ducto; lo cual quiere decir que el radio del codo es aproximadamente dos veces su diámetro.

$$L = 5 + 9 \cdot 2 \cdot 0.6314 = 16.37m$$

Con esta nueva longitud equivalente, se procede a calcular la caída de presión estática en la sección A, lo que se explica como:

$$\Delta P = f \cdot \rho \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$\Delta P = 0.014 \cdot 1.204 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.8 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{16.37m}{0.6314m} \cdot \frac{(12.46 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9.8 \frac{m}{s^2}} = 33.89 Pa = 3.46 mmH_2O$$

(caída de presión)

Esto concluye el cálculo para esta sección.

Tabla 3.4 Definición de caudales y cálculo de pérdidas en tuberías (ver anexo 2).

Tramo	Caudal requerido (m ³ /s)	Longitud (m)	Diámetro interno equivalente (mm)	Velocidad (m/s)	Longitud equivalente total (m)	Pérdida de carga (Pa/m)	Pérdida / sección (mmH ₂ O)	Pérdida acumulada (mmH ₂ O)
A	3,9	5	631,4	12,46	16,37	33,89	3,46	3,46
B	1,667	8,5	424,7	11,77	16,14	47,53	4,85	8,31
C	5,567	5	631,4	17,78	10,68	41,86	4,27	12,59
D	0,1	8,5	104,1	11,75	11,31	189,61	19,36	31,95
E	5,667	5	631,4	18,10	5,00	20,30	2,07	34,02
F	0,05	1,5	84,3	8,96	2,26	29,77	3,04	37,06
G	0,05	1,5	84,3	8,96	2,26	29,77	3,04	40,10
H	0,1	8,5	104,1	11,75	9,44	158,20	16,15	56,25
I	5,767	6,3	631,4	18,42	6,30	26,49	2,70	58,96
J	0,278	3	156	14,54	5,81	85,35	8,71	67,67
K	0,278	3	156	14,54	5,81	85,35	8,71	76,38
L	0,278	3	156	14,54	5,81	85,35	8,71	85,10
M	0,278	3	156	14,54	5,81	85,35	8,71	93,81
N	0,278	3	156	14,54	5,81	85,35	8,71	102,52
O	0,278	3	156	14,54	5,81	85,35	8,71	111,24
P	0,278	3	156	14,54	5,81	85,35	8,71	119,95
Q	0,278	3	156	14,54	5,81	85,35	8,71	128,67
R	0,833	4	209	24,28	7,76	210,90	21,53	150,20
S	0,278	3	156	14,54	3,00	44,08	4,50	154,70
T	0,278	1,5	156	14,54	1,50	22,04	2,25	156,95
U	0,556	0,5	156	29,09	0,50	27,76	2,83	159,78
V	1,111	3	209	32,38	3,00	145,00	14,80	174,59
W	1,111	3	209	32,38	3,00	145,00	14,80	189,39
X	1,111	0,5	209	32,38	0,50	24,17	2,47	191,86
Y	1,389	0,5	209	40,49	0,50	37,77	3,86	195,72
Z	1,945	6	371,6	17,93	12,69	99,17	10,13	205,84
AA	7,712	5	631,4	24,63	5,00	37,60	3,84	209,68
AB	0,5	0,5	209	14,57	4,26	44,33	4,53	214,21
AC	0,5	0,5	209	14,57	4,26	44,33	4,53	218,73
AD	0,5	0,5	209	14,57	4,26	44,33	4,53	223,26
AE	0,5	0,5	209	14,57	4,26	44,33	4,53	227,78
AF	0,5	0,5	209	14,57	4,26	44,33	4,53	232,31
AG	0,5	0,5	209	14,57	4,26	44,33	4,53	236,84
AH	0,5	4,5	209	14,57	4,50	46,80	4,78	241,61
AI	0,5	4,5	209	14,57	4,50	46,80	4,78	246,39
AJ	0,5	1	209	14,57	4,76	49,53	5,06	251,45
AK	8,212	11,5	631,4	26,23	28,55	243,39	24,85	276,30
AL	8,212	9	631,4	26,23	26,05	222,08	22,67	298,97

Tabla 3.5 Definición de caudales y cálculo de pérdidas en tuberías (ver anexo 2).

3.8 Conclusiones y recomendaciones

La velocidad mínima para transportar detergente del nivel 1 al nivel 9 a través del ducto succionador hacia la cámara de sedimentación (que abarca un trayecto de 42m) es de 8.7 m/s (tabla 3.6 – anexos), velocidad mínima que garantiza que el detergente no se va caer al suelo a través del ducto. Esto sucede en el sistema de succión de detergente en el proceso final de enfriamiento.

Con el dato de velocidad mínima requerida, se garantizan los caudales en los puntos de succión requeridos.

Para el caso 1 (tabla 3.4 – ver anexo 2), donde se toma en cuenta el caudal de aire necesario para las 14 máquinas del área de empaque detalle, y los nuevos puntos de succión, la capacidad del ventilador actual está por debajo del caudal requerido de aproximadamente 29500 m³/hr de aire necesarios para el nuevo sistema de succión, contra 10000 m³/hr @ 2580rpm que puede suministrar el ventilador 65K1 actual. Para este caso sería necesario contar con un ventilador que suministre 30000 m³/hr, u otro ventilador con capacidad de 20000m³/hr para los nuevos puntos de succión; además, de cambio de diámetros recomendados en la tabla 3.4 y nueva distribución de ductos, lo cual tiene un costo de aproximadamente 30000 dólares, solo el costo de materiales de los ductos y mano de obra para la instalación, sin tomar en cuenta el motor y el ventilador

Para el caso 2 (tabla 3.5), no se incluye el área de empaque, punto A, solo los nuevos puntos de succión de polvos. Esto requiere un caudal acumulado de aproximadamente 15500 m³/hr de aire, pero aún no se lograría con el ventilador la capacidad deseada (ver gráfico curva del ventilador, anexo 8).

Como recomendación para el sistema actual, mientras se mantenga funcionando, es necesario realizar una limpieza de los ductos que actualmente se encuentran en los principales puntos de succión, ya que se encuentran obstruidos limitando la capacidad del sistema y su mal funcionamiento (ver tabla 3.3 anexos).

Capítulo 4

Proyecto administrativo

4 Diseño de un programa de mantenimiento RCM para el sistema de combustión de la línea de producción de torre de secado de detergente

4.1 Justificación del proyecto

Las líneas objeto de este estudio se encuentran hasta el día de hoy trabajando con un programa de mantenimiento correctivo, programado y preventivo, por lo cual es de interés para la empresa empezar a poner en marcha la técnica de mantenimiento centrado en la confiabilidad, con el objetivo de disminuir las horas de paro y aumentar al máximo la confiabilidad del equipo en estudio.

4.2 Objetivos

- Reducir el tiempo de paro en el equipo elegido.
- Aumentar la confiabilidad del equipo.
- Justificar las tareas de mantenimiento que se aplican y eliminar aquellas que no muestren efectividad para prevenir una falla.
- Servir como base de datos y capacitación para el personal que se involucra con el mantenimiento y mejoramiento de los equipos.

4.3 Alcances y limitaciones del proyecto

El proyecto se plantea como una propuesta de programa piloto para cada uno de los equipos de producción clasificados como críticos según la tabla de criticidad (tabla 4.1 - anexos). Así mismo, se planea realizar la mayoría de las etapas, con excepción de las que son propias de la puesta en marcha del programa y su evaluación, dado que el presente estudio es una propuesta que se sugiere al departamento. Sin embargo, las etapas no desarrolladas se trabajarán por medio de recomendaciones.

Como limitaciones encontradas pueden mencionarse:

1. Falta de información técnica en algunos de los equipos de la línea de producción.
2. Tiempo limitado para profundizar y verificar el proyecto.

4.4 Marco teórico

Introducción

4.4.1 El mantenimiento

El mantenimiento representa una función de servicio que se ha dispuesto en la empresa para lograr a un costo óptimo, la conservación de la planta física y el funcionamiento eficiente de los equipos, de manera que se garantice el cumplimiento de las metas de producción bajo condiciones seguras de operación.

El mantenimiento es el trabajo emprendido para cuidar y restaurar, hasta un nivel económico compatible o una norma aceptable, todos y cada uno de los medios de producción existentes, es decir, los terrenos y las instalaciones contenidos en ellos, además de los equipos.

El mantenimiento debe incluir tanto las acciones de conservación (cuidar) y reparación (restauración), como las relacionadas con aspectos económicos, organizacionales y otros propios de la gerencia empresarial.

El mantenimiento tiene la gran posibilidad de influir directamente en los costos de la empresa, dado que es el responsable de disminuir, a un nivel razonable, los paros de las máquinas durante la producción. Teniendo bajo control los paros, las pérdidas por falta de producción no afectarán negativamente los costos de la empresa.

Existen diferentes tipos de mantenimiento, a saber:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento programado.
- Mantenimiento extraordinario.
- Mantenimiento productivo total.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento basado en confiabilidad.

4.4.2 Mantenimiento correctivo

Es el trabajo de mantenimiento para localizar y solucionar inmediatamente una falla. Normalmente detiene la producción.

4.4.3 Mantenimiento preventivo

Es un tipo de mantenimiento basado en establecer inspecciones en forma planificada, programada y controlada, con el objetivo de detectar deficiencias y corregirlas.

La implantación de estos programas varía de acuerdo al tipo de empresa, y su funcionamiento depende de la disponibilidad que pueda tener el mantenimiento para realizar las inspecciones con máquina parada y a las posibilidades económicas de la empresa. Un programa de mantenimiento preventivo (P.M.P) requiere principalmente de un seguimiento detallado; por ésta razón es que la persona que implante el P.M.P debe inspeccionar la realización de los trabajos y verificar si está cumpliendo con lo establecido en el programa. Otra de las razones para dar un seguimiento adecuado es con el fin de una mentalidad preventiva en las personas que ejecutan los trabajos

de mantenimiento, pues las inspecciones deben hacerse a conciencia, de modo que se puedan detectar las deficiencias sobre los trabajos realizados.

Individualmente, el objetivo principal al instalar un programa de mantenimiento preventivo es reducir los costos. Esta reducción puede venir por diferentes vías:

- Reduciendo el tiempo muerto en producción, al reducir las fallas del equipo.
- Conservando mejor la maquinaria y bienes en general e incrementando el período de vida útil, como un resultado de eliminar los reemplazos prematuros de maquinaria y equipo.
- Reduciendo los costos de las reparaciones. Cuando un equipo falla en servicio, generalmente hará que fallen otras partes y, por lo tanto, la reparación tendrá un mayor costo económico.
- Mejorando los controles sobre el inventario de bodega en lo que se refiere a repuestos.
- Minorizando el número de reparaciones grandes debido a fallas inesperadas.

4.4.4 Mantenimiento predictivo

Por mantenimiento predictivo podemos entender la técnica por la cual podemos determinar la condición de la máquina mientras esta opera, midiendo determinados indicadores de desgaste que reflejan la condición electromecánica del equipo de nuestro interés, con el fin de estar en capacidad técnica de predecir una eventual falla. Con lo anterior, es posible programar de una forma eficiente las reparaciones pertinentes, así como, por medio de las mediciones realizadas valorar el grado de desgaste sufrido a través del tiempo, facilitándonos el control de dicho parámetro dentro de la máquina. Esto da la gran ventaja de determinar la condición de la máquina sin llegar al punto de su desarme; por lo tanto, se evita afectar la disponibilidad del equipo dentro de la línea de producción.

Como concepto base de este programa, se debe considerar que todos los desgastes que conducen a falla evolucionan progresivamente por lo cual, si se mantiene el control de los mismos se puede lograr un mejor seguimiento de la maquinaria, de modo que al tener una descripción del avance del desgaste en el tiempo sea posible planificar su futura reparación.

Como beneficios adicionales que se tienen como producto de esta técnica del mantenimiento puede mencionarse la reducción de horas extraordinarias requeridas en algunas de las reparaciones de equipo vital para la producción, de modo que, al trabajar de una manera más planificada, permite llegar a las causas reales de una falla, con lo cual, a su vez, contribuye a mejorar la calidad de las reparaciones.

Cabe destacar, como puntos importantes por considerar dentro de la implantación de un programa de mantenimiento predictivo, los siguientes requisitos para asegurar resultados óptimos:

- La realización de las reparaciones no debe sufrir retrasos.
- Los programas de mediciones periódicas deben cumplirse estrictamente.
- Las mediciones se deben realizar siempre con rigurosidad y según las técnicas normalizadas.

Como etapas por desarrollar en el diseño de un programa de mantenimiento predictivo, se recomienda seguir las siguientes (según material elaborado por el Ing. Jorge Valverde):

Etapa 1: Seleccionar las máquinas.

Etapa 2: Determinar los indicadores de desgaste.

Etapa 3: Seleccionar los instrumentos.

Etapa 4: Seleccionar el personal.

Etapa 5: Capacitar al personal.

Etapa 6: Determinar rutas de medición.

Etapa 7: Determinar los períodos de las mediciones.

Etapa 8: Señalar los puntos de medición.

Etapa 9: Definir procedimiento administrativo para realizar las mediciones (flujograma).

Etapa 10: Programar las mediciones por medio de un Gantt.

Etapa 11: Establecer una estrategia de motivación.

Etapa 12: Estimar el costo del programa.

Etapa 13: Puesta en marcha: ajuste y mejoramiento.

4.4.5 El mantenimiento y el RCM

RCM significa en inglés “Reliability Centered Maintenance” o Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Es un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúa desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente.

El RCM nace en la aviación civil, como un tipo de mantenimiento que se desarrolla para las nuevas unidades que se diseñan. Esta técnica ha tenido mucho éxito en lo que el mantenimiento de aviones se refiere; por ello, se ha extendido a la industria en general.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una nueva estrategia enfocada a las prácticas de mantenimiento demandadas por las crecientes políticas de producción y calidad. Este programa consiste en realizar un estudio sobre un equipo determinado, el cual se desglosa en las funciones que realiza. Esto se lleva a cabo para determinar las operaciones que se realizan en cada función, así como los componentes que intervienen en estas. De esta forma, es más factible encontrar los posibles modos de fallo y las causas que los generan, para desarrollar posteriormente un plan de mantenimiento o tareas recomendadas, para contrarrestar las irregularidades que se puedan presentar en la operación.

El RCM es una herramienta de apoyo en el mantenimiento preventivo, pero no se puede eliminar el mantenimiento preventivo solo porque se implante el RCM.

El análisis del RCM se utiliza para asegurar un mantenimiento preventivo más eficaz y eficiente, motivo por el cual justifica certeramente las tareas de mantenimiento y la técnica utilizada para determinada tarea.

Es también un elemento que valora las funciones que está cumpliendo un equipo, por lo que nos puede dar un criterio para saber si un equipo está cumpliendo con las expectativas de funcionamiento creadas, o si el equipo no es suficiente para completar las expectativas de trabajo creadas.

4.4.6 Pasos para implementar el RCM

1- Establecer las funciones y los estándares de funcionamiento del equipo

En este primer paso, se debe tomar en cuenta cuál es la relación directa que tiene el equipo con los estándares de funcionamiento, los cuales pueden ser producción, calidad del producto, servicio al cliente, medio ambiente etc. luego de tener la relación bien definida, se divide el equipo en componentes y se desglosan las funciones.

2 - Establecer fallos funcionales

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento del equipo se hayan definido, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. A esto se le conoce como ***falla funcional***, que se define como la incapacidad de un elemento de satisfacer un estándar de funcionamiento.

3 - Establecer modos o causas de fallo

Se trata de identificar los modos de fallo que tienen más posibilidades de causar la pérdida de una función. Es importante identificar cuál es la causa y origen de cada fallo.

4 - Analizar efectos y consecuencias de los fallos

Este paso permite decidir la importancia de cada fallo y, por lo tanto, si el nivel de mantenimiento preventivo (si lo hubiera) sería necesario. Se trata de considerar cuales serían las consecuencias que puede traer a los estándares de funcionamiento, así como a los componentes del equipo.

5 - Tareas preventivas

Se escoge la tarea que mejor minimice los costos por concepto de la pérdida de una función. Se establecerá a qué modos de fallo debe dársele más importancia y, de acuerdo con esto, establecer niveles de mantenimiento para el equipo.

4.4.7 Ejemplo para aplicar el RCM.

Para este ejemplo, tomaremos como elemento de análisis una bomba de agua utilizada para abastecer un tanque de almacenamiento.

Aplicaremos paso a paso el desarrollo del programa.

1- Función de la bomba: bombear agua al tanque de almacenamiento a una presión de 20 PSI.

2- Fallos funcionales: 1- No bombea agua al tanque.
2- Bombea agua, pero no a la presión de 20PSI.

3- Modos de fallo para cada falla funcional:

Falla funcional	Modo de fallo
No bombea agua.	Protección de sobrecarga activada.
	Falla eléctrica o mecánica en el motor.
Bombea agua pero no a la presión correcta.	Se da cavitación. Rodamientos dañados.

4- Consecuencias de los modos de fallo:

Modo de fallo	Causas de fallo
Protección de sobrecarga activada.	La bomba no arranca y no enviará agua al tanque.
Se da cavitación.	Ocasiona insuficiente presión; además pueden quebrarse partes internas en la bomba, como el impulsor.
Rodamientos dañados.	Provoca cargas en el eje que a la vez pueden sobrecalentar el motor eléctrico.

5- Seleccionar las tareas de mantenimiento para los diferentes modos de fallo:

Modo de fallo	Causas de fallo
Protección de sobrecarga activada.	Revisar el sistema de protección.
Se da cavitación.	Revisar el diseño de la instalación de la bomba.
	Prestar atención a ruidos extraños en el funcionamiento de la bomba.
Rodamientos dañados.	Lubricar y revisar los rodamientos.

Una vez obtenida toda la información del equipo, se analizan las tareas de mantenimiento, con el fin de darle más énfasis a los modos de fallo que tengan mayores consecuencias y efectos sobre el equipo. Además, se establece qué tipo de mantenimiento y frecuencia es la más adecuada para tratar cada modo de fallo.

4.4.8 Beneficios del RCM

El RCM está diseñado para asistir a la ingeniería, mejorar la calidad y la fiabilidad del diseño. Utilizado adecuadamente, provee al ingeniero algunos beneficios, entre los cuales se incluyen:

- a) Mayor seguridad e integridad ambiental.
- b) Mejoramiento de la calidad y fiabilidad del equipo o proceso.
- c) Aumento de la vida útil de equipos costosos.
- d) Incremento de satisfacción del cliente.
- e) Identificación temprana y eliminación del modo de falla potencial del equipo o proceso.
- f) Priorización de las deficiencias del equipo o proceso.
- g) Ampliación del conocimiento de ingeniería y organización.
- h) Énfasis en la prevención de problemas.
- i) Documentación de riesgos y toma de acciones para reducirlos.
- j) Facilitación de un enfoque para mejorar las pruebas y el desarrollo.
- k) Minimización de los cambios largos y los costos asociados.

l) Mejoramiento del trabajo en equipo y del intercambio de ideas.

El RCM produce resultados muy rápidos. De hecho la mayoría de las organizaciones pueden completar una revisión del RCM en menos de un año utilizando el personal existente. La revisión termina al recopilar la documentación fiable y totalmente documentada del mantenimiento cíclico de todos los elementos significativos de cada equipo de la planta.

El RCM se desarrolló originalmente para reunir los programas de mantenimiento para los nuevos tipos de aviones antes de que éstos entraran en servicio. Como resultado de esto, es apropiado con el fin de desarrollar los programas de mantenimiento para los nuevos equipos de todo tipo, especialmente aquellos complejos para los que no se tiene casi o ninguna información.

Si el RCM se usa correctamente para volver a evaluar los requisitos de mantenimiento de los equipos existentes, transformará ambos requisitos y la forma en que reciben la función del mantenimiento como operación total. El resultado es un mantenimiento menos costoso, más armonioso y eficaz.

4.5 Desarrollo del programa RCM

En los siguientes puntos se presenta la información obtenida, procesada y generada para cada una de las etapas de implantación del programa de RCM.

4.5.1 Selección de las máquinas que formarán parte del programa

Los equipos en la línea de producción objeto de este estudio, cuentan con un programa de mantenimiento preventivo. Cada equipo, actualmente, es atendido por el departamento, con la ejecución de mantenimiento preventivo, programado y mantenimiento correctivo, además de proyectos solicitados por la gerencia dentro de las líneas de producción mencionadas.

Dada la necesidad de dicho programa como una alternativa válida para disminuir las horas de paro actuales, se tomarán en cuenta para este trabajo la mayoría de los equipos que forman parte del conjunto del sistema de combustión de la línea de producción, con la salvedad de que, según el grado de complejidad e impacto de un paro de terminado equipo, se realizarán más o menos inspecciones en cada uno de los puntos de la línea de producción. De tal modo, que se tomará en cuenta la importancia para el proceso productivo; el costo de falla; el nivel de organización, producción, mantenimiento; la disponibilidad de información, etc; para decidir qué equipo recibirá mayor atención.

El detalle de los equipos que formaran parte del programa RCM se basa en la tabla de equipos críticos que se confeccionó para la empresa Irex.

Tabla 4.1 Tabla de equipos críticos de la torre de secado.

Tabla de clasificación de equipos e infraestructura

Criterios de evaluación

- A Impacto en la seguridad.
- B Impacto en el medio ambiente.
- C Impacto en la producción total.
- D Impacto en la producción de línea.
- E Impacto en la integridad de otros equipos.
- F Impacto en la calidad.
- G Valor económico.
- H Dificultad de adquisición.

Escala de calificación para los criterios de evaluación

- 0 Nada importante.
- 1 Poco importante.
- 2 Importante.
- 3 Muy importante.

- Clasificación Puntaje total**
- Crítico Igual o mayor que 12.
 - No crítico Menor que 12.

Proceso	Equipo	A	B	C	D	E	F	G	H	Total
Torre de secado	Válvulas rotativas.	0	0	0	1	0	0	2	2	5
	Sopladores para transporte neumático.	0	0	0	1	0	0	3	3	7
	Filtro de depolvoración 61F2.	1	3	0	3	1	0	2	3	13
	Colador centrífugo de materia prima sólida 61SR1.	0	0	0	3	1	0	1	1	6
	Colador centrífugo de materia prima sólida 61SR2.	0	0	0	3	1	0	1	1	6
	Mezclador rotativo de productos menores 61MX1.	0	0	0	3	0	0	1	1	5
	Cocleas 61CL1, 61CL2 y 61CL3.	0	0	0	3	0	0	1	1	5
	Filtros para slurry.	0	0	0	1	3	0	2	2	8
	Bombas homogenizadoras.	0	0	0	1	3	0	2	3	9
	Sistema de desaereación de slurry.	0	0	0	1	0	3	2	3	9
	Bomba de alta presión.	0	0	0	3	0	3	3	3	12
	Quemador del horno.	2	3	0	3	0	3	2	3	16
	Ventilador de dilución del horno.	0	0	0	3	0	0	3	3	9
	Ventilador de combustión del horno.	0	0	0	3	0	3	2	2	10
	Banda transportadora 64N1.	0	0	0	3	0	0	2	3	8
	Tanque para solución de recortes 63A3.	0	0	0	2	0	0	1	1	4
	PLC de la torre.	1	0	0	3	0	3	3	2	12
	Elevador de carga del 1° al 5° piso.	3	0	0	2	0	0	2	3	10
	Bomba de 4 cabezas.	0	0	0	3	0	3	3	3	12
	Tanque para agua en neutralización.	0	0	0	1	0	0	1	1	3
Tanque para soda cáustica en neutralización.	3	0	0	1	0	0	1	1	6	

Tanque para ácido sulfónico en neutralización.	0	0	0	3	0	0	1	1	5
Tanque preparador 60A4 de neutralización.	0	0	0	3	0	0	3	1	7
Preparador de slurry 63A1.	1	0	0	3	0	3	2	3	12
Maduradores de slurry.	0	0	0	1	0	3	2	3	9
Winch para el anillo limpiador 64W3.	0	0	0	3	3	3	2	3	14
Tanque para combustible 64V1.	3	0	0	3	1	1	1	1	10
Balanzas dosificadoras.	0	0	0	3	0	3	2	3	11
Ventilador de extracción de aire 64K3.	0	0	0	3	0	3	3	3	12
Ventury.	0	0	0	0	0	0	1	1	2
Filtro de mangas 62F1.	0	3	0	3	3	0	2	2	13
Perfumadores rotativos.	0	0	0	3	0	3	3	2	11
Perfumadores estáticos.	0	0	0	3	0	3	3	2	11
Bombas para perfume.	0	0	0	3	0	3	2	2	10
Silos de almacenamiento de materias primas sólidas.	0	0	0	3	0	0	2	2	7
Tanques de almacenamiento de materias primas líquidas.		0	0	3	1	0	2	2	9
Cocleas extractoras de materias primas sólidas.	0	0	0	3	0	0	2	2	7
Filtro de mangas 64F1.	1	3	0	3	3	0	3	2	15
Bandas extractoras de detergente de los silos.	0	0	0	3	0	0	3	2	8
Filtro de mangas 62F1B.	0	3	0	3	3	0	2	2	13
Recuperador de calor.	0	0	0	0	0	3	2	3	8
Tanque preparador de agua azul 62A5.	0	0	0	1	0	1	2	2	6
Circuitos de cacheras.	2	0	0	3	0	0	2	2	9
Ventilador 64K4 del air lift.	0	0	0	3	0	3	2	2	10
Filtro de mangas 64F2.	0	3	0	3	0	3	3	2	14
Ventilador extractor de finos.	1	0	0	0	0	0	2	2	5
Filtro de mangas 65F1.	1	3	0	0	0	0	3	2	9
Silos de almacenamiento de detergente.	0	0	0	3	0	0	3	2	8
Bandas llenadoras para los silos de almacenamiento.	0	0	0	3	0	0	3	2	8
Zarandas.	0	0	0	3	0	3	3	2	11
	0	0	0	3	0	0	3	2	8

4.5.2 Valoración del grado de deterioro de las máquinas

En este punto, se recomienda proceder ya sea con parámetros de funcionamiento actuales comparados con los parámetros de funcionamiento estándar o bien ponderando el deterioro de cada una de las partes de la máquina. Para las partes objeto del estudio, no existen datos de funcionamiento del equipo como elemento de la línea de producción. Más bien con la información que se cuenta son las horas de

paro de la línea como un todo. Sin embargo, los valores de capacidad instalada de producción están ligados al producto producido; no obstante, los reportes mensuales que se generan con la información de kilogramos producidos y tiempo operado por línea no especifican los tiempos perdidos por paros de mantenimiento correctivo según la presentación del producto. En otras palabras, se establece un tiempo por mantenimiento general para cada una de las líneas.

Por lo anterior, se recomienda, con el objetivo de poder dar seguimiento a este parámetro de funcionamiento global, incluir en dichos reportes las horas de paro según presentación del producto producida, de forma que para cada equipo específico del sistema se logre comparar la información teórico-práctica y poder evaluar la intervención del mantenimiento y el grado de deterioro del equipo, ya que entre mayor número de fallas se presenten o menor sea el rendimiento productivo, mejores son los indicadores de posible mayor desgaste del equipo.

Como alternativa, se optó por considerar el equipo con mayor horas de paro en los últimos 3 años, dadas las horas de paro por mantenimiento (ver tabla 4.2 anexos) registradas, y el mantenimiento correctivo, programado y preventivo que actualmente se realiza.

4.5.3 Estudio técnico y formación del archivo

El estudio técnico de los equipos ha permitido conocer el funcionamiento de cada uno y sus partes más importantes. Dadas las características y principios básicos en la mayoría de equipos, no se hará mayor profundización en este tema. Para los casos específicos de equipo especializado, se cuenta con la información proveniente del fabricante dentro de los manuales de funcionamiento y el conocimiento del personal del área mecánica, eléctrica y de producción.

A continuación se muestran las fichas técnicas para cada uno de los equipos del sistema:

IREX
Ced. 123
TRES RIOS

Ficha Técnica
Unidad Mantenimiento

17-05-2006
11:16 AM
Pág. 1
MANUMT1R

Unidad Mto 64V1	TANQUE DE COMBUSTIBLE	Estado ACT
Fabricante	Año Fabricación	Fec. Utilización
Marca BALLESTRA	Tipo Motor	Serie
Modelo 2843.10.105	No. Activo	
Tipo Nivel GENERAL	Dispositivo	
Nivel MAQUINA		

Clasificación

<u>Tipo Clasificación</u>	<u>Clase</u>
24100	CENTRO DE COSTOS
P-64	PROCESOS IREX COSTA RICA
PC-NIVEL-2	UBICACIONES IREX COSTA RICA

Manuales

<u>Código</u>	<u>Descripción</u>

Diagramas

<u>Código</u>	<u>Descripción</u>
64V1-01	TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA COMBUSTIBLE DEL 64H2

Datos Técnicos

<u>Dato Técnico</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidad Medida</u>
Diametro	900	milimetro
Presion de diseno	14.50	psi
Presion de Operación	14.5	psi
temperatura de operacion	50	°C
Temperatura de diseno	75	°C
Volumen	1.1	METROS CUBICOS
Volumen	1100	LITRO

Cualidades

<u>Cualidad</u>	<u>Punto</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Inferior</u>	<u>Promedio</u>	<u>Superior</u>	<u>Máximo</u>	<u>Unidad Medida</u>

Observaciones

TANQUE VERTICAL AISLADO CON SERPENTIN INTERNO TEMP. DIS 75°C TEMP TRAB. 50°C PESO VACIO 400Kg PESO LLENO DE AGUA 1515Kg SERPENTIN P DIS.8bar P TRAB 6bar PRUEBA HIDROESTATICA 12bar TEMP. DIS 175°C TEMP TRAB. 164°C FLUIDO VAPOR CAPACIDAD 15L - DIFERENCIA DE ALTURA DE NIVEL ENTRE SENSORES DE NIVEL DE COMBUSTIBLE 32 cm DIFERENCIA DE VOLUMEN QUE DAN ESTOS SENSORES 57,4 galones. POSEE UN AISLAMIENTO DE 2"

Componentes: Unidades de Mto Asociadas

<u>Código Unidad Mto</u>	<u>Descripción</u>

(muestra del software de administración del mantenimiento)

Figura 4.1 Registro técnico tanque para combustible 64V1.

IREX
Ced. 123
TRES RIOS

Ficha Técnica
Unidad Mantenimiento

17-05-2006
11:16 AM
Pág. 1
MANUMT1R

Unidad Mto M023	MOTOR DE LA BOMBA PARA COMBUSTIBLE (QUEMADOR GRANDE)	Estado ACT
Fabricante		Fec. Utilización
Marca	Año Fabricación	Serie
Modelo	Tipo Motor EL2	
Tipo Nivel GENERAL	No. Activo	
Nivel PARTE	Dispositivo	

Clasificación

Tipo Clasificación	Clase
24100	CENTRO DE COSTOS
P-64	PROCESOS IREX COSTA RICA
PC-NIVEL-1	UBICACIONES IREX COSTA RICA

Manuales

Código	Descripción

Diagramas

Código	Descripción
64P1B-01	MOTOBOMBA PARA TRASLADO DE COMBUSTIBLE AL QUEMADOR DE TORRE

Datos Técnicos

Dato Técnico	Valor	Unidad Medida
Frecuencia	60	Hertz
Rodamientos	6206 / 6205	

Cualidades

Cualidad	Punto	Mínimo	Inferior	Promedio	Superior	Máximo	Unidad Medida

Observaciones

TRIFASICO Kw V A RPM 60Hz COS? IP TEMP AMBIENTE MAX 40°C Kg SERVICIO CONTINUO 2 RODAMIENTOS

Componentes: Unidades de Mto Asociadas

Código Unidad Mto	Descripción

(muestra del software de administración del mantenimiento)

Figura 4.2 Registro técnico del motor M023.

IREX
Ced. 123
TRES RIOS

Ficha Técnica
Unidad Mantenimiento

17-05-2006
11:17 AM
Pág. 1
MANUMT1R

Unidad Mto	B005	BOMBA DOSIFICACION DE COMBUSTIBLE PARA QUEMADOR	Estado	ACT
Fabricante			Fec. Utilización	
Marca	ABS	Año Fabricación	Serie	MAT 3847
Modelo	1GIC15	Tipo Motor		
Tipo Nivel	GENERAL	No. Activo		
Nivel	PARTE	Dispositivo		

Clasificación

Tipo Clasificación	Clase
24100	CENTRO DE COSTOS
P-64	PROCESOS IREX COSTA RICA
PC-NIVEL-1	UBICACIONES IREX COSTA RICA

Manuales

Código	Descripción

Diagramas

Código	Descripción

Datos Técnicos

Dato Técnico	Valor	Unidad Medida
Presion de Operación	290 (20 BAR)	psi
RPM de entrada	1740	
RPM de salida	1740	
Temperatura del fluido	60-80	°C

Cualidades

Cualidad	Punto	Mínimo	Inferior	Promedio	Superior	Máximo	Unidad Medida

Observaciones

BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Componentes: Unidades de Mto Asociadas

Código	Unidad Mto	Descripción

(muestra del software de administración del mantenimiento)

Figura 4.3 Registro técnico de la bomba B005.

Unidad Mto 64H2	QUEMADOR DE GASOLEO PARA AIRE CALIENTE (HORNO NUEVO)	Estado ACT
Fabricante		
Marca ABS	Año Fabricación 2000	Fec. Utilización
Modelo NTFL-5060	Tipo Motor	Serie
Tipo Nivel GENERAL	No. Activo	
Nivel MAQUINA	Dispositivo	

Clasificación

<u>Tipo Clasificación</u>	<u>Clase</u>
24100	CENTRO DE COSTOS
P-64	PROCESOS IREX COSTA RICA
PC-NIVEL-1	UBICACIONES IREX COSTA RICA

Manuales

<u>Código</u>	<u>Descripción</u>

Diagramas

<u>Código</u>	<u>Descripción</u>

Datos Técnicos

<u>Dato Técnico</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidad Medida</u>
Flujo de sustancia	600(MAXIMO)	KG/HRS
Frecuencia	50	Hertz
IP	55	
Intensidad	58 NOMINA / 65 PLENA	Amperio
Potencia en KW	6476 MAXIMA	Kilowatts
Presion de Operación	290 (20 BAR)	psi
Tension	400	Voltios

Cualidades

<u>Cualidad</u>	<u>Punto</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Inferior</u>	<u>Promedio</u>	<u>Superior</u>	<u>Máximo</u>	<u>Unidad Medida</u>

Observaciones

QUEMADOR GASOLEO - ATOMIZACION NEUMATICA- BOQUILLA ATOMIZACION 2PV 910 60° - DOSIFICACION DN 2.75/20- FLUJO MIN F80 19.5GPH- INSTALACION 3259 COMM 1 NF4237- PCI 41868KJ/Kg - PRESION DE OPERACION DE LA BOMBA 20BAR VISCOSIDAD DE COMBUS 2º E A 20°C- TEMP DE ENTRADA A COMBUSTIBLE 70°C - P COMBUS 10BAR -P AIRE 1.7BAR -GUN: TIPO LG/BP PANEL DE CONTROL SCHEMA Ax-5505 SERIE 2560 TENSION NOMINAL 400v TRIFASICO FRECUENCIA 50Hz - 65A A PLENA CARGA CORRIENTE NOMINAL 58A CAPACIDAD INTERRUPTIVA 10KA

Componentes: Unidades de Mto Asociadas

<u>Código Unidad Mto</u>	<u>Descripción</u>

(muestra del software de administración del mantenimiento)

Figura 4.4 Registro técnico del quemador para combustible 64H2.

4.5.4 Codificación de las máquinas

La codificación propuesta será la que emplee el método alfanumérico. Como objetivo propio de esta etapa, se plantea utilizar letras y números que abrevien las palabras, para agilizar y facilitar la identificación de los códigos con sus respectivos equipos. Así mismo, dentro del código, se considera el orden en que cada equipo interviene en la línea de producción. La colocación de estos códigos debe ser en los lugares de mayor visibilidad para el operario.

Tipo de equipo

Indica a que equipo, de acuerdo con su nombre, se refiere el código utilizado.

Las siguientes serán las abreviaciones:

Tanque de almacenamiento	V
Motor	M
Reductor	R
Bomba	B
Quemador	H

Número de equipo

El ordenamiento será ascendente según su posición dentro del proceso productivo.

Equipo auxiliar

Los códigos serán con base en el nombre del equipo. Se busca, con esta clasificación, poder subdividir el equipo como tal.

El detalle de códigos para cada equipo es el siguiente:

Tabla 4.2. Codificación.

Línea de producción: torre	
<i>Equipo</i>	<i>Código</i>
Tanque de almacenamiento	64V1
Conjunto motobomba	64P1B
Motor	M023
Bomba	B005
Quemador	64H2

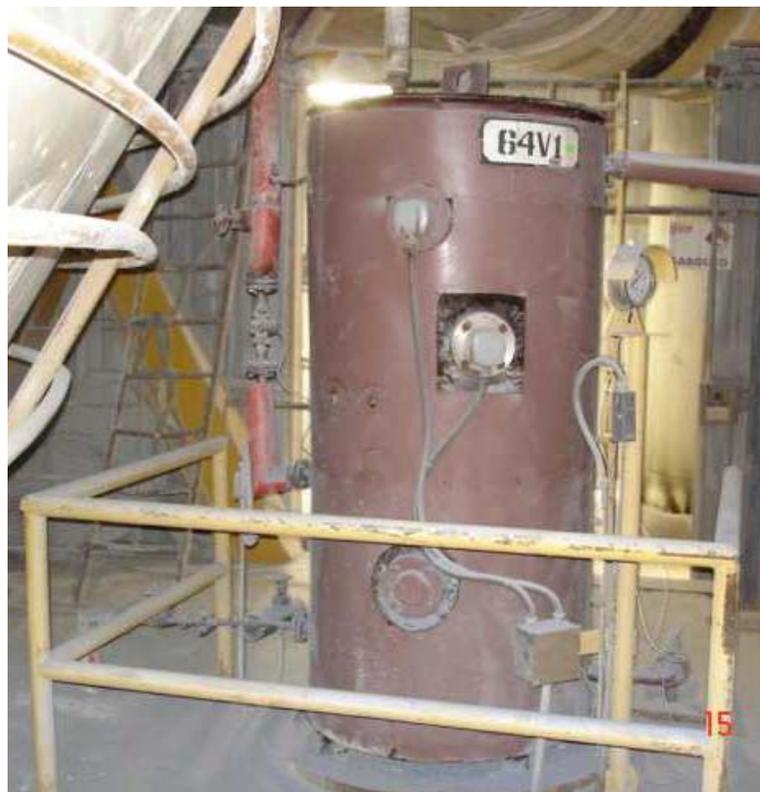


Figura 4.5 Tanque para combustible 64V1.



Figura 4.6 Motor M023 y Bomba B005.



Figura 4.7 Quemador 64H2.

4.5.5 Determinar los parámetros de funcionamiento global

El departamento de mantenimiento tiene como parámetro de funcionamiento global las horas de paro producto de falla en la línea. El número de horas de paro del mes anterior indica el parámetro permitido para el siguiente mes, de manera que se busca mantener una constante y, en la medida de lo posible, una merma respecto a la situación actual.

En la siguiente tabla, se presenta la información disponible respecto a las horas de paro. Dado que antes de este año los datos eran erróneos al reflejar la necesidad de mantenimiento, los siguientes son los primeros datos para la evaluación de un programa de mantenimiento preventivo:

Tabla 4.4 [Horas de paro para el quemador de la torre](#) (ver anexo 3).

4.5.6 Definir los objetivos específicos del programa RCM

Los siguientes son los objetivos específicos:

- Minimizar los paros por fallas de los equipos durante la producción.
- Evitar la reducción de la vida útil del equipo en cada una de los equipos de producción al disminuir el mantenimiento correctivo.
- Disminuir el costo por tareas de mantenimiento que no son necesarias de realizar.

4.5.7 Dividir la máquina en partes y subpartes

En esta etapa, se busca dividir el equipo en sus principales partes y subpartes con el fin de tener un listado de éstas, que contribuya a la elaboración de los manuales de mantenimiento al poder conocerse a fondo el equipo, en lo que respecta a su funcionamiento y cómo cada subparte contribuye en el objetivo o tarea que cumple la máquina.

4.5.8 Realización de las hojas RCM para el sistema de alimentación de combustible de la torre de secado.

Tabla 4.5 [Hojas RCM, línea de producción de torre](#) (ver anexo 4).

4.5.9 Comparación y elaboración de los nuevos manuales de mantenimiento preventivo.

A continuación se muestran los manuales de mantenimiento para cada uno de los equipos en estudio en comparación con las tareas proactivas del RCM y la modificación en los manuales de mantenimiento de la manera en que se serán ejecutados con las nuevas tareas:

Tabla 4.5 Comparación de tareas (ver anexo 4).

Fuente: [Hipervínculos\Línea de torre\Comparación de tareas.xls](#)

Tabla 4.6 Manuales de mantenimiento (ver anexo 4).

Fuente: [Hipervínculos\Línea de torre\Comparación de tareas.xls](#)

4.5.10 Organizar la ejecución de las inspecciones

Para la ejecución de las inspecciones, el staff (asistentes del ingeniero en mantenimiento) asignará las tareas de mantenimiento preventivo al supervisor técnico correspondiente de acuerdo con la programación realizada en el sistema de administración de mantenimiento. A su vez, el supervisor técnico se encargará de designar un técnico calificado para ejecutar el grupo de inspecciones que correspondan, quien a su vez deberá generar un reporte (posteriormente).

Es necesario mencionar que el staff realiza el detalle de las inspecciones para una semana dada, por medio del documento de la orden de trabajo respectiva.

Una vez que el personal técnico realice la inspección, deberá generar un reporte en la hoja de la misma orden de trabajo (documento actualmente usado en el departamento).

El asistente de la gerencia de mantenimiento se encargará de programar los trabajos que surjan de las inspecciones de MP, así como de retroalimentar el PMP.

4.5.11 Definir la estrategia de motivación

Para que un programa de este tipo funcione correctamente y obtenga resultados exitosos, debe contarse con el apoyo y colaboración del equipo de trabajo que toma parte en su ejecución, aspecto que debe dejarse muy en claro antes de iniciar. Dada esta necesidad de un objetivo común, es necesario que se haga una reunión antes de poner a trabajar esta técnica de mantenimiento.

En dicha reunión se deben exponer los alcances y limitaciones de la iniciativa, a pesar de que para esta empresa ya existe una buena visión de cómo trabaja un programa de mantenimiento preventivo. Sin embargo, debe afinarse esta percepción del personal y hacer hincapié en que el programa que se pondrá en marcha está sujeto a todo cambio que contribuya con su efectividad, para lograr la meta del número de paros en las tres líneas de producción.

La visión que debe darse al personal es que todo aporte será recibido y analizado semanalmente, durante todo momento y en especial en la primera fase de puesta en marcha. En dichas reuniones, deben comunicarse los resultados que se vayan generando mes a mes en los parámetros de funcionamiento global para el departamento de mantenimiento.

4.5.12 Calculo del costo total del RCM

El cálculo se realizará para obtener un valor aproximado, bajo una serie de condiciones para el primer plan piloto de RCM y funcionamiento del programa de mantenimiento preventivo.

Tabla 4.7 [Cronograma de trabajo de plan de aplicación del RCM](#) (ver anexos 4).

El desglose del análisis de costos por actividad se detalla a continuación:

Tabla 4.8 En la siguiente tabla se presenta el resumen de costos:

Control de tiempos y cálculo de costos de las actividades del RCM piloto

Actividad	Tiempo [h]	Costo con cargas sociales (dólares)
Reunión con el practicante del ITCR.	1	18
Análisis de la tabla de criticidad y paretto de fallas para elegir un equipo del RCM piloto.	1	3.8
Determinar el porcentaje de paro por falla de equipo de esa máquina durante los últimos tres años.	1	3.8
Preparar la charla para el curso de RCM	4	56.6
Visitar la torre de secado para verificar la codificación de las máquinas escogidas para el RCM piloto.	0,25	1
Verificar que las máquinas seleccionadas están registradas en el software de mantenimiento como unidades de mantenimiento y con su codificación.	0,25	1
Revisión de los datos técnicos de cada máquina del RCM piloto en el software para verificar que están actualizados.	1,25	4.7
Actualización de datos de las máquinas seleccionadas en el software de mantenimiento.	0	0
Reunión con los convocados e impartición de la capacitación de RCM.	4	141.7
Informar al grupo RCM piloto de las reuniones de trabajo para la elaboración de la hojas de RCM del equipo escogido, que incluyen todos los pasos del análisis RCM.	0,25	8.9
Hacer las hojas de RCM del plan piloto.	24	510.5
Elaborar los programas de mantenimiento preventivo a ese activo físico.	2	7.5
Comparar los nuevos programas de mantenimiento preventivo con los utilizados en la actualidad para saber cuáles tareas son consideradas ahora como innecesarias.	2	7.5
Ingresar en el software los nuevos programas de mantenimiento de la máquina analizada.	2	7.5
Programar los trabajos de mantenimiento preventivo y generar las ordenes de trabajo.	2	7.5

780.00

Nota: Las cargas sociales corresponden a un 43% del costo por mano de obra.

(Ver cronograma de trabajo en anexos)

Recomendaciones

4.5.13 Evaluar el programa de mantenimiento preventivo

Como evaluación fundamental, deben revisarse los objetivos planteados para el programa y determinar el nivel de cumplimiento de las metas propuestas. Para este caso en específico, como criterio para evaluar los resultados del programa, se recomienda dar seguimiento a las horas de paro, que para la empresa es el parámetro de funcionamiento global aplicado.

Además, es importante que se lleve un control minucioso de las inspecciones realizadas respecto a las inspecciones solicitadas en el programa. Este seguimiento es base para poder estimar el porcentaje de cumplimiento del PMP.

4.5.14 Actualización del PMP

Para llevar adelante esta etapa, es indispensable la retroalimentación proveniente de las órdenes de trabajo del mantenimiento correctivo realizadas para cada una de las líneas de producción, así como la experiencia del personal encargado de ejecutar las inspecciones y coordinar el programa.

Esta actualización debe hacerse como máximo cada año, dado que períodos mayores de tiempo repercuten desfavorablemente en la efectividad. Es importante destacar que la actualización puede y debe, de ser necesario, ser llevada a cabo dentro del ciclo de ejecución del programa, buscando que cualquier error detectado sea corregido a tiempo, antes de invertir recursos en una tarea improductiva para los objetivos del PMP.

4.5.15 Puesta en marcha: ajuste y mejoramiento

Una vez transcurrido el primer año de trabajo con el programa, deben evaluarse, respecto a los objetivos planteados, los resultados obtenidos; principalmente deben considerarse las horas de paro para cada equipo.

Es de suma importancia para el ajuste y mejoramiento del programa, dar seguimiento a los datos obtenidos de la ruta de medición, dado que con base en la experiencia desarrollada con las eventuales fallas encontradas se pueden comenzar a establecer patrones de comportamiento para problemas específicos, de manera que el alcance de las mediciones realizadas por parte del departamento de mantenimiento puedan ir un paso más adelante que establecer un valor de alarma.

Bibliografía

Mott, Robert. **Mecánica de fluidos aplicada**. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Cuarta edición, México, 1996.

Administración de Mantenimiento Industrial, Organización, Motivación y control en el Mantenimiento Industrial. Editorial Diana, México.

Valverde Zeledón, Alejandro. **Informe final de práctica de especialidad**. Cartago, Costa Rica, 1999.

C.I.V. (Committee on Industrial Ventilation), American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Industrial Ventilation. A Manual of Recommended Practice**. Edwards Brothers Incorporated. Fifteenth edition, United States of America, 1979.

Solórzano Jiménez, Erick. **Informe final de práctica de especialidad**. Cartago, Costa Rica, 2001.

Valverde, Jorge. **Administración del Mantenimiento I**. Cartago, Costa Rica. Taller de publicaciones del ITCR, 2000.

Valverde, Jorge. **Administración del mantenimiento II**. Cartago, Costa Rica. Taller de publicaciones del ITCR, 1999.

Anexos

Anexo 1

- *Horarios del personal técnico de mantenimiento.*

Anexo 2

- [Tabla 3.3 Mediciones y caudales experimentales.](#)
- [Tabla 3.4 Cálculo de flujos y pérdidas.](#)
- *Tabla 3.5 Cálculo de flujos y pérdidas.(opción 2)*

Anexo 3.

- [Horas de paro según equipo de la torre de secado.](#)

Anexo 4

- [Cronograma de trabajo RCM.](#)
- [Hojas de trabajo RCM.](#)
- [Comparación de tareas de mantenimiento.](#)
- [Nueva lista de tareas para los manuales de mantenimiento preventivo.](#)
- *Grupo de trabajo del RCM.*

Anexo 5

- *Organigrama grupo Irex.*
- *Organigrama departamento de mantenimiento.*

Anexo 6

- ***Pantallas de niveles de proceso de torre de secado***

Anexo 7

- ***Orden de trabajo (muestra formato impreso).***

Anexo 8

- ***Ficha técnica del ventilador 65K1.***
- ***Curva característica del ventilador 65K1.***
- ***Plano del ventilador 65K1.***

Anexo 9

- ***Tablas y gráficos empleados para los cálculos.***

Anexo 1

Anexo 2

Anexo 3

Anexo 4



Grupo de trabajo del RCM.

Anexo 5

Anexo 6

Anexo 7

CCTOTT5R: Previewer

File View Help

Page: 1

Irex **Orden de Trabajo** 16-05-2006 03:23 PM
3-R-TAM-01-02-01(1) Pág. 1
 CCTOTT5R

Orden Trabajo N° 47313 MANTENIMIENTO PREVENTIVO MAQUINA EN MARCHA PARA EL NIVEL 3 TORRE

Unidad Mto 64K3 MD44 MOTOR DEL VENTILADOR DE EXTRACCION DE AIRE SECO 64K3

Tipo PREVENTIVO **Ubicación** NIVEL 3 (TORRE) **Fech. Programada** 20-05-2006 08:49

Prioridad ALTA **Responsable** QUESADA CAMPOS JAIRO **Tiempo Est.** 0.8333 HRS

Descripción Tarea	Máquina parada
LIMPIAR EXTERNAMENTE EL MOTOR Y SUS ALREDEDORES. VERIFICAR QUE NO EXISTA HUMEDAD CERCA.	ELECTRICO <input type="checkbox"/>
CHEQUEAR LA EXISTENCIA DE RUIDOS, TEMPERATURA, VENTILACION DEL MOTOR Y VIBRACIONES EXCESIVAS EN EL MOTOR. REPORTAR SI ES NECESARIO	ELECTRICO <input type="checkbox"/>
REVISAR VENTILACION DEL MOTOR	ELECTRICO <input type="checkbox"/>
MEDIR EL CONSUMO DE VOLTAJE Y CORRIENTE Y COMPARAR CONTRA DATOS DE PLACA. REPORTAR	ELECTRICO <input type="checkbox"/>

Repuesto

Código	Descripción	Cantidad Requerida	Unidad de Medida

Solicitud Autorizado por MONGE ARAYA FEDERICO

Observaciones

Trabajo realizado

Inicio

03:24

Anexo 8



ARIVENT ITALIANA S.R.L.
Via Napoli, 45 - 20030 BOVISIO M. (Mi) - Tel. (0362) 590736 - 593360 - Fax 593360

Cap. Soc. L. 98.000
Part. IVA 00748610
Cod. Fisc. 0339141
C.C.I.A.A. Milano 5
Reg. Trib. Monza

VENTILATORI CENTRIFUGHI E ASSIALI

TESTING CERTIFICATE 476

DATE 31 MAGGIO, 93

Customer BALLESTRA S.P.A.
Your Order 931059 - C. 2843 Item 65 K 1
Our Comm. 154/A
Fan Type RHS 24 Class II
Arrangement 1 Discharge Position RA 1

FAN

Capacity 10.000 m³/h t = 40 °C
Static pressure 300 mm H 20 t = 40 °C
Total pressure 327 mm H 20 t = 40 °C
Velocity 2.580 U/min
Absorbed Power 10,9 Kw. t = 40 °C

Motor pulley 200X3SPA Fan pulley 140X3SPA

Belts SPA 2240 mm. N. 3

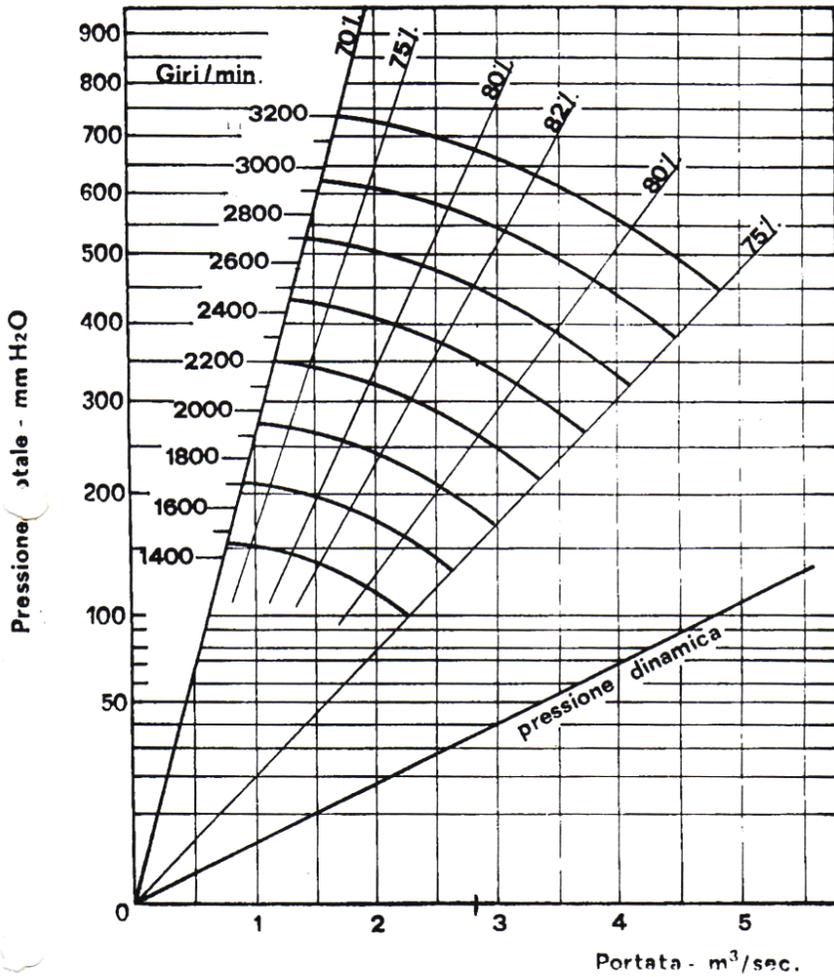
Supports MONOBL.OMB 45 Bearings _____

MOTOR

Type 160 L 4 Rated Amp. 30
Kw. 15 Test. Amp. 17
Poles 4 Starting Amp. 220
U/min _____ Volt/Hz 440/60

Laob h

ARIVENT ITALIANA S.R.L.



TEMPERATURA $T=20^{\circ}\text{C}$

PESO SPECIFICO $\gamma=1.2 \text{ kg/m}^3$

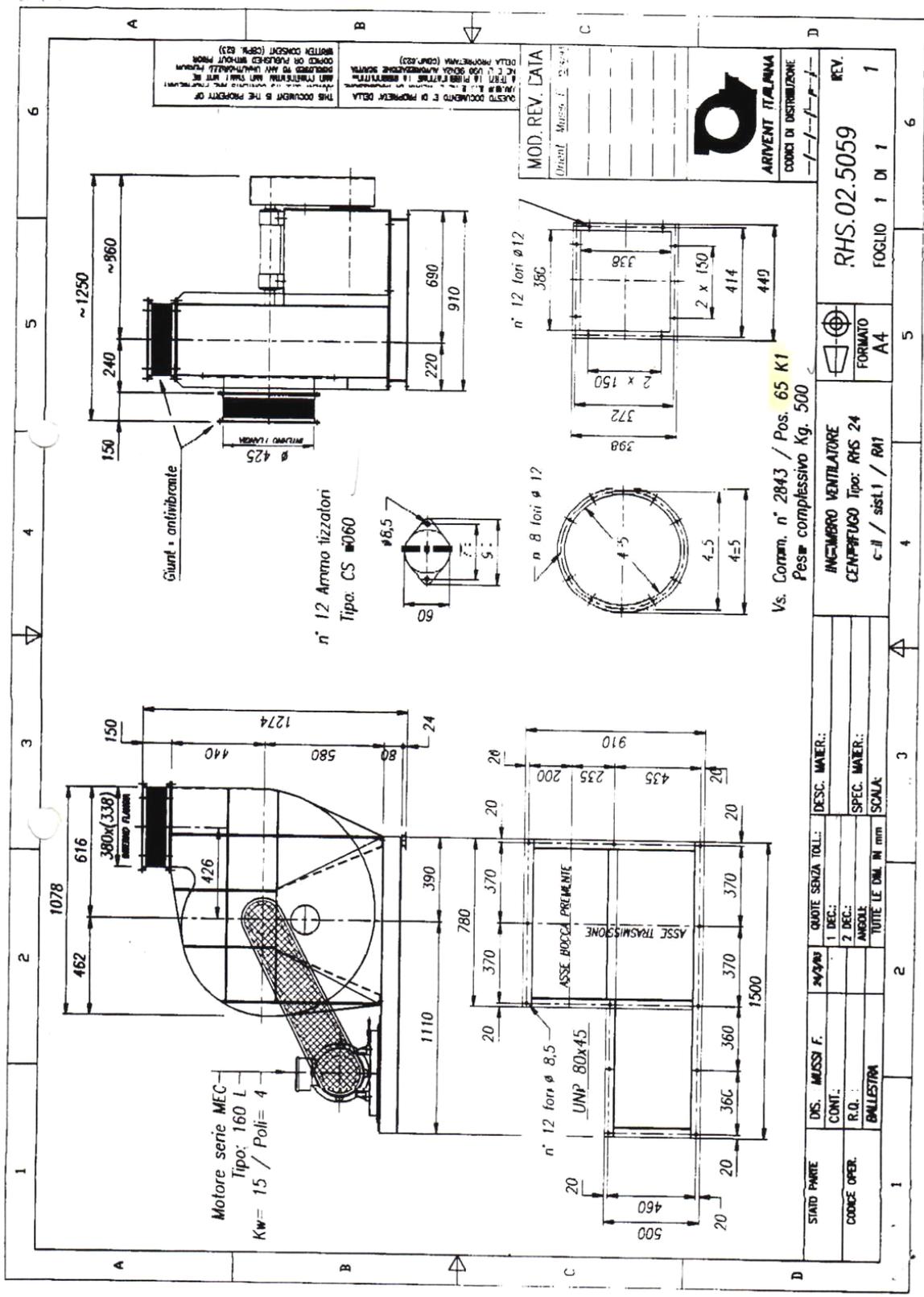
65 KI

DENOMINAZIONE		Materiale	Dimensioni grezze		Peso	Posto.
ARIVENT ITALIANA s.r.l.				DISEGNO N°		
	Curva caratteristica per				RHS.A.024.	
	Ventilatore Centrifugo: RHS 24.					
ordine	rilascio	scala	disegnatore	data		

A termini di legge il presente disegno, di nostra proprietà esclusiva, non può essere copiato, riprodotto o comunicato a terzi senza nostra autorizzazione scritta.

P. 02

25-03-93 THU 18:17 ARIVENT ITALIANA



Anexo 9

E Propiedades del aire

TABLA E.1 Propiedades del aire a presión atmosférica.

Temperatura T (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Peso específico γ (N/m ³)	Viscosidad dinámica μ (Pa · s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
-40	1.514	14.85	1.51×10^{-5}	9.98×10^{-6}
-30	1.452	14.24	1.56×10^{-5}	1.08×10^{-5}
-20	1.394	13.67	1.62×10^{-5}	1.16×10^{-5}
-10	1.341	13.15	1.67×10^{-5}	1.24×10^{-5}
0	1.292	12.67	1.72×10^{-5}	1.33×10^{-5}
10	1.247	12.23	1.77×10^{-5}	1.42×10^{-5}
20	1.204	11.81	1.81×10^{-5}	1.51×10^{-5}
30	1.164	11.42	1.86×10^{-5}	1.60×10^{-5}
40	1.127	11.05	1.91×10^{-5}	1.69×10^{-5}
50	1.092	10.71	1.95×10^{-5}	1.79×10^{-5}
60	1.060	10.39	1.99×10^{-5}	1.89×10^{-5}
70	1.029	10.09	2.04×10^{-5}	1.99×10^{-5}
80	0.9995	9.802	2.09×10^{-5}	2.09×10^{-5}
90	0.9720	9.532	2.13×10^{-5}	2.19×10^{-5}
100	0.9459	9.277	2.17×10^{-5}	2.30×10^{-5}
110	0.9213	9.034	2.22×10^{-5}	2.40×10^{-5}
120	0.8978	8.805	2.26×10^{-5}	2.51×10^{-5}

Nota: Las propiedades del aire para condiciones estándar a nivel del mar son:

Temperatura	15 °C
Presión	101.325 kPa
Densidad	1.225 kg/m ³
Peso específico	12.01 N/m ³
Viscosidad dinámica	1.789×10^{-5} Pa · s
Viscosidad cinemática	1.46×10^{-5} m ² /s

Fuente: Mott, 1996, pág. 237



I Dimensiones de tubos de hierro dúctil

Tabla 1.1 Servicio de presión clase 150 para 150 lb/pulg² (1.03 MPa).

Tamaño nominal (pulg.)	Diámetro exterior		Grosor de la pared		Diámetro interior			Área de flujo	
	(pulg.)	(mm)	(pulg.)	(mm)	(pulg.)	(pie)	(mm)	(pie ²)	(m ²)
3	3.96	100.6	0.320	8.13	3.32	0.277	84.3	0.0601	5.585 × 10 ⁻²
4	4.80	121.9	0.350	8.89	4.10	0.342	104.1	0.0917	8.518 × 10 ⁻²
6	6.90	175.3	0.380	9.65	6.14	0.512	156.0	0.2056	1.910 × 10 ⁻¹
8	9.05	229.9	0.410	10.41	8.23	0.686	209.0	0.2694	2.432 × 10 ⁻¹
10	11.10	281.9	0.440	11.18	10.22	0.832	259.6	0.3697	3.292 × 10 ⁻¹
12	13.20	335.3	0.480	12.19	12.24	1.020	310.9	0.4171	3.759 × 10 ⁻¹
14	15.65	397.5	0.510	12.95	14.63	1.219	371.6	0.4667	0.43085
16	17.80	452.1	0.540	13.72	16.72	1.393	424.7	0.5225	0.48417
18	19.92	506.0	0.580	14.73	18.76	1.563	478.5	0.5820	0.53783
20	22.06	560.3	0.620	15.75	20.82	1.735	528.8	0.6464	0.59196
24	26.32	668.5	0.730	18.54	24.86	2.072	631.4	0.7371	0.67332

Fuente: Mott, 1996, pág. 237

Tabla 9.1 Rugosidad de conducto: valores de diseño.

Material	Rugosidad, ϵ (m)	Rugosidad, ϵ (pie)
Vidrio, plástico	Suavidad	Suavidad
Cobre, latón, plomo (tubería)	1.5×10^{-6}	5×10^{-6}
Hierro fundido: sin revestir	2.4×10^{-4}	8×10^{-4}
Hierro fundido: revestido de asfalto	1.2×10^{-4}	4×10^{-4}
Acero comercial o acero soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro forjado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6×10^{-3}
Concreto	1.2×10^{-3}	4×10^{-3}

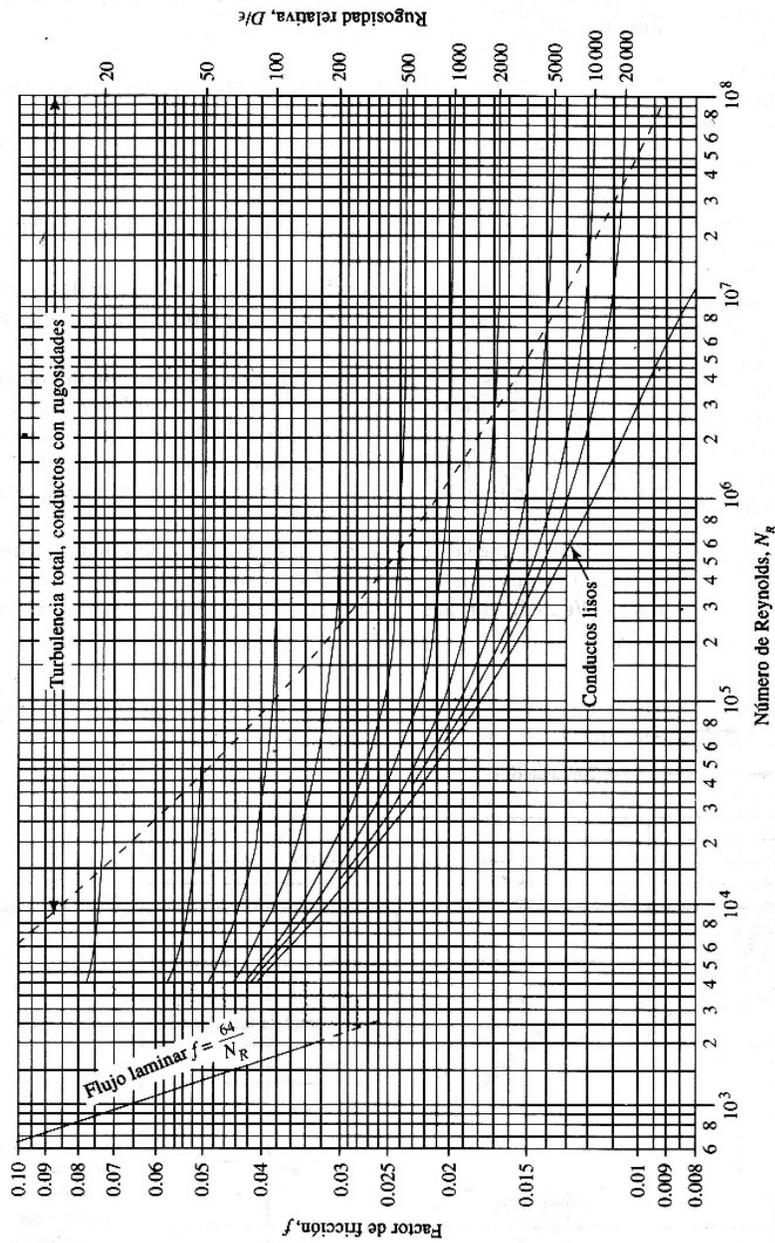
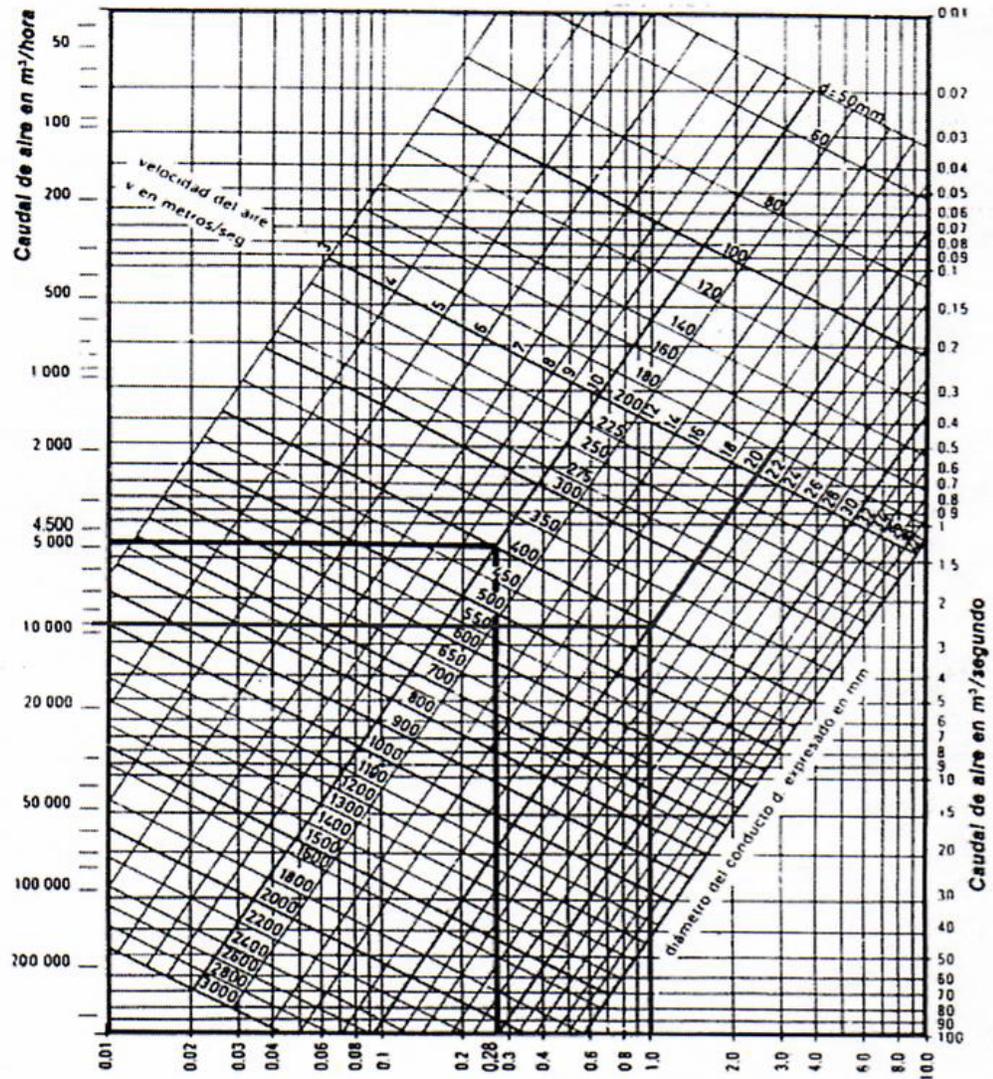


FIGURA 9.2 Diagrama de Moody. (Fuente: Pao, RHF, 1961. *Fluid Mechanics*. New York: John Wiley & Sons, p. 284.)

Fuente: Mott, 1996, pág. 237

CONDUCTOS. DISTRIBUCION DEL AIRE



Pérdidas de carga en mm. de c.d.a. por cada metro de longitud de conducto

Fig. 4.1. Diagrama para el cálculo de conductos circulares.

Fuente: Ventilación. Carnicer, 1994.

Tabla 4.2. LONGITUD EN METROS DE TRAMO RECTO DE CONDUCCION, EQUIVALENTE A LAS PERDIDAS DE CARGA DE DIVERSOS ACCESORIOS

Elemento		∅ conducto o cota h, en milímetros														
		75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800		
CODOS		$r = d$	1,3	1,7	2,5	3,4	4,3	5,1	6	6,8	7,6	8,5	10	12	13,5	
		$r = 1,5 d$	0,9	1,2	1,8	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	7,2	8,4	9,6	
		$r = 2 d$	0,7	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	
		$\frac{l}{h} = 0,25$	$r = 0,5 h$	1,9	2,5	3,7	5	6,3	7,5	8,8	10	11	12,5	15	17,5	20
			$r = h$	0,5	0,7	1	1,4	1,7	2,1	2,5	2,8	3,2	3,5	4,2	4,9	5,6
			$r = 1,5 h$	0,3	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,4	2,8	3,2
		$\frac{l}{h} = 0,5$	$r = 0,5 h$	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	28	32
			$r = h$	0,6	0,9	1,4	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,5	5,4	6,3	7,2
			$r = 1,5 h$	0,3	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,4	2,8	3,2
		$\frac{l}{h} = 1$	$r = 0,5 h$	3,7	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	30	35	40
			$r = h$	0,8	1	1,6	2,2	2,7	3,3	3,9	4,4	5	5,5	6,6	7,7	8,8
			$r = 1,5 h$	0,4	0,5	0,7	0,9	1	1,4	1,6	1,8	2	2,3	2,7	3,2	3,6
$\frac{l}{h} = 4$		$r = 0,5 h$	5	6,5	10	13	16	20	23	26	29	33	39	46	52	
		$r = h$	1,3	1,7	2,6	3,4	4,3	5,1	6	6,8	7,7	8,5	10	12	13,5	
		$r = 1,5 h$	0,5	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3	3,6	4,2	4,8	

Tabla 4.2. LONGITUD EN METROS DE TRAMO RECTO DE CONDUCCION, EQUIVALENTE A LAS PERDIDAS DE CARGA DE DIVERSOS ACCESORIOS (Continuación)

Elemento		∅ conducto, en milímetros													
		75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	
CAMPANAS		$\alpha = 45^\circ$	0,85	1,2	2	2,9	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	9	11	13,4	15,6
		$\alpha = 90^\circ$	1,6	2,4	4	5,8	7,6	9,5	11,5	13,6	15,6	17,6	22,2	26,8	31,3
ENTRADAS			3	4,3	7,2	10,5	13,8	17,2	20,8	24,4	28,2	32	40	48	56,5
			1,6	2,4	4	5,8	7,6	9,5	11,5	13,6	15,6	17,6	22,2	26,8	31,3
			0,67	0,9	1,6	2,3	3	3,8	4,6	5,4	6,2	7,1	8,9	10,8	12,5

Fuente: Ventilación. Carnicer, 1994.

CONDUCTOS. DISTRIBUCION DEL AIRE

Tabla 4.2. LONGITUD EN METROS DE TRAMO RECTO DE CONDUCCION, EQUIVALENTE A LAS PERDIDAS DE CARGA DE DIVERSOS ACCESORIOS (Continuación)

Elemento	Ø conducto, en milímetros													
	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	
	$\alpha = 60^\circ$													
	$\alpha = 45^\circ$													
	$\alpha = 30^\circ$													
	$d_1/d_2 = 1,1$													
	$d_1/d_2 = 1,4$													
	$d_1/d_2 = 2$													
	CAMBIO DE SECCION													
	$\alpha = 30^\circ$ $\alpha = 45^\circ$ $\alpha = 60^\circ$	$d_1/d_2 = 1,2$												
		$d_1/d_2 = 1,5$												
		$d_1/d_2 = 2$												
	$\alpha = 30^\circ$ $\alpha = 45^\circ$ $\alpha = 60^\circ$	$d_1/d_2 = 1,2$												
		$d_1/d_2 = 1,5$												
		$d_1/d_2 = 2$												
	$\alpha = 10^\circ$ $\alpha = 15^\circ$ $\alpha = 20^\circ$	$d_1/d_2 = 1,2$												
		$d_1/d_2 = 1,5$												
		$d_1/d_2 = 2$												

78 / Sistemas de cálculo

Fuente: Ventilación. Carnicer, 1994.

EXPLICACIONES
La resistencia de un sistema se obtiene sumando las pérdidas de presión que se producen a través de las secciones sucesivas del sistema de ventilación, calculadas como pérdidas de fricción y pérdidas de las pérdidas p se da por la posición dinámica p_v y el factor K dependiente de la sección.

$p = K \times p_v$ (mm de agua)
p_v se calcula en función de la velocidad media v en la sección indicada por la flecha en los diagramas usando la fórmula:
 $p_v = \left(\frac{v}{10.4}\right)^2 \times \rho$ (Peso específico del aire estándar en kg/m³)
Presión total del ventilador: $p = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6$

SIMBOLOS
L = Longitud del conducto (m)
D = Diámetro del conducto (m)
p = Pérdida de presión total (mm de agua)
p_v = Presión dinámica (mm de agua)
v = Velocidad media (m/s)
ρ = Peso específico del gas (kg/m³)
G = 1.2 kg/m³
K = Factor definido en cada sección

1. — PERDIDAS A LA ENTRADA DEL SISTEMA
 $p_1 = K \times p_v$

	Ver fig. 14.4 Curva A	K = 0.2
	Ver fig. 14.4 Curva B	K = 0.5
	Ver fig. 14.4 Curva C	K = 0.9

2. — PERDIDAS A LO LARGO DE CONDUCTOS RECTILÍNEOS $p_2 = K \times p_v$
Formulas aproximadas para el cálculo de las pérdidas en conductos rectilíneos:
Sección circular: $K = 0.02 \times \frac{L}{D}$
Sección rectangular: $K = 0.01 \times \frac{L}{A + B} \times L$
Otras secciones: AB
Recim. en m²: J
Área en m²: J
Diagrama basado en el valor de K para un conducto de 1 m de longitud y 1 m de diámetro.
Para otros valores de longitud y diámetro, se debe aplicar la siguiente fórmula:
 $K = 0.02 \times \frac{L}{D} \times \left(\frac{D}{1}\right)^5 \times \left(\frac{L}{1}\right)^{-1}$

3. — PERDIDAS PROVENIENTES DE BATERÍAS DE CALFACCIÓN-FILTRÓN.
Cálculo de las pérdidas de presión en baterías de calefacción-filtrón. Este será igual a la caída de presión estática a los orificios de entrada y salida son iguales en superficie. La figura 14.4 da los valores aproximados de K para pequeños tubos con alfileres. Se basa en la velocidad media frontal. Para los tubos, simples se emplea la fórmula:
 $K = C \times \frac{L}{d}$ de donde v es el número de hilos
Disposición de los tubos: d = diámetro del tubo

4. — PERDIDAS EN LAS EXPANSIONES Y CONTRACCIONES: $p_4 = K \times p_v$

	Ver fig. 14.8 Curva A	K = 0.5
	Ver fig. 14.8 Curva B	K = 0.35
	Ver fig. 14.8 Curva C	K = 0.25
	Ver fig. 14.8 Curva D	K = 0.15
	Ver fig. 14.8 Curva E	K = 0.05

5. — PERDIDAS EN LOS CAMBIOS DE DIRECCION: $p_5 = K \times p_v$

	Ver fig. 14.7 Curva A	K = 0.5
	Ver fig. 14.7 Curva B	K = 0.35
	Ver fig. 14.7 Curva C	K = 0.25
	Ver fig. 14.7 Curva D	K = 0.15
	Ver fig. 14.7 Curva E	K = 0.05

6. — PERDIDAS A LA SALIDA DEL SISTEMA: $p_6 = K \times p_v$. Estos factores tienen en cuenta p_v a la salida.

	Ver fig. 14.9 Curva A	K = 0.5
	Ver fig. 14.9 Curva B	K = 0.1
	Ver fig. 14.9 Curva C	K = 0.1
	Ver fig. 14.9 Curva D	K = 0.1
	Ver fig. 14.9 Curva E	K = 0.1

FIG. 14.4
Factor de pérdidas vs. Relación de diámetros de los conductos. Curvas A-E.

FIG. 14.5
Factor de pérdidas vs. Relación de diámetros de los conductos. Curvas A-E.

FIG. 14.6
Factor de pérdidas vs. Relación de diámetros de los conductos. Curvas A-E.

FIG. 14.7
Factor de pérdidas vs. Relación de diámetros de los conductos. Curvas A-E.

FIG. 14.8
Factor de pérdidas vs. Relación de diámetros de los conductos. Curvas A-E.

FIG. 14.9
Factor de pérdidas vs. Relación de diámetros de los conductos. Curvas A-E.

Fuente: Ventilación. Carnicer, 1994.



VENTILACION

Tabla 2.5. VALORES PARA VENTILACION LOCALIZADA.

Operación	Códa de cámara o colector	Movimiento de Aire, Caudal, Velocidad	En general Velocidad de Transporte m/seg
Presinado	Cámaras o colectores Toda	Rece de aire: 20 m ³ /h por dm ² de abertura Semi tech: 40 m ³ /h por dm ² de abertura	De 10 a 15
Bainadero y baño	Cabina con operario en el interior	De 0,5 a 1 m/seg a la entrada de la cabina	De 8 a 10
	Cabina con el operario en el exterior	De 0,75 a 1 m/seg a la entrada de la cabina	
Formas mezcladora	Completamente cerrada	De 0,5 a 1 m/seg en la abertura	De 10 a 15
Molinos de fango	Recinto	1,5 m/seg en la abertura	De 8 a 10
Molinos de marbles	Compartes local	1 m/seg en la abertura	De 10 a 15
Armaduras	Cámaras	1,5 m/seg en la abertura	De 10 a 15
Foga	Campana de dorsal	1 m/seg en las aberturas	De 8 a 10
Fundición (plata)	Campana lateral	1.500 m ³ /h por m lineal de cámara con velocidad de 0 m/seg en la abertura de extracción	De 10 a 20
Fundición: crisol de seguridad	Recinto	1 m/seg en las aberturas de aspiración, pero no menos de 1.000 m ³ por m ² de superficie de crisol	De 10 a 20
Fundición: Canal de enfriamiento (molinos de fundición) Fundición: Armado	Recinto	500 m ³ /h por m lineal del recinto	De 10 a 20
	Recinto	1 m/seg en las aberturas	De 10 a 20
Fusión de aluminio	Recinto campanas	1 m/seg en la abertura de la campana	De 8 a 10
Colada de aluminio	Campana	De 5.000 a 10.000 m ³ /h	De 8 a 10
Horno de decar	Campana de decar	0,5 m/seg a la entrada de la campana	De 8 a 10
	Filtro de filtro reparatur	De 1 a 2 m/seg a la entrada de los filtros. Caudal de 2 a 3.000 m ³ /h por m ² de superficie del horno	De 8 a 10
Laboratorios	Campana con plomo	0,5 m/seg a la entrada de la plomo	De 8 a 10

Modificaciones a cambios de 1997/27

Fuente: Ventilación. Carnicer, 1994.

VENTILACION

Tabla 2.5. VALORES PARA VENTILACION LOCALIZADA. (Continuación)

Operación	Clase de campana o colector	Movimiento de Aire, Caudal, Velocidad	En general Velocidad de Transporte m/seg
Ladrillos (corte y esmerilado) disco abrasivo seco	Colector local Cabina con sierra en su parte delantera	1.000 m ³ /h 0,75 m/seg en la cara de entrada	De 10 a 20
Mármol: esmerilado y acabado Útil neumático Máquina de alisar	Colector local Colector local	1.000 m ³ /h 1.000 m ³ /h para útil de menos de Ø 60 mm 2.000 m ³ /h para útil de Ø 60 a 75 mm	De 25 a 30 De 25 a 30 De 25 a 30
Metalización	Colector local	1 m/seg a la entrada de la campana	De 10 a 20
	Cabina	De 0,6 a 1 m/seg a la entrada de la cabina	De 10 a 20
Mezcladoras, amasadoras	Recinto	De 0,5 a 1 m/seg en la abertura de inspección	De 10 a 20
Peinado de amianto	Recinto	1.500 m ³ /h por cada m ² /h de la sección del recipiente	De 10 a 15
Bobina	Colector local	100 m ³ por bobina	
Perforación de rocas (seco)	Colector local	De 200 a 400 m ³ /h	De 10 a 20
Proyector de películas (arco o carbono)	Recinto	De 20 a 30 renovaciones del recinto (para humos, gas y calor)	De 4 a 6
Soldadura	Colector local	Arco de 150 mm - 250 m ³ /h	De 10 a 20
		Arco de 150 a 200 mm - 500 m ³ /h	De 10 a 20
		Arco de 200 a 250 mm - 750 m ³ /h	De 10 a 20
		Arco de 250 a 300 mm - 1.000 m ³ /h	De 10 a 20
	Mesa de rejilla	De 3.000 a 5.000 m ³ /h por m ² de superficie de rejilla	De 6 a 10
	Cabina	De 1 a 1,5 m/seg en la abertura de la cabina	De 6 a 10
Tambores (carga y descarga a pala)	Campana local Cabina	2.000 m ³ /h de aire por máquina 0,5 m/seg en las entradas	De 10 a 20
Tamizado, cribado vibrante	Recinto	1 m/seg en las aberturas de aspiración pero no menos de 1.000 m ³ por m ² de superficie de criba	De 10 a 20

28 / Renovaciones o cambios de aire

Tabla 2.5. VALORES PARA VENTILACION LOCALIZADA. (Continuación)

Operación	Clase de campana o colector	Movimiento de Aire, Caudal, Velocidad	En general Velocidad de Transporte m/seg	
Tonel, tambor, cilindro, barril para charro de arena o trituración	Recinto	2 m/seg en las aberturas, pero no menos de 1.000 a 1.500 m ³ por superficie del recinto	De 10 a 20	
Cajina de charro de arena	Cajina estanca con acceso abierto	20 renovaciones de aire por minuto, pero no menos de 3 m/seg en las aberturas	De 10 a 20	
Cámara de charro de arena	Cámara estanca con entrada de aire (generalmente en el techo)	La superficie del suelo aspira a razón de 0,5 m/seg, o sección transversal de la cámara (igualmente a 0,5 m/seg)	De 10 a 20	
Campanas de cocina	Campanas estándar	Veloc. en superficie de campana de 1 a 1,2 m/seg de 0,85 m/seg de 0,75 a 0,95 m/seg de 0,5 a 0,75 m/seg	Cálculo por m ² de superficie de campana 3500 a 4500 m ³ 3000 a 3500 m ³ 2700 a 3000 m ³ 1750 a 2700 m ³	De 6 a 10
Caucho: calandra de rodillos	Campana de desol (panel lateral)	0,5 m/seg en la entrada	De 10 a 20	
Cerámica: cubos de molduración en seco Prensa (saco) Decoración aerográfica Tallado Carga	Recinto Cabinas	De 0,5 a 1 m/seg en las aberturas De 2.000 a 2.500 m ³ /h por m ² de superficie del suelo donde se realiza el trabajo que levanta polvo	De 10 a 20	
Correa transportadora de productos a granel	Campanas colectoras en los puntos de transferencia	1.000 m ³ /h de aire por 0,5 de anchura de correa, pero no menos de 1 m/seg, a través de la sección de abertura	De 10 a 20	
Diversas: Envasado - granulados Producción de pellets en un recinto - pesado - llenado	Todo el local Cajina	Mínimo 500 m ³ /h por m ² de superficie del local 0,5 a 1 m/seg De 1.000 a 3.000 m ³ /h por m ² de superficie de abertura de la cajina	De 6 a 10 De 10 a 20	

Renovaciones o cambios de aire / 20