

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería Electromecánica**



**Kraft Foods de Costa Rica**

- **Diseño de sistema de succión de polvo**
  - **Manual de lubricación**
- **Base de datos para Mantenimiento Preventivo**

**Informe de proyecto de graduación para optar por el grado  
de Bachiller en Mantenimiento Industrial**

**Anthony Prado Vega**

**Cartago, Noviembre del 2002**

### **DEDICADO A:**

Dios Todopoderoso, por haberme dado la bendición de poder culminar una meta más en mi vida. A mi familia. Papá, por proporcionarme los medios para hacer esto posible y por su ineludible deseo de darnos lo mejor. Mamá, por ser una mujer bendita llena de tanto amor y dedicación. Danny, por su ejemplo de lucha y superación. Naty, la chiquita; por su ternura y dulzura. Kevin, por ser mi compañerito y mejor amigo. A Dianita, por cuatro años que espero sean toda una vida. Los amo a todos. Gracias...

### **AGRADECIMIENTO A:**

A todos aquellos que de una u otra manera me ayudaron a hacer esto posible.

A la empresa Kraft Foods, en especial a los señores Arquímedes Herrera, Juan Vargas, David Varela y Francisco Arguedas. A los compañeros del proyecto Rubí, por toda su colaboración.

A la Escuela de Ingeniería Electromecánica del ITCR, especialmente al señor Arnoldo Ramírez por su ayuda y confianza.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>10</b>
<b>Organización de la empresa .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 LA COMPAÑÍA Y SU AMBIENTE .....</b>	<b>10</b>
1.1.1 Ubicación.....	10
1.1.2 Reseña histórica.....	10
1.1.3 Campo de trabajo .....	12
1.1.4 Visión Kraft.....	13
1.1.5 Descripción del proceso productivo .....	15
<b>1.2 EL MANTENIMIENTO.....</b>	<b>19</b>
1.2.1 Toma de decisiones en el departamento .....	22
1.2.2 Objetivo del departamento de mantenimiento .....	22
1.2.3 Eficiencia de los equipos.....	22
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>23</b>
<b>Proyecto 1. Sistema de succión de polvo.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....</b>	<b>23</b>
2.1.1 Ventilación .....	23
2.1.2 Variación de la densidad del aire con la altitud .....	27
2.1.3 Potencia en un ventilador .....	27
2.1.4 Selección de un ventilador concreto .....	28
<b>2.2. SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO.....</b>	<b>29</b>
2.2.1 Procedimiento de diseño.....	29
2.2.2 Cálculo por longitud equivalente.....	30
2.2.3 Distribución del flujo de aire .....	30
2.2.4 Conceptos importantes para el cálculo del sistema .....	32
<b>2.3 CÁLCULO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN .....</b>	<b>34</b>
2.3.1 Muestra de cálculo.....	35
2.3.2 Selección del ventilador .....	44
<b>2.4 COSTO DEL PROYECTO .....</b>	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>50</b>
<b>Proyecto 2. Programa de lubricación.....</b>	<b>50</b>
<b>para Mantenimiento Preventivo .....</b>	<b>50</b>
<b>3.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>50</b>
3.1.1 Definición de Mantenimiento Preventivo.....	50
3.1.2 Características del Mantenimiento Preventivo.....	51
3.1.3 Objetivos específicos del Mantenimiento Preventivo.....	53
3.1.4 Etapas en el diseño de un Programa de Mantenimiento Preventivo .....	53

<b>3.2 ELABORACIÓN DEL MANUAL.....</b>	<b>54</b>
3.2.1 Etapa N°1: Selección de máquinas.....	54
3.2.2 Etapa N°2: Valorar el grado de deterioro de las máquinas.....	55
3.2.3 Etapa N°3: Estudio técnico de las máquinas.....	55
3.2.4 Etapa N°4: Formación del archivo técnico.....	55
3.2.5 Etapa N°5: Codificación de las máquinas.....	55
3.2.6 Etapa N°6: Parámetros de funcionamiento global.....	57
3.2.7 Etapa N°7: Definir los objetivos específicos del M.P.....	57
3.2.8 Etapa N°8: Dividir la máquina en partes.....	57
3.2.9 Etapa N°9: Dividir las partes de máquina en subpartes.....	58
3.2.10 Etapa N°10: Elaboración del manual de M.P.....	58
3.2.11 Etapa N°11: Determinar los repuestos requeridos para ejecutar cada inspección.....	69
3.2.12 Etapa N° 12: Determinar la disponibilidad para Mantenimiento Preventivo.....	69
3.2.13 Etapa N°13: Elaboración del Gantt Anual.....	69
3.2.14 Etapa N° 14: Organizar la ejecución de las inspecciones.....	74
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>76</b>
<b>Proyecto 3. Implementación de base de datos para mantenimiento preventivo.....</b>	<b>76</b>
<b>4.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>76</b>
4.1.1 Conceptos importantes.....	76
<b>4.2 COMPOSICIÓN DE LA BASE DE DATOS.....</b>	<b>77</b>
4.2.1 Contenido de las tablas y sus relaciones.....	77
4.2.2 Consultas.....	80
4.2.3 Formularios.....	81
4.2.4 Informes.....	81
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>86</b>
<b>Apéndice A.....</b>	<b>87</b>
<b>Apéndice B.....</b>	<b>89</b>
<b>Apéndice C.....</b>	<b>94</b>
<b>Apéndice D.....</b>	<b>100</b>

## **INDICE DE TABLAS**

<i>Tabla 1: Cargas de aire solicitadas.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 2: Diámetros y velocidades en tramos principales zona A.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 3: Diámetros y velocidades en bajantes zona A.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4: Diámetros y velocidades en tramos principales zona B.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 5: Diámetros y velocidades en bajantes zona B.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 6: Diámetros y velocidades en tramos principales zona C.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 7: Diámetros y velocidades en ductos paralelos zona C.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 8: Constantes necesarias para el cálculo de pérdidas de presión.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 9: Pérdida de presión estática total para la zona A.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 10: Pérdida de presión estática total para la zona B.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 11: pérdida de presión estática total para la zona C.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 12: Pérdida de presión estática en el codo de sección rectangular.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 13: pérdida de presión estática en la transformación.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 14: pérdida de presión estática en el tramo filtro - ventilador.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 15: Costo de ductos y accesorios.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 16: Máquinas para el manual de lubricación.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 17: Codificación de los equipos.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 18: Contenido y llaves primarias de tablas.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 19 Nomenclatura.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 20: Fórmulas utilizadas.....</i>	<i>88</i>

## **INDICE DE ILUSTRACIONES**

<i>Ilustración 1: Organigrama General Kraft Foods.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 2: Inicio de proceso.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 3: Secuencia de proceso.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 4: Paso del producto por tornillos.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 5: Esquema del proceso productivo.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 6: Llegada del producto a las máquinas de empaque.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 7: Organigrama Departamento de Ingeniería.....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 8: Ventilador axial.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 9: Ventiladores centrífugos.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 10: Principio de funcionamiento de un extractor.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 11: Vista de base de datos.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 12: Relaciones entre tablas.....</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 13: Vista de consulta de áreas.....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 14: Vista de consulta de departamentos.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 15: Hoja de inspección 1.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 16: Hoja de inspección 2.....</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 17: Distribución de ductos zonas A y B.....</i>	<i>92</i>
<i>Ilustración 18: Distribución de ductos zona C.....</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 19: Dimensiones de ductos zonas A y B.....</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 20: Dimensiones de ductos zona C.....</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 21: Vista frontal de los ductos de succión.....</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 22: Conexión filtro - ventilador.....</i>	<i>97</i>

## **RESUMEN**

Con el presente proyecto se pretende lograr un mantenimiento más efectivo en la compañía Kraft Foods Costa Rica. Para ello se realizaron un total de tres proyectos.

El primero consistió en el diseño de un sistema de extracción de polvo para las máquinas empacadoras de Tang. Para tal efecto, se llevó a cabo un estudio de cada uno de los parámetros que de una u otra manera están involucrados en el diseño, tales como caudales requeridos por cada máquina, velocidades y diámetros, así como las pérdidas de presión, estudio que se hace necesario para determinar el ventilador que se debe utilizar para lograr un sistema eficiente.

El segundo proyecto consistió en la elaboración de un manual de lubricación para las máquinas que forman parte del proceso productivo. En este caso, fue necesario determinar los puntos de lubricación de cada máquina, así como el lubricante más adecuado de acuerdo al punto de mantenimiento y a su posibilidad de hacer contacto directo con el alimento procesado.

Por último, el tercer proyecto trata del diseño de una base de datos para Mantenimiento Preventivo. Para realizarla primero se determinó que es lo que se deseaba obtener de ella, y una vez hecho esto se diseñaron las tablas, formularios, consultas y demás elementos que la formaron. Con esta base de datos se pretende tener un mejor control y administración del mantenimiento.

## ***INTRODUCCIÓN***

La calidad del aire se convirtió en un tema de gran importancia a principios de la década de 1990, y el sistema de colección de polvo ha tenido un papel preponderante sobre este aspecto.

Los sistemas de ventilación se cuentan entre las medidas preventivas más utilizadas en el ámbito de la Higiene Ocupacional, para el control de la exposición a los contaminantes químicos y biológicos. De forma especial, los sistemas de ventilación por extracción localizada, diseñados para la captación de los contaminantes en el foco mismo donde se generan.

Es por esta razón que en la empresa Kraft Foods se hace necesaria la instalación de un sistema de extracción. En el proceso productivo de los refrescos y postres en polvo, la cantidad de contaminación en el aire es considerable, y por lo tanto perjudicial para trabajadores y visitantes. Además, los daños que pueden sufrir las máquinas por este mismo concepto podrían ser considerables si no se toma las previsiones del caso.

El primer proyecto que aquí se presenta consiste precisamente en el rediseño del sistema de extracción de polvo. Se considera este el momento justo para realizar dicha tarea, debido a que actualmente la empresa se encuentra en un proceso de transición al trasladarse a una planta de mayor espacio, donde a su vez se contará con un número mayor de máquinas, haciendo necesaria la instalación de un nuevo sistema de extracción.

Se presenta un segundo proyecto que consiste en un manual de lubricación, el cual formará parte del programa de mantenimiento preventivo. Se sabe que no son pocas las situaciones en las cuales la lubricación resulta la “culpable” directa de las fallas en las máquinas; aunque la mayoría de veces esta es una realidad que simplemente es ignorada<sup>1</sup>.

Finalmente, se diseñará una base de datos para Mantenimiento Preventivo; mediante la cual se pretende lograr un control más efectivo en los aspectos relacionados con la administración del mantenimiento.

Con esta práctica se pretende ejercer el oficio de ingeniero de una forma real, con todas las responsabilidades y obligaciones que ello requiere. Así mismo, se quiere dejar clara la importancia del mantenimiento desde todo punto de vista, ya que es la base para obtener rendimiento óptimo en cualquier máquina, y por ende, para maximizar la producción.

---

<sup>1</sup> Ricardo Pacheco M. “Principios básicos de lubricación”.

# **CAPÍTULO I**

## **Organización de la empresa**

### **1.1 LA COMPAÑÍA Y SU AMBIENTE**

#### **1.1.1 Ubicación**

La empresa Kraft Foods Costa Rica se ubica en la Ribera de Belén en la provincia de Heredia, al frente de la plaza de deportes de La Firestone.

#### **1.1.2 Reseña histórica<sup>2</sup>**

En 1767, Joseph Terry comenzó a vender cáscaras cristalizadas de frutas a una pequeña confitería en Inglaterra. En 1825, Philip Suchard abrió una pequeña confitería en Suiza y en 1895, Johann Jacobs, un empresario alemán, fundó Jacobs Kaffee, que llegó a ser una de las empresas de café más importantes de Europa.

Al otro lado del Atlántico, en 1903, James L. Kraft abrió un negocio de venta de quesos al por mayor, en Chicago, Illinois. En 1914, su compañía ya estaba fabricando sus propios productos de queso, y diez años más tarde dio su primer paso en el mercado internacional al abrir, en Londres, una oficina europea para ventas.

De importancia fueron las adquisiciones de la empresa Philip Morris Companies, Inc. En 1985, PM compró General Foods Corp. Y en 1988, Kraft, Inc. Dos años más tarde, Kraft General Foods International adquirió la compañía Jacobs Suchard, y en 1995, Kraft General Foods International recibió el nombre Kraft Foods International.

---

<sup>2</sup> Fuente: Departamento Recursos Humanos Kraft Foods Costa Rica

A nivel internacional, las adquisiciones realizadas por Kraft aumentaron su tamaño e incrementaron sus ingresos. Entre 1989 y 1995, después de adquirir Jacobs Suchard, Freia, Marabou, Terry's y otros negocios en Europa Central y Oriental, los ingresos de Kraft Foods International se elevaron de \$3700 millones a \$11 200 millones.

Kraft comenzó a desarrollar sus operaciones en Latinoamérica en 1954, al establecer Alimentos Kraft de Venezuela. La primera fábrica de la empresa fue construida en las afueras de Caracas en 1960. En Argentina se inició en 1990, año en que Philip Morris compró Suchard. En este país, la categoría de refrescos en polvo ha impulsado el crecimiento. La primera vez fue en 1992, cuando Philip Morris adquirió Alimentos Especiales, S.A. y volvió a lanzar Tang y nuevamente en 1995, con la introducción de Clight al mercado.

Kraft Foods también es el líder entre los refrescos en polvo en Brasil, habiendo adquirido Q-Refresko, S.A. en 1993. Kraft adquirió control de la compañía más importante de confitería de Brasil —la empresa Industria de Chocolates Lacta, S.A.— en 1996. Esta adquisición la convirtió en la empresa líder de chocolates de ese país.

Kraft estableció su presencia en América Central en 1963, en Panamá. A principios de la década de los noventa compró El Gallito Industrial, S.A. de Costa Rica, la principal compañía de confitería de Centroamérica.

Con la integración reciente de Nabisco, Kraft Foods ha más que duplicado su presencia en la región.

### **1.1.3 Campo de trabajo**

Kraft Foods Costa Rica es una empresa de capital internacional, la cual se dedica a la elaboración de productos alimenticios. Con la nueva incorporación de Nabisco, Kraft Foods es la empresa más rentable de alimentos y bebidas, con utilidades a nivel mundial de \$ 5500 millones anuales.

Kraft Foods está dividida en cuatro regiones geográficas:

- Región Caricom: América Central y el Caribe, con base en San José, Costa Rica.
- Región Andina: Incluye los países que son parte del Pacto Andino, con base en Caracas, Venezuela.
- Región del Cono Sur: Argentina, Chile, Paraguay y Uruguay, con base en Argentina.
- Región del Brasil: Con base en Curitiba.

Es por ello que el mercado de Kraft es bastante amplio, de ahí que muchas de sus marcas son las líderes en los diferentes países de la región. En Latinoamérica, las marcas Oreo, Ritz y Club Social van a la vanguardia en el mercado de galletas en Argentina, Venezuela y Perú. En la categoría de refrescos, las marcas Tang y Clight ocupan el primer puesto en la categoría de refrescos en polvo en casi todos los países de la región. La mayonesa Kraft es líder del mercado en Venezuela. Los postres Royal ocupan el primero o segundo puesto en todos los mercados principales de Latinoamérica, y por último; los productos Lacta y Milka, son líderes en la categoría de barras de chocolate en Brasil, Argentina y América Central<sup>3</sup>.

Así, se puede ver que esta compañía es de suma importancia para el país, ya que es fuente de empleo para cientos de personas y es una multinacional líder en su campo.

---

<sup>3</sup> Fuente: Departamento Recursos Humanos Kraft Foods Costa Rica

Debido a su rápido crecimiento en el país, se hizo necesaria la construcción de una nueva planta, la cual fue recientemente inaugurada y donde, además; se ha incorporado ya a todo el personal de Nabisco. Es por eso que la empresa cuenta con una cantidad de personal bastante amplia. Actualmente laboran allí alrededor de 350 personas, entre personal de planta y administrativo.

Entre los servicios que ofrece la compañía al trabajador se encuentra la soda comedor, médico de empresa y asociación solidarista. La jornada laboral consta de tres turnos: de 6:00 a.m a 2:00 p.m, 2:00 p.m a 10:00 p.m, y 10:00 p.m a 6:00 a.m.

En cuanto a la organización interna, el proceso de transición que se está dando actualmente ha hecho que se tengan que redefinir algunos puestos de trabajo. Así mismo, las decisiones de peso son tomadas por la Gerencia General.

Por otra parte, la comunicación dentro de la compañía se realiza por medio de correo electrónico. Solamente en el departamento de Ingeniería, y a nivel gerencial, esta se hace por medio de un sistema interno de radio localizador.

#### **1.1.4 Visión Kraft**

Ser reconocidos como líder indiscutible en la industria alimenticia en Latinoamérica<sup>4</sup>.

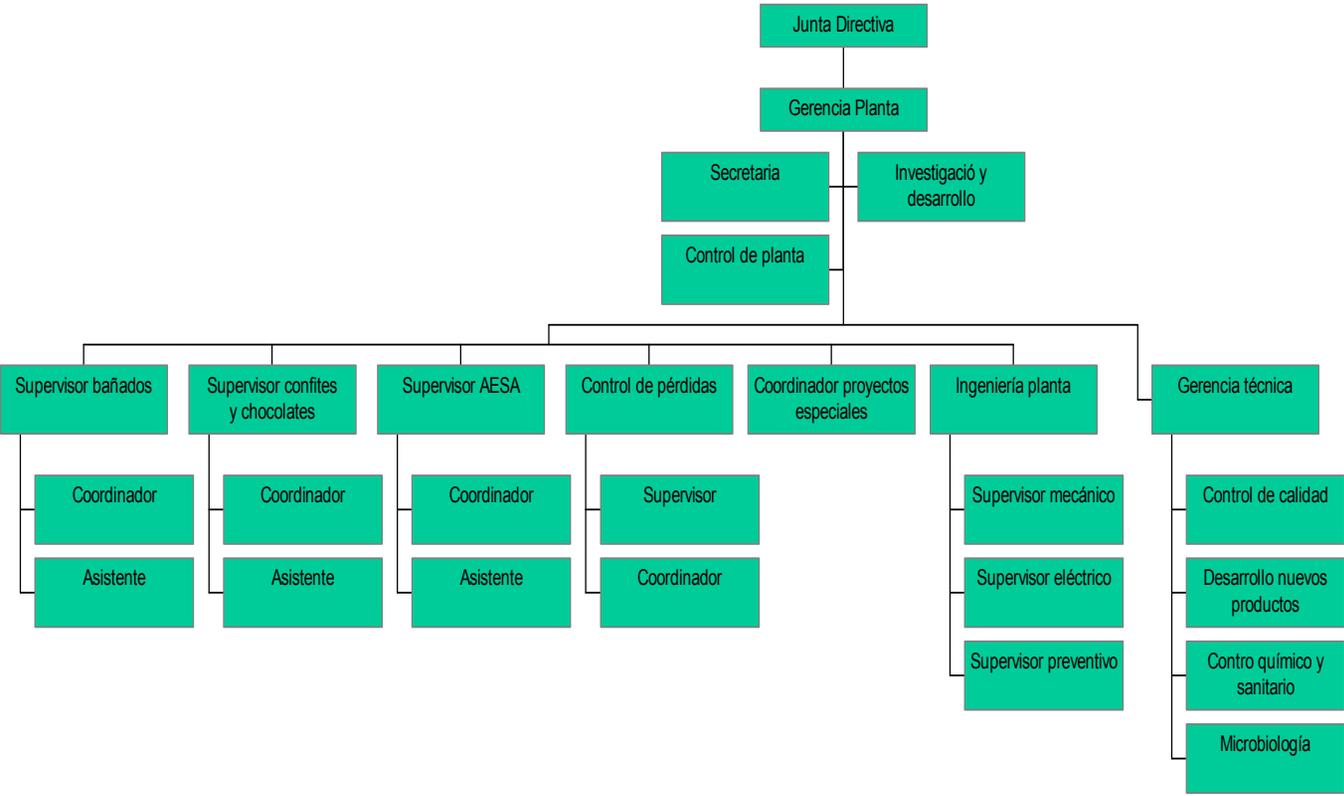
Se pretende lograr esto mediante la siguiente ideología:

- Consumidores – Primera elección.
- Clientes – Compañero indispensable.
- Alianzas – Socio más deseable.
- Empleados – Empleador elegido.
- Comunidades – Organización responsable.
- Inversionistas – Alto rendimiento.

---

<sup>4</sup> Fuente: Departamento Recursos Humanos Kraft Foods Costa Rica

# Organigrama Kraft Foods Costa Rica

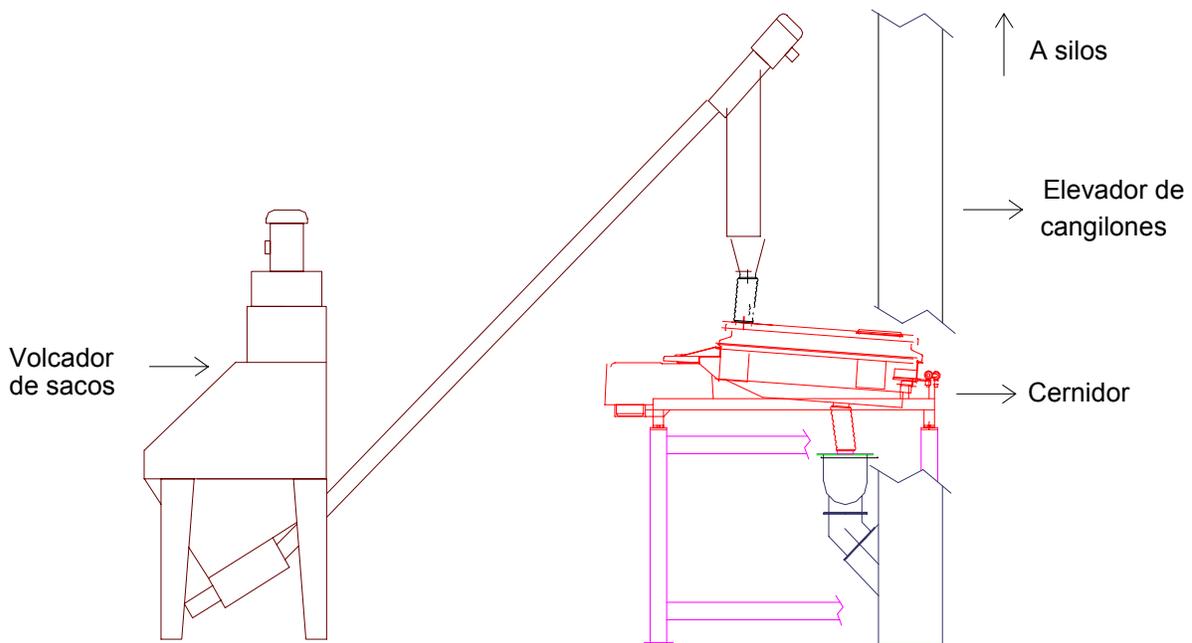


**Ilustración 1: Organigrama General Kraft Foods**

### **1.1.5 Descripción del proceso productivo**

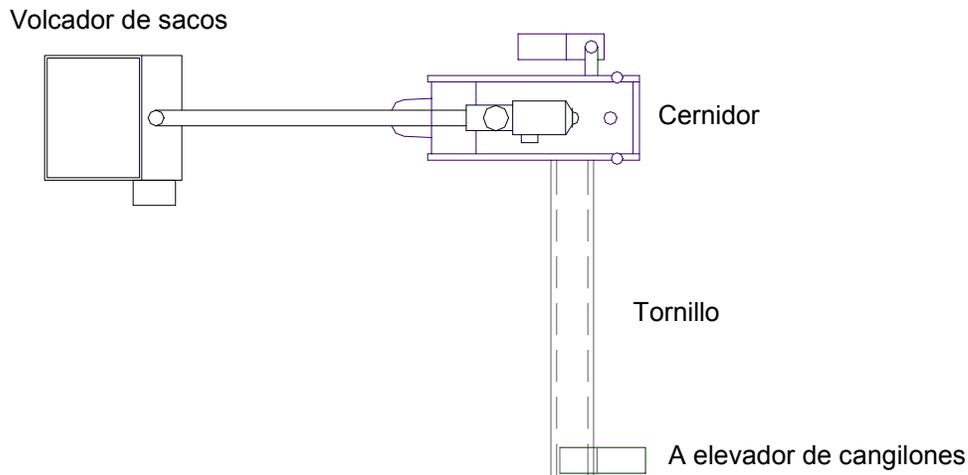
El proceso de elaboración de refrescos y postres en polvo es relativamente sencillo, dado que el procedimiento es muy mecánico y se repite para cada uno de los productos que se hacen en Kraft. Una descripción del mismo se da a continuación.

La materia prima o ingredientes que se utilizan para hacer estos alimentos es importada, y por razones confidenciales no fue suministrada su composición. La primera parte del proceso se da en el volcador de sacos, que es una máquina donde se descarga el azúcar de los sacos para ser enviado, por medio de tornillos, a un elevador de cangilones. Antes de descargar en el elevador, el azúcar pasa por una criba o cernidor con el fin de eliminar algunas partículas que puedan contaminar el producto final. Esta parte del proceso se puede ver en la siguiente figura:



**Ilustración 2: Inicio del proceso productivo**

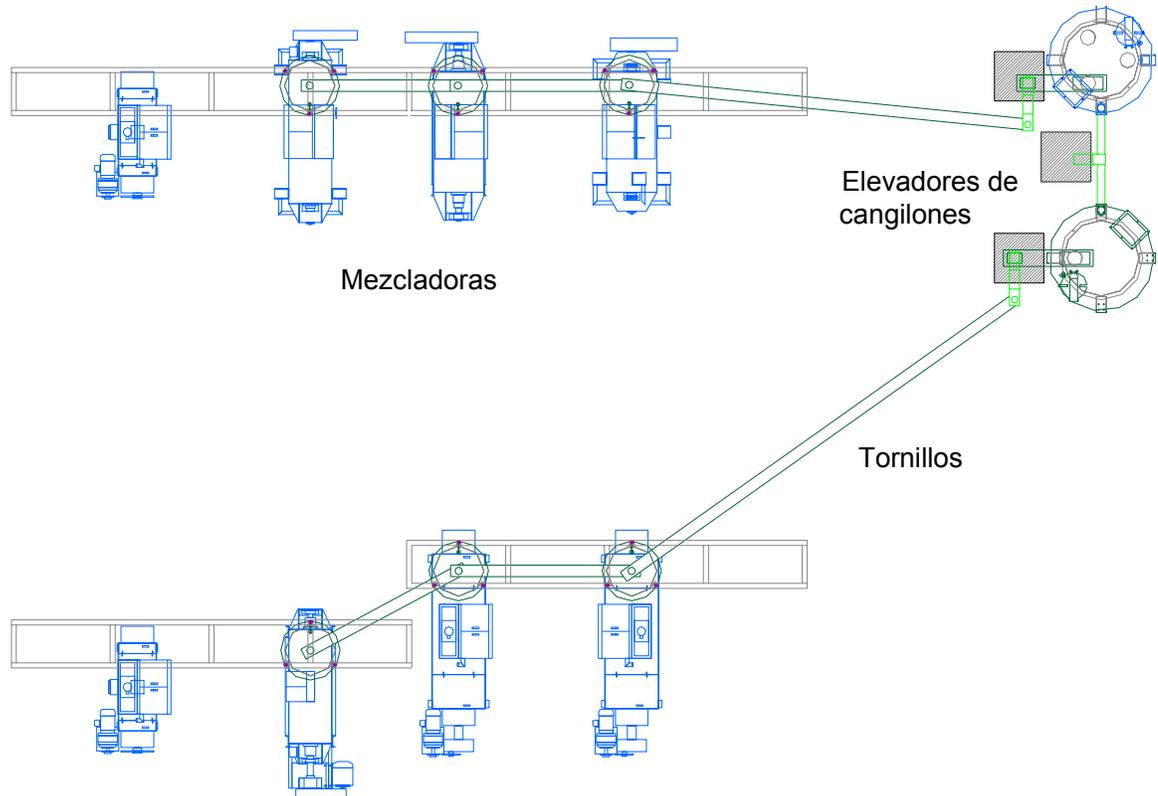
El azúcar es depositado en el volcador de sacos manualmente, y antes de llegar al elevador, pasa por un tornillo; el cual puede verse en la siguiente figura:



**Ilustración 3: Secuencia de proceso**

Después es llevado a través del elevador hasta el tercer piso de la planta, donde descarga en dos “silos” o cilindros de almacenamiento. Por su parte, cada silo tiene su salida en un pequeño tornillo, mediante el cual transportan el producto hasta dos elevadores de cangilones más pequeños, los que a su vez; lo llevan a las líneas de producción.

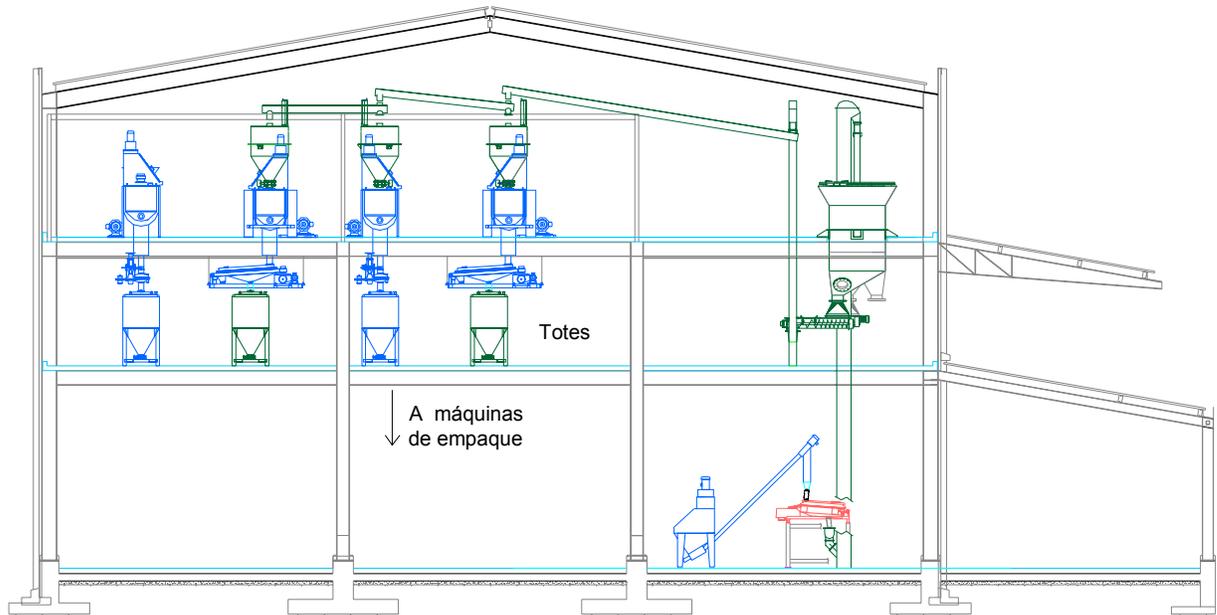
Nuevamente por medio de un sistema de tornillos, el azúcar llega hasta las mezcladoras, en donde tiene lugar el proceso de mezclado con el resto de materia prima, misma que había sido previamente pesada en el área de prepesado, según el volumen de producto para el cual esté capacitada cada una de las mezcladoras.



**Ilustración 4: Paso del producto por tornillos**

Quando el producto finalmente es mezclado, sale de la mezcladora y pasa de nuevo por un cernidor, antes de caer en los “totes”, que son una especie de tanques de almacenamiento; y que se acoplan por medio de tubos y juntas flexibles a las diferentes máquinas empacadoras de Tang y Gelatina. El proceso que sigue el te es prácticamente igual, con la salvedad de que este viene mezclado ya, y solamente se debe empacar.

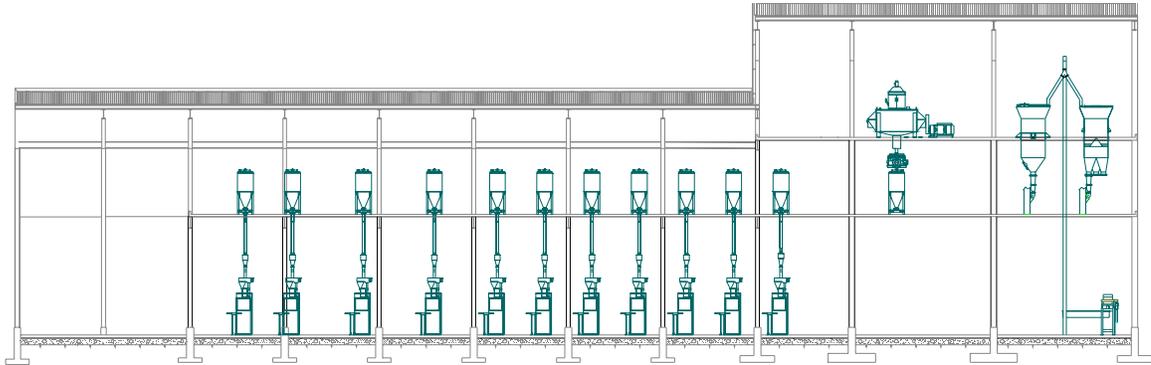
El proceso se puede resumir mediante la siguiente figura:



**Ilustración 5: Esquema del proceso productivo**

La parte final se da cuando la mezcla cae de los totes a las diferentes máquinas empacadoras, las cuales están divididas en tres áreas (Tang, Gelatina y Te).

La forma como se efectúa esta descarga se aprecia en la siguiente figura:



**Ilustración 6: Llegada del producto a las máquinas de empaque**

Una vez empacado, solamente se procede a enviarlo a la bodega de producto terminado, dando por concluido el proceso productivo.

## **1.2 EL MANTENIMIENTO**

La empresa no cuenta con un departamento de mantenimiento propiamente dicho, sino que existe un Departamento de Ingeniería, desde el cual se maneja todo lo concerniente al mantenimiento.

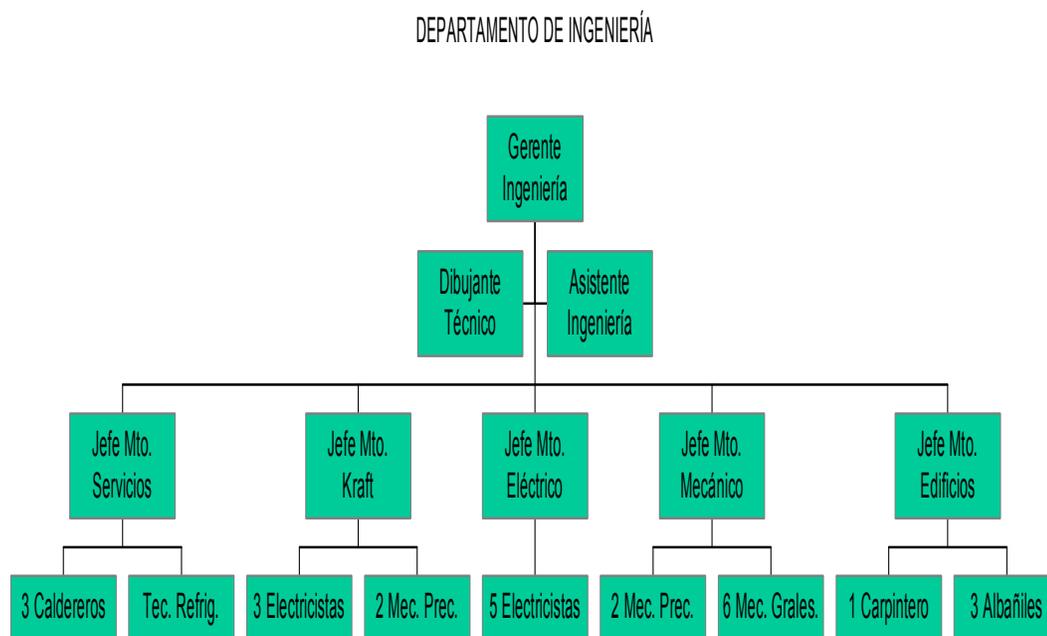
Por la forma en que se encuentran las líneas de producción, con varias plantas independientes, se da un mantenimiento por áreas; así el personal es distribuido en los diferentes departamentos productivos de la planta.

Por lo tanto, se tienen varios talleres, los cuales están organizados de acuerdo al área a la que pertenecen, para que así el personal pueda cumplir con las labores correspondientes al sector asignado.

Es importante resaltar el hecho de que la empresa trabaja los tres turnos, y que en cada uno de ellos siempre hay personas encargadas del mantenimiento. Los horarios son rotativos, evitando así crear una carga pesada que pueda afectar la salud de los trabajadores.

El organigrama del departamento de ingeniería es el siguiente:

## ORGANIGRAMA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA



**Ilustración 7: Organigrama Departamento de Ingeniería**

Los trabajos de mecánica de precisión se efectúan en un taller particular por medio de un contrato, el cual es autorizado por el ingeniero respectivo.

En cada planta siempre hay por lo menos un mecánico alerta para cualquier trabajo de mantenimiento correctivo que se presente en algún momento determinado.

En cuanto al control de materiales y repuestos, cuando algún mecánico u otro afín considera necesaria la compra de un material o repuesto, llena la boleta de requisición de materiales y repuestos, en la cual se especifica el código de lo que se está solicitando, la cantidad, unidades, valor total; así como una descripción breve del uso que se le dará al repuesto o material pedido. Luego la boleta se presenta en bodega, donde debe ser firmada, y finalmente es el ingeniero quien decide si la compra procede, o se debe buscar una solución alterna. El control de mano de obra extra se lleva a cabo por medio del departamento de producción, que es el encargado de pedir las extras a Gerencia, y dependerá de ésta decidir si se conceden o no, según la situación. Es importante hacer notar que no se llevan controles de órdenes de trabajo, lo cual no debería ser en una empresa de tanto prestigio a nivel internacional.

En cuanto a los costos de mantenimiento, se maneja un presupuesto mensual máximo, que sólo puede ser excedido en caso de emergencia y con el consentimiento de la Gerencia General.

Dentro del departamento, las cosas se comunican en forma oral, ya sea por medio de un sistema de radio interno o en forma telefónica. En caso de ser necesarias horas extras, estas se coordinan con el departamento de producción y se procede en la forma antes mencionada.

### **1.2.1 Toma de decisiones en el departamento**

La decisión en cuanto a la manera y momento de realizar un trabajo, contratar personal para labores por contrato, compra de materiales o repuestos, etc., es tomada por el ingeniero de la planta respectiva, teniendo en cuenta el hecho de que si excede los \$1000 en gastos, debe contar con el respectivo permiso de la gerencia. En caso de ser un monto menor a los mil dólares, la decisión de realizar un trabajo determinado puede ser tomada sin temor alguno por el ingeniero encargado.

### **1.2.2 Objetivo del departamento de mantenimiento**

Planear, organizar y dirigir todas aquellas actividades que permitan un desarrollo eficiente del mantenimiento correctivo y preventivo de las máquinas, de manera que se pueda alcanzar una alta eficiencia en los procesos de producción.

### **1.2.3 Eficiencia de los equipos**

Hasta hace algunos años, la eficiencia de la mayoría de los equipos rondaba el 20% o 30%. Fue así como se tuvo que modificar la forma de realizar mantenimiento y se logró llegar a la eficiencia que presentan al día de hoy: entre un 50% y un 60%, considerada como "muy buena"; pues se trata de equipo un poco antiguo y que trabaja dentro de un ambiente muy incómodo, con muy poco espacio entre máquinas, lo que afecta para efectos de dar mantenimiento.

Otro factor negativo que hace difícil tener una alta eficiencia en la maquinaria, es la gran cantidad de polvo existente en el ambiente, debido propiamente al producto con el cual se trabaja. Es así como se debe tener una lucha constante con estos factores para poder mantener la eficiencia de los equipos lo más alta posible.

## **CAPÍTULO 2**

### **Proyecto 1. Sistema de succión de polvo**

#### **2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

##### **2.1.1 Ventilación**

La ventilación tiene por objeto renovar el aire existente en determinado espacio para evitar que este se enrarezca; de no realizarse esta renovación, la respiración de los seres vivos que ocupan el espacio se haría dificultosa y molesta.

La ventilación puede llevarse a efecto de las siguientes maneras:

- Extracción del aire viciado del local.
- Impulsión de aire nuevo dentro del local.
- Extracción e impulsión reunidas en una misma instalación. La impulsión para la introducción del aire exterior y la extracción para expulsar el aire enrarecido.

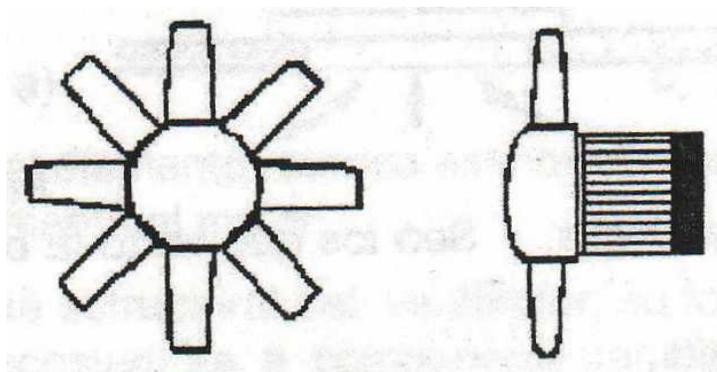
El sistema de extracción de aire es, probablemente, el más empleado. Se lleva a cabo mediante ventiladores que se instalan en la pared; y que por lo general se usan en lugares como fábricas, bodegas, plantas, bancos de transformadores, salas de máquinas, salas de compresores, etc., para hacer circular el aire en estos recintos. Extracción de impurezas por ejemplo en fábricas donde el proceso produce partículas como polvo de madera, aserrín u otros; es extraído por medio de ductos localizados en los focos de contaminación y llevados a depósitos de gran volumen en el exterior de la fábrica, disminuyendo así la contaminación en el recinto, favoreciendo la salud del personal y la vida útil de los equipos.

En el método por impulsión, los ventiladores recogen el aire exterior limpio y lo empujan hacia el interior del recinto, creando una sobrepresión dentro del circuito que obliga al aire a salir por las aberturas previstas para tal fin. A su vez la sobrepresión impide que penetre el aire del exterior por sitios que no están dentro del planteamiento general de una instalación. En la impulsión puede controlarse la cantidad de aire entrante y repartir más eficazmente el volumen del mismo sobre las secciones que necesiten mayor renovación.

El sistema de extracción-impulsión reunidas en una misma instalación viene determinado por un estudio de las bocas de entrada y salida del aire así como por la configuración geométrica del local, en virtud de que se usan ventiladores para impulsar el aire limpio y para extraer el aire viciado. De esta manera, por un lado habrá depresión (extractores) y, por otro, sobrepresión (impulsores) siendo conveniente que los impulsores den más aire que el desalojado por los extractores, para que dentro del recinto exista sobrepresión y la instalación funcione correctamente.

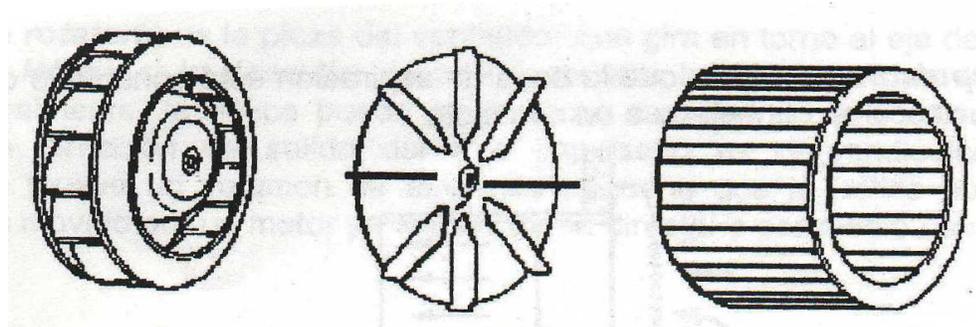
La ventilación puede darse en forma natural o en forma mecánica. Dentro de la ventilación mecánica debe considerarse al elemento principal que da origen al nombre: el ventilador de accionamiento mecánico. Se define por ventilador un aparato para mover aire y que utiliza un rodete como unidad impulsora. Un ventilador tiene al menos una abertura de aspiración y una abertura de impulsión. Las aberturas pueden o no tener elementos para su conexión al conducto de trabajo.

Los ventiladores pueden dividirse en dos grandes grupos: ventiladores axiales o helicoidales, los cuales lanzan el aire en dirección axial.



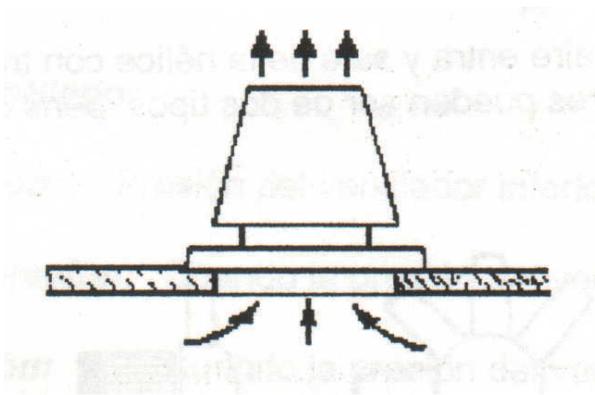
**Ilustración 8: Ventilador axial**

Ventiladores radiales o centrífugos, donde 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. Pueden ser con álabes curvados hacia atrás, álabes rectos y álabes curvados hacia delante.



**Ilustración 9: Ventiladores centrífugos**

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



**Ilustración 10: Principio de funcionamiento de un extractor**

Existen algunos conceptos básicos que caracterizan el movimiento del aire, encontrándose dentro de ellos el caudal, la presión estática y la presión dinámica.

- **Caudal:** Es el volumen de aire movido por un ventilador en la unidad de tiempo, independiente de la densidad del aire.
- **Presión estática:** Es la porción de la presión del aire debida solamente al grado de compresión del mismo. O bien, es la fuerza por unidad de superficie ejercida en todas las direcciones y sentidos, al margen de la dirección y sentido de la velocidad.
- **Presión dinámica:** Es la porción de la presión del aire debida solamente al movimiento del mismo. También se puede decir que la presión dinámica de una corriente de aire es la fuerza por unidad de superficie que equivale a la transformación íntegra de la energía cinética en energía de presión. La presión dinámica es siempre positiva y se manifiesta únicamente en el sentido de la velocidad.

### **2.1.2 Variación de la densidad del aire con la altitud**

La presión barométrica de la atmósfera disminuye al aumentar la altitud por encima del nivel del mar, estableciéndose una atmósfera estándar. Por norma, las curvas características de los ventiladores responden a una temperatura del aire de 20 °C y una presión barométrica de 760 mmHg, equivalente a una densidad del aire de 1,2 Kg/m<sup>3</sup>.

Cualquier modificación de estos valores implica la utilización de coeficientes de corrección indicados en tablas. Bien puede ocurrir que varíe la temperatura o la altitud, o ambos factores a la vez.

La elección del ventilador idóneo se hace en función del caudal necesario y de la presión requerida. En caso de haber alguna variación por la densidad del aire, la presión se divide por un factor de corrección, obteniendo la presión real con la cual se debe seleccionar el ventilador.

### **2.1.3 Potencia en un ventilador**

La potencia útil generada es función de la presión estática y de la presión dinámica. Sin embargo, la presión dinámica no puede convertirse totalmente en trabajo útil en razón de que no puede transformarse plenamente en presión estática, y los límites entre los cuales se puede realizar dicha conversión depende en parte de la forma de los conductos y del modo en que se está realizando la instalación. Por este motivo en determinadas ocasiones se calcula el rendimiento basándose en la presión estática. Se le llama rendimiento total del ventilador a la relación entre la potencia generada por el ventilador y la potencia absorbida por el mismo, siendo la potencia generada por el ventilador la potencia útil transmitida al aire. Es proporcional al producto del caudal y la presión total.

La potencia absorbida por un ventilador es la potencia necesaria para moverlo añadiendo además los elementos del sistema de accionamiento que se consideran como parte del ventilador. Esta potencia leída en las curvas de los ventiladores debe ser incrementada para tener en cuenta las pérdidas de transmisión, así como una eventual sobrecarga.

#### **2.1.4 Selección de un ventilador concreto**

Para la selección de un ventilador en particular hay que acudir al catálogo del fabricante en el que se publican las características del ventilador en cuestión en gráficos o tablas.

Por lo que respecta a las condiciones de estabilidad del ventilador se puede decir que se definen las inestabilidades de caudal como aquellas en las que se producen variaciones rápidas y persistentes de la relación caudal-presión. Su repercusión más inmediata tiene el efecto de que se inicien ruidos y vibraciones que incluso pueden llegar a causar daños mecánicos.

En caso de anomalías imprevistas o de duda razonable, siempre se debe consultar al fabricante cuyos servicios técnicos facilitarán más información sobre el comportamiento del ventilador según sea el caudal y la presión del mismo.

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

## **2.2. SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO**

El cálculo de un sistema de extracción de polvo permite obtener el tamaño de los ductos, las pérdidas de presión del sistema, el tipo de abanico, así como la potencia y velocidad del motor elegido. Existen algunos pasos preliminares que se han de cumplir para el cálculo de estos sistemas:

- 1) Se debe tener un dibujo o plano del proceso productivo y las máquinas involucradas en el mismo.
- 2) En el plano se debe especificar la altura deseada de los ductos y el lugar donde se quiere colocar el ventilador.
- 3) Deben tenerse claros los puntos de aspiración para cada máquina.
- 4) Es importante tener datos generales del sitio, tales como la disposición de espacios, ubicación geográfica, altitud sobre el nivel del mar, tipo de construcción de la sala, procesos contaminantes existentes en el área, entre otros.

### **2.2.1 Procedimiento de diseño**

Debe determinarse el tipo de sistema y seleccionar el método de cálculo a utilizar, el cual puede basarse en la longitud equivalente o en las pérdidas de presión.

Todos los sistemas de extracción, ya sean estos simples o complejos tienen en común la utilización de los mismos elementos. De hecho, un sistema complejo de extracción no es más que un arreglo de sistemas simples conectados a un ducto común.

### **2.2.2 Cálculo por longitud equivalente**

Para realizar un cálculo de extracción de polvo por longitud equivalente se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Seleccionar la velocidad de captura de las partículas en suspensión en los puntos de dosificación.
2. Determinar el volumen de aire deseado y la velocidad en los ductos.
3. Determinar la longitud equivalente de ductos y accesorios.
4. Obtener las pérdidas de presión totales del sistema.

### **2.2.3 Distribución del flujo de aire**

Para lograr una buena distribución del flujo de aire en un sistema de extracción, pueden emplearse dos métodos, los cuales se describen a continuación:

#### **2.2.3.1 Balanceo del aire sin compuertas de ajuste**

Este procedimiento logra encontrar el flujo de aire deseado para un sistema balanceado sin el uso de “dampers” o compuertas de ajuste. Con frecuencia es llamado “método de balanceo por presión estática”.

Para hacer este cálculo se debe iniciar por el ramal de mayor pérdida, para proceder luego desde los ramales hacia el ducto principal, y de ahí al ventilador. Cada punto de unión entre dos flujos de aire, es un punto de comparación para lograr el flujo adecuado; y debe ser igual a la caída de presión del ramal cuyo flujo se adiciona. Las presiones estáticas están balanceadas debido a la adecuada selección de los diámetros de tuberías, codos, intersecciones y demás accesorios que se utilicen.

### **2.2.3.2 Balanceo de aire por medio de compuertas de ajuste**

Este método depende del uso de dampers, los cuales pueden ser ajustados después de la instalación para lograr el flujo de aire deseado. El cálculo de este diseño también inicia por el ramal de mayor pérdida, viniendo luego a través de los ramales y secciones hasta llegar al ventilador. En el punto en que cada sección se une con otro ramal, los volúmenes de aire se agregan, conformando un ducto principal. Estos ramales que se unen son simplemente dimensionados para dar la velocidad mínima necesaria deseada en ese punto.

Aparentemente, ese sería un ejercicio de mucho cuidado y precisión; ya que si la selección del ramal con mayor resistencia es incorrecta, otro ramal con mayor resistencia perdería el volumen que se desea. Para que esto no suceda, debe verificarse cada uno de los ramales para obtener el de mayor resistencia. Estas variaciones de resistencia en los ramales son compensadas con la instalación de dampers en la entrada de cada ducto.

El primer método normalmente se selecciona cuando se controla material altamente tóxico o corrosivo, el cual puede producir daños en el funcionamiento de los dampers, así como al personal expuesto a dicho material. La capacidad de distribución del aire de extracción y la flexibilidad del segundo método, sugieren que este puede ser utilizado siempre, excepto cuando se controla material tóxico.

Ambos métodos se pueden combinar con el fin de obtener un mejor diseño, aprovechando así los criterios de dimensionado de los ductos expuesto en el método sin compuertas de ajuste, como también el ajuste fino que permite realizar el método por medio de los dampers.

#### **2.2.4 Conceptos importantes para el cálculo del sistema**

Existe una serie de conceptos que son importantes de conocer para poder elaborar un cálculo correcto de un sistema de extracción de polvo.

- **Número de Reynolds<sup>5</sup>**: Es un número adimensional que viene dado por el cociente de las fuerzas de inercia y las fuerzas debidas a la viscosidad.

Se calcula de la siguiente manera:  $Re = V \times D / \nu$ , donde:

- V = velocidad del fluido (m/s).
- D = diámetro hidráulico de la tubería (m).
- $\nu$  = viscosidad cinemática del fluido. (m<sup>2</sup>/s).

Si Reynolds es mayor a 4000, se dice que existe un flujo turbulento, en el cual las partículas se mueven en forma desordenada y en todas direcciones. Si es mayor a 2000, se dice que el flujo es laminar, caracterizado por la trayectoria paralela que siguen las partículas fluidas.

- **Coefficiente de fricción (f)<sup>6</sup>**: En el caso del régimen laminar, puede deducirse matemáticamente. Para flujo turbulento, en cambio, debe utilizarse el diagrama de Moody. El coeficiente de fricción depende dos números también adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa del ducto. Esta última es el cociente del diámetro de la tubería entre la rugosidad promedio de la pared del ducto.

- **Ecuación de Darcy<sup>7</sup>**: Se puede utilizar para calcular la pérdida de energía en secciones largas y rectas de conductos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento.

---

<sup>5</sup> Mott, 1996, página 222

<sup>6</sup> Mott, 1996, página 240

<sup>7</sup> Mott, 1996, página 237

Esta ecuación puede escribirse como:  $\Delta p = f * (L/D) * (v^2/2*g)$ , donde:

- $f$  = Factor de fricción.
- $L$  = Longitud equivalente del ducto (m).
- $D$  = Diámetro hidráulico del ducto (m).
- $v$  = Velocidad del fluido en el ducto. (m/s).
- $g$  = gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>).

### 2.3 CÁLCULO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

- Primero debe determinarse para cuáles máquinas se va a diseñar el sistema, y la carga de aire necesaria para cada una.

**Tabla 1: Cargas de aire solicitadas**

<i>Cargas de aire solicitadas</i>		
<b>Equipo</b>	<b>Carga de aire (m3/h)</b>	<b>Carga de aire (cfm)</b>
Empacadora Refillpack (1)	1274	750
Empacadora Rovema 1 (2)	510	300
Empacadora Rovema 2 (3)	510	300
Empacadora Rovema 3 (4)	510	300
Empacadora Rovema 4 (5)	510	300
Empacadora Bartelt 1 (6)	850	500
Empacadora Bartelt 2 (7)	850	500
Empacadora Mezpack (8)	510	300
Empacadora Gap (9)	510	300
Empacadora Asteguieta (10)	510	300
Descarga tote 1 (12)	425	250
Descarga tote 2 (13)	425	250
Descarga tote 3 (14)	425	250
Descarga tote 4 (15)	425	250
Descarga tote 5 (16)	425	250
Descarga tote 6 (17)	425	250
Descarga tote 7 (18)	425	250
Descarga tote 8 (19)	425	250

- Es importante definir la ruta que han de seguir los ductos. Esto se hace con base en la forma en la cual se encuentran colocadas las máquinas.
- Según el material que se va a extraer, debe elegirse una velocidad adecuada para el sistema. Para este caso la misma será de 3000 pies por minuto<sup>8</sup> (fpm) (equivalente a 15.24 m/s).
- El sistema de succión es tanto para el primero como para el segundo piso.

<sup>8</sup> Apéndice B, "Rango de velocidades de diseño"

### **2.3.1 Muestra de cálculo**

La muestra de cálculo que se presenta corresponde al tramo 1 – A. Para los demás tramos, ya sean parte del sistema principal o ramificaciones, el método de cálculo es el mismo.

La velocidad recomendada para extraer polvo del Tang, es de 15.24 m/s (3000 fpm). Con base en esta velocidad y en el caudal que pasa por este tramo, se puede calcular el diámetro del ducto mediante la relación  $Q = V \cdot A$ , donde:

- $Q$  = Caudal ( $m^3/s$ ).
- $V$  = Velocidad del fluido.
- $A$  = Área del ducto.

Así:  $A = Q / V$ .

El caudal solicitado es de  $0,354 m^3/s$  (750 cfm). Entonces:

$$A = Q/V = 0,354 m^3/s / 15.24 m/s = 0,023 m^2.$$

Mediante la relación  $(\pi \cdot D^2/4)$  se puede obtener el diámetro requerido. Así:

$$D^2 = 4 * 0,023 / \pi \quad D = 0,172 m (6,77 \text{ pulgadas}).$$

Para escoger cual será finalmente el diámetro del ducto, debe tomarse en cuenta el material del cual está hecho y su disponibilidad en el mercado. Para este caso, el material utilizado es hierro galvanizado, el cual está disponible para diferentes diámetros. Así, el elegido para esta sección fue de 6 pulgadas (0,152 m). Pudo haber sido de 7 pulgadas, pero debe tenerse cuidado de escoger los diámetros de forma que se mantenga la velocidad mínima recomendada en todo el sistema (o lo más cercano posible a ella), y para lograr este propósito se requiere en este tramo un diámetro de 6" (pulgadas).

Con el diámetro final, se determina la velocidad real del tramo:  $V = Q/A$

$$V = 0,354 \text{ m}^3/\text{s} / 0,018 \text{ m}^2 = 19,404 \text{ m/s.}$$

Una vez determinada la velocidad real, deben encontrarse el factor de fricción y la densidad para calcular la pérdida de presión en el tramo. El factor de fricción se encuentra calculando el número de Reynolds. Para el aire a 20 °C<sup>9</sup> (temperatura promedio en la zona), la viscosidad cinemática ( $\nu$ ) tiene un valor de 1,51E-05 m<sup>2</sup>/s. Por lo tanto, el número de Reynolds es:

$Re = v * D/\nu = (19,404 \text{ m/s} * 0,152 \text{ m})/ 1,51\text{E-}05 \text{ m}^2/\text{s} = 1,96\text{E+}05$ . Con este valor (mayor a 4000) se asegura un flujo turbulento.

El otro valor necesario para poder calcular el coeficiente de fricción es la rugosidad. Para el hierro galvanizado, la rugosidad relativa es igual a 0,15 mm. Con este valor se tiene:.

$$\text{Rugosidad} = D/E = 0,152 \text{ m}/1,5\text{E-}04 \text{ m} = 1016.$$

Con los valores obtenidos en el número de Reynolds y en la rugosidad, se determina el coeficiente de fricción con la ayuda del diagrama de Moody<sup>10</sup>, para este tramo su valor es de 0,0215.

La única constante pendiente es la densidad. En la Ribera de Belén, con una temperatura promedio de 20 °C y a 1000 metros de altura, la densidad relativa del aire es 0,89<sup>11</sup>. Con este factor y con la densidad estándar, se puede obtener la requerida para el cálculo.

---

<sup>9</sup> Apéndice B, "Propiedades del aire"

<sup>10</sup> Apéndice B, "Diagrama de Moody"

<sup>11</sup> Apéndice B, "Factores de corrección de densidad"

$$\rho = 0,89 * 1,2 \text{ Kg / m}^3 = 1,07 \text{ Kg / m}^3.$$

Hay que recordar que los accesorios (codos, intersecciones, etc.) tienen su aporte en forma de longitud equivalente. Para los codos, se tiene que su radio es dos veces el diámetro del mismo. Con esta relación y con la ayuda de una tabla, se encuentra su longitud equivalente. Con respecto a las intersecciones, su longitud equivalente puede obtenerse mediante fórmula o directamente de una tabla. En este caso, se hizo uso de tabla.

En el tramo 1 – A hay un total de 2 codos a 90°, y una intersección a 30°. Para los codos, la longitud equivalente de cada uno es de 7 pies (2,134 m). Por su parte, la intersección equivale a 5 pies (1,524 m)<sup>12</sup>. La longitud de tubería es de 16,40 pies (5 m). Por lo tanto, la longitud total es:

$$L \text{ total} = (16,40 + 2*7 + 5) \text{ pies} = 39,90 \text{ pies} (12,16 \text{ m}).$$

Finalmente, teniendo todos los datos necesarios se determina la pérdida de presión en este tramo.

$$\Delta p = f * \rho * (L/D) * (v^2/2 * g)$$

$$\Delta p = 0,0215 (12,16 \text{ m}/0,152 \text{ m}) * 9,8 \text{ m/s}^2 * ((9,404 \text{ m/s})^2/2 * 9,8 \text{ m/s}^2)$$

$$\Delta p = 345,61 \text{ Pascales} = 35,28 \text{ mm H}_2\text{O}.$$

De esta manera se obtiene la pérdida de **presión estática** para cada tramo. Se presentarán en tablas los resultados obtenidos (por este mismo método) en los cálculos de todos los diámetros y de las caídas de presión estática en las secciones de las posibles rutas críticas, con el fin de determinar en qué punto se encuentra la mayor caída de presión. Esto es de suma importancia para escoger un ventilador que pueda superar todas las pérdidas del sistema.

---

<sup>12</sup> Apéndice B, “Longitudes equivalentes de accesorios”

**Tabla 2: Diámetros y velocidades en tramos principales zona A<sup>13</sup>**

Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Vel. Rec. (m/s)	A. Ducto (m <sup>2</sup> )	Diámetro (m)	φ (pulg)	φ selec. (m)	φ selec. (pulg)	V.real (m/s)
11 - I	1699	15,24	0,031	0,199	7,818	0,178	7	19,008
I - J	2209	15,24	0,040	0,226	8,913	0,203	8	18,919
J - K	2718	15,24	0,050	0,251	9,889	0,229	9	18,398
K - L	3228	15,24	0,059	0,274	10,776	0,254	10	17,697
L - G	3908	15,24	0,071	0,301	11,856	0,305	12	14,877
G - H	8920	15,24	0,163	0,455	17,912	0,457	18	15,092
H - Q	11468	15,24	0,209	0,516	20,311	0,508	20	15,717

**Tabla 3: Diámetros y velocidades en bajantes zona A**

Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Vel. Rec. (m/s)	A. Ducto (m <sup>2</sup> )	Diámetro (m)	φ (pulg)	φ selec. (m)	φ selec. (pulg)	V.real (m/s)
10 - I	510	15,24	0,009	0,109	4,282	0,102	4	17,464
9 - J	510	15,24	0,009	0,109	4,282	0,102	4	17,464
8 - K	510	15,24	0,009	0,109	4,282	0,102	4	17,464

**Tabla 4: Diámetros y velocidades en tramos principales zona B<sup>14</sup>**

Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Vel. Rec. (m/s)	A. Ducto (m <sup>2</sup> )	Diámetro (m)	φ (pulg)	φ selec. (m)	φ selec. (pulg)	V.real (m/s)
1 - A	1274	15,24	0,023	0,172	6,770	0,152	6	19,404
A - B	1784	15,24	0,033	0,203	8,011	0,178	7	19,959
B - C	2294	15,24	0,042	0,231	9,083	0,203	8	19,647
C - D	2803	15,24	0,051	0,255	10,042	0,229	9	18,973
D - E	3313	15,24	0,060	0,277	10,917	0,254	10	18,162
E - F	4163	15,24	0,076	0,311	12,237	0,305	12	15,847
F - G	5012	15,24	0,091	0,341	13,427	0,356	14	14,019
G - H	8920	15,24	0,163	0,455	17,912	0,457	18	15,092
H - Q	11468	15,24	0,209	0,516	20,311	0,508	20	15,717

<sup>13</sup> Apéndice C, "Distribución de ductos zonas A y B"

<sup>14</sup> Apéndice C, "Distribución de ductos zonas A y B"

**Tabla 5: Diámetros y velocidades en bajantes zona B**

Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Vel. Rec. (m/s)	A. Ducto (m <sup>2</sup> )	Diámetro (m)	φ (pulg)	φ selec. (m)	φ selec. (pulg)	V.real (m/s)
2 - A	510	15,24	0,009	0,109	4,282	0,102	4	17,464
3 - B	510	15,24	0,009	0,109	4,282	0,102	4	17,464
4 - C	510	15,24	0,009	0,109	4,282	0,102	4	17,464
5 - D	510	15,24	0,009	0,109	4,282	0,102	4	17,464
6 - E	850	15,24	0,015	0,140	5,528	0,102	4	29,106
7 - F	850	15,24	0,015	0,140	5,528	0,102	4	29,106

**Tabla 6: Diámetros y velocidades en tramos principales zona C<sup>15</sup>**

Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Vel. Rec. (m/s)	A. Ducto (m <sup>2</sup> )	Diámetro (m)	φ (pulg)	φ selec. (m)	φ selec. (pulg)	V.real (m/s)
12 - M	425	15,24	0,008	0,099	3,909	0,051	2	58,213
M - N	425	15,24	0,008	0,099	3,909	0,102	4	14,553
N - O	850	15,24	0,015	0,140	5,528	0,127	5	18,628
O - P	1274	15,24	0,023	0,172	6,770	0,152	6	19,404
P - H	2549	15,24	0,046	0,243	9,575	0,229	9	17,248
H - Q	11468	15,24	0,209	0,516	20,311	0,508	20	15,717

**Tabla 7: Diámetros y velocidades en ductos paralelos zona C**

Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Vel. Rec. (m/s)	A. Ducto (m <sup>2</sup> )	Diámetro (m)	φ (pulg)	φ selec. (m)	φ selec. (pulg)	V.real (m/s)
M' - N'	425	15,24	0,008	0,099	3,909	0,102	4	14,553
N' - O'	850	15,24	0,015	0,140	5,528	0,127	5	18,628
O' - P	1274	15,24	0,023	0,172	6,770	0,152	6	19,404

**Tabla 8: Constantes necesarias para el cálculo de pérdidas de presión**

Densidad relativa del aire @ 1000 msnm y 20 °C (Kg / m <sup>3</sup> )	0,89
Densidad del aire (Kg / m <sup>3</sup> ):	1,07
Gravedad (m /s <sup>2</sup> ):	9,80
Rugosidad relativa hierro galvanizado (m):	1,50E-04
Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s):	1,51E-05

<sup>15</sup> Apéndice C, "Distribución de ductos zona C"

**Tabla 9: Pérdida de presión estática total para la zona A**

Tramo	Long. (m)	Accesorios		Inters.	N°. Re.	D/ε	Fricción	Lon. Eq. (m)	Lo. E. (pies)	ΔP (Pa)	ΔP acum.
		Longitud (pies)	Codos								(mmH2O)
11 - I	3,50	11,48	1-90°	1-30°	2,24E+05	1,19E+03	0,0210	8,07	26,48	184,27	18,81
I - J	5,25	17,22	0	1-30°	2,55E+05	1,35E+03	0,0205	7,38	24,22	142,62	33,37
J - K	4,00	13,12	0	1-30°	2,79E+05	1,52E+03	0,0200	6,44	21,12	101,99	43,78
K - L	2,00	6,56	1-90°	1-30°	2,98E+05	1,69E+03	0,0190	9,01	29,56	112,92	55,30
L - G	9,00	29,53	2-90°	0	3,00E+05	2,03E+03	0,0188	19,36	63,53	141,41	69,74
G - H	1,87	6,14	1-90°	0	4,57E+05	3,05E+03	0,0175	8,27	27,14	38,58	73,68
H - Q	4,00	13,12	2-90°, 1-45°	0	5,29E+05	3,39E+03	0,0173	28,38	93,12	127,75	86,72

**Tabla 10: Pérdida de presión estática total para la zona B**

Tramo	Long. (m)	Accesorios		Inters.	N°. Re.	D/ε	Fricción	Lon. Eq. (m)	Lo. E. (pies)	ΔP (Pa)	ΔP acum.
		Longitud (pies)	Codos								(mmH2O)
1 - A	6,37	20,90	2-90°	1-30°	1,96E+05	1,02E+03	0,0215	12,16	39,90	345,61	35,28
A - B	3,00	9,84	0	1-30°	2,35E+05	1,19E+03	0,0205	4,83	15,84	118,63	47,39
B - C	3,00	9,84	0	1-30°	2,64E+05	1,35E+03	0,0200	5,13	16,84	104,33	58,04
C - D	3,00	9,84	0	1-30°	2,87E+05	1,52E+03	0,0198	5,44	17,84	90,70	67,29
D - E	3,00	9,84	0	1-30°	3,06E+05	1,69E+03	0,0192	5,74	18,84	76,61	75,11
E - F	2,30	7,55	0	1-30°	3,20E+05	2,03E+03	0,0185	5,65	18,55	46,11	79,82
F - G	9,37	30,74	2-90°, 1-60°	1-30°	3,30E+05	2,37E+03	0,0180	26,56	87,13	141,34	94,25
G - H	1,87	6,14	1-90°	0	4,57E+05	3,05E+03	0,0175	8,27	27,14	38,58	98,18
H - Q	4,00	13,12	2-90°, 1-45°	0	5,29E+05	3,39E+03	0,0173	28,38	93,12	127,75	111,22

**Tabla 11: pérdida de presión estática total para la zona C**

Tramo	Long. (m)	Accesorios		Inters.	N°. Re.	D/ε	Fricción	Lon. Eq. (m)	Lo. E. (pies)	ΔP (Pa)	ΔP acum. (mmH <sub>2</sub> O)
		Longitud (pies)	Codos								
12 - M	5,00	16,40	0	1-60°	1,96E+05	3,00E+03	0,0155	1,00	16,40	613,16	62,59
M - N	6,50	21,33	1-90°	2-30°	9,79E+04	6,77E+02	0,0248	9,55	31,33	264,12	89,55
N - O	3,00	9,84	0	1-30°	1,57E+05	8,47E+02	0,0222	4,22	13,84	136,89	103,52
O - P	13,12	43,04	1-90°	1-30°	1,96E+05	1,02E+03	0,0215	16,78	55,04	476,75	152,18
P - H	27,50	90,22	2-90°, 1-60°	1-30°	2,61E+05	1,52E+03	0,0175	39,70	130,26	483,76	201,56
H - Q	4,00	13,12	2-90°, 1-45°	0	5,29E+05	3,39E+03	0,0173	28,38	93,12	127,75	214,60

Como se observa en los cálculos, la mayor caída de presión está en la zona C, es decir, la parte de la extracción que se encuentra en el segundo piso, propiamente en la descarga de los totes. A esa caída de presión se le debe sumar aún la correspondiente al extractor (filtro de mangas) y la del tramo que va del filtro hacia el ventilador.

El extractor es un filtro de mangas utilizado en la antigua planta de Kraft. Tiene las siguientes características<sup>16</sup>:

- Marca: Flex Kleem Corp.
- Número de bolsas: 110.
- Área de filtrado: 1320 pies<sup>2</sup>.
- Volumen: 8000 cfm.
- Aire comprimido: 16 cfm @ 90 psi.
- Caída de presión estática : 5 pulg. H<sub>2</sub>O.
- Silenciador: Aero Acoustic Corp “silent flor” 18 - TA - 7B.

Para determinar la pérdida en el tramo desde el extractor hasta el ventilador, se sigue el mismo método descrito para todos los ductos y bajantes de cada una de las zonas principales.

La excepción se da en el caso de dos accesorios incluidos en este tramo: la transformación y el codo de ducto cuadrado. Aquí, se determina una constante K, y con la relación  $\Delta p = (K * v^2 * \rho)/2$  se obtiene la pérdida directamente en Pascales. Este cálculo se hizo de esta manera al no encontrar información acerca de las longitudes equivalentes de dichos accesorios.

---

<sup>16</sup> Datos suministrados por el Ing. Arquímedes Herrera

En las siguientes tablas, se puede ver cuál es entonces la pérdida en esta parte final del sistema.

**Tabla 12: Pérdida de presión estática en el codo de sección rectangular**

R (mm)	A (mm)	B (mm)	R/A	B/A	K	V.real (m/s)	Dens. (Kg / m <sup>3</sup> )	Pérdida (Pa)	Pérdida (mm H <sub>2</sub> O)
304	610	610	0,50	1	0,2	15,72	1,07	26,44	2,70

En este caso, A y B representan el largo y ancho del codo, mientras R representa el radio del mismo.

**Tabla 13: pérdida de presión estática en la transformación**

K	V.real (m/s)	Dens. (Kg / m <sup>3</sup> )	Pérdida (Pa)	Pérd. (mm H <sub>2</sub> O)
2	15,72	1,07	264,42	26,99

Por último, para obtener la caída total de presión estática en todo el sistema, se determina la pérdida en el último tramo.

**Tabla 14: pérdida de presión estática en el tramo filtro - ventilador**

Tramo	Long (m)	Accesorios		Inters.	N°. Re.	D/ε	Fricción	Lon. Eq. (m)	Long. E. (pies)	ΔP (Pa)	ΔP acum. (mm H <sub>2</sub> O)
		Long. (pies)	Codos								
Q - R	2,00	6,56	1-90°, 2-45°	0	5,29E +05	3,39E +03	0,0173	21,51	70,56	96,79	9,88

Con el cálculo de la presión dinámica, se obtiene la presión total que debe vencer el ventilador.

Esta presión se determina mediante la fórmula:  $P_d = (\rho * v^2)/2 * g$ , donde:

- $\rho$  = Densidad del fluido ( $\text{kg} / \text{m}^3$ ).
- $v$  = velocidad ( $\text{m/s}$ ).
- $g$  = gravedad ( $\text{m/s}^2$ ).

Como esta presión es debida a la velocidad y es siempre positiva, se calcula en el tramo que va directamente al ventilador. Su valor sería:

$$P_d = (1,07 \text{ kg} / \text{m}^3 * 9,8 \text{ m/s}^2 (15,72 \text{ m/s})^2) / 2 * 9,8 \text{ m/s}^2 = 13,46 \text{ mm H}_2\text{O}.$$

De esta forma, sumando la caída por presión estática en el punto más crítico, con la caída en el filtro, más la caída en el tramo filtro – ventilador y la pérdida por presión dinámica, se obtiene la presión que debe vencer el ventilador.

$$P_{\text{total}} = (214,6 + 127,0 + 39,57 + 13,46) = 394,63 \text{ mm H}_2\text{O} (15,54 \text{ pulg H}_2\text{O}).$$

### **2.3.2 Selección del ventilador**

El ventilador utilizado es el mismo existente en la antigua planta de Kraft. Cuenta con las siguientes características<sup>17</sup>:

- Caudal entregado: 7170 cfm.
- Presión que levanta: 20"  $\text{H}_2\text{O}$ .
- Diámetro del impulsor: 36,50".
- Velocidad: 1620 r.p.m.
- Potencia: 34,60 Hp.

---

<sup>17</sup> Datos suministrados por el Ing. Arquímedes Herrera

A pesar de que en la nueva planta son más las máquinas que están incluidas en el sistema de extracción, aún puede utilizarse el mismo ventilador, ya que como se observa; sus características son suficientes para poder entregar un buen rendimiento.

La caída total de presión es de 15,54" H<sub>2</sub>O (3867 Pa), y el caudal total del sistema es de 3,187 m<sup>3</sup>/s, lo cual quiere decir que la potencia necesaria es:

- Potencia = 3867 Pa \* 3,187 m<sup>3</sup>/s = 12 318,46 Watts (16,5 Hp).

Sin embargo, se considera un sobredimensionamiento debido a que las máquinas operan al 70% de su capacidad. Esto porque las características del material transportado provocan que las mismas se traben o presenten desgaste mayor cuando operan con capacidades óptimas. Por lo tanto, la potencia final es:

- Potencia = 16,5 Hp / 0,7 = 23,6 Hp.

Es claro que aún el ventilador da la potencia y levanta la caída de presión necesaria en el sistema. Se trata de un ventilador centrífugo con palas curvadas hacia atrás, que no ha presentado problemas con el transporte del polvo del Tang y cuyo funcionamiento ha sido eficiente hasta la actualidad.

## **2.4 COSTO DEL PROYECTO**

En este apartado existen algunas consideraciones que se deben tomar en cuenta:

- La ductería con sus respectivos accesorios fue importada de los Estados Unidos por medio de la empresa Condumet. Por razones de calidad exigida al material de fabricación de los ductos, no se cotizó con ninguna compañía nacional.
- Al ser importados de los E.U.A los diámetros de los ductos vienen dados en pulgadas, y los nombres de codos y demás accesorios en inglés.
- El filtro de mangas al igual que el ventilador son los mismos utilizados en la antigua planta de Kraft, así que no se hizo gasto alguno por concepto de estas máquinas, excepto el mantenimiento que se les dio antes de ponerlas en funcionamiento.
- La instalación estuvo a cargo del señor Carlos Brenes, único con quien se cotizó, por ser una persona de confianza para la empresa y además, por su amplio conocimiento en todo lo que se refiere a instalación de ductos y montaje de maquinaria.
- Algunos ductos, así como los bajantes a las máquinas y las mangueras a los totes no fueron comprados, debido a que se utilizaron los mismos que estaban funcionando antes.
- Teniendo los diámetros y longitudes en cada tramo; y el catálogo enviado por Condumet, se procedió a determinar la cantidad de ductos y accesorios necesarios para realizar la instalación.

- Este dato se envió a dicha empresa con el fin de tener una respuesta especificando los precios (en dólares). Aceptada la oferta, se realizó la compra.

La compra total comprende lo siguiente:

**Tabla 15: Costo de ductos y accesorios**

Descripción	Unidades	Precio Unitario (\$)	Precio Unitario (¢)	Precio Venta (\$)	Precio Venta (¢)
Codo 4" 90°	4	57,11	21 130,70	228,44	84 522,80
Codo 6" 90°	2	66,12	24 464,40	132,24	48 928,80
Codo 7" 90°	1	88,16	32 619,20	88,16	32 619,20
Codo 9" 90°	2	133,39	49 354,30	266,78	98 708,60
Codo 10" 90°	1	162,02	59 947,40	162,02	59 947,40
Codo 12" 90°	2	176,32	65 238,40	352,64	130 476,80
Codo 14" 90°	2	207,56	76 797,20	415,12	153 594,40
Codo 18" 90°	1	270,04	99 914,80	270,04	99 914,80
Codo 20" 90°	2	315,08	116 579,60	630,16	233 159,20
Codo 5" 60°	1	55	20 350,00	55	20 350,00
Codo 6" 60°	1	70,53	26 096,10	70,53	26 096,10
Codo 9" 60°	1	112,31	41 554,70	112,31	41 554,70
Codo 12" 60°	1	136,65	50 560,50	136,65	50 560,50
Ducto 4"	20	30,09	11 133,30	601,8	222 666,00
Ducto 5"	4	32,96	12 195,20	131,84	48 780,80
Ducto 6"	15	39,67	14 677,90	595,05	220 168,50
Ducto 7"	4	48,68	18 011,60	194,72	72 046,40
Ducto 8"	5	54,62	20 209,40	273,1	101 047,00
Ducto 9"	22	59,03	21 841,10	1298,66	480 504,20
Ducto 10"	2	63,63	23 543,10	127,26	47 086,20
Ducto 12"	8	76,09	28 153,30	608,72	225 226,40
Ducto 14"	7	97,47	36 063,90	682,29	252 447,30
Ducto 18"	1	140,29	51 907,30	140,29	51 907,30
Ducto 20"	3	168,27	62 259,90	504,81	186 779,70
Intersección 6,4,7	1	117,2	43 364,00	117,2	43 364,00
Intersección 7,4,8	2	126,11	46 660,70	252,22	93 321,40
Intersección 8,4,9	2	129,17	47 792,90	258,34	95 585,80
Intersección 9,4,10	2	135,12	49 994,40	270,24	99 988,80
Intersección 10,4,12	1	144,12	53 324,40	144,12	53 324,40
Intersección 4,4,4	1	114,23	42 265,10	114,23	42 265,10
Intersección 4,4,5	1	114,23	42 265,10	114,23	42 265,10
Intersección 5,4,6	2	120,17	44 462,90	240,34	88 925,80
Intersección 10,5,12	1	144,12	53 324,40	144,12	53 324,40
Intersección 9,6,6	1	135,12	49 994,40	135,12	49 994,40
Intersección 12,14,18	1	160,22	59 281,40	160,22	59 281,40

Descripción	Unidades	Precio Unitario (\$)	Precio Unitario (¢)	Precio Venta (\$)	Precio Venta (¢)
Intersección 14,4,12	1	191,52	70 862,40	191,52	70 862,40
Colgadero 4"	12	8,62	3189,4	103,44	38 272,80
Colgadero 5"	6	9,58	3544,6	57,48	21 267,60
Colgadero 6"	15	10,92	4040,4	163,8	60 606,00
Colgadero 7"	6	10,92	4040,4	65,52	24 242,40
Colgadero 8"	6	13,03	4821,1	78,18	28 926,60
Colgadero 9"	25	16,1	5957	402,5	148 925,00
Colgadero 10"	4	17,06	6312,2	68,24	25 248,80
Colgadero 12"	10	18,97	7018,9	189,7	70 189,00
Colgadero 14"	6	23,46	8680,2	140,76	52 081,20
Colgadero 18"	2	29,71	10 992,70	59,42	21 985,40
Colgadero 20"	6	32,58	12 054,60	195,48	72 327,60
Grapa con pin 4"	15	10,73	3970,1	160,95	59 551,50
Grapa con pin 5"	6	11,31	4184,7	67,86	25 108,20
Grapa con pin 6"	16	11,88	4395,6	190,08	70 329,60
Grapa con pin 7"	7	12,46	4610,2	87,22	32 271,40
Grapa con pin 8"	7	12,84	4750,8	89,88	33 255,60
Grapa con pin 9"	28	13,42	4965,4	375,76	139 031,20
Grapa con pin 10"	4	14,37	5316,9	57,48	21 267,60
Grapa con pin 12"	12	15,72	5816,4	188,64	69 796,80
Grapa con pin 14"	7	17,06	6312,2	119,42	44 185,40
Grapa con pin 18"	3	19,74	7303,8	59,22	21 911,40
Grapa con pin 20"	5	20,51	7588,7	102,55	37 943,50
Niple 6"	1	18,02	6667,4	18,02	6667,4
Niple 7"	2	21,66	8014,2	43,32	16 028,40
Niple 8"	1	22,29	8247,3	22,29	8247,3
Niple 9"	2	22,92	8480,4	45,84	16 960,80
Niple 10"	2	23,57	8720,9	47,14	17 441,80
Niple 12"	3	27,02	9997,4	81,06	29 992,20
Niple 14"	1	34,38	12 720,60	34,38	12 720,60
Niple 18"	1	49,06	18 152,20	49,06	18 152,20
<b>TOTAL</b>				13 820,57	5 113 610,90

Como se observa en la tabla 15, el costo total por concepto de material es de cinco millones ciento trece mil seiscientos once colones. A esto hay que sumarle el costo por instalación. Por realizar dicho trabajo, el señor Carlos Brenes cotizó en un millón quinientos mil colones, realizable en dos pagos. El acuerdo fue de cincuenta por ciento al inicio y cincuenta por ciento al final.

El presupuesto para realizar este proyecto fue incluido dentro del total por concepto de construcción de la planta nueva de Kraft. Este dato, por tratarse de información confidencial, no fue suministrado; pero es de esperarse que para un proyecto de tal magnitud se haya realizado antes un estudio minucioso de su rentabilidad y del plazo para recuperar la inversión.

**CAPÍTULO 3**  
**Proyecto 2. Programa de lubricación**  
**para Mantenimiento Preventivo**

**3.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

**3.1.1 Definición de Mantenimiento Preventivo**

Es un tipo de mantenimiento basado en la ejecución de inspecciones periódicas a las máquinas e instalaciones en forma planificada, programada y controlada; con el objetivo de detectar desgastes conducentes a falla y corregirlos.

El Mantenimiento Preventivo se basa en inspecciones, que son operaciones realizadas por parte de un especialista (mecánico, electricista, calderero, etc.) con el fin de descubrir las fallas y poder retroalimentar el historial del equipo.

Existen dos tipos de inspección. La primera es aquella que se realiza con la máquina parada, y que tienen que ver con el desarme del componente a revisar. La segunda es la realizada con la máquina en marcha, y que tienen que ver con la medición de los parámetros de funcionamiento.

Con la descripción de la inspección, la persona que diseña el Programa de Mantenimiento Preventivo (PMP) está definiendo el trabajo de mantenimiento preventivo que le permitirá detectar un desgaste conducente a falla. Es decir, la descripción de la inspección hará posible mantener bajo control estos desgastes.

Cuando se habla de orientación en un PMP, se refiere a la acción que debe realizar el operario luego de la revisión.

Existen tres tipos de orientación:

- **Reportar:** Esta se utiliza cuando la corrección del desgaste implique un trabajo mayor. Bajo este tipo de operación el operario no realiza ninguna corrección, sino que verifica el desajuste y lo reporta. El reporte es analizado para determinar si se requiere corrección; y de ser así, esta se hará fuera del tiempo de inspección en la medida de lo posible.
- **Corregir si es necesario:** Este tipo de orientación se basa en el concepto de “criterio preventivo”; el cual debe ser asumido con propiedad por la persona encargada de realizar las inspecciones. Es un concepto que implica un análisis técnico del componente que está siendo inspeccionado para tomar la decisión de cambiarlo o dejarlo en funcionamiento. En caso de ser necesaria una corrección, esta se realiza inmediatamente dentro del tiempo de inspección.
- **Cambiar:** Bajo este tipo de orientación, el operario cambia el componente sin mayor análisis.

### **3.1.2 Características del Mantenimiento Preventivo**

Este tipo de mantenimiento es implantado por medio de un Programa de Mantenimiento Preventivo; y necesita para su funcionamiento de una adecuada organización, ya que se involucran acciones antes y después de efectuar una inspección.

Las acciones antes son aquellas que permiten programar las inspecciones y coordinar con los diferentes departamentos y personal de mantenimiento vinculado con las mismas.

Acciones después son todas aquellas que analizan la información obtenida después de las inspecciones, anotando en el historial de las máquinas los resultados y estudiando dicho historial para hacer los ajustes necesarios al programa.

La instalación del programa varía de acuerdo al tipo de empresa, especialmente en los aspectos referidos a la disponibilidad que pueda tener mantenimiento para realizar las inspecciones con máquina parada y a las posibilidades económicas de la empresa. Es por eso que debe verse como un programa flexible a pesar de que exista un proceso para su implantación, ya que el objetivo principal es poderlo desarrollar satisfactoriamente aún cuando los recursos disponibles sean limitados.

Otra característica importante de un Programa de Mantenimiento Preventivo es el concepto de "criterio preventivo". Aquí, tanto los ingenieros como los técnicos de mantenimiento no deben limitarse a sustituir sólo aquellas piezas que presenten desgastes peligrosos, sino que deben orientar la inspección hacia la revisión, especificando cambio o reparación según sea el estado encontrado.

Es de gran importancia dar al Programa de Mantenimiento Preventivo un seguimiento detallado, de manera que la o las personas encargadas del mismo verifiquen que las inspecciones se están realizando de acuerdo a lo establecido. Esta relación directa con la realidad del programa permitirá compenetrarse con el mismo y realizar los ajustes que sean necesarios.

Este seguimiento "paso a paso" hará efectivo un mejoramiento del programa paralelo al avance del mismo. Además, desarrollará en los operarios el concepto de "mentalidad preventiva", lo cual les va a permitir realizar las inspecciones a conciencia y en forma cuidadosa, de manera que realmente puedan detectar cualquier deficiencia.

### **3.1.3 Objetivos específicos del Mantenimiento Preventivo**

1. Minimizar los paros por fallas de los equipos durante la producción.
2. Lograr que los activos (máquinas, equipos y planta física) no sufran deterioro excesivo o prematuro.
3. Aumentar la vida útil de las máquinas.
4. Lograr que las máquinas funcionen eficientemente garantizando condiciones seguras de operación.
5. Servir como un medio para optimizar los costos de mantenimiento.

### **3.1.4 Etapas en el diseño de un Programa de Mantenimiento Preventivo**

Un Programa de Mantenimiento Preventivo es llevado a cabo mediante el seguimiento de una serie de etapas que culminan con la puesta en marcha del mismo.

En este capítulo se presenta un manual de lubricación que formará parte de un programa de mantenimiento, pero que por sí solo no podría decirse que es un preventivo como tal, ya que este incluye una gran cantidad de inspecciones mecánicas, eléctricas, etc.; que aquí no se toman en cuenta. Además, también involucra generar una serie de papelería de control, como órdenes de trabajo, expedientes de fallas, hojas de historial y otros.

El corto tiempo que se tiene para la presentación de este proyecto, no permite el desarrollo de todo el programa. Aún así, se ha tratado de seguir hasta donde sea posible cada una de las etapas que componen el diseño de un Programa de Mantenimiento Preventivo, con el fin de ajustarlo e incorporarlo al manual existente en Kraft.

## 3.2 ELABORACIÓN DEL MANUAL

### 3.2.1 Etapa N°1: Selección de máquinas

Tomando en cuenta que en Kraft se realiza un proceso productivo en serie, y que una buena lubricación es fundamental para el funcionamiento de cualquier máquina; se han seleccionado todos los equipos que de una u otra manera forman parte del proceso. Las máquinas son las siguientes:

**Tabla 16: Máquinas para el manual de lubricación**

Volcador de sacos	Cernidor 8
Tornillo transportador 1	Cernidor 9
Tornillo transportador 2	Empacadora Rovema 1
Tornillo transportador 3	Empacadora Rovema 2
Tornillo transportador 4	Empacadora Rovema 3
Tornillo transportador 5	Empacadora Rovema 4
Elevador de cangilones 1	Empacadora Bartelt 5
Elevador de cangilones 2	Empacadora Bartelt 6
Elevador de cangilones 3	Empacadora Refillpack 7
Mezcladora 1	Empacadora Mezpack 8
Mezcladora 2	Empacadora Emzo Eux 9
Mezcladora 3	Empacadora Emzo Eux 10
Mezcladora 4	Empacadora Emzo Eux 11
Mezcladora 5	Empacadora Emzo Eux 12
Mezcladora 6	Empacadora MK1000 13
Mezcladora 7	Empacadora MK1000 14
Mezcladora 8	Empacadora Multipack 15
Mezcladora de te	Empacadora Asteguieta 16
Cernidor 1	Empacadora Gap 17
Cernidor 2	Empacadora Maisa 1
Cernidor 3	Empacadora Maisa 2
Cernidor 4	Empacadora Maisa 3
Cernidor 5	Empacadora Maisa 4
Cernidor 6	Empacadora Maisa 5
Cernidor 7	Empacadora Maisa 6

### **3.2.2 Etapa N°2: Valorar el grado de deterioro de las máquinas**

Existe un grado de deterioro normal, causado sobre todo por el desgaste que sufren las máquinas con el tiempo. Debe tomarse en cuenta el hecho de que hay maquinaria nueva, cuyo deterioro no puede ir más allá de los daños menores que haya sufrido en el momento de su montaje e instalación. Así mismo, se trasladaron las máquinas de la planta de Nabisco que estaba ubicada en Pavas. Estas fueron las que presentaron un mayor grado de deterioro, aunque muchas de sus partes han sido reemplazadas.

### **3.2.3 Etapa N°3: Estudio técnico de las máquinas**

Para realizar dicho estudio se contó con el material necesario, es decir, catálogos, planos, manuales e historial de cada máquina. Además, las consultas realizadas a mecánicos e ingenieros fueron de gran ayuda para desarrollar el conocimiento técnico necesario. La excepción ocurrió con algunas máquinas empaquetadoras de gelatina, de las cuales se guardan pocos documentos.

### **3.2.4 Etapa N°4: Formación del archivo técnico**

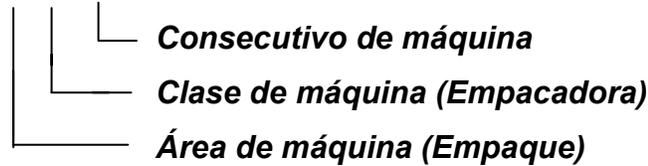
El archivo técnico de cada máquina ya existe. Únicamente y por razones obvias, no se tiene historial de reparaciones de las máquinas nuevas.

### **3.2.5 Etapa N°5: Codificación de las máquinas**

Cada una de las máquinas se encuentra debidamente codificada. Solo se implementó el sistema de codificación a los equipos nuevos, siguiendo el consecutivo de la codificación existente.

El código se desglosa de la siguiente manera:

**EEM03**



La codificación completa es la siguiente:

**Tabla 17: Codificación de los equipos**

Volcador de sacos	ZVS01	Cernidor 8	ZCR08
Tornillo transportador 1	ZTR01	Cernidor 9	ZCR09
Tornillo transportador 2	ZTR02	Empacadora Rovema 1	EEM01
Tornillo transportador 3	ZTR03	Empacadora Rovema 2	EEM02
Tornillo transportador 4	ZTR04	Empacadora Rovema 3	EEM03
Tornillo transportador 5	ZTR05	Empacadora Rovema 4	EEM04
Elevador de cangilones 1	ZEC01	Empacadora Bartelt 5	EEM05
Elevador de cangilones 2	ZEC02	Empacadora Bartelt 6	EEM06
Elevador de cangilones 3	ZEC03	Empacadora Refillpack 7	EEM07
Mezcladora 1	ZMZ01	Empacadora Mezpack 8	EEM08
Mezcladora 2	ZMZ02	Empacadora Emzo Eux 9	EEM09
Mezcladora 3	ZMZ03	Empacadora Emzo Eux 10	EEM10
Mezcladora 4	ZMZ04	Empacadora Emzo Eux 11	EEM11
Mezcladora 5	ZMZ05	Empacadora Emzo Eux 12	EEM12
Mezcladora 6	ZMZ06	Empacadora MK1000 13	EEM13
Mezcladora 7	ZMZ07	Empacadora MK1000 14	EEM14
Mezcladora 8	ZMZ08	Empacadora Multipack 15	EEM15
Mezcladora de te	HMZ01	Empacadora Asteguieta 16	EEM16
Cernidor 1	ZCR01	Empacadora Gap 17	EEM17
Cernidor 2	ZCR02	Empacadora Maisa 1	HEM01
Cernidor 3	ZCR03	Empacadora Maisa 2	HEM02
Cernidor 4	ZCR04	Empacadora Maisa 3	HEM03
Cernidor 5	ZCR05	Empacadora Maisa 4	HEM04
Cernidor 6	ZCR06	Empacadora Maisa 5	HEM05
Cernidor 7	ZCR07	Empacadora Maisa 6	HEM06

Existen tres áreas definidas: mezclas, que se codifica con Z, te; cuyo código es la letra H, y empaque, a la que se le asignó la letra E.

### **3.2.6 Etapa N°6: Parámetros de funcionamiento global**

El único parámetro con el cual se evalúa el Mantenimiento Preventivo son las horas de paro. Para cada máquina se tiene establecida la cantidad de horas de paro semanales debidas a mantenimiento programado. Esto permite establecer un criterio para determinar cuan eficiente es el funcionamiento de la máquina dentro del proceso productivo.

En cuanto a la lubricación, no se cuenta con tiempos de paro para efectuarla, ya que son pocos los puntos que requieren un paro de máquina para ser lubricados.

### **3.2.7 Etapa N°7: Definir los objetivos específicos del M.P.**

Muchos de los problemas que se producen en una máquina se deben -aunque no siempre de forma explícita-, a una mala lubricación. El desgaste de una cadena, la falla en un rodamiento, el desgaste en piñones, etc.; son producto en ocasiones de una lubricación deficiente. Es por eso que con la elaboración y posterior cumplimiento de este manual se pretende elevar la eficiencia de las máquinas aproximadamente en un 5% (actualmente la eficiencia ronda el 50%).

Con una buena lubricación se quiere reducir el número de horas paro, y por ende elevar la producción.

### **3.2.8 Etapa N°8: Dividir la máquina en partes**

Las máquinas existentes en Kraft son muy similares entre sí, debido a que tienen el mismo principio de funcionamiento. Esto permite dividir las partes que serán las mismas para cada una de ellas.

Por ejemplo, una máquina empacadora, ya sea de Tang o gelatina; se divide en: embobinador, formado de sobres, sellado de sobres, transporte de sobres y banda transportadora. En la mayor parte de los casos este patrón se repite, excepto con algunas partes que son exclusivas de cada máquina.

### **3.2.9 Etapa N°9: Dividir las partes de máquina en subpartes**

En esta etapa, para cada parte de máquina se contemplan todos los puntos de lubricación de la misma, evitando así el desglose en subpartes, que en todo caso no es necesario para realizar la lubricación.

### **3.2.10 Etapa N°10: Elaboración del manual de M.P.**

Como se citó anteriormente, en este caso se trata de un manual de lubricación, que formará parte de un mantenimiento preventivo. El mismo se presenta a continuación.



## MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

N. Máquina	Código	Area	Tipo Mto.	Parte	Instrucción	Tiempo	Periodo	Repuestos
Empacadora Rovema #1	EEM01	PSD's	Lubricación	- Formado de sobres	- Limpiar los cojinetes y ejes del carro transportador, pinza y elevadores, aplicar grasa a alemites 1 vez por turno	1.00	Diario	Grasa Crystal FM#2
				- Bomba de lubricación manual	- Accionar la bomba 1 vez por turno y verificar su nivel de aceite. Rellenar de ser necesario.	1.00	Diario	Aceite Epax Fm 460
				- Ejes de levas	- Limpiar las levas y cojinetes. Engrasar levas ligeramente y rellenar los cojinetes con grasa.	30.00	Semanal	Grasa Crystal FM#2
Empacadora Rovema #2	EEM02	PSD's	Lubricación	- Formado de sobres	- Limpiar los cojinetes y ejes del carro transportador, pinza y elevadores, aplicar grasa a alemites 1 vez por turno	1.00	Diario	Grasa Crystal FM#2
				- Bomba de lubricación manual	- Accionar la bomba 1 vez por turno y verificar su nivel de aceite. Rellenar de ser necesario.	1.00	Diario	Aceite Epax Fm 460
				- Ejes de levas	- Limpiar las levas y cojinetes. Engrasar levas ligeramente y rellenar los cojinetes con grasa.	30.00	Semanal	Grasa Crystal FM#2
Empacadora Rovema #3	EEM03	PSD's	Lubricación	- Formado de sobres	- Limpiar los cojinetes y ejes del carro transportador, pinza y elevadores, aplicar grasa a alemites 1 vez por turno	1.00	Diario	Grasa Crystal FM#2
				- Bomba de lubricación manual	- Accionar la bomba 1 vez por turno y verificar su nivel de aceite. Rellenar de ser necesario.	1.00	Diario	Aceite Epax Fm 460
				- Ejes de levas	- Limpiar las levas y cojinetes. Engrasar levas ligeramente y rellenar los cojinetes con grasa.	30.00	Semanal	Grasa Crystal FM#2

Empacadora Rovema #4	EEM04	PSD's	Lubricación	- Formado de sobres	- Limpiar los cojinetes y ejes del carro transportador, pinza y elevadores, aplicar grasa a alemites 1 vez por turno	1.00	Diario	Grasa Crystal FM#2
				- Bomba de lubricación manual	- Accionar la bombaba 1 vez por turno y verificar su nivel de aceite. Rellenar de ser necesario.	1.00	Diario	Aceite Epax Fm 460
				- Ejes de levas	- Limpiar las levas y cojinetes. Engrasar levas ligeramente y rellenar los cojinetes con grasa.	20.00	Semanal	Grasa Crystal FM#2
Empacadora Bartelt #5	EEM05	PSD's	Lubricación	- Panel central de lubricación	- Limpiar cuidadosamente todos los alemites y aplicar suficiente grasa a cada uno.	20.00	Semanal	Grasa Crystal FM#2
				- Llenado	- Revisar nivel de aceite de la caja reductora del transportador por cadena. De ser necesario, ajustar.	5.00	Semanal	Aceite Epax Fm 460
				- Formado de sobres	- Revisar la caja de arrastre de laminado. Aplicar lubricante.	5.00	Semanal	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Empacadora Bartelt #6	EEM06	PSD's	Lubricación	- Panel central de lubricación	- Limpiar cuidadosamente todos los alemites y aplicar suficiente grasa a cada uno.	20.00	Semanal	Grasa Crystal FM#2
				- Llenado	- Revisar nivel de aceite de la caja reductora del transportador por cadena. De ser necesario, ajustar.	5.00	Semanal	Aceite Epax Fm 460
				- Formado de sobres	- Revisar la caja de arrastre de laminado. Limpiar detalladamente y lubricar.	5.00	Semanal	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Empacadora Refillpack #7	EEM07	PSD's	Lubricación	- Llenado	- Limpiar cuidadosamente cada alemite y aplicar grasa en cada uno de ellos.	20.00	Semanal	Grasa Crystal FM#2
					- Revisar y limpiar el reductor, cambiar el aceite.	40.00	Anual	Drop Circa Rio ISO VG 100
				- Banda transportadora de sobres	- Limpiar cada una de las muñoneras y cadena, aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM#2

Empacadora Emzo Eux #9	EEM09	DMs	Lubricación	- Cartonadora	- Limpiar el sistema de varillaje y lubricar con spray, 1 vez por turno	2.00	Diario	Osborn 76308
					- Limpiar cuidadosamente la cadena y aplicar spray, una vez por turno.	5.00	Diario	Osborn 76308
					- Revisar y limpiar caja reductora. Cambiar el aceite.	60.00	Semestral	Aceite Epax Fm 460
				- Sistema dosificador	- Revisar y limpiar la caja de lubricación del dosificador. Cambiar el aceite.	30.00	Semestral	Aceite Epax Fm 460
				- Máquina principal	- Limpiar y revisar detalladamente la caja mecánica, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Empacadora Emzo Eux #10	EEM10	DMs	Lubricación	- Cartonadora	- Limpiar el sistema de varillaje y lubricar con spray, 1 vez por turno	2.00	Diario	Osborn 76308
					- Limpiar cuidadosamente la cadena y aplicar spray, una vez por turno.	5.00	Diario	Osborn 76308
					- Revisar y limpiar caja reductora. Cambiar el aceite.	60.00	Semestral	Aceite Epax Fm 460
				- Sistema dosificador	- Limpiar y revisar la caja de lubricación del dosificador. Cambiar el aceite.	30.00	Semestral	Aceite Epax Fm 460
				- Máquina principal	- Limpiar y revisar detalladamente la caja mecánica, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460

Empacadora Emzo Eux #11	EEM11	DMs	Lubricación	- Banda transportadora de sobres	- Limpiar cada una de las muñoneras y aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
				- Sistema dosificador	- Limpiar y revisar la caja reductora, cambiar el aceite.	60.00	Semestral	Aceite Epax Fm 460
				- Máquina principal	- Limpiar y revisar detalladamente la caja mecánica, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Empacadora Emzo Eux #12	EEM12	DMs	Lubricación	- Banda transportadora de sobres	- Limpiar cada una de las muñoneras y aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
				- Máquina principal	- Limpiar y revisar detalladamente la caja mecánica, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Empacadora MK 1000 #13	EEM13	DMs	Lubricación	- Banda transportadora de sobres	- Limpiar cada una de las muñoneras y aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
				- Sistema dosificador	- Limpiar y revisar la caja reductora, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
				- Máquina principal	- Limpiar y revisar detalladamente la caja mecánica, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Empacadora MK 1000 #14	EEM14	DMs	Lubricación	- Banda transportadora de sobres	- Limpiar cada una de las muñoneras y aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
				- Máquina principal	- Limpiar y revisar detalladamente la caja mecánica, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460

Empacadora Multipack #15	EEM15	DMs	Lubricación	- Ejes de levas	- Desarmar y limpiar con cuidado el sistema de varillaje de los carros. Aplicar grasa.	30.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2
				- Banda transportadora de sobres	- Limpiar cada una de las muñoneras y aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2
				- Máquina principal	- Limpiar y revisar la caja reductora principal, aplicar la cantidad de aceite necesaria.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Empacadora Mezpack #8	EEM08	DMs	Lubricación	- Ejes de levas	- Desarmar y limpiar con cuidado el sistema de varillaje de los carros. Aplicar grasa.	30.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2
				- Banda transportadora de sobres	- Limpiar cada una de las muñoneras y aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2
				- Máquina principal	- Limpiar y revisar la caja reductora principal, aplicar la cantidad de aceite necesaria.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Empacadora Asteguieta #16	EEM16	DMs	Lubricación	- Máquina principal	- Limpiar cuidadosamente las cadenas impulsoras del sistema mecánico y aplicar aceite a los eslabones.	20.00	Semanal	Aceite Epax Fm 460
					- Limpiar cuidadosamente las cadenas inferiores y aplicar aceite a los eslabones.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Empacadora Maisa #1	HEM01	TE	Lubricación	- Máquina principal	- Limpiar y revisar detalladamente la caja mecánica, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Empacadora Maisa #2	HEM02	TE	Lubricación	- Máquina principal	- Limpiar y revisar detalladamente la caja mecánica, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Empacadora Maisa #3	HEM03	TE	Lubricación	- Máquina principal	- Limpiar y revisar detalladamente la caja mecánica, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460

Empacadora Maisa #4	HEM04	TE	Lubricación	- Máquina principal	- Limpiar y revisar detalladamente la caja mecánica, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Empacadora Maisa #5	HEM05	TE	Lubricación	- Máquina principal	- Limpiar y revisar detalladamente la caja mecánica, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Empacadora Maisa #6	HEM06	TE	Lubricación	- Máquina principal	- Limpiar y revisar detalladamente la caja mecánica, cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Volcador de sacos	ZVS01	Azúcar	Lubricación	- Motorreductor	- Limpiar y revisar el motorreductor cuidadosamente, y cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Cerridor 1	ZCR01	Azúcar	Lubricación	- Motorreductor	- Limpiar y revisar el motorreductor cuidadosamente, y cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Tornillo transportador 1	ZTR01	Azúcar	Lubricación	- Sistema mecánico	- Eliminar toda grasa o suciedad de los aletas en muñoneras y aplicar grasa.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W90
Elevador de cangilones 1	ZEO01	Azúcar	Lubricación	- Sistema mecánico	- Eliminar toda grasa o suciedad de los aletas en muñoneras y aplicar grasa.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W90
Tornillo transportador 2	ZTR02	Azúcar	Lubricación	- Sistema mecánico	- Eliminar toda grasa o suciedad de los aletas en muñoneras y aplicar grasa.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W90

Tornillo transportador 3	ZTR03	Azúcar	Lubricación	- Sistema mecánico	- Eliminar toda grasa o suciedad de los alemites en muñoneras y aplicar grasa.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Elevador de cangilones 2	ZEC02	Azúcar	Lubricación	- Sistema mecánico	- Eliminar toda grasa o suciedad de los alemites en muñoneras y aplicar grasa.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Elevador de cangilones 3	ZEC03	Azúcar	Lubricación	- Sistema mecánico	- Eliminar toda grasa o suciedad de los alemites en muñoneras y aplicar grasa.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Tornillo transportador 4	ZTR04	Azúcar	Lubricación	- Sistema mecánico	- Eliminar toda grasa o suciedad de los alemites en muñoneras y aplicar grasa.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Tornillo transportador 5	ZTR05	Azúcar	Lubricación	- Sistema mecánico	- Eliminar toda grasa o suciedad de los alemites en muñoneras y aplicar grasa.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460

Mezcladora 1	ZMZ01	Mezclado	Lubricación	- Sistema mecánico	- Limpiar detalladamente todos los residuos de polvo en las muñoneras, aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Cernidor 2	ZCR02	Mezclado	Lubricación	- Motorreductor	- Limpiar y revisar el motorreductor cuidadosamente, y cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Mezcladora 2	ZMZ02	Mezclado	Lubricación	- Sistema mecánico	- Limpiar detalladamente todos los residuos de polvo en las muñoneras, aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Cernidor 3	ZCR03	Mezclado	Lubricación	- Eje principal	Limpiar detalladamente y aplicar grasa a todos los alemites de las muñoneras.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2
Mezcladora 3	ZMZ03	Mezclado	Lubricación	- Sistema mecánico	- Limpiar detalladamente todos los residuos de polvo en las muñoneras, aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
					- Desarmar y limpiar detalladamente el sistema de transporte por cadena, aplicar la grasa correspondiente.	40.00	Mensual	Polo Xhd Red-Ep
Cernidor 4	ZCR04	Mezclado	Lubricación	- Eje principal	Limpiar detalladamente y aplicar grasa a todos los alemites de las muñoneras.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2

Mezcladora 4	ZMZ04	Mezclado	Lubricación	- Sistema mecánico	- Limpiar detalladamente todos los residuos de polvo en las muñoneras, aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Cernidor 5	ZCR05	Mezclado	Lubricación	- Eje principal	Limpiar detalladamente y aplicar grasa a todos los alemites de las muñoneras.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2
Mezcladora 5	ZMZ05	Mezclado	Lubricación	- Sistema mecánico	- Limpiar detalladamente todos los residuos de polvo en las muñoneras, aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Cernidor 6	ZCR06	Mezclado	Lubricación	- Eje principal	Limpiar detalladamente y aplicar grasa a todos los alemites de las muñoneras.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2
Mezcladora 6	ZMZ06	Mezclado	Lubricación	- Sistema mecánico	- Limpiar detalladamente todos los residuos de polvo en las muñoneras, aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
					- Desarmar y limpiar detalladamente el sistema de transporte por cadena, aplicar la grasa correspondiente.	40.00	Mensual	Polo Xhd Red-Ep
Cernidor 7	ZCR07	Mezclado	Lubricación	- Eje principal	Limpiar detalladamente y aplicar grasa a todos los alemites de las muñoneras.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM #2

Mezcladora 7	ZMZ07	Mezclado	Lubricación	- Sistema mecánico	- Limpiar detalladamente todos los residuos de polvo en las muñoneras, aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Cernidor 8	ZCR08	Mezclado	Lubricación	- Eje principal	Limpiar detalladamente y aplicar grasa a todos los alemites de las muñoneras.	10.00	Semanal	Grasa Crystal FM#2
Mezcladora 8	ZMZ08	Mezclado	Lubricación	- Sistema mecánico	- Limpiar detalladamente todos los residuos de polvo en las muñoneras, aplicar grasa en los alemites.	10.00	Semanal	Polo Xhd Red-Ep
					- Limpiar y revisar detalladamente la caja reductora, realizar el cambio de aceite.	60.00	Anual	Epax Gear Oil SAE 80W 90
Cernidor 9	ZCR09	Mezclado	Lubricación	- Motorreductor	- Limpiar y revisar el motorreductor cuidadosamente, y cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460
Mezcladora de te	HMZ01	Mezclado	Lubricación	- Reductor	- Limpiar y revisar el motorreductor cuidadosamente, y cambiar el aceite.	60.00	Anual	Aceite Epax Fm 460

### **3.2.11 Etapa N°11: Determinar los repuestos requeridos para ejecutar cada inspección**

Lo principal en esta parte es determinar el tipo de lubricante que requiere cada punto de máquina. Así, con base en el período y la frecuencia, se puede saber la cantidad que debe haber en stock.

### **3.2.12 Etapa N° 12: Determinar la disponibilidad para Mantenimiento Preventivo**

Como se había descrito en la etapa número seis, para la lubricación no existen tiempos de paro pues se trabaja con equipos redundantes.

### **3.2.13 Etapa N°13: Elaboración del Gantt Anual**

El Gantt Anual es un cuadro que permite la distribución en el tiempo de las inspecciones.



**MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
LUBRICACIÓN**

- Lubricación por efectuar
- Lubricación no efectuada
- Lubricación efectuada

Máquina	Punto	Mes	Enero					Febrero					Marzo					Abril					Mayo					Junio					Julio				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Empacadoras Rovema	- Eje de levas	Semana	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Empacadoras Bartelt	- Panel central de lubricación - Llenado - Formado de sobres		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Empacadora Refillpack	- Llenado Alemites Motorreductor		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Empacadoras Emzo Eux	- Cartonadora Caja reductora - Sistema dosificador - Máquina principal		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Empacadoras MK1000	- Banda transportadora de sob - Sistema dosificador - Máquina principal		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Empacadora Multipack	- Banda transportadora de sob - Eje de levas - Máquina principal		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/







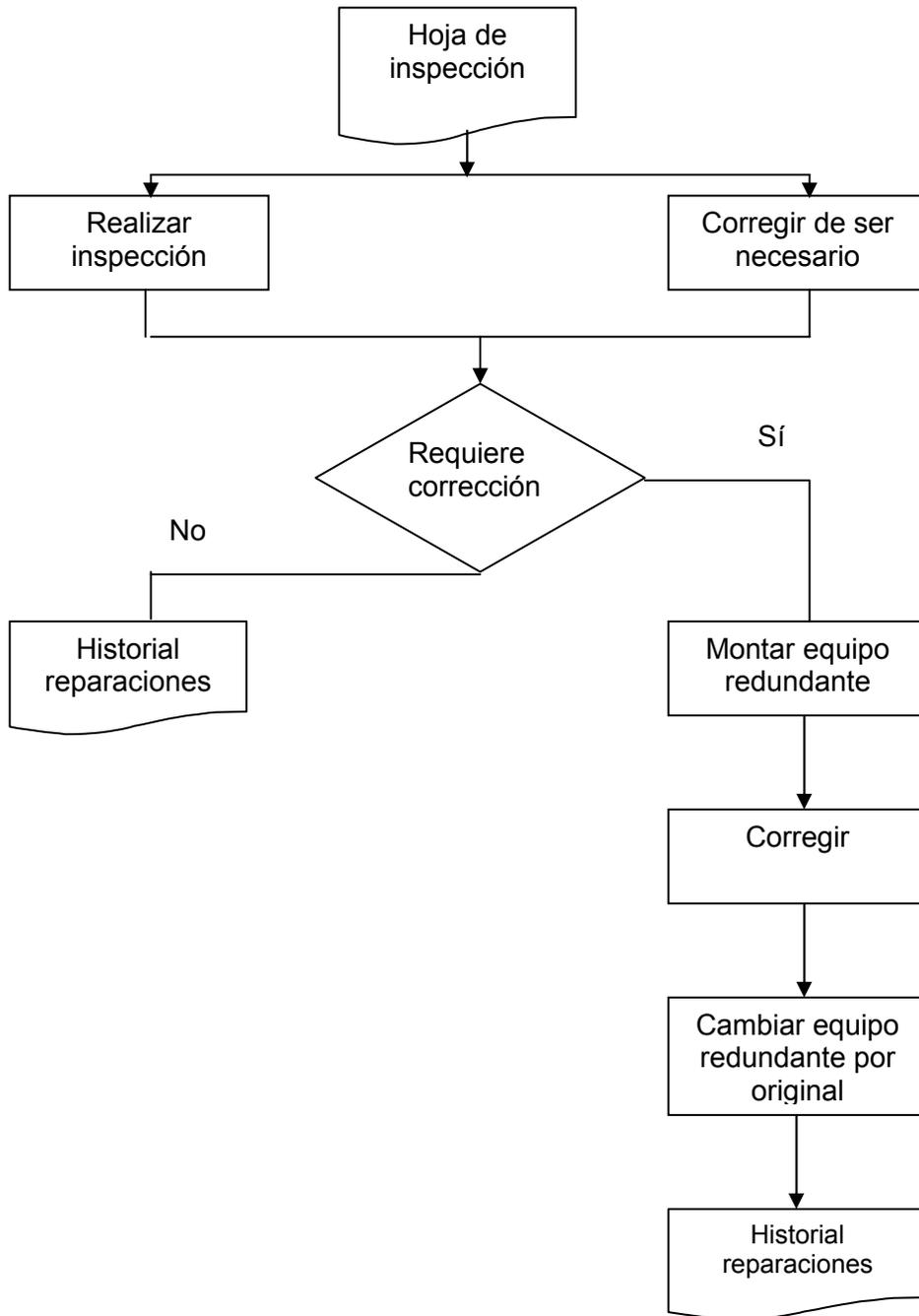
**MANTENIMIENTO PREVENTIVO LUBRICACIÓN**

- Por efectuar
- No efectuada
- Efectuada

Máquina	Punto	Mes	Agosto					Setiembre					Octubre					Noviembre					Diciembre									
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
Empacadora Mezpack	- Banda transportadora de sobres - Eje de levas - Máquina principal	Semana	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Empacadora Asteguieta	- Máquina principal Cadenas impulsoras Cadenas inferiores		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Empacadoras Maisa	- Máquina principal																															
Volcador de sacos	- Motorreductor																															
Elevadores de cangilones	- Sistema mecánico Muñoneras Caja reductora		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Tornillos transpotadores	- Sistema mecánico Muñoneras Caja reductora		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Cernidores	- Motorreductor - Eje principal		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Mezcladoras	- Sistema mecánico Muñoneras Caja reductora Transporte por cadena		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

### 3.2.14 Etapa N° 14: Organizar la ejecución de las inspecciones

Las inspecciones seguirán el siguiente procedimiento:



Como se había descrito con anterioridad, el proyecto que se presenta es sólo parte de un Programa de Mantenimiento Preventivo. El poco tiempo con el que se cuenta para realizar este trabajo imposibilita llevar a cabo las demás etapas que componen un PMP en su totalidad.

Hay que destacar que el costo de dicho mantenimiento es, además, un dato que se maneja con mucha confidencialidad dentro de la compañía, por lo cual no se presenta ninguna información al respecto en este documento.

## **CAPÍTULO 4**

### **Proyecto 3. Implementación de base de datos para mantenimiento preventivo**

#### **4.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

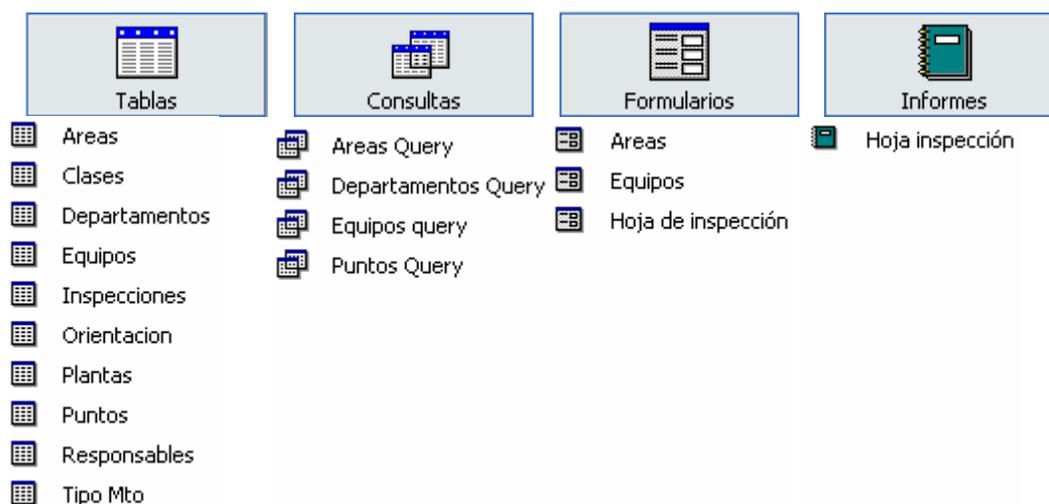
##### **4.1.1 Conceptos importantes**

Una base de datos es una colección de datos relacionados acerca de una organización, con múltiples usos. Está compuesta de una serie de elementos importantes, a saber:

- **Tablas:** Es donde se almacenan los datos y se guarda información acerca de algún aspecto específico.
- **Consultas:** Son preguntas a la base de datos para obtener parte de la información almacenada en una o varias tablas. Pueden ser de tres tipos: de selección, de tablas cruzadas y de acción.
- **Formularios:** Son ventanas que presentan un cuadro de texto por cada uno de los campos en la tabla. Cada formulario tiene una tabla asociada, de la cual tomará la información.
- **Informes:** Sirven para presentar la información contenida en una base de datos en un formato impreso. En la creación de un informe, se tiene control sobre los diferentes elementos de este, y se presenta la información como se desea que sea vista.

## 4.2 COMPOSICIÓN DE LA BASE DE DATOS

La base de datos contiene todo lo concerniente al mantenimiento. Está compuesta de diez tablas, cuatro consultas, tres formularios y un informe, como se muestra en la siguiente figura:



**Ilustración 11: Vista de base de datos**

### 4.2.1 Contenido de las tablas y sus relaciones

Es importante dar a conocer la información que se brinda por medio de las tablas y las relaciones que estas tienen entre sí, ya que de esa manera se logra una mayor comprensión de la orientación que tiene la base de datos. Su relación es en todos los casos de uno a muchos, donde cada uno de los registros de la tabla primaria puede ser asociado con muchos registros de otra tabla relacionada.



Ilustración 12: Relaciones entre tablas

El contenido específico de cada tabla, así como sus respectivas llaves primarias se observa en la siguiente tabla-resumen:

**Tabla 18: Contenido y llaves primarias de tablas**

<b>TABLA</b>	<b>CONTENIDO</b>	<b>LLAVE PRIMARIA</b>
- <b>Plantas</b>	Nombre y código de planta.	Código de planta
- <b>Departamentos</b>	Nombre y código de departamento, así como un código interno para las clases.	C. planta+C.departamento.
- <b>Áreas</b>	Nombre y código de área, y responsable de cada una de ellas.	C. planta+C.departamento.+C. área.
- <b>Equipos</b>	Nombre y código de equipo, clase, serie, fabricante, modelo y fecha de instalación.	C. planta+C.departamento.+C. área+C. equipo.
- <b>Puntos</b>	Nombre y código de punto, orientación, duración, responsable y frecuencia.	C. planta+C.departamento.+C. área+C. equipo+C. punto.
- <b>Inspecciones</b>	Código de inspección, inspector, acción, condición, responsable y N° de O.T.	C. planta+C.departamento.+C. área+C. equipo+C. punto+C. inspección.
- <b>Orientación</b>	Código y tipo de orientación.	Código de orientación.
- <b>Responsables</b>	Código y nombre del responsable.	Código del responsable.
- <b>Tipo mantenimiento</b>	Tipo y código de mantenimiento	Código de mantenimiento.

#### 4.2.2 Consultas

Se realizaron cuatro consultas que se consideraron como necesarias para lograr acceder directamente a los datos deseados, dejando de lado toda aquella información que no se considera relevante en un momento dado. Las consultas son de departamentos, áreas, equipos y puntos de lubricación.

Como muestra se presentan dos de ellas, la de áreas y la de departamentos.

Areas Query					
C-planta	C-departamento	C-área	N-planta	N-departamento	N-área
1	1	1	Kraft	Mezclas	Azúcar
1	1	2	Kraft	Mezclas	Premix
1	1	3	Kraft	Mezclas	Mezclado
1	1	4	Kraft	Mezclas	Totes
1	2	1	Kraft	Empaque	PBS
1	2	2	Kraft	Empaque	DM
1	3	1	Kraft	Te	Mezclado
1	3	2	Kraft	Te	Empaque
1	4	1	Kraft	Tubolín	Premix
1	4	2	Kraft	Tubolín	APV
1	4	3	Kraft	Tubolín	Hassia
1	4	4	Kraft	Tubolín	Empaque
1	5	1	Kraft	Polvo Hornear	Mezclas
1	5	2	Kraft	Polvo Hornear	Empaque

**Ilustración 13: Vista de consulta de áreas**

<b>Departamentos Query</b>		
<b>N-planta</b>	<b>N-departamento</b>	<b>CIK</b>
Kraft	Mezclas	Z
Kraft	Empaque	E
Kraft	Te	H
Kraft	Tubolín	L
Kraft	Polvo Hornear	V

**Ilustración 14: Vista de consulta de departamentos**

#### **4.2.3 Formularios**

Se crearon tres formularios; áreas, equipos y el de inspecciones. A partir del último se genera una de las dos hojas de inspección con las que se trabajará.

#### **4.2.4 Informes**

Se hizo un único informe a partir del cual se obtiene la hoja de inspección en un formato impreso. Los elementos que se controlan por medio del mismo se aprecian en la siguiente ilustración.



Kraft Foods Costa Rica

Mantenimiento preventivo

# Hoja de inspección

Número de punto

Planta	<input type="text"/>	CIK	<input type="text"/>	Fabricante	<input type="text"/>
Departamento	<input type="text"/>	Equipo	<input type="text"/>	Modelo	<input type="text"/>
Área	<input type="text"/>			QCP	<input type="text"/>
Punto	<input type="text"/>	Trabajo	<input type="text"/>	Descripción	<input type="text"/>
Frecuencia	<input type="text"/> días	Repuestos y Materiales	<input type="text"/>		
Orientación	<input type="text"/>				
Duración	<input type="text"/> minutos				
Responsable	<input type="text"/>				

## Retroalimentación

Fecha inspección	Condición encontrada	Acción	Responsable	Prioridad	# OT	Resultado
<input type="text"/>						
Inspector			Fecha requerido	Fecha corregido		
<input type="text"/>			<input type="text"/>	<input type="text"/>		

Ilustración 15: Hoja de inspección 1



## **CONCLUSIONES**

- El sistema de succión de polvo permite tener un ambiente de trabajo adecuado para preservar la salud de los trabajadores, debido a que con su diseño se ha logrado reducir al mínimo la cantidad de partículas circundantes. Así mismo, con dicho sistema el paro de máquinas por concepto de daños en relación con el polvo tiende a disminuir. Esto porque la nueva instalación se ha mejorado con respecto a la anterior, en cuanto a la forma y distribución de los ductos.
- Es de suma importancia contar siempre con un manual de lubricación detallado, en el cual se especifiquen tanto los puntos de lubricación como el respectivo lubricante que se debe utilizar. Tratándose de una industria alimenticia (como el caso que aquí se presenta) dicho proceso debe realizarse con mucho cuidado, analizando la posibilidad existente de que el producto haga contacto con algún punto de lubricación; para utilizar en dicho punto un lubricante grado alimenticio que evite la contaminación del producto final. Además, se puede concluir con base en lo que se observó, que la lubricación de las máquinas permite efectivamente un mejor funcionamiento de las mismas, debido a que se reduce la fricción entre sus diferentes partes y se permite a la vez, un enfriamiento de aquellos elementos que así lo requieren. Se espera, entonces, que a un plazo no muy lejano la eficiencia de los equipos aumente como mínimo un 5%.
- La base de datos permite un control más efectivo en la administración del mantenimiento, ya que logra un ordenamiento de todos los elementos concernientes al mismo. Además, se puede obtener también una actualización continua de todos los aspectos que de una u otra forma tengan que irse modificando, convirtiéndose en un medio que da como resultado constantes mejoras en la administración y control del mantenimiento.

## **RECOMENDACIONES**

- Dar un mantenimiento adecuado al ventilador , lo cual incluye la lubricación en motores y chumaceras, así como la verificación de ajustes de persianas, pernos, consumo de corriente y limpieza de álabes y demás elementos.
- Con respecto al sistema de succión de polvo, se recomienda cambiar las mangueras con las cuales se extrae el mismo en las cargas a los totes. Actualmente estas son de dos pulgadas de diámetro; provocando pérdidas elevadas. Lo ideal es que sean de cuatro pulgadas, para disminuir pérdidas y concordar con el diámetro de los ductos.
- Tener en stock reservas suficientes de los aceites y grasas recomendados, de forma que no sea necesario llegar a utilizar un lubricante, spray u otro afín que de alguna manera pueda provocar la contaminación del producto. Se recomienda hacer un estudio profundo de la cantidad real que requiere cada punto, ya que solo de esa manera se puede establecer un criterio comparativo contra lo realizado actualmente.
- Seguir el programa de lubricación cada día, mes, etc,. Esto es de suma importancia ya que no son pocas las ocasiones en las cuales un proceso de mantenimiento preventivo que fue bien iniciado no se le da continuidad, ya sea por un cambio de personal, o simplemente porque no se ve como necesario. Es importante introducir al programa cualquier máquina o equipo que se incorpore a la compañía, así como estar atento a los cambios que puedan realizarse a los existentes actualmente, para estar al tanto de los manuales de preventivo y por supuesto, de la base de datos. Sólo controlando debidamente cada uno de los aspectos relacionados con el mantenimiento, se puede alcanzar un mejor control y administración del mismo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- BROTHERS, EDWARD. Industrial Ventilation. A manual of recommended practice/Edward Brothers Incorporate—United States of América C.I.V (Committee on Industrial Ventilation), fifteenth edition, 1979—páginas 6-1 – 6-10.
- MOTT, ROBERT. Mecánica de fluidos aplicada/Robert Mott.—México: Editorial Prebtice – Hall Hispanoamericana, S.A.,1996—páginas 222-237-240.
- PACHECO M, RICARDO. Lubricación, principios básicos/Ricardo Pacheco M—San José, 2000.
- ROJAS VARGAS, JUAN. Folleto ventilación y ventiladores/Juan Rojas Vargas—Cartago,2000—páginas 13-27.
- SANABRIA J, CHRISTIAN. Microsoft Acces 97/Christian Sanabria J—Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 1999—páginas 13-111.
- VALVERDE VEGA, JORGE. Administración de Mantenimiento I/Jorge Valverde Vega—Cartago,2000—páginas 12-47.
- Catálogo de lubricantes POLO.
- Filtros Torit, la solución. TORIT S.A. 20-09-2002, [www.Filtrostorit.com](http://www.Filtrostorit.com).

## Apéndice A

Tabla 19 Nomenclatura

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDADES S.I.
- Re	Número de Reynolds	
- V	Velocidad de fluido	m/s
- D	Diámetro de ducto	m
- $\nu$	Viscosidad cinemática del fluido	m <sup>2</sup> /s
- f	Factor de fricción	
- L	Longitud de ducto	m
- g	Gravedad = 9,8	m/s <sup>2</sup>
- $\Delta p$	Pérdida de presión	Pa
- Q	Caudal	m <sup>3</sup> /s
- A	Área de ducto	m <sup>2</sup>
- $\rho$	Densidad	Kg / m <sup>3</sup>
- Pd	Presión dinámica	Pa
- E	Rugosidad relativa	m

**Tabla 20: Fórmulas utilizadas**

DESCRIPCIÓN	FÓRMULA
- Número de Reynolds	$\frac{VxD}{\nu}$
- Ecuación de Darcy	$f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g}$
- Caída de presión por unidad longitud	$f \times \rho \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g}$
- Caudal	$Q \equiv V \times A$
- Área	$A \equiv \frac{Q}{V}$
- Área	$A \equiv \pi \times \frac{D^2}{4}$
- Rugosidad	$\frac{D}{E}$
- Presión dinámica	$\frac{\rho \times v^2}{2 \times g}$

## Apéndice B

### Rango de velocidades de diseño

TABLE 4-2. RANGE OF DESIGN VELOCITIES

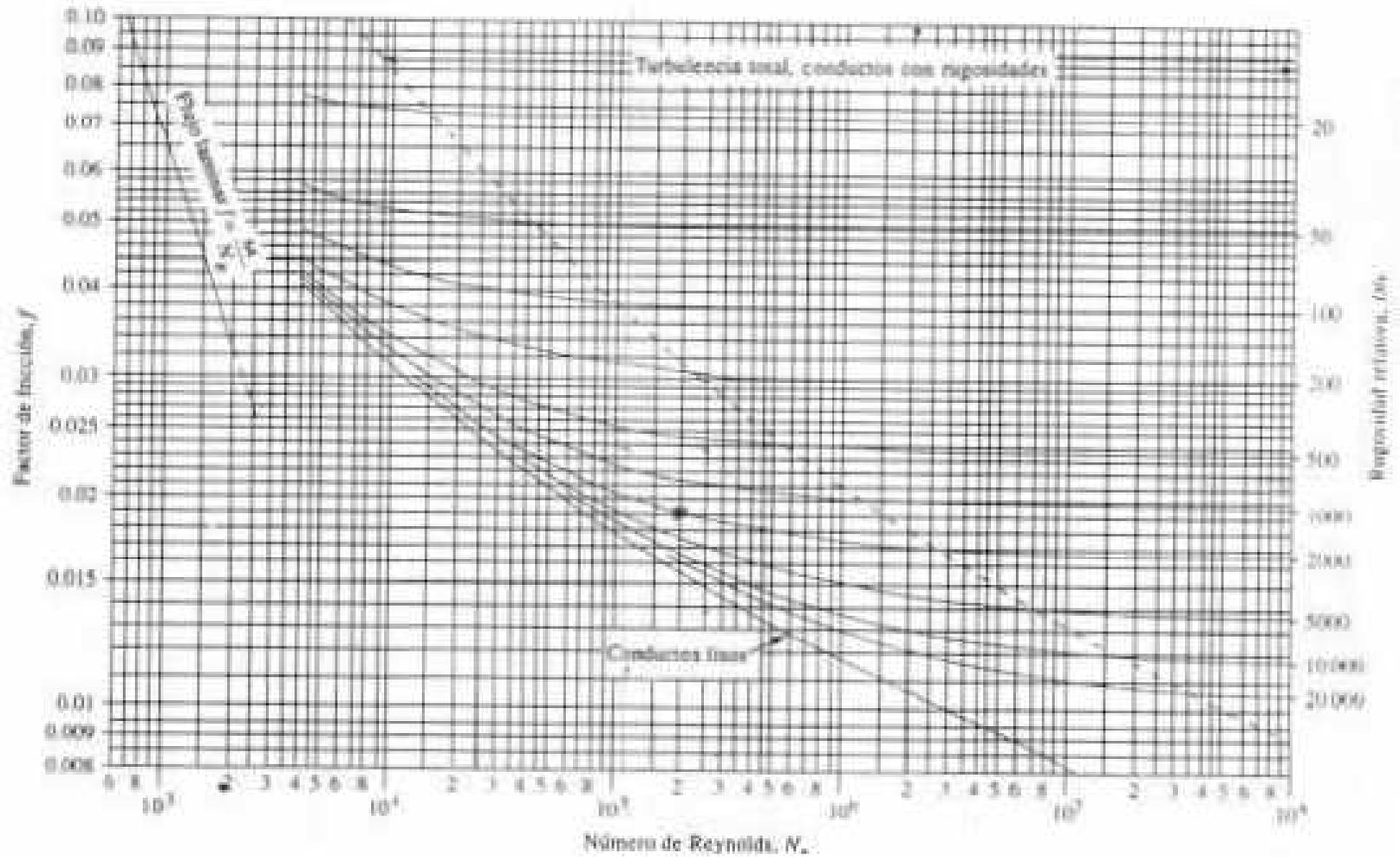
Nature of Contaminant	Examples	Design Velocity
Vapors, gases, smoke	All vapors gases and smokes	Any desired velocity (economic optimum velocity usually 1000-1200 fpm)
Fumes	Zinc and aluminum oxide fumes	1400-2000
Very fine light dust	Cotton lint, wood flour, litho powder	2000-2500
Dry Dusts and powders	Fine rubber dust, Bakelite molding powder dust, jute lint, cotton dust, shavings (light), soap dust, leather shavings	2500-3500
Average industrial dust	Sawdust (heavy and wet), grinding dust, buffing lint (dry), wool jute dust (shaker waste), coffee beans, shoe dust, granite dust, silica flour, general material handling, brick cutting, clay dust, foundry (general), limestone dust, packaging and weighing asbestos dust in textile industries	3500-4000
Heavy dusts	Metal turnings, foundry tumbling barrels and shakeout, sand blast dust, wood blocks, hog waste, brass turnings, cast iron boring dust, lead dust	4000-4500
Heavy or moist dusts	Lead dust with small chips, moist cement dust, asbestos chunks from transite pipe cutting machines, buffing lint (sticky), quick-lime dust	4500 and up

Propiedades del aire

# E Propiedades del aire

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

## Diagrama de Moody



### Factores de corrección de densidad

AIR DENSITY CORRECTION FACTOR, d													
Altitude, ft.		-1000	Sea Level	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10,000
Barometer	"Hg	31.02	29.92	28.86	27.82	26.82	25.84	24.90	23.98	23.09	22.22	21.39	20.58
	"Wg	422.2	407.5	392.8	378.6	365.0	351.7	338.9	326.4	314.3	302.1	291.1	280.1
Air Temp.	-40	1.31	1.26	1.22	1.17	1.13	1.09	1.05	1.01	0.97	0.93	0.90	0.87
	F	0	1.19	1.15	1.11	1.07	1.03	0.99	0.95	0.91	0.89	0.85	0.82
	40	1.10	1.06	1.02	0.99	0.95	0.92	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73
	70	1.04	1.00	0.96	0.93	0.89	0.86	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69
	100	.98	0.95	0.92	0.88	0.85	0.81	0.78	0.75	0.73	0.70	0.68	0.65
	150	.90	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75	0.72	0.69	0.67	0.65	0.62	0.60
	200	.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69	0.66	0.64	0.62	0.60	0.57	0.55
	250	.77	0.75	0.72	0.70	0.67	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.51
	300	.72	0.70	0.67	0.65	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48
	350	.68	0.65	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.49	0.47	0.45
	400	.64	0.62	0.60	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48	0.46	0.44	0.42
	450	.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.42	0.40
	500	.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.43	0.41	0.39	0.38
	550	.54	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41	0.39	0.38	0.36
	600	.52	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.41	0.40	0.39	0.37	0.35	0.34
	700	.47	0.46	0.44	0.43	0.41	0.39	0.38	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32
	800	.44	0.42	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29
	900	.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27
	1000	.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25

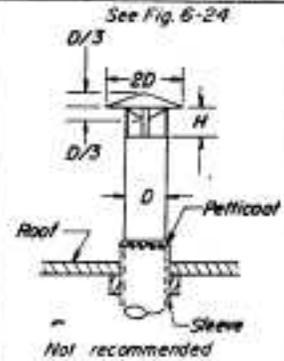
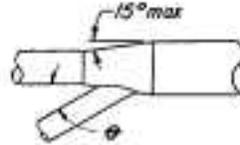
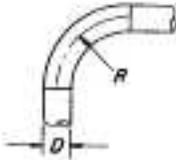
Standard Air Density, Sea Level, 70 F = 0.075 # / ft<sup>3</sup>

# Longitud equivalente de accesorios

WEIGHT FACTORS

6-2

## EQUIVALENT RESISTANCE IN FEET OF STRAIGHT PIPE



Pipe D	90° Elbow * Centerline Radius			Angle of Entry		H, No of Diameters		
	1.5 D	2.0 D	2.5 D	30°	45°	1.0	.75 D	.5 D
3"	5	3	3	2	3	2	2	9
4"	6	4	4	3	5	2	3	12
5"	9	6	5	4	6	2	4	16
6"	12	7	6	5	7	3	5	20
7"	13	9	7	6	9	3	6	23
8"	15	10	8	7	11	4	7	26
10"	20	14	11	9	14	5	9	36
12"	25	17	14	11	17	6	11	44
14"	30	21	17	13	21	7	13	53
16"	36	24	20	16	25	9	15	62
18"	41	28	23	18	29	10	18	71
20"	46	32	26	20	32	11	20	80
24"	57	40	32			13	24	92
30"	74	51	41			17	31	126
36"	93	64	52			22	39	159
40"	105	72	59					
48"	130	89	73					

\* For 60° elbows — 0.67 x loss for 90°  
 45° elbows — 0.5 x loss for 90°  
 30° elbows — 0.33 x loss for 90°

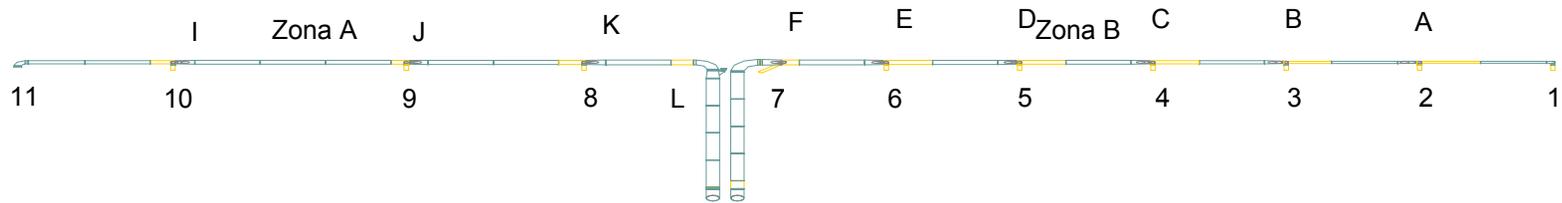
AMERICAN CONFERENCE OF  
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

DUCT DESIGN DATA

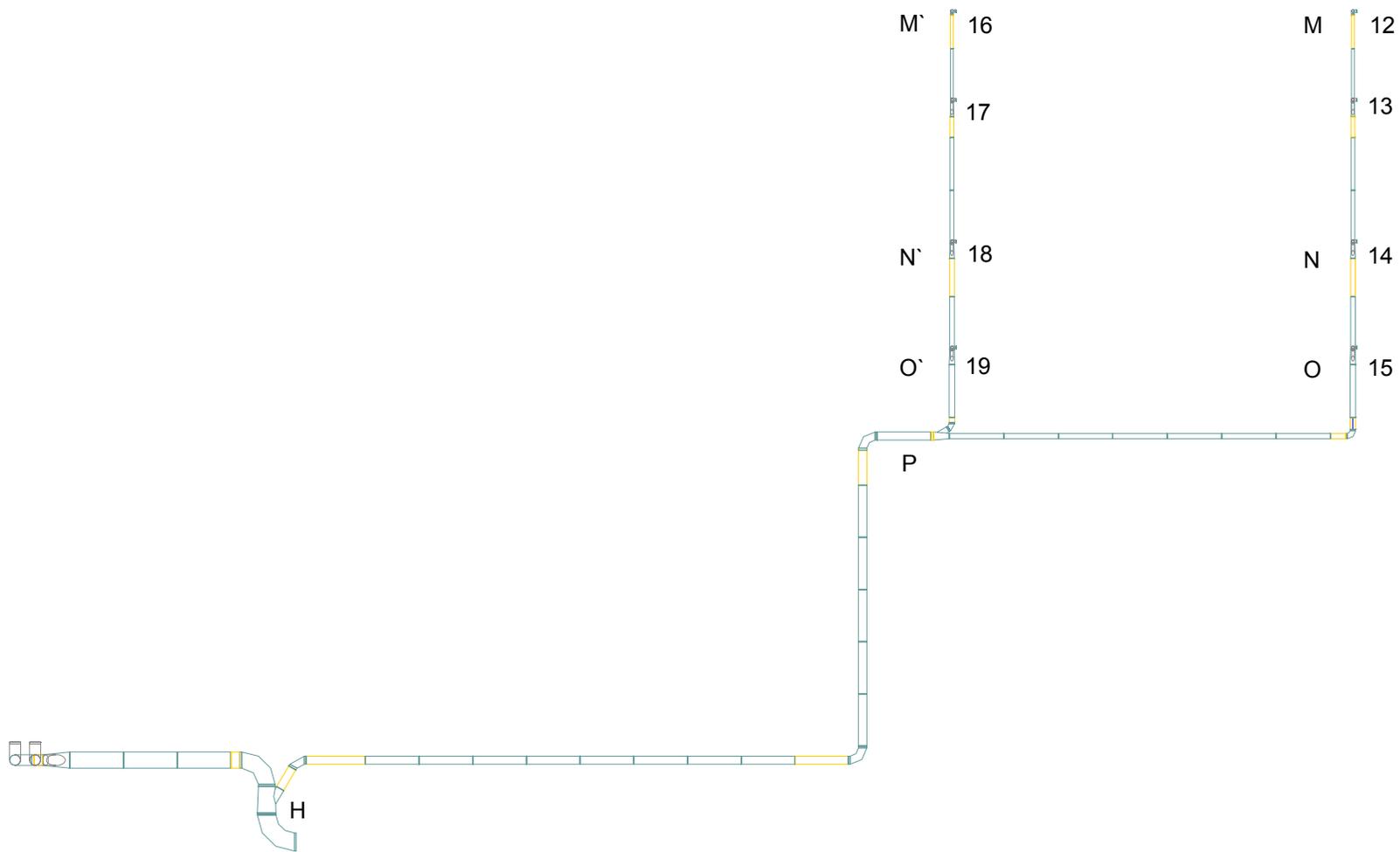
DATE 1-76

Fig. 6-11

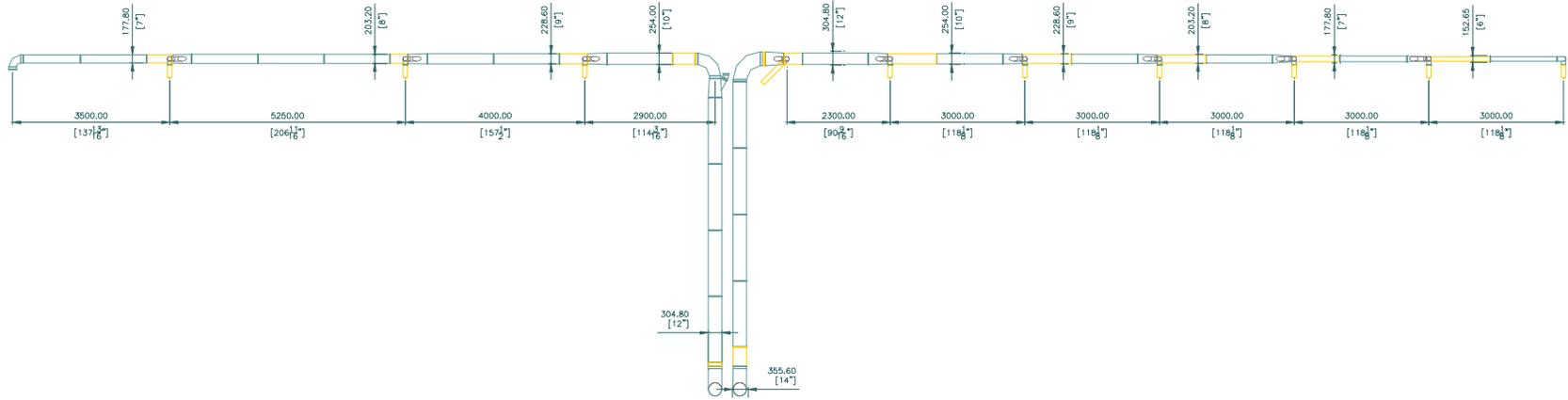
## Apéndice C



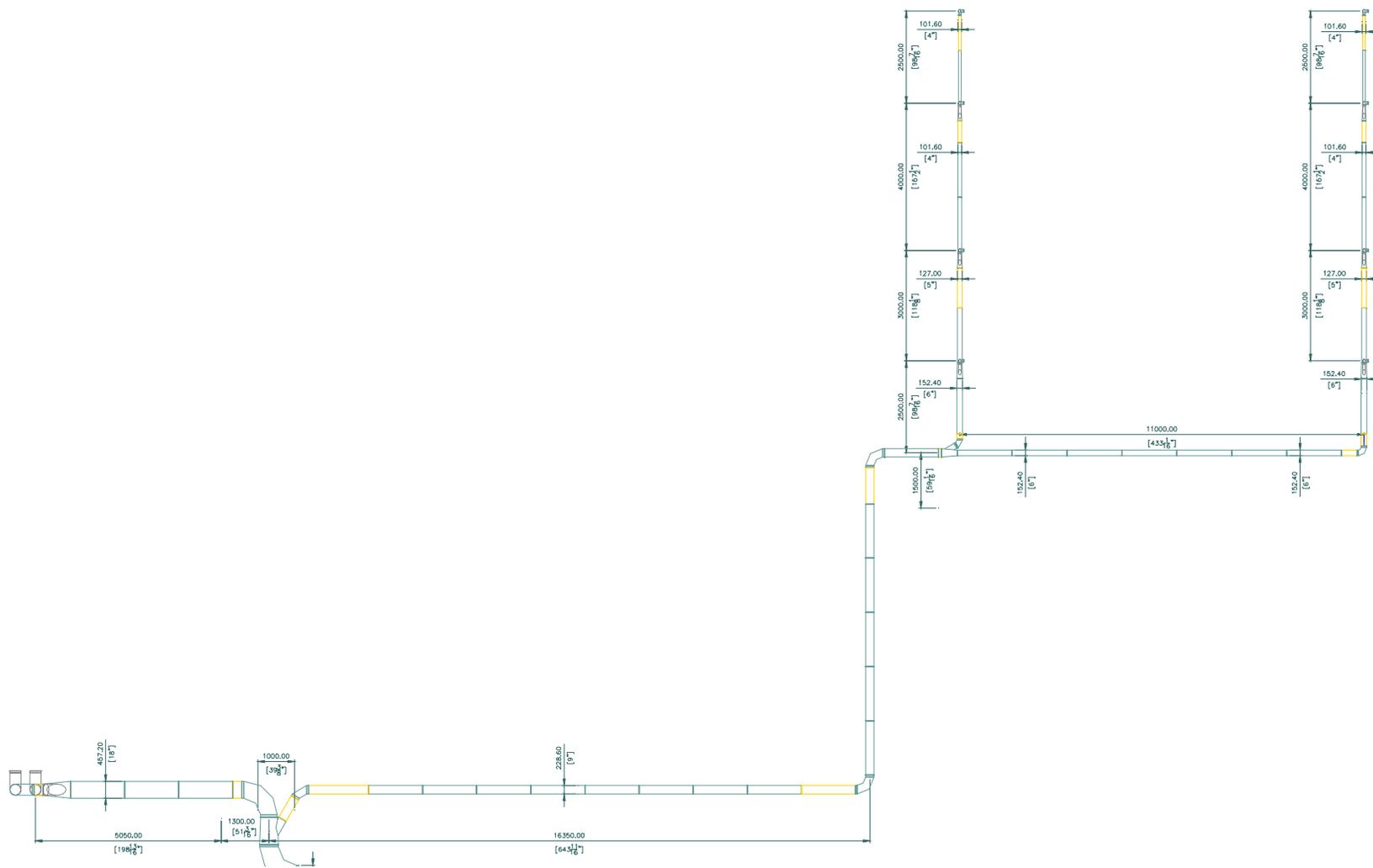
**Ilustración 17: Distribución de ductos zonas A y B**



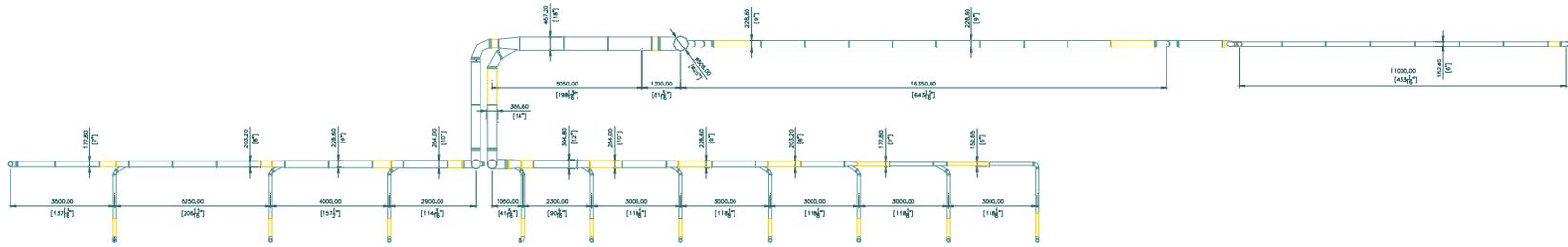
**Ilustración 18: Distribución de ductos zona C**



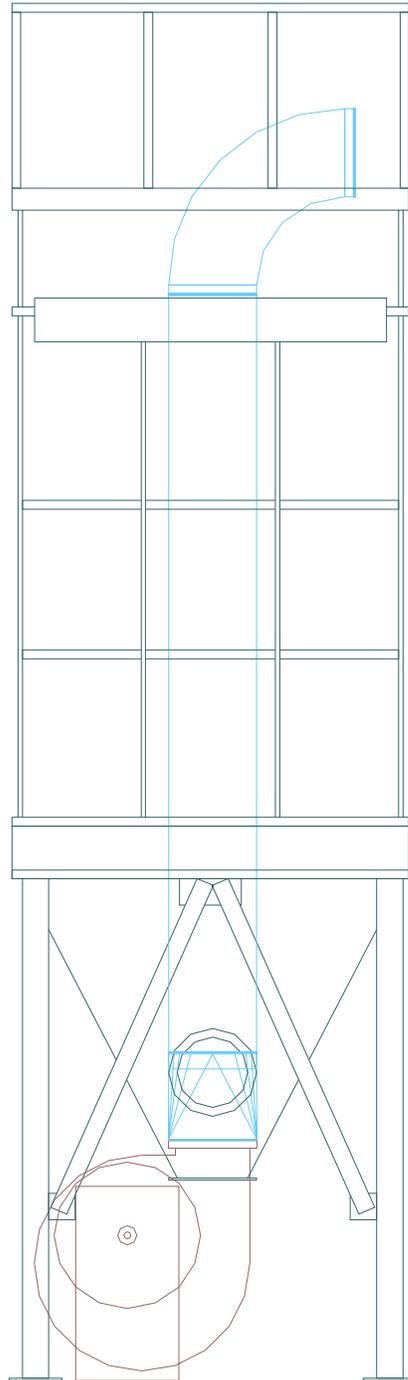
**Ilustración 19: Dimensiones de ductos zonas A y B**



**Ilustración 20: Dimensiones ductos zona C**



**Ilustración 21: Vista frontal de los ductos de succión**



**Ilustración 22: Conexión filtro - ventilador**

## Apéndice D

### Normas de diseño

#### CONDUCTOS. DISTRIBUCION DEL AIRE

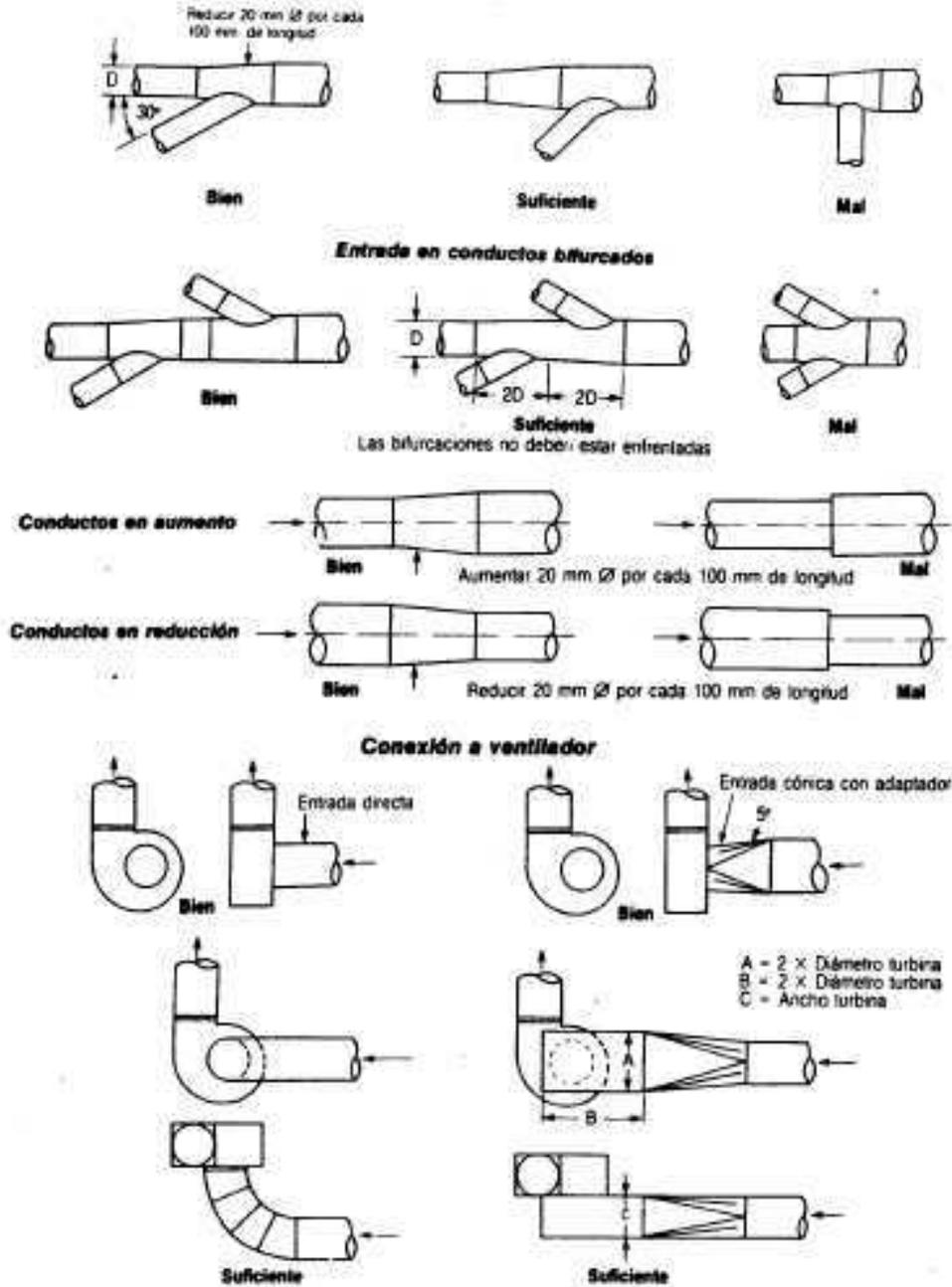
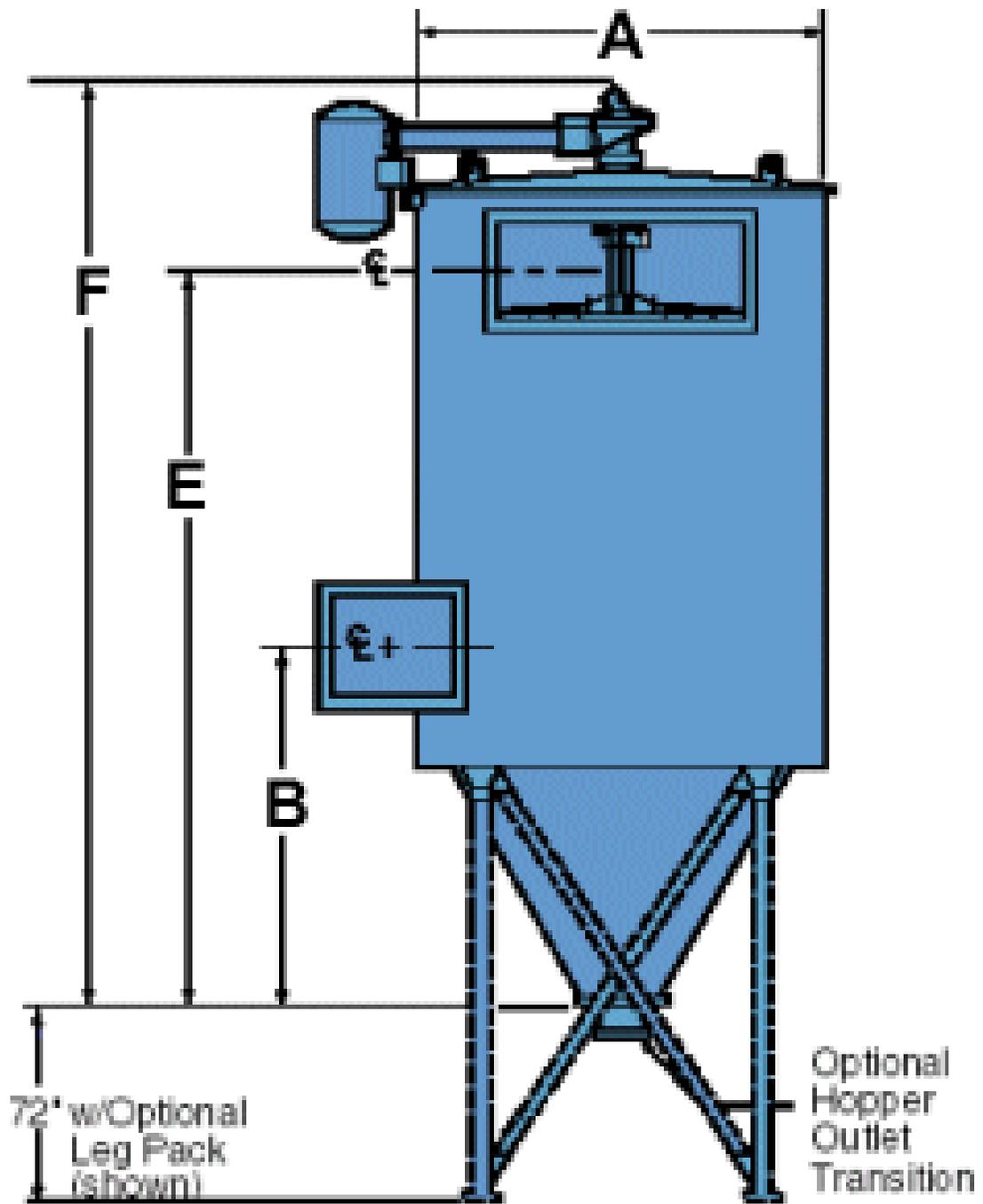


Fig. 4.3. Diseño de conductos (continuación).

# Filtro de mangas



## Llegada de ducto a máquina



## Llegada de ducto a carga de tote

