

# Universidad Nacional de Ingenieria

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



## “ Proyecto de un Sistema de Mantenimiento para una Planta Industrial de Policloruro de Vinilo (PVC) ”

### T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

### INGENIERO MECANICO

## WALTER SATURNINO GARCIA ROMAN

PROMOCION: 1984 - 2

LIMA . PERU . 1992

## PROLOGO

El objetivo del presente estudio es establecer un sistema de Mantenimiento moderno y eficiente, con la finalidad de minimizar costos operativos, por el mantenimiento de las máquinas y equipos de la Planta Industrial productora de Policloruro de Vinilo (PVC).

El resultado de estos estudios nos permitirá detectar las fallas de las máquinas y equipos, aplicando procedimientos y metodologías modernas.

En el Capítulo II, se procede a realizar una breve descripción concreta de la Planta acerca de sus antecedentes históricos, resaltando los aspectos más importantes. Se analiza las características de la Empresa, con énfasis en la división química de PVC, mencionando los cuatro procesos básicos de producción: Etileno-Dicloroetano, Monómeros y Polímeros.

En el Capítulo III se hace un análisis de la Estructura Orgánica y se indican las funciones y responsabilidades que cada órgano ejecutivo debe cumplir dentro del Departamento de Mantenimiento. Asimismo, en su administración se ha destacado las políticas financieras, productivas, de personal y seguridad industrial.

En el Capítulo IV se da a conocer la estructura orgánica del Sistema de Mantenimiento Propuesto, también se realizan cálculos matemáticos a fin de lograr una reducción significativa del tiempo de parada de planta y ofrecer una mayor protección a los activos fijos de la Empresa, ya que se contara con un control continuo en la operatividad de cada máquina y por ende se busca incrementar la producción en años futuros.

En el Capítulo V se da una clasificación y un resumen de las mejoras, detallándose las inversiones a realizar, así como el tiempo de recuperación de dicha inversión.

Como consecuencia del proyecto se generará en su conjunto una economía para la empresa durante el primer año de establecerse el sistema, así también para los siguientes años.

Se detallan una serie de recomendaciones y conclusiones respecto del tema.

Concluimos con una variedad de diagramas, esquemas, cuadros y formatos para ilustrar algunos puntos señalados.

UNI, Abril de 1992

El autor.

## INDICE

Fág.

### CAPITULO I

#### INTRODUCCION

1

### CAPITULO II

#### GENERALIDADES

5

##### 2.1 Antecedentes Históricos

5

##### 2.2 Características de la Empresa

5

### CAPITULO III

#### SITUACION ACTUAL

8

##### 3.1 Organización

8

##### 3.2 Funciones y Responsabilidades

8

###### 3.2.1 Producción

8

###### 3.2.2 Mantenimiento

9

###### 3.2.3 Laboratorio

10

##### 3.3 Administración

11

###### 3.3.1 Política Financiera

11

###### 3.3.2 Política Productiva

11

###### 3.3.3 Política de Personal

13

###### 3.3.4 Política de Seguridad Industrial

14

##### 3.4 Sistema Productivo

16

###### 3.4.1 Proceso de Manufac- tura

16

###### 3.4.1.1 Planta de Eti- leno

16

	Fág.	
3.4.1.2	Planta de Di- cloroetano	18
3.4.1.3	Planta de Mo- nómero	24
3.4.1.4	Planta de Fo- límico	26
3.4.2	Distribución de Plan- ta	28
3.4.2.1	Producción	29
3.4.2.2	Mantenimien- to	
3.4.2.3	Control de Ca- lidad	36
3.4.2.4	Almacén Gene- ral	37
3.4.2.5	Oficinas Admi- nistrativas	38
3.4.2.6	Otras Instala- ciones	39
3.4.3	Aprovisionamiento	39
3.5	Sistema de Mantenimiento	41
3.5.1	Estructura Orgánica	41
3.5.2	Funciones y Responsabi- lidades	43
3.5.2.1	Jefe de Mante- nimiento	43
3.5.2.2	Ing. Supervi- sor de Mante- nimiento	44
3.5.2.3	Asistente Jefe de Manteni- miento	45
3.5.2.4	Supervisores Jefes de Sec- ción	45

	Fág.
3.5.2.5 Jefes de Talleres	46
3.5.3 Descripción Técnica de Máquinas y Equipos	46
3.5.3.1 Planta de Etileno	47
3.5.3.2 Planta de Diclouroetano	52
3.5.3.3 Planta de Monómero de Cloruro de Vinilo	60
3.5.3.4 Planta de Polímero	64
3.5.4 Clasificación de Máquinas	70
3.5.4.1 Máquinas Principales	70
3.5.4.2 Máquina Crítica	72
3.5.4.3 Máquinas Secundarias	73
3.5.5 Sistema Informativo	73
3.5.5.1 Informe Diario	74
3.5.5.2 Informe Semanal	75
3.5.6 Formatos Utilizados	76
3.5.6.1 Orden de Trabajo	76
3.5.6.2 Orden para Jobs Especiales	76
3.5.6.3 Permiso de Trabajo	77

	Pág.
3.5.7 Historial de Máquina Crítica	78
3.5.8 Determinación del Costo de Mantenimiento Actual	81
3.5.9 Parámetros e Índices de Mantenimiento	83
3.5.9.1 Costo de Producción por Hora	84
3.5.9.2 Costo de Parada	84
3.5.9.3 Costo de Mantenimiento	85
3.5.9.4 Índice General de Personal	85
3.5.9.5 Índice del Porcentaje de Reparaciones por Mant. preventivo y Correctivo	86
3.5.9.6 Índice del Costo del Mantenimiento con Respecto a la Producción	87
3.5.9.7 Índice de Repercusión de Fallas con Respecto a la Producción	88
3.5.10 Determinación del Stock de Repuestos	88
3.5.11 Debilidades del Sistema Actual	93
3.5.11.1 Organización y Administración	93



	Pág.
3.5.11.2 Sistema de Comunicación	94
3.5.11.3 Informes Técnicos	95
3.5.11.4 Indicadores de Mantenimiento	95
3.5.11.5 Programación del Mantenimiento	96
CAPITULO IV	
SISTEMA DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	100
4.1 Organización Administración	100
4.1.1 Estructura Orgánica	100
4.1.2 Funciones y Obligaciones	100
4.2 Sistema de Comunicación	105
4.2.1 Comunicación con otros Departamento	106
4.2.2 Informes Técnicos	109
4.3 Indicadores de Mantenimiento	112
4.3.1 Conservación de Costos por Hora	112
4.3.2 Conservación del Mantenimiento Preventivo	113
4.3.3 Eficiencia del Mantenimiento	114
4.4 Programación del Mantenimiento	117
4.4.1 Métodos Usados en la Programación	117



	Fág.
4.4.1.1 Método de Gantt	117
4.4.1.2 Métodos de PERT y CFM	118
4.4.2 Métodos Propuestos	120
4.4.3 Método Propuesto para la Planificación de Trabajos	124
4.4.4 Análisis Probabilístico	126
4.4.4.1 Introducción	126
4.4.4.2 Método Propuesto	127
4.4.5 Métodos de Control Propuestos	136
4.4.6 Técnicas de Mantenimiento Propuestos	138
4.4.6.1 Identificación de Causas	138
4.4.6.2 Determinación de la Severidad Vibracional	140
4.4.6.3 Evaluación de Niveles de Vibración	142
4.4.6.4 Determinación del Nivel de Vibración Normal	144
4.4.7 Control por Inspecciones	145
4.4.7.1 Procedimiento	145
4.4.7.2 Frecuencia	146

	Fág.
4.4.7.3 Niveles	146
4.4.8 Equipos y/o Instrumentos	148
4.4.9 Diseño de Formatos	151
4.4.9.1 Tarjeta de Máquina	152
4.4.9.2 Tarjeta de Fallas	152
4.4.9.3 Orden de Trabajo	153
4.4.9.4 Orden de Almacén	153
4.4.9.5 Reporte de Inspección	154
4.4.9.6 Reporte de Control de Vibración	154

## CAPITULO V

EVALUACION DE COSTOS	156
5.1 Introducción	156
5.2 Análisis de los Componentes del Costo de Mantenimiento	156
5.2.1 Inversiones	157
5.2.1.1 Adquisición de Equipos y/o Instrumentos	157
5.2.1.2 Reparación del Horno de Craqueo	158
5.2.1.3 Adquisición de un Horno de Craqueo	159
5.2.1.4 Capacitación del Personal	159

	Fág.
5.2.2 Costos de Operación	160
5.2.2.1 Costo por Pérdida	160
5.2.2.2 Costo de Mano de Obra	161
5.2.2.3 Costo de Repuestos y Materiales	162
5.2.2.4 Costo de mantenimiento de Equipos y/o Instrumentos	163
5.3 Formulación del Costo de Mantenimiento para el Sistema Propuesto	164
5.4 Evaluación de Alternativas Propuestas	165
5.4.1 Primera Alternativa	165
5.4.2 Segunda Alternativa	167
5.4.3 Tercera Alternativa	171
5.5 Economía del Sistema Propuesto	174
5.6 Costo de Mantenimiento con respecto a la Producción	176
5.7 Evaluación del Incremento de la Producción	177
5.8 Disminución del Costo de Mantenimiento	177
5.9 Rentabilidad de la Inversión	178
CONCLUSIONES	181
BIBLIOGRAFIA	186
ANEXO	

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

Este proyecto se ha realizado en una planta industrial productora de policloruro de vinilo, debido a que se observa actualmente en el sistema de mantenimiento la presencia de serias deficiencias, tanto organizativas, administrativas y de técnicas vinculadas al mantenimiento moderno y eficiente que hoy en día se debe aplicar a nivel industrial, con la finalidad de minimizar el costo de mantenimiento respecto, de la producción y así poder competir con mayor equidad con los productos importados.

Dentro del contenido se han planteado los siguientes capítulos:

#### I. GENERALIDADES

Se procede a realizar una descripción correcta, acerca de sus antecedentes históricos, resaltando los aspectos más importantes.

Seguidamente, se analiza las características de la empresa, en la División Química de FVC, motivo del estudio desarrollado.

## II. SITUACION ACTUAL

En este capítulo se hace un análisis de su estructura orgánica y se indica las funciones y responsabilidades de los directivos.

Así mismo dentro de su administración, se ha destacado las políticas financieras, productiva, de personal y de seguridad industrial.

También se enfoca el sistema productivo, considerando para ello el proceso de manufactura en las cuatro plantas existentes dentro de la división indicada.

Con el mismo interés se procede a estudiar la distribución de planta, teniendo presente los siguientes aspectos: producción, mantenimiento, control de calidad, almacén general, oficinas administrativas y otras instalaciones existentes.

Por otro lado, se procede a realizar un diagnóstico en el sistema de mantenimiento actual, abarcando dentro de él los siguientes asuntos: estructura orgánica, funciones y responsabilidades de las jefaturas, descripción técnica de máquinas y equipos, clasificación de máquinas, sistema informativo, formatos utilizados, historial de máquina crítica, determinación del costo de

mantenimiento actual, parámetros e índices de mantenimiento, determinación del stock de repuestos y la determinación de las debilidades del sistema actual.

### III. SISTEMA DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Dentro de este capítulo tan importante dentro del estudio realizado, destacan los siguientes aspectos más trascendentes: organización y administración, sistema de comunicación, indicadores de mantenimiento y programación del mantenimiento.

Cabe mencionar así mismo, que se ha considerado puntos que merecen remarcarlos dentro de la programación, como son: métodos usados en la programación, métodos propuestos, planificación de trabajos, análisis probabilístico, métodos de control propuestos, técnicas de mantenimiento propuestas, control por inspecciones, equipos y/o instrumentos y diseños de formatos.

### IV. EVALUACION DE COSTOS

Este capítulo cobra importancia, porque permite analizar los costos que se generan del sistema de mantenimiento propuesto. Los aspectos que se han considerado dentro de la evaluación son los siguientes: componentes del costo de mantenimiento,

formulación del costo de mantenimiento para el sistema propuesto, evaluación de alternativas de solución, economía del sistema propuesto, costo de mantenimiento con respecto a la producción, evaluación disminución del costo de mantenimiento y rentabilidad de la inversión.



## CAPITULO II

### GENERALIDADES

#### 2.1 Antecedentes Históricos

La División Química de policloruro de vinilo (PVC), fue creada en el año de 1964, entrando en pleno funcionamiento en el año de 1967, con una capacidad de producción de 5,600 toneladas por año.

Posteriormente, sus instalaciones fueron modificadas empleando tecnología nacional, permitiendo de esta manera elevar su capacidad de producción, la que actualmente es de 7,200 toneladas por año.

#### 2.2 Características de la Empresa

Esta planta constituye la primera y la única en nuestro medio, que se dedica a la producción de resinas de policloruro de vinilo, cuya producción actual, satisface el 28.9% del mercado nacional, según información del Ministerio de Industrias, Turismo e Integración.

En la actualidad cuenta con un activo fijo de \$47'500,000, y con 127 trabajadores, considerando ingenieros, empleados administrativos y obreros.

Esta División Química de la Sociedad Paramonga Limitada, utiliza como materias primas la soda cáustica, el azúcar y el alcohol producido de las melazas residuales de la fabricación de azúcar de caña; siendo sus principales proveedores de éste último insumo, los ingenios azucareros de Cartavio y Paramonga, debido a que la pureza de dicho insumo es de 95%.

Cabe resaltar que la empresa en estudio, es una industria de procesos, debido a que el producto que se elabora en ella, constituye la materia prima para las industrias de fabricación.

Para obtener el producto final (PVC), la planta utiliza cuatro procesos básicos, es decir: producción de etileno, de dicloroetano, de monómeros y de polímeros; a través de los cuales se obtiene la resina de PVC, que luego se procesa en la sección de pellets, empleándose en ésta línea sólo el 25% de la producción total.

Esta Empresa, al igual que otras industrias de proceso se ha ubicado muy cerca a las fuentes de materia prima, con el propósito de reducir costos de transporte y facilidad de abastecimiento.

Su ubicación actual está en la localidad de Paramonga, al norte del país, y constituye una de las cuatro Divisiones Químicas, que posee la Sociedad Paramonga Limitada, la misma que cuenta con un área total de 42,500 m<sup>2</sup>.

Seguidamente, se muestra un plano de ubicación de la planta de resinas PVC, en estudio. Ver Plano Nº 1 (Anexo).

## CAPITULO III

### SITUACION ACTUAL

#### 3.1 Organización

La estructura jerárquica de los diferentes niveles de la empresa, se presentan en el Organigrama Nº 1 (Anexo).

En él se muestran los departamentos existentes: Producción, Mantenimiento y Laboratorio; los cuales constituyen el soporte vertebral de la División Química de Policloruro de Vinilo.

#### 3.2 Funciones y Responsabilidades

Las funciones y responsabilidades mas resaltantes de los Departamentos antes indicados son:

##### 3.2.1 Producción

- a) Elaborar el presupuesto anual de producción, en coordinación con la Superintendencia de Planta.
- b) Planificar la producción, en virtud a los requerimientos del mercado.

- c) Establecer los programas de trabajo, considerando las políticas existentes.
- d) Coordinar con el Departamento General de Finanzas, para programar los gastos de Departamento.
- e) Establecer los niveles de stock de materia prima, para cumplir oportunamente con los programas de producción.

### 3.2.2 Mantenimiento

- a) Elaborar el presupuesto anual del Departamento, considerando los gastos por repuestos, materiales, herramientas, equipos y otros elementos que generan gastos.
- b) Realizar programas de actividades, para las reparaciones de mayor magnitud, tomando en cuenta los recursos necesarios para su ejecución.
- c) Velar por la reducción de los tiempos de parada de máquina, con el propósito de mantener el flujo continuo de la producción.
- d) Conservar en buenas condiciones los locales, áreas de trabajo e instalaciones de la planta.

- e) Controlar el desarrollo de las actividades de mantenimiento.
- f) Proporcionar la información referente al estado operativo de las máquinas y/o equipos, en el tiempo requerido.

### 3.2.3 Laboratorio

- a) Realizar los análisis químicos y físicos de la materia prima.
- b) Realizar las prueba de control de calidad para el producto en sus diferentes fase de producción.
- c) Emitir las especificaciones técnicas de los materiales a los proveedores para optimizar la calidad de los mismos.
- d) Realizar las pruebas finales de control de calidad para el producto acabado.
- e) Proporcionar la información técnica solicitada por los clientes, sobre la aplicación del FVC a nivel industrial.

### **3.3 Administración**

#### **3.3.1 Política Financiera**

Como norma general la empresa en estudio se auto financia; en muy pocas ocasiones ha solicitado créditos bancarios, lo que indica que tiene solvencia para afrontar sus gastos operativos.

Sus relaciones comerciales se realizan a través de las siguientes entidades financieras: Banco de Crédito del Perú, Banco Nacional de Cooperativas, Banco Agrario del Perú y Banco Industrial del Perú.

La política de abastecimiento de materia prima y materiales, en algunos es al contado, y en la mayoría con facturas a 30 y 60 días, considerando los respectivos intereses vigentes en el mercado.

En cuanto a las ventas, éstas se realizan al contado y en lotes grandes con facturas a 30 y 60 días según la imagen de los clientes.

#### **3.3.2 Política Productiva**

Como se indicó anteriormente, su capacidad de producción es de 7,200 Ton/año.

La producción se realiza, empleando un proceso continuo; las máquinas y equipos se encuentran dispuestos siguiendo la secuencia del proceso.



Los programas de producción se realizan en base a las proyecciones de las ventas.

La empresa tienen como política abastecer a sus clientes en sus propias instalaciones, proporcionándoles así el transporte a un mínimo costo.

Para satisfacer las demandas del mercado, la planta trabaja de lunes a domingo, las veinticuatro horas del día, en los siguientes horarios:

- \* Primer turno : 7 am a 3 pm
- \* Segundo turno: 3 pm a 11 pm
- \* Tercer turno : 11 pm a 7 am

Mantiene una relación estrecha con el Departamento General de Compras, en cuanto a volumen y plazos de entrega de los diferentes materiales que se adquieren, facilitando de esta manera el cumplimiento de los programas de producción.

De manera similar, se da también una relación adecuada con el Departamento de Mantenimiento, a través de la cual se busca que las máquinas estén siempre operativas, para que así se puedan cumplir los programas de producción y también no se incremente el costo unitario del producto.

Por las características propias del producto, se mantiene una coordinación estrecha con los laboratorios

existentes en la planta, lo que permite garantizar el cumplimiento de las normas técnicas.

### 3.3.3 Política de Personal

Actualmente la División Química de FVC, cuenta con 127 trabajadores distribuidos de la siguiente manera:

* Profesionales	: 17
* Técnicos	: 54
* Empleados	: 10
* Obreros	: 46

Las remuneraciones correspondientes en promedio son:

* Profesionales	: \$450
* Técnicos	: \$240
* Empleados	: \$180
* Obreros	: \$116

Se tiene como política otorgar al trabajador el equivalente al sueldo de un mes, aparte de todos los beneficios existentes, cuando éste no registra ninguna falta ni tardanza en el período comprendido de un año.

El personal goza de capacitación en el SENATI, aunque en la actualidad se ha restringido, como consecuencia de la recesión industrial.

#### 3.3.4 Política de Seguridad Industrial

La política seguida tiene cuatro objetivos principales:

- a) Crear mayor conciencia de seguridad, en todo su personal.
- b) Corregir los riesgos y actos inseguros.
- c) Lograr la participación de todo el personal en los programas de higiene y seguridad industrial.
- d) Educar y capacitar a todo el personal sobre accidentes y riesgos de trabajo.

Para alcanzar estos objetivos, se programan actividades que se desarrollan durante todo el año. La empresa busca constantemente la colaboración de todo el personal que trabaja para alcanzar las metas establecidas.

Las plantas que conforman las División Química de PVC, son responsables de la provisión y conservación de los centros de trabajo; están equipadas y construidas de tal manera que suministre una razonable y adecuada protección a sus trabajadores.

En toda la planta se coloca y renueva constantemente los avisos, afiches, y otras formas de

promover el cumplimiento de las normas de seguridad. Llevándose cabo al mismo tiempo prácticas intensivas sobre combates de incendio y control en caso de desastres.

En relación a los trabajadores, éstos están obligados al cumplimiento de las disposiciones contenidas en el reglamento interno de seguridad y normas complementarias que se puedan dictar.

Todos los trabajadores están comprometidos a hacer uso apropiado de los resguardos, dispositivos de seguridad y demás medios proporcionados de acuerdo con el reglamento vigente, para su protección o la de sus compañeros.

Ningún trabajador cambiará dañará o destruirá los equipos y dispositivos de seguridad y protección personal, ni tampoco tergiversará los métodos o procedimientos establecidos para reducir al mínimo los riesgos inherentes al puesto de trabajo.

Asimismo, dentro de su política se contempla también que todos los trabajadores están obligados a formar parte de las brigadas contra incendio, planes de emergencia, control de desastres y otras organizaciones de higiene y seguridad industrial que se establezca en resguardo de la empresa.

### **3.4 Sistema Productivo**

#### **3.4.1 Proceso de Manufactura**

La resina de policloruro de vinilo (PVC), se obtiene mediante los procesos desarrollados en las siguientes sub-plantas:

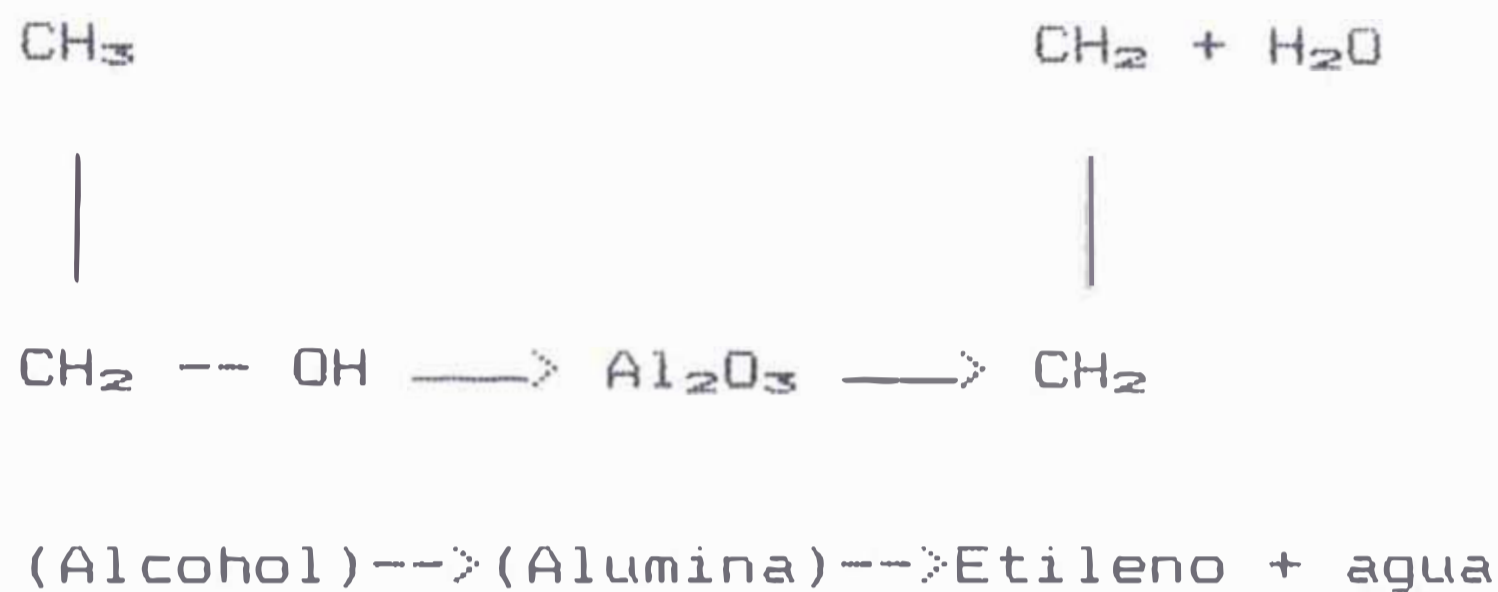
##### **3.4.1.1 Planta de Etileno**

El etileno es un producto obtenido generalmente de las refinerías de petróleo, pero en la planta se obtiene de un producto cuyo origen es agrícola, es decir de la caña de azúcar.

Cabe mencionar que en el proceso de fabricación del azúcar, se obtiene como residuo un líquido que recibe el nombre de melaza, el cual se hace fermentar para producir el alcohol que posteriormente se purifica por destilación.

El alcohol que se utiliza para obtener el etileno, tiene una pureza del 95%; éste que se encuentra almacenado en tanques, es bombeado a un vaporizador, donde el alcohol es convertido en vapor a una temperatura de 170°F. Estos vapores de alcohol pasan luego a un súper calentador llegando a alcanzar una temperatura de 635°F, entrando luego por la parte superior de los tubos del generador, el cual contiene catalizadores de alumina ( $Al_2O_3$ ), que son bolitas de 1/8" de diámetro cuya

propiedad es descomponer el alcohol en etileno y agua según la siguiente reacción.



Esta reacción se realiza a una temperatura promedio de 820°F y tiene como medio de calentamiento gases de combustión de petróleo los cuales entran por la parte inferior y exterior de los tubos a 850°F en contra corriente con los vapores de alcohol.

Para obtener un etileno de 99% de pureza, es necesario que la reacción endotérmica sea debidamente controlada, ya que de no ser así, se obtendrán subproductos, tales como el Eter y Acetol debido en el caso de que la temperatura sea menor que la óptima (820°F) y Butenos y Propilenos, cuando la temperatura está por encima de la óptima.

Del generador pasa al Quench, donde es lavado con agua en contra corriente; en esta fase del proceso se trata de eliminar los gases condensables. Seguidamente del Quench pasa al área de compresión, donde es comprimido a una presión de 100 psig, para luego lavar



con agua y enfriar en un intercambiador de calor, que tiene por finalidad eliminar el agua por enfriamiento; de este equipo se obtiene el etileno filtrado, empleándose para ello dos filtros llanos de carbón en forma de granallas. El etileno obtenido tiene una pureza del 99% y una humedad de 150 ppm.

#### **3.4.1.2 Planta de Dicloroetano**

Esta planta está compuesta de tres secciones: purificación del ácido clorhídrico, reacción (clorinación directa y oxiclорinación) y purificación del dicloroetano.

##### **a) Purificación del Acido Clorhídrico**

El proceso se inicia con la alimentación del ácido clorhídrico concentrado de 33%, comprado de "Alcalis Peruana S.A." (ALCAFSA), a un stripper (enpolvecedor) para obtener el HCL gas y ácido débil de 23% de concentración, el cual constituye un subproducto, el mismo que es vendido al proveedor (ALCAF). Luego, el HCL gas es secado y posteriormente comprimido en dos etapas, mediante compresoras especiales; en la primera etapa es comprimido a 25 psig, luego es enfriado para pasar la segunda etapa de compresión, donde alcanza una



presión de 100 psig. quedando listo para ser usado en la producción de dicloroetano.

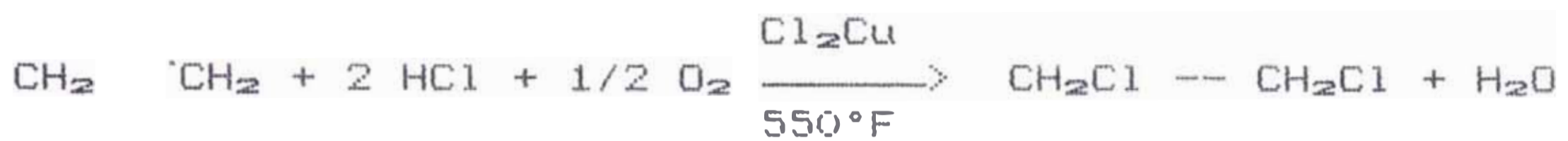
b) Sección de Reacción

b1) Oxiclorinación

Las materias primas básicas para la producción del dicloroetano (DCE), por reacción de oxiclorinación son: HCL gas, etileno y aire a 100 psig; estas sustancias no deben tener humedad debido a la exigencia del propio proceso, siendo lo máximo permisible 200 ppm de humedad.

Los tres gases se mezclan antes de entrar al reactor, el cual está formado por un gran número de tubos de níquel de 1"  $\varnothing$  x 21'; en el interior de los tubos del reactor se encuentra un catalizador formado por una mezcla de cloruro cúprico ( $Cl_2Cu$ ) y grafito, en porcentajes establecidos; por el exterior de los tubos circula un material refrigerante (dowtherm), cuyo punto de ebullición es de 350°F, utilizada para absorber el calor producido por la reacción que es

altamente exotérmica produciéndose 100,000 BTU por cada libra mol de DCE. El proceso de oxiclорinación del etileno para producir el dicloroetano se realiza según la siguiente reacción:



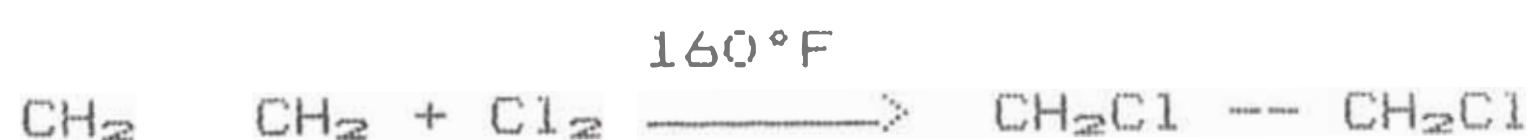
Etileno + ácido clorhídrico + aire  $\longrightarrow$  Dicloroetano + agua

El DCE que sale del reactor es gaseoso y es condensado en un condensador primario que trabaja con agua; luego pasa a un condensador secundario, el cual trabaja con una mezcla refrigerante de agua y alcohol.

El DCE líquido es lavado con soda cáustica, para eliminar las impurezas y neutralizar el HCl.

#### b2) Clorinación Directa

El proceso de clorinación directa, para producir el dicloroetano, se realiza según la siguientes reacción:



550°F

Etileno + cloro ———> Dicloroetano

Se observa que el etileno se encuentra a una presión de 20 psi y el cloro 33 psi.

Esta reacción se produce en fase gaseosa, en cinco reactores llenos con DCE líquido a 8 psi y a 160°F, así mismo se generan subproductos como: clorofeno, cloroformo y tetracloruro de carbono, como consecuencia de la reacción.

La reacción es exotérmica y libera una cantidad apreciable de calor, siendo necesario enfriar el reactor con agua, la cual circula por unos serpentines interiores a un presión de 30 psi.

Es necesario aclarar, que si la temperatura de reacción es mayor a la recomendada, se puede producir corrosión en el reactor, con formación de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ).

El DCE líquido producido en el reactor, pasa por rebose a un enfriador de agua que circula en contraflujo y los gases que salen del reactor pasa a través de

un condensador para luego dirigirse al separador líquido-gas y después va al tanque decantador (karbate). El DCE hasta este punto es ácido y contiene algún cloro disuelto y otras impurezas.

Luego, el DCE es bombeado a dos torres de lavado con agua, y de allí pasa a dos torres de lavado con soda cáustica, haciendo circular la mezcla mediante el impulso de una bomba centrífuga y a través de un circuito de tuberías.

En esta etapa del proceso se debe obtener su DCE con una humedad de 10 ppm y libre de impurezas.

El DCE que se separa es bombeado a los tanques de almacenamiento, el cual tiene una pureza comprendida entre 94 y 98%.

### b3) Purificación del Dicloroetano

El dicloroetano que viene del área de reacción está saturado de agua, la que es eliminada mediante vaporización; este proceso se realiza en la columna azeotrópica, por medio de una calandria.

El dicloroetano, que tiene en promedio 10 ppm de humedad es enviado a la primera columna de livianos que contiene el producto, los que ahora pasan a la segunda columna de livianos, encontrándose así a la cabeza de la columna para su eliminación a la atmósfera.

El producto que se vaporizó, es decir sin contenido de agua, se acumula en la segunda parte de livianos para retornar luego como reflujo a la primera parte. El producto del fondo de los livianos es transferido a la columna de los pesados, en la cual el DCE purificado es condensado y acumulado en tanques; en el fondo de la columna van quedando los pesados cuya densidad es 1.34 gr/cc a la temperatura de 50°C.

El DCE almacenado en los tanques es bombeado previo análisis para continuar con el proceso; el análisis tiene como parámetros: acidez menos de 50 ppm y humedad.

### 3.4.1.3 Planta de Monómero

El DCE que se encuentra en los tanques de almacenamiento es bombeado al vaporizador produciéndose de esta manera su conservación del estado líquido a su estado gaseoso, alcanzando una temperatura de 320°F.

Posteriormente el DCE es sometido a un proceso de "pirolisis" por medio de una reacción química, obteniéndose además de cloruro de vinilo, el ácido clorhídrico; la reacción es la siguiente:



dicloroetano  $\longrightarrow$  cloruro de vinilo + ácido clorhídrico

Se observa, cómo en otras reacciones químicas, siempre se producen reacciones secundarias que afectan el proceso y la calidad del producto; debido a esto se debe separar sobre todo el carbón contenido en el producto porque sino éste se adhiere en las paredes interiores de los tubos, reduciendo su diámetro y disminución de la transmisión de calor.

La pirolisis se realiza en un horno o reactor tubular de un solo paso, sin catalizador; el mismo que se calienta mediante gases de petróleo.

Los factores más importantes que afectan la reacción del DCE son: la temperatura, la presión y el



tiempo de residencia. La temperatura y su control es fundamental debido a que los subproductos son consecuencia del control térmico; la temperatura óptima en la pirolisis está comprendida entre 910 y 920°F.

Los productos que salen del horno son los siguientes: cloruro de vinilo (FVC), ácido clorhídrico, DCE que no ha reaccionado y los subproductos.

Esta mezcla de productos pasa por una columna y en filtro, el cual retiene carbón en forma de brea, para luego pasar a una columna de destilación llamada "stripper", la cual al llegar a equilibrio por la parte superior, separa el ácido clorhídrico gaseoso y puro, con una humedad de 10 ppm y del fondo de la columna se extrae el DCE y monómero, estos productos pasan a otra columna más pequeña en la cual por la parte superior separa el cloruro de vinilo (MVC) y por el fondo se extrae DCE que va luego a retornar a la planta de dicloroetano para ser purificado.

La función de la columna de cloruro de vinilo (MVC), es separar el propio MVC puro por la parte superior y DCE por el fondo sin monómetro; la columna está formada por cuarentidos (42) platos.

El producto así obtenido es decir el cloruro de vinilo (MVC) es bombeado a los tanques de almacenamiento para luego utilizarlo en la planta de polímero.



#### 3.4.1.4 Planta de Polímero

De los tanques de almacenamiento de monómeros, pasa a los reactores mediante el impulso de una bomba de alimentación; antes de ingresar a los reactores, el cloruro de vinilo pasa por un medidor de flujo para determinar la cantidad de galones que fluyen, así como también a través de una válvula de control de flujo.

El proceso usado en esta etapa, es el de polimerización por suspensión y en forma intermitente. Los reactores de polimerización son cargados considerando una mezcla de: monómero o cloruro de vinilo, agua desmineralizada, catalizador y agente de suspensión; todo este conjunto es agitado dentro del reactor, por agitadores dispuestos simétricamente; el control de la temperatura se hace por medio de agua de enfriamiento refrigerada que circula por la chaqueta del reactor.

La agitación y la acción del agente de suspensión, permite que el monímetro se disperse a través de la fase acuosa, en forma de pequeñas partículas y son las que regulan el tamaño de la partícula del polímero.

La cantidad de catalizador y la temperatura, controlan la velocidad de reacción y la distribución del peso molecular del polímero respectivo.

La capacidad volumétrica de estos reactores es aproximadamente 4,000 galones, están provistos además de un agitador en cuyo extremo inferior se observan tres paletas que sirven para agitar la mezcla; posee también un baffle fijo situado a un costado y previsto de tres brazos, colocados verticalmente unos encima de otros, a una determinada distancia.

Es necesario aclarar que cada tres cargas, es recomendable hacer una limpieza interior.

El copolímero que contiene acetato de vinilo, se procesa de manera similar agregándose además terminadores de cadena en la carga del reactor.

El monómero usado es puro, no tiene inhibidos, el agua para la reacción es desmineralizado y libre de oxígeno y bacterias u otras materias orgánicas.

Por otro lado se observa también, que los tanques de almacenamiento del cloruro de vinilo, los reactores, tanques receptores y otros equipos intermedios son vidriados y/o de acero inoxidable, a fin de garantizar la pureza del producto o desvirtuar la reacción de polimerización.

Por otro lado, cabe mencionar, que la reacción de polimerización es exotérmica, liberándolo en su

proceso aproximadamente 720 BTU/lb, y permitiendo una conversión de 85 a 90% de monómero en polímero.

Cuando se termina con la reacción de polimerización, el reactor se descarga a un tanque, de donde se recupera el MVC residual, es decir que no ha reaccionado; luego, la suspensión de polímero con agua se bombea a los tanques de almacenamiento temporal, pasando luego a una centrífuga, aquí se elimina gran parte del agua y luego se descarga a un secador rotativo de aire caliente, para el secado final del polímero.

Cabe resaltar, que el aire usado en el secado, se utiliza en el transporte neumático del producto desde el secador hasta el colector tipo saco, en donde se produce la separación del aire y la resina cae a una zaranda para la separación de partículas gruesas y aquellas que pasan por la zaranda van a almacenarse en tolvas, de donde sale para ser embolsado en sacos de Kg., obteniéndose así el producto final.

Seguidamente, se muestra un diagrama del proceso de fabricación considerando las cuatro plantas anteriormente descritas. Ver Diagrama Nº 1 (Anexo).

#### **3.4.2 Distribución de Planta**

La planta química de "Policloruro de Vinilo" dispone de una superficie de 42,500 m<sup>2</sup>, dividida en las

siguientes áreas: producción, mantenimiento, control de calidad, almacén general, oficinas administrativas, servicio para el personal, almacén de materiales y repuestos y otras instalaciones.

#### **3.4.2.1 Producción**

Teniendo en cuenta la magnitud del proceso, el área de producción se ha dividido en cuatro plantas; cuyas características de distribución se indican a continuación:

- Planta de etileno: 924.8 m<sup>2</sup>
- Planta de dicloroetano: 1,060.8 m<sup>2</sup>
- Planta de clorinación directa: 680 m<sup>2</sup>
- Planta de monómero: 1536.6 m<sup>2</sup>
- Planta de polímero: 1334.8 m<sup>2</sup>

Asimismo, las máquinas y/o equipos más importantes para el proceso de manufactura son:

PLANTA DE ETILENO	
CODIGO	DESCRIPCION
410 - V1 y V2	Bombas de alcohol
420 - Q1, Q2, Q3 Q4, Q5, Q6 Q7, Q8 y Q9	Unidades componentes del horno quemador
425 - C1, C2, C3 C4, C5, C6 C7, C8 y C9	Unidades componentes del generador de etileno
435 - B1 y B2	Bombas de licor quincher
445 - V1, V2, V3 y V4	Compresoras de etileno
450 - A1 y A2	Enfriadores de compresores
450 - B1 y B2	Bombas de torre de lavado

Tabla N<sup>o</sup> 1

Las máquinas registradas en la Tabla N<sup>o</sup> 1 están representadas en el Esquema N<sup>o</sup> 1 (Anexo).

PLANTA DE DICLOROETANO	
CODIGO	DESCRIPCION
515 - V1 y V2	Compresoras de HCl
515 - V5, V6, V7 y V8	Compresoras de aire
525 - C1	Reactor de dicloroetano
525 - R2	Separador líquido - vapor
530 - R1	Separador líquido gas
560 - B1 y B2	Bombas de alimentación
560 - B3 y B4	Bombas de reflujo
550 - B1 y B2	Bombas de DCE a columna
550 - B3 y B4	Bombas de soda cáustica
565 - B1 y B2	Bombas de DCE a recicló
570 - B1 y B2	Bombas de DCE purificado
1355 - X12	Unidad refrigerante

Tabla N<sup>o</sup> 2

Las máquinas que se indican en la Tabla anterior se encuentran distribuidas en el Esquema N<sup>o</sup> 2 (Anexo).



PLANTA DE CLORINACION DIRECTA	
CODIGO	DESCRIPCION
550 - B5 y B6	Bombas de DCE crudo
565 - B3 y B4	Bombas de reflujo
550 - B7	Bomba de transferencia
570 - B8	Bomba de mezcla de refrigerante
570 - B1	Bomba de transporte
570 - B9	Bomba de productos livianos
Sin código	Unidades componentes de la torre de lavado
Sin código	Unidades componentes del condensador
Sin código	Unidades componentes del reactor

Tabla N° 3

En forma similar a los casos anteriores, las máquinas especificadas en la Tabla N° 3, están representadas en el Esquema N° 3 (Anexo).



PLANTA DE MONOMERO	
CODIGO	DESCRIPCION
645 - B1 y B2	Bomba de destilado
645 - A2	Condensador de MVC
635 - B1 y B2	Bombas de alimentación MVC
630 - B1 y B2	Bomba de licor quencher
635 - A3	calandria de la columna de HCl
635 - A1	Condensador de HCl
630 - G1	Torre de enfriamiento quencher
620 - A1	Vaporizador de DCE
630 - A1	Enfriador de licor quencher
625 - Q1	Horno de craqueo
645 - G1	Columna de MVC
1355 - X1	Unidad de refrigeración
Sin código	Columna de monómero
635 - G1	Stripper de HCl

Tabla Nº 4

El listado de máquinas que aparecen en la Tabla Nº 4, se muestra su ubicación en el Esquema Nº 4 (Anexo).

PLANTA DE POLIMEROS	
CODIGO	DESCRIPCION
715 - B5	Bomba de descarga de MVC
715 - B13	Bomba de alimentación de acetato de vinilo
745 - B2 y B3	Compresoras Nash
765 - K1	Centrífuga
765 - K7	Zaranda horizontal
765 - J1	Secador rotativo de resina
790 - X5	Unidad de refrigeración
Sin código	Unidades componentes de los reactores

Tabla Nº 5

La distribución de las máquinas indicadas en la tabla Nº 5 se muestra en el Esquema Nº 5 (Anexo).

En las plantas de etileno, dicloroetano, clorinación directa, monómero y polímero; se observa que existe una distribución por producto, esto quiere decir que los equipos se hallan dispuestos siguiendo la secuencia de las operaciones requeridas, en las diferentes etapas de los procesos que permiten encontrar el producto semielaborado para ser empleado en la etapa siguiente.

El sistema de producción es semiautomatizado con mayor participación de las máquinas y/o equipos; por lo

que la participación del hombre sólo está reservada para tareas de carga y descarga de los materiales, supervisar y controlar el avance progresivo de la materia prima hacia la obtención del producto acabado. En cuanto al manejo de materiales, éste es transportado mediante tuberías de diferentes diámetros, las cuales inspeccionan permanentemente para evitar obstrucciones y detectar corrosión a lo largo de su trayectoria; por lo general las instalaciones son buenas dentro de las plantas indicadas anteriormente, al respecto cabe indicar que se encuentran ubicadas dentro de la altura y distancia recomendadas técnicamente.

En términos generales, la disposición actual provee a la planta de iluminación, ventilación, zonas espaciosas y seguras para el almacenamiento, pasillos y corredores amplios para el recorrido de operarios y materiales.

La proximidad de las oficinas de mantenimiento, control de calidad y almacén de materiales y repuestos facilitan la realización de las operaciones auxiliares que requieren los diferentes procesos.

#### **3.4.2.2 Mantenimiento**

Las oficinas de Mantenimiento y Producción están ubicadas en un área de 160 m<sup>2</sup>, correspondiendo aproximadamente el 40% de esta superficie la parte

administrativa de mantenimiento. La disposición existente en cuanto a mobiliario de oficina: escritorios, tableros de dibujo, archivadores, credensas y otros; ha sido debidamente planificada ya que se observa un ambiente de trabajo adecuado en cuanto a rendimiento, ventilación, iluminación y un desarrollo de actividades siguiendo un óptimo patrón de circulación entre los diferentes puestos de trabajo.

El área de mantenimiento dispone de los siguientes talleres: mecánico, eléctrico e instrumentos; los cuales funcionan en un área asignada de 528 m<sup>2</sup>. en esos ambientes existe: estantes, anaqueles, bancos de trabajo, mesas, dispositivos especiales para determinados trabajos, guarda ropas y otros; que permiten tener cada cosa en su lugar, favoreciendo el orden y la ubicación pronta de los materiales, herramientas, accesorios y dispositivos de trabajo.

Las condiciones favorables que se observan en los talleres, permiten realizar las tareas de mantenimiento con eficiencia y seguridad.

#### **3.4.2.3 Control de Calidad**

El personal administrativo del área de Control de Calidad trabaja en un ambiente de 85 m<sup>2</sup>, adecuadamente ventilado e iluminado; observándose asimismo orden,

limpieza y distribución correcta de los diferentes puestos de trabajo.

En relación al Laboratorio Químico General, éste dispone de un área de 192 m<sup>2</sup>; en el cual se observa la existencia de: estantes, anaqueles, gabinetes, vitrinas, equipos de esterilización, instrumentos, reactivos, sustancias químicas, probetas, mesas de trabajo e instalaciones de tuberías de agua, vapor y combustible. Los equipos, muebles y materiales, tienen una buena disposición; así mismo el diseño y la ubicación de las lámparas de iluminación permiten la realización de las pruebas, con mayor precisión.

#### **3.4.2.4 Almacén General**

El Almacén General es bastante amplio y ocupa un área de 2,980 m<sup>2</sup>.

Dentro de él, se observa una buena disposición de zonas destinadas al almacenamiento de producto terminado, existen plataformas de madera especialmente diseñadas para ser transportadas por un cargador frontal, luego de haber apilado las bolsas de 25 Kg. llenas del producto terminado. Vale la pena aclarar que las bolsas donde se llena el producto son de papel e internamente lleva una protección de plástico, la misma que es sellada en su extremo, de esta manera se protege al PVC del contacto de la humedad y de otros cuerpos extraños del ambiente,



garantizando el producto hasta el momento de su uso. La superficie destinada al almacenamiento de las plataformas es amplia, ya que la producción diaria es casi de 20 toneladas, lo que equivale a 800 bolsas de Kg. de peso.

Así mismo, se aprecia una buena iluminación y ventilación adecuada.

También dispone de oficinas administrativas cuyas instalaciones están bien determinadas, ya que se nota orden y buena disposición de los puestos de trabajo; realizándose de esta manera un adecuado control del ingreso y salida del producto terminado.

#### **3.4.2.5 Oficinas Administrativas**

El sector administrativo comprende las siguientes áreas: Gerencia General, Gerencia Administrativa, Contabilidad General, Personal, Ventas, Relaciones Industriales y Compras; las cuales ocupan una superficie de 280 m<sup>2</sup>.

Los diferentes ambientes ubicados en este sector, presentan buena ventilación e iluminación, lo cual favorece el desarrollo de las actividades administrativas.

Por otro lado, existe una distribución favorable de los diferentes puestos de trabajo, así mismo los muebles que se encuentran en cada uno de ellos.

#### **3.4.2.6 Otras Instalaciones**

Se consideran como otras instalaciones: el almacén de compuestos residuales, servicios auxiliares para el personal, tanques de suministro de alcohol, etileno y petróleo, torre de enfriamiento y subestación.

En cuanto al almacén de compuestos residuales, se indica que allí se deposita el ácido clorhídrico de baja concentración (23%), compuesto que es vendido a la planta ALCAF (Acalisis Peruanos S.A.) para su reprocesamiento.

En relación a los servicios auxiliares tales como: cafetería, vestuarios y servicios higiénicos, éstos satisfacen las necesidades del personal administrativo y de planta.

#### **3.4.3 Aprovisionamiento**

La materia prima principal es el alcohol, el cual es comprado de las destilerías de Cartavio y Paramonga, cuya pureza es de 95%.

El alcohol es traído a la planta en camiones cisternas de Lunes a Viernes, garantizándose de esta



manera un flujo diario de 35,000 litros. Si por algún motivo las destilerías indicadas anteriormente no permiten este abastecimiento, se recurre a otras empresas del extranjero, tocándose fundamentalmente el mercado del Ecuador.

En cuanto al ácido clorhídrico que utiliza la empresa en la fabricación del FVC, la planta ALCAF es su principal proveedor, debido a que es una de las plantas que conforman la Sociedad Paramonga Ltda.

Los catalizadores, que son compuestos químicos que aceleran una reacción, son importados de Estados Unidos en cilindros de 45 Kg. a US\$ 16 el kilogramo.

El polímero que es otro catalizador, lo importan de Alemania en cilindros de 50 Kg. Para complementar la información anteriormente indicada sobre el consumo de los diferentes insumos requeridos para la producción de 7,200 toneladas de FVC, durante el año de 1990, se presenta la siguiente tabla resumen.

INSUMOS	CONSUMO
Monómero de cloruro de vinilo (TM)	7,643
Dicloroetano crudo (TM)	13,160
Cloro (TM)	9,946
Etileno (TM)	4,219
Alcohol (Lt)	9'783,861
Petróleo Diesel (Gl)	673,660
Vapor (millones de BTU)	147,600
Soda cáustica (Kg)	63,273
Electricidad (KWh x 1,000)	10,271

Tabla Nº 6

### 3.5 Sistema de Mantenimiento

#### 3.5.1 Estructura Orgánica

En la actualidad el Departamento de Mantenimiento, está constituido por el siguiente personal:

- 3 ingenieros
- 6 empleados
- 38 trabajadores

La fuerza laboral antes indicada permite realizar las tareas de mantenimiento, inspecciones, inventario de repuestos, mantenimiento preventivo, diseño y dibujo.

Los ingenieros están asignados los siguientes cargos:

- Jefe de Mantenimiento
- Supervisor de Mantenimiento
- Asistente de Mantenimiento

Los empleados de este departamento, están distribuidos según la relación siguiente:

- Secretaria
- Control de inventario y repuestos
- Control de mantenimiento preventivo
- Diseño y dibujo
- Montacargas
- Chofer

En cuanto a los trabajadores, la distribución es la siguiente:

- Supervisores (3)
- Mecánicos jefes (2)
- Electricista jefe
- Instrumentista jefe
- Mecánicos de día (12)
- Mecánicos de guardia (7)

- Electricistas de día (2)
- Electricistas de guardia (4)
- Instrumentistas (5)
- Storista

La organización del personal de este departamento se encuentra incluida el organigrama general de la planta (Organigrama Nº 1 - Anexo).

### **3.5.2 Funciones y Responsabilidades**

#### **3.5.2.1 Jefe de Mantenimiento**

- a) Elaborar y ejecutar planes y programas de mantenimiento preventivo.
- b) Coordinar con el supervisor de mantenimiento sobre los planes y acciones que se deben considerar en la ejecución de las actividades requeridas por el departamento.
- c) Formular, supervisar y coordinar las acciones sobre seguridad interna y externa de la planta.
- d) Elaborar formatos para el reclutamiento de personal técnico necesario.

- e) Velar por la existencia de un inventario adecuado de repuestos y materiales necesarios para el normal desarrollo de las actividades de mantenimiento.
- f) Presentar y gestionar la aprobación del presupuesto del departamento.

#### **3.5.2.2 Ingeniero Supervisor de Mantenimiento**

- a) Coordinar estrechamente con el Jefe de Mantenimiento, sobre las actividades programadas para el mantenimiento.
- b) Recopilar y almacenar la información proporcionada por el asistente de mantenimiento.
- c) Elaborar programas de inspecciones para las máquinas más importantes de la planta.
- d) Medir y analizar la magnitud de las tareas de mantenimiento.
- e) Coordinar con producción para establecer el tiempo más conveniente de parada de máquina, para la aplicación de tareas de mantenimiento.

- f) Elaborar el plan de compra de repuestos, materiales y accesorios; y coordinar con Contabilidad para su adquisición.

#### **3.5.2.3 Asistente Jefe de Mantenimiento**

- a) Ejecuta y controla las actividades programadas de mantenimiento.
- b) Coordina con los jefes de taller, sobre el personal necesario para cada obra.
- c) Informa al supervisor de mantenimiento sobre el desarrollo de las actividades e imprevistos.
- d) Elabora las instrucciones de trabajo para el personal de mantenimiento.
- e) Programa las horas extra y turnos de trabajo adicionales.

#### **3.5.2.4 Supervisores Jefes de Sección**

- a) Coordinar con el Asistente Jefe de Mantenimiento, la ejecución de los diferentes trabajos programados, según la prioridad de éstos.
- b) Asignar las tareas a los jefes de talleres, o en su defecto al personal disponible.

- c) Controlar el avance de los trabajos, para que se realicen en los plazos previstos.
- d) Informar al Asistente Jefe sobre el progreso y resultado de las diferentes acciones tomadas.

#### **3.5.2.5 Jefes de Talleres**

- a) Designar las cuadrillas de trabajadores según la magnitud de los trabajos.
- b) Seleccionar los equipos y herramientas para cada tipo de trabajo.
- c) Gestionar al almacén de repuestos, la entrega de repuestos y materiales necesarios para cada reparación.
- d) Indicar los métodos de trabajo más adecuados a seguir en el proceso de reparaciones.

#### **3.5.3 Descripción Técnica de Máquinas y Equipos**

La descripción de máquinas y equipos se indicará teniendo en cuenta las plantas de producción que permiten obtener el policloruro de vinilo.



### 3.5.3.1 Planta de Etileno

a) Bomba de Descarga de Alcohol:

Marca: Goulds  
Potencia: 2 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 57 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 405-B

b) Bomba de Alcohol:

Marca: Goulds  
Potencia: 1.5 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 10 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 410-V

c) Bomba de Descarga de Petróleo:

Marca: Goulds  
Potencia: 3 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 50 gpm  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 420-B1

d) Bomba de Petr3leo:

Marca: Goulds  
Potencia: 1/3 HP  
Velocidad: 3,700 rpm  
Cantidad: 2 unidades  
C3digo: 420-B2

e) Bomba de Licor Quencher:

Marca: Goulds  
Potencia: 5 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 50 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
C3digo: 435-B

f) Bomba de Torre de Lavado:

Marca: Goulds  
Potencia: 7.5 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 10 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
C3digo: 450-B

g) Bomba de Recirculaci3n de Agua:

Marca: Goulds  
Potencia: 2 HP

Velocidad: 3,500 rpm

Capacidad: 20 gpm

Cantidad: 1 unidad

Código: 450-B3

h) Tanque de Alcohol:

Diámetro: 28'8"

Altura: 24'

Cantidad: 2 unidades

Código: 410-R

i) Vaporizador:

Diámetro: 19"

Altura: 6'7".

Cantidad: 9 unidades

Código: 415-A

j) Súper Calentador:

Diámetro: 17"

Altura: 5'9"

Cantidad: 9 unidades

Código: 415-A1

k) Generador de Etileno:

Longitud: 11'9"

Diámetro tubos: 1 1/2"

Nº de tubos: 139

Cantidad: 9 unidades

Código: 425-C

l) Horno Quemador:

Diámetro: 4'

Altura: 7'

Cantidad: 9 unidades

Código: 420-Q

m) Ventiladores de Gases de Combustión:

Potencia: 5 HP

Velocidad: 3,500 rpm

Voltaje: 550 V

Amperaje: 5.5 A

Cantidad: 9 unidades

Código: 420-V

n) Ventiladores para Quemadores:

Potencia: 7.5 HP

Velocidad: 3,525 rpm

Voltaje: 550 V

Amperaje: 8 A

Cantidad: 2 unidades

Código: 420-V1

o) Enfriador de Licor Quencher:

Temperatura: 440-180°F

Cantidad: 1 unidad

Código: 435-A

p) Tanque de Licor de Enfriamiento:

Diámetro: 48"

Altura: 5'

Cantidad: 1 unidad

Código: 435-R

q) Compresora de Etileno:

Potencia: 30 HP

Velocidad: 485 rpm

Presión: 100 psi

Cantidad: 3 unidades

Código: 445-V

r) Enfriadores de Compresoras:

Presión: 625 BTU/hr

Cantidad: 3 unidades

Código: 445-A

s) Enfriador de Etileno:

Presión: 130 psi

Temperatura: 350°F

Cantidad: 1 unidad

Código: 450-A

t) Torre de Lavado:

Diámetro: 20'  
Altura: 11'5"  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 450-A6

**3.5.3.2 Planta de Dicloroetano**

a) Bomba de HCl Fuerte:

Marca: Karbate  
Potencia: 3 HP  
Velocidad: 1,750 rpm  
Capacidad: 40 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 510-B

b) Bomba de Dowtherm:

Marca: Goulds  
Potencia: 7.5 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 140 gpm  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 425-B

c) Bomba de Condensado:

Marca: Goulds  
Potencia: 15 HP

Velocidad: 3,550 rpm  
Capacidad: 20 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 525-B2

d) Bomba de Dicloroetano a Columna:

Marca: Goulds  
Potencia: 5 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 12 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 550-B

e) Bomba de Soda Cáustica:

Marca: Goulds  
Potencia: 3 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 3 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 550-B3

f) Bomba de Dicloroetano Crudo:

Marca: Goulds  
Potencia: 2 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 30 gpm  
Cantidad: 2 unidades



Código: 550-B6

g) Bomba de Alimentación a Columna:

Marca: Goulds

Potencia: 3 HP

Velocidad: 3,500 rpm

Capacidad: 6 gpm

Cantidad: 2 unidades

Código: 560-B

h) Bomba de Reflujo:

Marca: Goulds

Potencia: 3 HP

Velocidad: 3,500 rpm

Capacidad: 3 gpm

Cantidad: 2 unidades

Código: 560-B3

i) Bomba de Dicloroetano de Reciclo:

Marca: Goulds

Potencia: 7.5 HP

Velocidad: 3,500 rpm

Capacidad: 5 gpm

Cantidad: 2 unidades

Código: 565-B

j) Bomba de Reflujo:

Marca: Goulds  
Potencia: 10 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 42 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 565-B5

k) Bomba de Transferencia:

Marca: Goulds  
Potencia: 10 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 42 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 565-B7

l) Bomba de Productos Livianos:

Marca: Goulds  
Potencia: 2 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 30 gpm  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 565-B9

m) Bomba de Dicloroetano Purificado:

Marca: Goulds

Potencia: 3 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 60 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 570-B

n) Bomba de Transporte:

Marca: Goulds  
Potencia: 1 HP  
Velocidad: 1,750 rpm  
Capacidad: 11 gpm  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 570-B1

o) Bomba de Mezcla Refrigerante:

Marca: Goulds  
Potencia: 5 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 100 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 1355-B

p) Reactor de Dicloroetano:

Presión: 225 psi  
Temperatura: 800°F  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 525-C

q) Unidad Refrigerante:

Marca: Vilter  
Potencia: 100 HP  
Amperaje: 98 A  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 1355-X

r) Compresora de HCl:

Potencia: 60 HP  
Velocidad: 410 rpm  
Presión: 100 psi  
Amperaje: 60 A  
Cantidad: 3 unidades  
Código: 515-V

s) Interenfriador:

Presión: 165 psi  
Temperatura: 350°F  
Cantidad: 4 unidades  
Código: 515-A

t) Compresora de Aire:

Potencia: 75 HP  
Velocidad: 635 rpm  
Presión: 125 psi  
Amperaje: 75 A

Cantidad: 4 unidades

Código: 515-V5

u) Enfriador de Aire:

Presión: 165 psi

Temperatura: 350°F

Cantidad: 3 unidades

Código: 515-K

v) Secador de Aire:

Diámetro: 18"

Altura: 4' 2"

Cantidad: 3 unidades

Código: 510-G

w) Tanque de HCl Fuerte:

Diámetro: 12' 1"

Altura: 18'

Cantidad: 2 unidades

Código: 510-R

x) Tanque de HCl Débil:

Diámetro: 6'

Altura: 8'

Cantidad: 1 unidad

Código: 510-R3

y) Tanque de Dowtherm:

Fresión: 100 psi  
Diámetro: 6'  
Altura: 17'4"  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 525-R

z) Separador Líquido Vapor:

Temperatura: 500°F  
Diámetro: 4'  
Altura: 9'6"  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 525-R2

z1) Separador Líquido - Gas:

Fresión: 90 psi  
Temperatura: 150°F  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 530-R

z2) Tanque de Dicloroetano Crudo:

Diámetro: 8'1"  
Altura: 10'  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 550-R

z3) Tanque de Mezcla Refrigerante:

Fresión: 5 psi  
Diámetro: 10'  
Altura: 8'  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 1355-R

**3.5.3.3 Planta de Monómero de Cloruro de Vinilo**

a) Bomba de Agua de Enfriamiento:

Marca: Goulds  
Potencia: 7.5 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 100 gpm  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 605-B

b) Bomba de Petróleo:

Marca: Viking  
Potencia: 1 HP  
Velocidad: 1,725/1425 rpm  
Capacidad: 1.5 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 610-B

c) Bomba de Dicloroetano Purificado:

Marca: Roy E. Roth



Potencia: 5 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 10 gpm  
Cantidad: 3 unidades  
Código: 615-B

d) Bomba de Licor Quencher:

Marca: Goulds  
Potencia: 7.5 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 123 gpm  
Cantidad: 3 unidades  
Código: 630-B

e) Bomba de Alimentación de Monómero de Cloruro  
de Vinilo:

Marca: Goulds  
Potencia: 15 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 23 gpm  
Cantidad: 3 unidades  
Código: 635-B

f) Bomba de Destilado:

Marca: Goulds  
Potencia: 3 HP  
Velocidad: 3,500 rpm

Capacidad: 11 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 645-B

g) Bomba de Producto:

Marca: Goulds  
Potencia: 3 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 10 gpm  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 655-B

h) Horno de Craqueo:

Marca: Alcorn  
Presión: 85 psi  
Temperatura: 910°F  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 625-Q

i) Enfriador de Licor Quencher:

Presión: 160 psi  
Temperatura: 300°F  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 630-A

j) Torre de Enfriamiento Quencher:

Diámetro: 3'

Altura: 29'  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 630-G

k) Calandria de la Columna de HCl:

Presión: 350 psi  
Temperatura: 305°F  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 635-A

l) Stripper de HCl:

Diámetro: 3'  
Altura: 82'  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 635-G

ll) Condensador de Monómero de Cloruro de Vinilo:

Presión: 100 psi  
Temperatura: 160°F  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 645-A

m) Columna de Monómero de Cloruro de Vinilo:

Diámetro: 3"  
Altura: 60'  
Cantidad: 1 unidad

Código: 645-G

n) Vaporizador de Dicloroetano:

Presión: 475 psi

Temperatura: 505°F

Cantidad: 1 unidad

Código: 620-A

o) Condensador de HCl:

Presión: 390 psi

Temperatura: 40°F

Cantidad: 1 unidad

Código: 635-A

p) Unidad de Refrigeración

Marca: Vilter

Potencia: 100 HP

Amperaje: 98 A

Cantidad: 2 unidades

Código: 1355-X1

#### 3.5.3.4 Planta de Polímero

a) Bomba de Alimentación de Agua Caliente:

Marca: Goulds

Potencia: 40 HP

Velocidad: 3,500 rpm

Capacidad: 135 gpm  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 715-B

b) Bomba de Descarga de Monómero de Cloruro de Vinilo:

Marca: Goulds  
Potencia: 40 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 100 gpm  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 715-B5

c) Bomba de Alimentación de Agentes de Suspensión:

Marca: Jaeco  
Potencia: 3 HP  
Velocidad: 1,800 rpm  
Capacidad: 276 gpm  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 715-B8

d) Bomba de Alimentación de Acetato de Vinilo:

Marca: Goulds  
Potencia: 7.5 HP  
Velocidad: 3,500 rpm  
Capacidad: 20 gpm

Cantidad: 1 unidad

Código: 715-B13

e) Bomba de Recirculación:

Marca: Goulds

Potencia: 1.5 HP

Velocidad: 40 rpm

Capacidad: 135 gpm

Cantidad: 1 unidad

Código: 720-B

f) Bomba de Agua:

Marca: Goulds

Potencia: 1.5 HP

Velocidad: 3,500 rpm

Capacidad: 250 gpm

Cantidad: 2 unidades

Código: 715-B

g) Bomba de Slurry:

Marca: Tricloveer

Potencia: 15 HP

Velocidad: 1,750 rpm

Capacidad: 150 gpm

Cantidad: 2 unidades

Código: 740-B

h) Bomba de Vacío:

Marca: Nash Hylor

Potencia: 40 HP

Velocidad: 1,800 rpm

Capacidad: 12 gpm

Cantidad: 1 unidad

Código: 745-B

i) Bomba de Recirculación de Agua Caliente:

Marca: Goulds

Potencia: 1.5 HP

Velocidad: 3,800 rpm

Capacidad: 35 gpm

Cantidad: 1 unidad

Código: 750-B2

j) Bomba de Agua Refrigerada:

Marca: Goulds

Potencia: 40 HP

Velocidad: 1,750 rpm

Capacidad: 600 gpm

Cantidad: 2 unidades

Código: 790-B

k) Bomba de Retorno de Agua Refrigerada:

Marca: Goulds



Potencia: 40 HP  
Velocidad: 1,800 rpm  
Capacidad: 1300 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 790-B24

1) Condensador de Monómero de Cloruro de  
Vinilo:

Presión: 150 psi  
Temperatura: 300°F  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 720-A

11) Agitadores:

Potencia: 7.5 HP  
Velocidad: 1,750 rpm  
Relación: 27/1  
Cantidad: 4 unidades  
Código: 740-E

m) Compresora:

Marca: Nash  
Potencia: 50 HP  
Velocidad: 1,770 rpm  
Capacidad: 12 gpm  
Cantidad: 2 unidades  
Código: 745-B2

n) Secador Rotativo de Resina:

Potencia: 7.5 HF  
Velocidad: 155 rpm  
Relación: 11.28/1  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 765-J

o) Centrífuga:

Potencia: 15 HF  
Velocidad: 2,000 rpm  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 765-k

p) Zaranda:

Tipo: Horizontal  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 765-K7

q) Unidad de Refrigeración:

Marca: Vilter  
Potencia: 150 HF  
Amperaje: 145 A  
Cantidad: 1 unidad  
Código: 790-X

#### **3.5.4 Clasificación de Máquinas**

Para definir la clasificación de máquinas, se ha tenido en cuenta su importancia dentro del proceso de fabricación, ya que su interrupción de funcionamiento detendría la producción.

Se ha tenido presente también el concepto de "Cuello de Botella", lo que implica que la máquina en esta situación es imprescindible en la producción, y una parada de máquina genera pérdidas significativas en la producción.

Considerando estos criterios, se establece la siguiente clasificación:

##### **3.5.4.1 Máquinas Principales**

Se consideran dentro de este rubro a las máquinas que son indispensables para la producción del FVC, para una mejor identificación mostramos el siguiente cuadro:

FLANTA	MAQUINA	CODIGO
Etileno	Horno quemador	420-Q
	Generador de etileno	425-C
	Compresora de etileno	425-V
	Bomba de licor Quencher	435-B
	Bomba de torre de lavado	450-B
	Bomba de alcohol	405-B
Dicloroetano	Reactor de DCE	525-C
	Bomba de condensado	525-B2
	Enfriador de aire	525-K
	Secador de aire	510-G
	Bomba de dowtherm	525-B
	Bomba de DCE a columna	550-B
	Bomba de alimentación a columna	560-B
	Bomba de transferencia	565-B7
Monómero de Cloruro de Vinilo	Vaporizador de DCE	620-A
	Unidad de refrigeración	1355-X1
	Horno de craqueo	625-Q
	Enfriador de licor Quencher	630-A
	Stripper de HCl	635-G
	Columna de monómero de cloruro de vinilo	645-G
	Bomba de licor Quencher	630-B
	Bomba de alimentación de MVC	635-B

PLANTA	MAQUINA	CODIGO
Polímero de Cloruro de Vinilo	Centrífuga	765-K
	Secador rotativo de resina	765-J
	Compresora Nash	745-B2
	Unidad de refrigeración	790-X
	Bomba de alimentación de agua caliente	715-B
	Bomba de descarga de MVC	715-B5
	Bomba de vacío	745-B
	Bomba de agua refrigerada	790-B
Bomba de retorno de agua refrigerada	790-B24	

Tabla Nº 7

### 3.5.4.2 Máquina Crítica

Analizando todas las máquinas principales mencionadas en la Tabla Nº 7, y considerando los factores decisivos para la determinación de la criticidad de una máquina, dentro de la línea de producción, es decir teniendo presente una elevada frecuencia de fallas como un primer factor determinante y la interrupción de funcionamiento implican necesariamente parada de línea, como un segundo factor determinante de la criticidad, entre otros factores de menor importancia; se concluye que la máquina crítica en toda la planta de producción de PVC es el "Horno de Craqueo" ya que éste concuerda con los factores descritos anteriormente (Ver Esquema Nº 1 - Anexo).

Cabe mencionar que esta máquina trabaja a su máxima capacidad, y en muchas ocasiones ha fallado, generando consecuentemente la paralización de la producción de resina de FVC. Así mismo esta máquina requiere de una reparación integral, lo que significaría una inversión bastante alta para la empresa, pero necesaria para recuperar su operatividad plena.

#### **3.5.4.3 Máquinas Secundarias**

Se les da esta designación a aquellas máquinas que no son indispensables, pero que se requiere de su funcionamiento como complemento dentro de la línea de producción.

Están formadas por: bombas, motores eléctricos, compresores, tanques, vaporizadores, calentadores, ventiladores, enfriadores, torres de lavado, equipos de refrigeración, interenfriadores, secadores, separadores, reductores de velocidad, agitadores, zarandas, tolvas y otros equipos menores.

#### **3.5.5 Sistema Informativo**

El Sistema Informativo del Departamento de Mantenimiento está definido básicamente por los informes técnicos que envía el departamento tanto a la Gerencia de Planta, así como también los que se generan hacia el interior.



La naturaleza de los informes es muy importante para la Gerencia y otros departamentos, considerando que las obligaciones asignadas sean entendidas, asumiéndose la responsabilidad de su culminación exitosa.

El propósito de estos informes es que el Gerente de Mantenimiento supervise y controle las actividades del Departamento que lidera, buscando así las necesidades de las áreas, las acciones correctivas y la facilidad en el control y transmisión de la información.

Dentro de los informes que se emiten están los siguientes:

#### **3.5.5.1 Informe Diario**

Es emitido por el Asistente Jefe de Mantenimiento, y dirigido al Ing. Supervisor de Mantenimiento.

Sin contenido consiste en un resumen de las diferentes actividades de mantenimiento, realizadas en un día normal de trabajo.

Cabe mencionar, que en el caso de haberse generado muchas actividades diversas, se hacen una selección previa, considerando aquellas que son más importantes y que estén relacionadas con las máquinas principales; de no darse este caso, se priorizan las actividades, teniendo en cuenta su importancia técnica.



Se observa también, que se hace mención de las causas que originaron la falla, las que generan las actividades de mantenimiento, indicando a su vez el procedimiento que se sigue para reparar la falla.

Seguidamente, se muestra un informe cualquiera, tomado al azar para el día 10 de abril de 1990 (Ver Informe Nº 1 - Anexo).

#### **3.5.5.2 Informe Semanal**

Es emitido por el Ing. Asistente jefe de mantenimiento, y dirigido al Ing. Supervisor de Mantenimiento.

El contenido de este informe, consiste en un resumen concreto de las actividades de mayor importancia que se han realizado durante la semana, indicando una descripción precisa de cada tarea de mantenimiento. Las actividades son clasificadas de acuerdo al tipo de mantenimiento que se ha generado, de tal manera que se considera:

Mantenimiento mecánico

Mantenimiento eléctrico

Mantenimiento de instrumentos

Mantenimiento especiales

Se precisa la falla y la reparación realizada, indicando a su vez los repuestos usados.

Como ejemplo de lo antes explicado, mostramos un informe semanal, correspondiente a la cuarta semana del mes de diciembre de 1990 (Ver Informe Nº 2 - Anexo).

### **3.5.6 Formatos Utilizados**

Actualmente, el departamento de mantenimiento dispone de los siguientes formatos:

#### **3.5.6.1 Orden de Trabajo**

En este formato se debe describir el tipo de trabajo a realizar, con detalles para ofrecer mayor facilidad, en su ejecución.

También se debe indicar la prioridad, la fecha, la hora, el Nº de cuenta y el costo aproximado que demandará dicho trabajo.

Así mismo, deberá autorizar el Supervisor o su adjunto.

Un modelo de este formato se muestra en el Formato Nº 1 (Anexo).

#### **3.5.6.2 Orden para Jobs Especiales**

La denominación de "Jobs Especiales" es equivalente a "Trabajos Especiales" o "Actividades Especiales".

En este formato se procede a realizar una descripción del trabajo a realizar, indicando las características más importantes. Además se debe consignar los siguientes datos: el N° de job especial, el sub job, el cargo de cuenta, la sub cuenta, el pedido al departamento o proveedor, el N° de pedido, fecha, solicitante, el nombre de la persona que aprueba la orden, fecha estimada de conclusión del trabajo, fecha requerida, fecha terminada y el registro de la oficina de control.

Un modelo de este formato se muestra en el formato N° 2 (Anexo).

### **3.5.6.3 Permiso de Trabajo**

Este formato es utilizado como un medio de control, de los trabajos en proceso y también de aquellos ya concluidos.

Contempla una serie de aspectos como son:

- a) Datos generales: fecha, número de horas de validez, lugar o zona donde de interviene, unidad, número de la orden de trabajo y breve descripción del trabajo a efectuar.
- b) Información del responsable de la unidad: datos técnicos sobre la unidad intervenida (purgado, lavado, ventilada, vaporizada,

etc.); datos adicionales sobre: juntas ciegas, pruebas de gas, protección, equipo protector usado; nombre y firma del supervisor del área.

c) Inspección de la unidad: datos técnicos de comprobación (aislado, válvulas, circuitos eléctricos, herramientas, equipo protector, etc.); nombre, firma y hora del supervisor de área; nombre, firma y hora del responsable de mantenimiento; nombre, firma y hora del supervisor de seguridad.

d) Entrega de la unidad: nombre, firma, fecha y hora de las personas que ha entregado, que ha inspeccionado, y que ha recibido.

Seguidamente mostramos un formato de este tipo, en el Formato Nº 3 - Anexo.

### **3.5.7 Historial de Máquina Crítica**

Se ha consignado el historial de la máquina crítica, debido a que ésta se ha convertido en un problema técnico latente para el departamento de mantenimiento, ya que ofrece el mayor número de reparaciones por período establecido.

Además, como ya se ha mencionado, el horno de craqueo (máquina crítica), cuando deja de funcionar por

fallas imputables al mantenimiento, ocasiona parada de línea de producción, con la consiguiente pérdida de producción, lo que repercute en la disminución de utilidades para la empresa.

Por otro lado, recabar esta información ha sido un trabajo arduo, debido a que en la planta no disponen de tarjetas de máquina, donde se debería registrar las fallas y reparaciones de cada máquina. Se ha tenido que recurrir a los informes diarios y semanales, que archiva el Ing. Supervisor de Mantenimiento.

Se ha considerado una data histórica de 3 años de antigüedad, es decir un período total comprendido entre el mes de Febrero de 1988 y Diciembre de 1990. Menciono así mismo que la Ingeniería de Mantenimiento, recomienda como mínimo una data histórica de 3 años, para realizar análisis estadístico y probabilístico, con resultados confiables.

En los siguientes cuadros, se presenta las principales fallas y reparaciones que se han detectado para el horno de craqueo (código 625-Q1).

MAQUINA: HORNO DE CRAQUEO	
FECHA	FALLA Y REPARACION
16-02-88	Se determinó desgaste en los tubos principales (50% de espesor original)  Se registró rajaduras y fuertes incrustaciones.
15-05-88	Se realizó inspección de rutina
15-02-89	Se chequeó espesores en los codos de la última etapa. Se registraron desgastes en las zonas curvadas.  Se deben cambiar los codos de retorno
16-02-89	Se purgó el serpentín del horno, con vapor a presión.  Se procedió a realizar la prueba de fugas en el serpentín, usando nitrógeno, comprobándose que habría fugado en el último codo de salida.
29-05-89	Se reparó los ladrillos refractarios de la cámara de combustión.  Se calibrarán espesores de las paredes del serpentín.
20-06-89	Reparación de las paredes del horno y de la ventana difusora de gases de combustión.

Tabla Nº 8



MAQUINA: HORNO DE CRAQUEO	
FECHA	FALLA Y REPARACION
21-09-89	Se cambió -en la zona radiante de pre calentamiento del horno- el sexto y sétimo tubo.
17-12-89	Se tomaron placas radiográficas en las uniones soldadas de los tubos del horno
09-04-90	Se detectó fuga de producto en la zona de precalentamiento de la chimenea del horno.  Se procedió a cambiar todas las parejas de tubos, tales como: tubos aletados de 2.5"∅ recuperados; tubos aletados de 2.5"∅ nuevos ASTM A106, grado B de 2.895" x 0.203" x 9'6"; tubos lisos de 3"∅, sch 80 nuevos; tubos lisos de 2.5"∅sch 40 nuevos ASTM A-53, grado B.
16-04-90	Se reparó el recubrimiento en la zona de precalentamiento con porta refractaria, súper castable y súper plástico.
23-12-90	Se detectó picaduras en el serpentín del horno.
23-12-90	Se procedió a reparar falla en los tubos del serpentín, el 3er tubo del quemador N° 6; se preparó anillo para colocar al rededor del tubo y soldarlo.

Tabla N° 9

### 3.5.8 Determinación del Costo de Mantenimiento Actual

Se analiza el último año de operación, considerado dentro de la data histórica, es decir todo el año de 1990.

Los factores componentes de este costo, se han obtenido teniendo como fuente de información el



Departamento de Contabilidad de la empresa, así como también los Departamentos de Mantenimiento y Producción.

Seguidamente, se muestra una tabla resumen de estos cálculos.

MESES	MATERIALES REFUESTOS \$	MANT. Y DES. GASTE INSTR \$	MANO DE OBRA \$	M. de O. TERCEROS \$	OTROS GASTOS \$
ENE	49,275	1,225	7,546	1,216	2,463
FEB	35,490	1,100	7,546	1,170	1,744
MAR	34,150	1,000	7,546	1,130	1,707
ABR	42,910	1,340	7,546	1,160	2,145
MAY	33,000	1,210	7,546	2,000	1,650
JUN	47,235	1,455	7,546	1,185	2,360
JUL	40,500	1,342	7,546	1,250	2,025
AGO	38,750	1,285	7,546	1,050	1,937
SET	31,900	1,250	7,546	980	1,595
OCT	30,780	1,220	7,546	1,310	1,539
NOV	29,940	1,355	7,546	1,255	1,497
DIC	36,630	1,400	7,546	1,148	1,831
TOTAL	450,560	15,182	90,552	14,854	22,493

Tabla Nº 10

Observando la Tabla Nº 10, podemos obtener el costo del mantenimiento total; para ello se tiene en cuenta los gastos totales de cada rubro, lo que da como

resultado el gasto total anualizado del mantenimiento, correspondiente a la suma de \$593,641.

Por otro lado, recordando que la capacidad de producción es de 7,200 Ton/año, trabajando a plena carga y sin horas de parada de líneas de producción; lo cual es imposible, ya que se han registrado en el período de estudio más de 700 hr/año, lo que justifica una disminución de por lo menos 10% de su capacidad de producción, es decir para el año 1990 su producción fue de 6480 Ton.

Luego, el costo del mantenimiento por tonelada producida, resulta ser de \$91.6; y relacionándolo con el costo de una tonelada de producto que es aproximadamente \$1,200, obtenemos que el costo de mantenimiento significa el 7.63% del costo de producción.

### **3.5.9 Parámetros e Índices de Mantenimiento**

Considerando que no se llevan registros adecuados, con datos exactos sobre la generación de fallas, tiempos de duración, costos de reparaciones, presupuestos y otros factores técnicos que permitan calcular todos los parámetros e índices de mantenimiento, que en el análisis moderno tienen importancia para un control más preciso del sistema utilizado.

### **3.5.9.1 Costo de Producción por Hora**

Primeramente, se debe conocer el costo de producción total anualizado, el mismo que se obtiene conociendo la producción en función su capacidad máxima, es decir 7,200 Ton/año y a su vez teniendo presente el costo de producción por tonelada, el cual es \$1,200; lo que da como costo de producción total: \$8'640,000 por año.

Según información del departamento de producción, se ha determinado para el último año en estudio (1990), un total de 745 horas no producidas, por causas de fallas de las máquinas; este dato se ha chequeado con registros de mantenimiento, resultando ser compatible.

Luego el número de horas realmente trabajadas, es:

$$8,760 - 745 = 8,015 \text{ hr/año}$$

En consecuencia, el costo de producción por hora es: \$1,078.

### **3.5.9.2 Costo de Parada**

Queda definido, sabiendo el número total de horas de parada y el costo de producción por hora, referidos a 1990. Resulta ser de: \$803,110 por año.

### 3.5.9.3 Costo de Mantenimiento Correctivo y Preventivo

Para determinar estos parámetros se ha tenido en cuenta la información recabada en la supervisión de mantenimiento, referente a la aplicación tanto del mantenimiento correctivo como del preventivo, resultando un estimado de:

- Mantenimiento correctivo: 70%
- Mantenimiento preventivo: 30%

Lo cual nos permite calcular los respectivos costos, siendo estos:

- Mantenimiento correctivo: \$415,549
- Mantenimiento preventivo: \$178,092

### 3.5.9.4 Indice General de Personal

Se determina utilizando la siguiente relación analítica:

$$(IG)_p = \frac{H(md)}{H(presencia)} \times 100$$

H(md), significa el número de horas de mantenimiento disponible, que está formado por las horas aplicadas en mantenimiento correctivo y preventivo; para nuestro caso en un día normal de trabajo es de: 304 hr.

H(presencia), significa el número de horas totales aplicadas a todas las actividades de mantenimiento directas e indirectas; resultando ser de: 376 hr.

En consecuencia, obtenemos para el índice general de personal:

$$(IG)_p = 80\%$$

Este resultado es bastante aceptado, ya que nos indica cómo está distribuido el personal de mantenimiento con respecto a las tareas o trabajos que se deben atender.

#### 3.5.9.5 Indice del Porcentaje de Reparaciones por Mantenimiento Preventivo y Correctivo.

Está definido por la siguiente relación matemática:

$$(\%R)_{MP} = \frac{CT_{(MP)}}{CT_{(MP)} + CT_{(MC)}} \times 100$$

Sustituyendo valores ya conocidos en el acápite 3.5.9.3, obtenemos:

$$(\%R)_{MP} = 30\%$$

Asi mismo, para el mantenimiento correctivo, tenemos:

$$(\%R)_{MC} = \frac{CT_{(mc)}}{CT_{(mp)} + CT_{(mc)}} \times 100$$

Luego, obtenemos como resultado final:  $(\%R)_{MC} = 70\%$ .

Estos resultados nos indican, que la mayoría de las tareas o trabajos de mantenimiento se hacen empleando el sistema correctivo, lo que repercute notoriamente en el tiempo de parada y en el costo final de mantenimiento.

#### 3.5.9.6 Indice del Costo del Mantenimiento con Respecto a la Producción

Queda definido, aplicando la siguiente relación analítica:

$$(ICM)_P = \frac{(CT)_{(mc)} + CT_{(mp)} + T_{(parada)}}{C_{(producción)}} \times 100$$

Sustituyendo en esta expresión los valores numéricos correspondientes, se obtiene:

$$(ICM)_P = 16.17\%$$

Analizando este resultado, observamos que este porcentaje está por encima del promedio recomendado que es del 5% (Manual de Ingeniería de Mantenimiento).



### 3.5.9.7 Indice de Repercusión de Fallas con Respecto a la Producción

Para determinar este índice se ha tomado en cuenta el mayor costo generado por el mantenimiento correctivo, ya que tiene una incidencia del 70% sobre todas las tareas de mantenimiento desarrolladas en la planta.

Para su determinación, se aplica la siguiente relación:

$$(IRF)_P = \frac{(CT)_{(mc)} + T_{(parada)}}{C_{(producción)}} \times 100$$

Luego, de reemplazar los costos respectivos, se halla:

$$(IRF)_P = 14.10\%$$

Este resultado nos permite afirmar, que el costo de parada es muy alto, debido a que el tiempo de parada es generado por las fallas en las máquinas, lo que incrementa notablemente este resultado, superando los límites aceptables recomendados que son del 5%.

### 3.5.10 Determinación del Stock de Repuestos

El sistema que permite el control de repuestos en la planta de PVC es computarizado, lo que garantiza la disponibilidad de los repuestos en cantidades adecuadas y



sobre todo para la fecha en que se precisa, ya esté el almacén; lo cual repercute en una mayor facilidad de ejecución de las diversas tareas de mantenimiento.

Dentro de la metodología seguida, se puede observar lo siguiente: cada artículo está codificado, el precio de cada repuesto en el momento de su adquisición también se registra, así mismo el código tipo de rotación (CT).

Se denomina código de rotación (CT), al código de clasificación que se da a los repuestos para su administración, de tal manera que el primer dígito indica el tipo de repuesto y el segundo dígito indica el procedimiento de reposición.

Actualmente existen diez códigos tipos de repuestos y materiales en la planta, que son los siguientes:

a) Código tipo N<sup>o</sup> CT31

Se requiere a mercadería general con máximos y mínimos, en los que se toma en consideración: el consumo de los últimos tres años, su valor unitario, el tiempo de reposición y su stock de protección.

La reposición es automática y de responsabilidad de la sección de materiales,

considerando para ello los reportes de almacén sobre existencia de repuestos y materiales.

b) Código tipo N° CT32

Especifica mercadería general que aún no tiene tres años en nuestros almacenes desde su primer ingreso, que puede tener máximos o mínimos, de acuerdo lo que consideran los usuarios; cuando el stock llegue al mínimo o a cero el almacenero reportará la oficina de materiales, la que a su vez solicitará a los usuarios la cantidad a pedir.

c) Código tipo N° CT33

Referente a mercadería general con consumo regular y que por razones especiales el usuario solicita un máximo o un mínimo específico y cuyo control de reposición estará bajo la responsabilidad de la planta, considerando para ello la información de la oficina de materiales sobre la existencia de repuestos y materiales.

d) Código tipo N° CT21

Referentes a repuestos con máximos y mínimos, calculado de acuerdo a fórmulas y categorías existentes.

El procedimiento para su reposición es igual al señalado para el CT31.

e) Código tipo N° CT22

Se refieren a repuestos que aún no tienen, tres años registrados en nuestro stock.

El tratamiento para su reposición será igual al indicado para el CT32.

f) Código tipo N° CT23

Se refieren a repuestos con consumo regular y cuyo procedimiento de reposición es similar al indicado para el CT33.

g) Código tipo N° CT13

Referente a mercadería general y/o repuestos sin máximo ni mínimo, corresponden a materiales semi-obsoletos de consumo lento, es decir espacios prolongados de uno o más años entre consumos.

Su reposición será mediante aviso de existencia baja, aprobado por la planta; cuyo procedimiento es similar a lo señalado para los CT22 y 32.

h) Código tipo Nº CT04

Se refiere a repuestos importantes de bajo índice de rotación, de consumo lento, de elevado costo y de difícil adquisición cuya falta en el stock podría producir la paralización de alguna línea de producción o de toda la planta.

Su reposición lo solicita el departamento de mantenimiento en coordinación con la oficina de materiales.

i) Código tipo Nº CT02

Referente a materias primas, productos de empaque, etc., que están relacionados directamente con la producción.

Su reposición las solicitan las plantas, de acuerdo al programa de producción.

j) Código tipo Nº CT05

Referente materiales declarados obsoletos por los usuarios de la planta, mediante memorandums autorizado por los superintendentes.

Cabe mencionar que la necesidad de registrar los máximos y mínimos en el sistema de materiales, está

priorizada para los códigos CT21 y CT31 o sea lotes, cuya reposición será recomendada por el sistema mecanizado. Los otros códigos, deben registrar los máximos y mínimos en la medida que los usuarios lo crean conveniente.

Seguidamente se muestra una hoja de registro del catálogo de materiales activos. Con las características indicadas anteriormente (Registro de Catálogo Nº 1 Anexo).

### **3.5.11 Debilidades del Sistema Actual**

Como conclusión del diagnóstico realizado la planta, en lo que respecta al sistema actual de mantenimiento, se ha determinado las siguientes debilidades:

#### **3.5.11.1 Organización y Administración**

Se observa en la organización, la deficiencia en cuanto a la planificación de las diversas actividades, que desarrolla el departamento, es decir falta una sección que tenga la responsabilidad de cuantificar y cualificar las tareas que se desarrollarán en un tiempo futuro, para ello será necesario primero, recopilar datos técnicos mediante una serie de elementos informativos, luego establecer el nivel operativo de cada máquina principal de la planta, y segundo hacer el seguimiento a cada unidad aplicando análisis probabilístico y técnicas

de mantenimiento que permitan desarrollar un sistema de mantenimiento planificado.

También se observa que existe debilidad organizativa en el personal de mecánicos, electricistas e instrumentistas, ya que ellos dependen directamente del supervisor de mantenimiento, de electricidad y de instrumentación, haciendo las veces de capataces en la práctica; esta deficiencia debe ser corregida con una organización más ordenada, y con mayor responsabilidad para la ejecución de las tareas asignadas, es decir, con jefes capaces técnicamente para absolver dudas e inquietudes de los trabajadores y sobre todo con ascendencia dentro del departamento.

### **3.5.11.2 Sistema de Comunicación**

Se observa que el departamento está un tanto aislado de las otras entidades dentro de la planta, es decir, no guarda estrecha comunicación con entes directivos y jerárquicos existentes, ni tampoco lo hace con los otros departamentos que funcionan actualmente; en otras palabras, existe debilidad en cuanto a comunicación interna, lo que trae como consecuencia, dificultades en la gestión plena de sus funciones como departamento de mantenimiento.

Esta carencia debe ser saneada, ya que un buen sistema de comunicación facilitará las tareas emprendidas



y esto permitirá mayor eficiencia en el sistema de mantenimiento, con la consecuencia de la reducción y sobre todo disminuirá las pérdidas económicas en la empresa.

#### **3.5.11.3 Informes Técnicos**

Es otra carencia existente, lo cual constituye una debilidad como departamento, ya que no se tiene una secuencia de resultados de la gestión de mantenimiento realizada, ya sean buenas o malas, pero debe existir esta información, porque así se podrán corregir los errores que se desprendan del sistema, y esto hará mucho bien al departamento ya que podrá contar con un medio de retroalimentación de sus propios errores o aciertos, lo que de hecho repercutirá en la mejor marcha del departamento y de esta manera la eficiencia y la efectividad del programa podrá ser cuantificado objetivamente.

#### **3.5.11.4 Indicadores de Mantenimiento**

Así como en la economía existen indicadores económicos, también los hay en mantenimiento, pero que lamentablemente no se determinan en el sistema actual de mantenimiento, esto constituye también una debilidad del sistema actual, que debe ser corregido.



Los indicadores que con mayor frecuencia se utilizan son: conservación de costos por hora, conservación del mantenimiento preventivo, eficiencia del mantenimiento, entre otros.

Se deben calcular para un tiempo determinado, algunos a corto plazo, otros a mediano y largo plazo, ya que ellos nos permitirán cuantificar el nivel técnico-económico-organizativo del sistema en ejercicio, lo cual permitirá tener una medida de mucha utilidad para poder enmendar errores a tiempo e ir ajustando las decisiones tomadas ya sea en los procedimientos, en los programas, en las políticas, en la organización, en la capacitación, en las técnicas adoptadas, etc., es decir tener un conocimiento real de la marcha del sistema de mantenimiento.

#### **3.5.11.5 Programación del Mantenimiento**

Se ha observado que es otra debilidad del sistema actual, ya que no se tiene programas bien definidos de las actividades de mantenimiento; las que existen como tales se hacen en forma improvisada, sin ningún sustento técnico y recurriendo, en la mayoría de los casos en razón a la experiencia acumulada y que con el correr de los años se ha distorsionado. Esta forma de programar debe ser corregida introduciendo métodos técnicos utilizados en la ingeniería de mantenimiento

moderna, que permitan una planificación adecuada, con cálculo de tiempos totales máximos para las reparaciones sobre todo importantes y de gran magnitud, así como también diagramas de actividades en función del tiempo.

Todas estas acciones repercuten en la mejor ejecución de los trabajos, de su control, de su seguimiento y sobre todo del cumplimiento de las actividades dentro de los plazos y condiciones previamente establecidos.

Se debe contemplar también dentro de la programación el análisis estadístico y probabilístico, para determinar el porcentaje de fallas, el cálculo de los parámetros de mantenimiento mediante la aplicación de algún modelo matemático, la obtención de la confiabilidad de máquinas y equipos de la planta, la probabilidad de falla, la frecuencia de falla, y del tiempo medio entre fallas.

Se ha observado también que el sistema actual adolece del cálculo de factores de control, tales como: costo de pérdida de producción, por parada, costo del mantenimiento con respecto a la producción y otros; en los que se debe ahondar con metodologías propuestas de cálculo.

Otro aspecto que se ha notado como carente en el sistema actual de mantenimiento, es justamente no aplicar

técnicas adecuadas, que permitan detectar las fallas con mayor facilidad y precisión, y utilizando menos tiempo tanto en la detección como en la reparación, evitando así mismo paradas innecesarias de las máquinas rotativas para ser inspeccionadas, si no se disponen de métodos tecnológicos adecuados, que permitan determinar las causas, la serenidad vibracional, la evaluación de niveles de vibración, la determinación del nivel de vibración normal, y el procedimiento a seguir; esta falta de conocimiento tiene que ser implementado, sentando las bases para un sistema de mantenimiento moderno y científico.

Dentro de este mismo ángulo de la programación del mantenimiento, existe también deficiencia en cuanto al control por inspecciones las máquinas y equipos existentes en la planta, ya que se hacen las inspecciones sin tener una programación adecuada, sino se rigen por el criterio técnico y la experiencia acumulada, pero no disponen de un procedimiento adecuado, contemplando frecuencias, niveles y conocimientos técnicos adecuados que debe tener un inspector.

El diagnóstico realizado a la planta en estudio, ha permitido descubrir otra debilidad latente en el sistema, cual es la falta de equipos y/o instrumentos adecuados y de cierto nivel, para realizar la toma de datos sobre todo en máquinas rotativas que las hay en

buen número en la planta, por no decir son la mayoría; que permita detectar las fallas a tiempo, cuando la avería no sea tan grave y permite el tiempo suficiente para planificar las tareas correctivas del caso, con la consiguiente ganancia de tiempo en la reparación y sobre todo evitando mayores pérdidas de producción. Esta deficiencia también debe ser corregida en el nuevo sistema planteado.

Por último, otra deficiencia que se ha detectado, es la falta de formatos adecuados para la tarea de datos, que posteriormente dan origen al historial técnico de máquinas y/o equipos existentes, que permitan registrar datos técnicos propios de cada máquina, datos sobre fallas, ordenadores de trabajo, órdenes de almacén, reporte de inspecciones, reporte de control de vibración entre otros. Esta debilidad existente debería ser corregida para que así se pueda realizar mejor las tareas de mantenimiento, con capacidad técnica, con datos confiables, con registros estadísticos y otros beneficios que por sí solos se desprenden de una tecnología ordenada y de nivel científico.

## CAPITULO IV

### SISTEMA DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

#### **4.1 Organización y Administración**

En el diagnóstico realizado, quedó definido la necesidad de tener una sección de planificación, que permita corregir las deficiencias organizativas y facilitar la gestión del mantenimiento.

##### **4.1.1 Estructura Orgánica**

La nueva estructura orgánica que se propone, para el Departamento de Mantenimiento de la planta, se muestra en el Organigrama Nº 2 (Ver Anexo).

##### **4.1.2 Funciones y Obligaciones**

Las funciones y obligaciones del Jefe del Departamento, básicamente van a ser las mismas especiales en el acápite 3.5.2.1 del diagnóstico realizado; con la salvedad de que su trabajo se va volver más dinámico, debido a que su organización será más eficiente ya que encontrará apoyo en la oficina de planificación creada de tal manera que se aplique una concepción moderna del mantenimiento.



Así mismo la Supervisión General, tendrá un Jefe Ingeniero Supervisor de Mantenimiento, el cual coordinará algunas de sus funciones con la sección de planificación, la misma que le brindará un gran apoyo para la ejecución de su labor; sin dejar obviamente las otras funciones que le competen y que se indican en el acápite 3.5.2.2.

La sección de Planificación, tendrá las siguientes funciones y obligaciones generales:

- a) El Jefe de esta sección, será un Ing. Mecánico, el cual coordinará estrechamente con el Ing. Supervisor de mantenimiento, así como también con el Ing. Asistente, para establecer la programación del mantenimiento a corto y largo plazo.
- b) Mantener informado al Ing. Supervisor, sobre el resultado de la evaluación de los diferentes parámetros e índices, como medios de control del desarrollo del sistema de mantenimiento propuesto.
- c) Es su responsabilidad de mantener al día, los registros de historial de máquinas y equipos de la planta, fundamentalmente de aquellos que son principales en las líneas de producción; para lo cual tendrá que crear los medios necesarios, tales como formatos de inspección

adecuados, tarjetas de fallas, tarjetas de reparaciones, tarjetas de tiempos de paradas, etc.

- d) Presentará propuestas para la formulación del presupuesto anual al Jefe del Departamento, considerando la adquisición de repuestos necesarios e imprescindibles, materiales, adquisición de nuevas herramientas que sean necesarias, instrumentos adicionales para la detección de fallas y toma de datos para las máquinas rotativas, así como también gastos que implicarán la realización de nuevas instalaciones ya sea para agilizar las tareas o para un mejor control de las máquinas de producción.
- e) Determinará el estado operativo de las máquinas, realizando para ello un estudio probabilístico, para conocer de esta manera, la probabilidad, la frecuencia de fallas, la vida útil, la etapa de vida de la máquina, su nivel técnico, etc.
- f) Se preocupará por conocer con precisión el valor de los activos fijos de la planta, considerando para ello factores técnicos y



económicos, que permitirá analizar los costos de tenencia del bien.

- g) Será responsable de programas las inspecciones, teniendo en cuenta, la importancia de la máquina, su estado operativo, su historial, etc.. Los instrumentistas serán los encargados de ejecutar esta tarea, disponiendo para ello de formatos adecuados e informando al Ing. Asistente o directamente al Ing. Jefe de Planificación.
- h) Tendrá bajo su responsabilidad, la interpretación y el análisis de los resultados de toma de datos, realizado por los inspectores, proporcionando información oportuna al Ing. Supervisor General, para la toma de decisiones en el tiempo y oportunidad adecuadas.
- i) Proporcionará información y sugerirá las reparaciones integrales o renovaciones de aquellas máquinas que así lo requieran, es decir, aquellas que se encuentran en un período de desgaste avanzado, haciendo para ello un análisis técnico-económico detallado,

y programando con la debida anticipación, para que la Jefatura decida su intervención.

Cabe mencionar también, que los puestos de trabajo de: control de inventarios de repuestos, control de mantenimiento preventivo, dibujo y diseño, pasarán a integrar la sección de planificación. Así mismo se requerirá contratar un Ing. Mecánico y dos técnicos, para completar el personal de la oficina de planificación.

Con respecto al Ing. Asistente jefe de Mantenimiento, cumplirá las mismas funciones y obligaciones, explicitadas en el acápite 3.5.2.3., obviamente con otras adicionales que tendrán que ver con la coordinación estrecha que debe existir con la sección de planificación, debido a que la gestión de mantenimiento será más ordenada y dinámica.

Además en el organigrama propuesto (Nº 2), se puede observar que se presentan tres secciones, que son de mecánica, electricidad e instrumentación; en otras palabras estas secciones absorberán a todos los trabajadores de mantenimiento, es decir: maestros, técnicos, operarios y ayudantes. Cada sección deberá tener un jefe que se desempeñará como supervisor de mecánica, supervisor de electricidad y supervisor de instrumentación. Así mismo se respetarán los guardias nocturnas en las tres secciones.

Las funciones y obligaciones de los jefes de sección, estarán orientadas a la ejecución de las órdenes de trabajo, a velar para que las tareas encomendadas al personal se cumplan dentro de las condiciones y plazos determinados, chequeando la calidad del trabajo y la puesta en marcha de la máquina reparada; así mismo coordinará con el Ing. Asistente cualquier acción a tomar y reportando cualquier problema que se haya presentado durante el desarrollo de las actividades.

#### **4.2 Sistema de Comunicación**

Lo constituye todos los medios escritos, mediante los cuales el departamento de mantenimiento se comunica con otros departamentos de la planta, así como también con los ejecutivos de la empresa, mediante el envío de informes técnicos, dando conocimiento de la gestión que se está desarrollando, con la finalidad de crear un ambiente en el directorio de la empresa, favorable a las posibles solicitudes posteriores ya sean de carácter económico o de decisión para una mejor marcha del departamento, en lo que respecta a posibles ampliaciones de partidas presupuestarias, para atender reparaciones integrales de máquinas importantes, compra de herramientas, equipos, instrumentos de medición, ejecutar programas de adiestramiento; de tal manera que se pueda tener los recursos materiales y humano que hagan posible mayor eficiencia de la gestión del mantenimiento.

Dentro del sistema de comunicación, se contempla dos aspectos, a saber:

#### 4.2.1 Comunicación con otros Departamentos

Es necesario mantener fluidas las relaciones con los departamentos de la planta, debido a que ello permitirá mayor facilidad en la gestión del mantenimiento.

Entre los departamentos con los que se debe priorizar las comunicaciones son:

##### a) Producción

Con este departamento se debe tener relaciones permanentes, que permitan coordinar la paralización de máquinas y equipos, para aplicarles tareas de mantenimiento, ya sean de reparación o inspección; evitando en lo posible pérdidas de producción.

Así mismo facilitará el buen entendimiento entre trabajadores de ambos departamentos, lo que repercutirá en la operatividad de las máquinas.

Permitirá también que en los planes de producción, se considere el programa de intervenciones a las máquinas de producción,

de tal manera que disminuya el número de horas de parada de planta.

Cabe hacer hincapié, que una máquina bien mantenida es un factor decisivo para la productividad.

b) Contabilidad

Es de gran utilidad tener buenas relaciones con este departamento, debido que la acumulación de datos sobre costos, tales como: repuestos, materiales, mano de obra, créditos bancarios, líneas de crédito, etc.; se realiza en este departamento, y consecuentemente estaremos informados sobre estos indicadores económicos. Para ello será necesario abrir el canal informativo como un servicio de contabilidad, con cierta frecuencia y cuando se requiera datos específicos para algún análisis de instalación o renovación de equipos.

También estos costos serán de utilidad para calcular los costos de mantenimiento, y así poder enviar reportes a instancias ejecutivas de la empresa.

Así mismo, permitirá mantener vigentes los parámetros e índices de mantenimientos, como medios de control de la eficiencia de la gestión.

c) Logística

En otra palabras con compras y almacenes, será adecuado mantener fluidas nuestras relaciones laborales, porque de ello se desprenderá la mayor facilidad para la adquisición de repuestos y materiales en cantidades, calidades y en forma oportuna.

para lograr este fin el departamento debe presentar sus requerimientos con la debida anticipación, de acuerdo a lo proyectado en su stock de repuestos y materiales.

Estos trámites se ven favorecidos si tienen en cuenta que la oficina de materiales tiene acceso al sistema computarizado para las compras, los que obviamente repercutirá en beneficio de nuestro departamento, garantizando la adquisición de repuestos y materiales más urgentes, si lo establecido en código tipo (CT) de la planta, según se explicó en el acápite 3.5.9.



d) Personal

Es necesario tener fluidez en lo que respecta a las relaciones con este departamento, ya que proporcionará información acerca de la condición de los trabajadores, de sus vacaciones, permisos, enfermedades, etc.; todos estos datos se tendrán en cuenta para determinar con precisión la fuerza laboral disponible, y así programar las actividades con eficiencia.

Además, cuando se requiere contratar personal eventual para determinadas actividades, permitirá hacerlo en condiciones favorables al departamento, ya que podemos dar las pautas necesarias para obtener un personal ad-hoc a nuestra necesidades.

#### 4.2.2 Informes Técnicos

La naturaleza de los informes técnicos es muy importante, porque permite demostrar con resultados la gestión del mantenimiento dentro de la planta. Se propone los siguientes tipos de informes:

a) De Prioridad

Estará dirigido a la Gerencia de Operaciones de Planta.



El objetivo de este informe es mejorar la efectividad del trabajo programado de mantenimiento.

Se incluirá un resumen de todos los trabajos realizados, indicando su clasificación según su prioridad, así como también la acción correctiva requerida. Se distinguen tres grados de prioridad: el primero de "emergencia" o inmediato, que tienen que ser atendidos sin pérdida de tiempo, de no ser así pueden generarse fallas serias en las máquinas y mayor sería el riesgo; el segundo "urgente" o de culminación pronta, el cual debe ser atendido dentro de las 24 a 48 horas después de generada la avería, lo usual es que no supere los tres días de iniciada la falla; el tercero "normal", el cual se puede realizar después de las 48 horas de haber recibido la orden y se programa según las necesidades de la producción y disponibilidad de la fuerza de trabajo, para que de esa manera se utilice al máximo los recursos disponibles.

El resultado de este informe que incluso considera horas extras, las que debe ser debidamente justificadas, nos dará una muestra de la efectividad del sistema.

b) De Acatamiento

Deberá ser dirigido a la Gerencia de Operaciones de Planta.

La finalidad es determinar el grado de adelanto o retraso de las órdenes de trabajo realizadas dentro de la programación, permitiendo medir la efectividad de la planificación de las actividades.

Se debe indicar un resumen del porcentaje de acatamiento de las solicitudes de trabajo planteadas al departamento, así como la atención de sus propias órdenes; indicando asimismo las causas que determinaron este porcentaje.

c) De Pronóstico de Mano de Obra

En forma similar a los casos anteriores, será también dirigido a la Gerencia de Operaciones de Planta.

El objetivo de este informe es dar a conocer la fuerza laboral disponible comparada con la fuerza laboral requerida.

Se contempla en este informe las horas hombre programadas según los tipos de trabajo, usando

para ello diagramas de barras. También se indicará los futuros trabajos que se esté planificando ejecutar, compatibilizando para tal fin la mano de obra disponible con la requerida.

En resumen lo que se busca es cuantificar la mano de obra y mostrar sus requerimientos.

#### **4.3 Indicadores de Mantenimiento**

Se definen así a los indicadores que nos permitirán cuantificar y cualificar la gestión del sistema de mantenimiento, en un período dado y bajo condiciones previamente establecidas.

Para el caso estudio, proponemos se evalúen los siguientes indicadores, siguiendo para ello el método propuesto.

##### **4.3.1 Conservación de Costos por Hora**

Este indicador permitirá determinar el costo total del mantenimiento, de las actividades referidas a una reparación realizada a una máquina o equipo, considerando el tiempo total empleado en estas tareas.

Esto es aplicable tanto al mantenimiento preventivo como al correctivo y en muchos casos simultáneamente a ambos.

La expresión general que permitirá su evaluación es:

$$CC = \frac{CT_{(mp)} + CT_{(mc)}}{H_{(mp)} + H_{(mc)}}$$

Este indicador se expresa en (\$/hr), y su variación justamente nos indicará el comportamiento del sistema que estamos empleando, de tal manera que si su eficiencia mejora este indicador tiende a disminuir, que es lo que siempre se debe buscar.

#### 4.3.2 Conservación de Mantenimiento Preventivo

Por medio de este indicador se puede determinar la participación de este tipo de mantenimiento, en relación a todas las tareas o actividades desarrolladas.

Su evaluación analítica se hace aplicando la siguiente relación:

$$CMF = \frac{H_{(mp)}}{H_{(mp)} + H_{(mc)}} \times 100$$

Se expresa en porcentaje, el cual nos indicará su participación.

Si realizamos el análisis en dos épocas distintas, se va a observar que hay variación en los resultados; si este porcentaje aumenta, nos indica que el sistema empleado es acertado, y de otro lado nos revela su mejor

eficiencia y organización; si disminuye, nos pone de alerta sobre la metodología empleada, la cual debe ser corregida para evitar mayores problemas.

#### **4.3.3 Eficiencia del Mantenimiento**

Este indicador constituye uno de los más importantes, debido a que el resultado de su evaluación debe ser interpretado como la medida del nivel técnico-económico del desarrollo del sistema empleado en la planta; de tal manera que su cuantificación se expresa en porcentaje para un determinado periodo y luego debe ser comparado con el siguiente periodo; estos periodos pueden ser anuales o semestrales.

Este resultado porcentual varía positiva o negativamente, indicando si hemos mejorado o empeorado en la eficiencia del sistema que se está aplicando.

El método que proponemos aplicar para este fin es el de "Corder", debido a que sus resultados son confiables y es bastante práctico a nivel industrial.

La metodología que se sigue es determinar el costo total del mantenimiento, luego se evalúa el costo total del tiempo perdido, el costo total del desperdicio, el costo de reposición.

Analíticamente se expresa mediante la siguiente relación:

$$K - XC + YT + ZD$$

Donde: K: Constante que se evalúa para el período base

X: Costo total del mantenimiento

Y: Costo total del tiempo perdido

Z: Costo total del desperdicio

C: Relación entre el costo de mantenimiento y el costo de reposición

T: Relación entre el tiempo muerto y el tiempo de producción

D: Relación entre el desperdicio y la producción buena

El método considera un período base que generalmente es un año, para el cual se le asigna el 100% de eficiencia, luego se determina la nueva constante K para el siguiente período y por proporcionalidad se evalúa si la eficiencia ha aumentado o ha disminuido.

Como ejemplo de aplicación, se calculará la eficiencia para el año 1990, tomando como base el año 1989.

Se presentan los datos, proporcionados por el departamento de mantenimiento, así como los cálculos realizados, en la siguiente tabla:



VARIABLES	1989 (base)	1990
X	\$ 436,785	\$ 593,641
Y	\$ 720,617	\$ 803,160
Z	\$ 77,860	\$ 96,400
C	0.030	0.040
T	0.094	0.082
D	0.01	0.01

Tabla Nº 11

Con los resultados de la Tabla Nº 11 determinamos las constantes de Corder para 1989 (año base) y para 1990 (año analizado):

$$K_{1989} = \$ 81,620.15$$

$$K_{1990} = \$ 90,568.76$$

Relacionando estas constantes y recordando que la eficiencia para el año base es de 100%, se obtiene la eficiencia para el año analizado, resultando ser de 90.12%.

La evaluación de este último resultado nos indica que la eficiencia para 1990 ha disminuido en 9.88%, lo cual revela que el sistema aplicado actualmente tiene deficiencias.



#### **4.4 Programación del Mantenimiento**

Se define así al conjunto de actividades relacionadas directa o indirectamente con el desarrollo del sistema de mantenimiento propuesto, el cual permite una mejor utilización de los recursos disponibles, tanto humanos como materiales.

##### **4.4.1 Métodos usados en la Programación**

Permiten mejorar el aprovechamiento de los recursos disponible y optimizarlos, para obtener mayor eficiencia en las tareas definidas para cada reparación.

Los métodos más conocidos son:

###### **4.4.1.1 Método de Gantt**

Llamado también método de barras o de flechas, en el cual se indican los trabajos que se han planeado realizar, ya sea en forma diaria o semanal.

En el gráfico de Gantt se realizan la planificación y la programación al mismo tiempo, es decir que la longitud de la barra que representa cada tarea indica las unidades de tiempo, que en algunos casos el tiempo que dura realmente es distinto al tiempo programado, lo que a veces en este diagrama no se refleja completamente la realidad de las tareas; lo que sucede muchas veces es que el programa se atrasa o adelanta y no

permite ver con claridad en que tareas se debe acelerar el trabajo y también se debe conocer en que medida se debe hacer las correcciones del caso, a fin de no variar la duración total de la reparación, así como también el costo que van a generar estas alteraciones.

#### **4.4.1.2 Métodos de PERT y CPM**

Estos métodos permiten determinar rutas críticas de las diferentes actividades de mantenimiento dentro de la programación, y facilita el análisis de los presupuestos originados en cada actividad, además permite estimar la duración de las tareas con el mínimo de recursos; es decir nos define el tiempo y el costo relacionado directamente con la reparación.

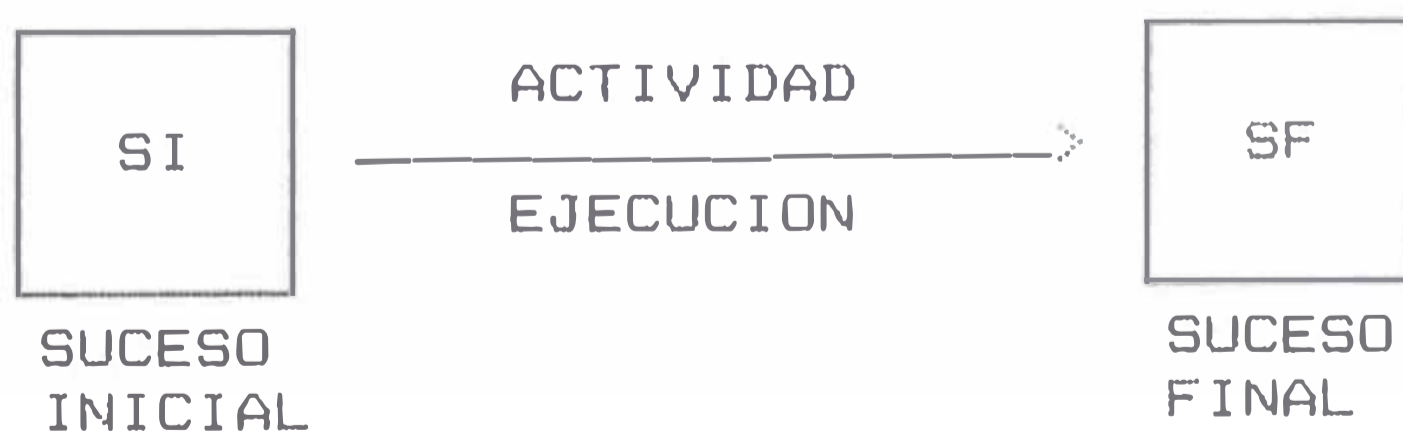
En suma, se puede decir que son métodos que sirven para la planificación, comunicación, control e información de un trabajo de reparación importante. La diferencia fundamental entre ambos estriba en lo siguiente: el PERT significa "evaluación y revisión técnica de proyectos" y permite estimar la duración de cada operación, el CPM significa "método del camino crítico" y permite estimar la duración de cada operación y su costo.

El factor tiempo tiene gran importancia en una reparación o actividad de mantenimiento, debido a que una mayor demora implica mayores costos, no sólo por la

propia reparación sino por los costos de parada que se ven incrementados.

Lo más rescatable de estos métodos es que nos permiten cuantificar la siguiente información: los trabajos que serán necesarios realizarlos primero y cuando se deben hacer, los trabajos pendientes y cuantos serán requeridos en un determinado tiempo, la situación de la reparación en relación con la fecha programada para su culminación, las actividades no críticas y cuanto tiempo de holgura se les permite en caso de demoras, cuales son las actividades críticas que al retrasarse cualquiera de ellas retrasan consecuentemente la duración de la reparación; si la reparación está retrasada donde reforzar la marcha para contrarrestar la demora; cuales sea la planificación y la programación de una reparación a un costo mínimo y duración óptima.

Además, tiene representación gráfica, que es la siguiente:



Se define como suceso a un instante de la actividad que sirve como control y describe el comienzo y la terminación de una actividad.

Se define como actividad a un trabajo en proceso, por lo tanto las actividades requieren tiempo y recursos.

La longitud de la flecha no representa tiempo, su sentido no es vectorial, sólo es progresión en el tiempo y como el tiempo no retrocede, la orientación de la flecha es de izquierda a derecha.

Es obvio pensar que el método considera que una actividad debe estar terminada para que la otra pueda empezar. Como todas las actividades tienen suceso inicial y suceso final, el suceso final de la actividad precedente es el suceso inicial de la actividad subsiguiente.

#### **4.4.2 Métodos Propuestos**

Se recomienda aplicar el método de Gantt dentro de la programación, sobre todo para realizar reparaciones importantes en máquinas principales o en otros trabajos que a criterio del Ing. Supervisor sean necesarios.

Será planificado y programado con la debida anticipación y previniendo los recursos humanos y materiales que se requieran.

A manera de ejemplo, presentamos el método de Gantt aplicado a la reparación del reactor de dicloroetano de 225 psi de presión y 800°F de temperatura, clasificado como máquina principal, programado entre el 16 de Enero y el 16 de Febrero de 1991. Se muestra el programa de trabajo, constituido por todas las actividades que implican la reparación y todas ellas en un tiempo estimado en días, considerando 4 horas diarias en promedio. Los detalles respectivos se muestran en el Diagrama N<sup>o</sup> 2 del Anexo.

También se propone aplicar el método de FERT, sobre todo cuando se traten de trabajos de gran envergadura para máquinas principales y especialmente en máquinas críticas.

Seguidamente, indicamos el procedimiento que se debe seguir, considerando como caso de aplicación la misma máquina analizada anteriormente, es decir el reactor de dicloroetano.

De primera intención se deben identificar las diferentes actividades, tal como se indica en la tabla siguiente:

ACTIVIDAD	DESCRIPCION
A	Desarmar tuberías, parrillas, vigas, etc.; preparación para desarmar el reactor
B	Armar soporte especial para bajar el reactor al primer piso
C	Entrenamiento y pruebas previas de soldadura de níquel. Preparación y adiestramiento de soldadores
D	Bajada del reactor al primer piso
E	Taladrado de placa de tubos y extracción de tapones
F	Extracción de tubos
G	Avellanado, rearmado de placas de tubos Limpieza interior del reactor
H	Colocación de tubos
I	Expandado de tubos
J	Soldadura de tubos  Expandado de tubos
L	Prueba hidrostática y neumática de tubos y casco del reactor
M	Reinstalar el reactor
N	Desarmar soportes y reinstalar vigas y parrillas
F	Reinstalación de tuberías
Q	Carga de catalizador
R	Arranque del reactor

Tabla Nº 12

Luego se determinaron los tiempos entre actividades por estimación, considerando para ello la



experiencia acumulada en trabajos similares. Mostramos la siguiente tabla con estos datos:

ACTIVIDAD	DESIGNACION	TIEMPO (días)
A	t(1,2)	2
B	t(2,3)	2
C	t(2,4)	15
D	t(3,5)	1
E	t(3,6)	12
F	t(6,7)	7.5
G	t(7,8)	1.5
H	t(8,9)	2
I	t(9,10)	1
J	t(10,11)	10
K	t(11,12)	1
L	t(12,13)	1
M	t(13,14)	1
N	t(14,15)	2
F	t(14,16)	1
Q	t(16,17)	1
R	t(17,18)	1

Tabla Nº 13

En seguida, tanto las actividades descritas en la tabla Nº 12 y los tiempos indicados en la tabla Nº 13, los mostramos en el diagrama Nº 3 del Anexo, en cual observamos que la ruta crítica está definida entre los



eventos: 1-2-3-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18, dando un tiempo total crítico máximo de 45 días, lo que es equivalente a una duración de 180 horas de trabajo.

#### **4.4.3 Método Propuesto para la Planificación De Trabajos**

Dentro del programa de mantenimiento que se sugiere aplicar, se considera también la planificación de los trabajos o tareas de reparaciones.

Para ello se deben cumplir las siguientes etapas:

##### **a) Primera Etapa**

Se procede a la formación de la carga de trabajo necesaria para realizar las diversas actividades o tareas conducentes a las reparaciones de las máquinas y/o equipos, para el período considerado; se recomienda períodos de aplicación cortos, entre 3 a 4 meses. Toda esta información debe ser vaciada a un fichero, para que su manejo sea funcional, teniendo presente una clasificación prioritaria de las solicitudes de trabajo, en función a la necesidad y urgencia de cada trabajo

b) Segunda Etapa

Se comprueba la disponibilidad de recursos necesarios para cada trabajo programado, es decir recursos humanos y materiales, vale la pena decir mano de obra, materiales y repuestos.

Se debe preparar información técnica adicional mediante esquemas, diagramas o indicaciones sobre las máquinas a intervenir, con la finalidad de facilitar su reparación.

Cabe mencionar también que en esta etapa de la planificación se deben construir los diagramas de Gantt y PERT respectivos, siempre y cuando la magnitud del trabajo así lo requiera.

c) Tercera Etapa

Consiste en la asignación de los trabajos, es decir se elige la cuadrilla de trabajadores que debe realizar la tarea, al mando de un responsable que debe ser el más antiguo y el que reúna los conocimientos técnicos que requiera el trabajo a desarrollar, al cual se le debe dar todo lo necesario para facilitar su labor, es decir: herramientas, materiales, repuestos, esquemas, diagramas, transporte y

otras ayudas para que puedan desarrollar su actividad con eficiencia.

d) Cuarta Etapa

Se refiere al desarrollo y control de los trabajos asignados, para lo cual deben existir documentos de operación debidamente autorizados, para que no exista trabas en la ejecución de las actividades de intervención a las máquinas y/o equipos. Además la sección de planificación debe ejercer control sobre los trabajos que se están ejecutando, mediante el diagrama de PERT y Gantt, para que el tiempo total asignado al trabajo sea el que realmente dure y no ocurran retrasos.

Con la finalidad de ser más explícito, se muestra el correspondiente diagrama de flujo sobre planificación de trabajos de mantenimiento, en el diagrama N° 4 del Anexo.

#### **4.4.4 Análisis Probabilístico**

##### **4.4.4.1 Introducción**

Se basa en datos estadísticos tomados una máquina y/o equipo, referentes a su funcionamiento a lo largo de un determinado período de observación.

Luego, utilizando expresiones analíticas y mediante la aplicación de las probabilidades, determinamos el estado operativo de la máquina por medio de la evaluación de la confiabilidad, tiempo medio entre fallas, frecuencia de fallas, disponibilidad, efectividad, etc.

#### **4.4.4.2 Método Propuesto**

La metodología que se recomienda aplicar está referida a la máquina crítica, es decir al horno de craqueo, sin que ello signifique la limitación del método, es más, esta metodología que luego se explicará deberá ser aplicada a cualquier máquina y/o equipo de la planta, según el criterio del Ing. Supervisor en coordinación con la sección de planificación.

La secuencia recomendada es la que se indica a continuación:

##### **a) Determinación del Porcentaje de Fallas**

Para calcular el porcentaje de fallas se toma la información indicada en las tablas NO 8 y NO 9, en la que se consideró una data histórica de 3 años, lo que significa un total de 25,920 horas acumuladas.

Luego se establece las edades de falla, que para el caso estudiado se consideran 6

edades iguales, pudiendo ser más edades, las que serán establecidas según el criterio del ingeniero analizador. En la siguiente tabla se muestran las edades y su duración.

EDADES	DURACION (hr)
I	0 - 4,320
II	4,321 - 8,640
III	8,641 - 12,960
IV	12,961 - 17,280
V	17,281 - 21,600
VI	21,601 - 25,920

Tabla N<sup>o</sup> 14

Para cada edad mencionada en la tabla N<sup>o</sup> 14 le corresponde un número de fallas que han ocurrido en dicho período, que son las que constan en las mencionadas tablas N<sup>o</sup> 8 y N<sup>o</sup> 9, lo que permitirá establecer su porcentaje respectivo. A continuación mostramos una tabla con estos resultados.

EDADES	Nº DE FALLAS	FALLAS ACUMULADAS	% DE FALLAS
I	1	1	8.33
II	0	1	8.33
III	5	6	50.00
IV	2	8	66.66
V	2	10	83.33
VI	2	12	100.00

Tabla Nº 15

b) Cálculo de los Parámetros de Weibull

Para calcular los parámetros:

$\Gamma$  = período de garantía

$\beta$  = ciclo de máquina

$\eta$  = tiempo o edad de falla

Se utiliza el ábaco de Kao, que constituye la interpretación gráfica de la distribución estadística de Weibull.

Con los datos obtenidos en la tabla Nº 15 se plotean los puntos correspondientes en el papel doblemente logarítmico de Kao, y se obtiene una curva como era lógico esperar, seguidamente se procede a linealizar esta curva, para lo cual se emplea el método de



tanteos obteniéndose los siguientes resultados:

$$\Gamma = -1,850 \text{ hr}$$

$$\beta = 1.8$$

$$\eta = 4,875 \text{ hr}$$

Tal como se puede observar en el ábaco Nº 1 (Anexo) la interpretación de estos valores es que la máquina ya está en su etapa de desgaste debido a que  $\beta > 1$ , lo que indica de primera intención que el horno de craqueo requiere una reparación integral. Por otro lado el período de garantía es negativo, lo que quiere decir que existe una desventaja en su funcionamiento ya que en cualquier momento se puede interrumpir su operación, y el parámetro de tiempo de falla indica el promedio de duración de las fallas en los 3 últimos años.

c) Obtención de la Confiabilidad de la Máquina

La confiabilidad se define como la probabilidad de funcionamiento de una máquina bajo ciertas condiciones de operación y para un tiempo definido de uso.



Para la determinación de este parámetro es necesario previamente elegir un modelo matemático que permita establecer la distribución estadística. Se recomienda usar el modelo matemático de Weibull, ya que tiene gran aplicación en el mantenimiento porque permite un análisis operativo de la máquina a lo largo de toda su vida.

La expresión analítica que permite este cálculo es la siguiente:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t - r}{n}\right)^\beta}$$

Los valores numéricos de cada término ya han sido calculados anteriormente, referente al tiempo de operación tomamos la sexta edad de falla comprendida dentro del año 1990.

De esta manera obtenemos como resultado para la confiabilidad del horno de craqueo 21.69%. La interpretación de este valor es que constituye un resultado bajo comparado con el 100% que tiene una máquina nueva; si bien es cierto no se pretende resultados de esta magnitud, pero una confiabilidad buena debería estar alrededor del 75%.

Como conclusión se puede afirmar que esta máquina requiere de inmediato una atención especial en su funcionamiento y sobre todo una programación de mantenibilidad muy ajustado, ya que en cualquier momento se puede producir una falla.

d) Probabilidad de Falla

Se define como la probabilidad de que la máquina en cualquier momento interrumpa su funcionamiento, debido a la posibilidad de falla latente que existe.

Se cuantifica mediante la siguiente expresión analítica:

$$F(t) = 1 - R(t)$$

Resultando ser para el caso estudio de 78.31%.

Observando este resultado se puede afirmar que estamos frente a una máquina problema por su propio estado operativo, debido a que su probabilidad de falla es muy alta comparada con 0% desde el punto de vista teórico, lo deseable es que alcance valores máximos de hasta un 25%, que para el horno

de craqueo está bastante lejos sobrepasando dicho valor en más de 50%.

e) Determinación de la Frecuencia de Fallas

Constituye otro factor importante de cálculo, mediante el cual se determina la probabilidad de la ocurrencia de las fallas, en el tiempo de análisis de funcionamiento de la máquina.

Su evaluación es consecuencia de su variación entre dos periodos de tiempo consecutivos, es decir si para el siguiente periodo aumenta este valor querrá decir que la máquina tiene mayor probabilidad de falla, en cambio si disminuye significa que la máquina está mejorando su confiabilidad.

La expresión analítica, dentro del modelo de Weibull, que permite este cálculo es:

$$Z(t) = \frac{\beta(t - \Gamma)^{\beta-1}}{\eta^{\beta}}$$

Como ejemplo de aplicación, usaremos esta expresión para dos periodos consecutivos, expresados en la Tabla Nº 14, y que luego de

sustituir valores en la relación anterior se obtiene los siguientes resultados:

$$Z(t)_{\cup} = 4.46 \times 10^{-4}$$

$$Z(t)_{\cup I} = 6.82 \times 10^{-4}$$

Comprobando ambos resultados, observamos que la frecuencia de fallas para el sexto período es mayor que para el quinto período; esto permite hacer la evaluación desde el punto de vista operativo, y se puede afirmar que la máquina ha incrementado su probabilidad de falla en este último período, lo cual la hace mas vulnerable a las fallas, constituyendo un grave peligro para el buen funcionamiento y sobre todo que es una amenaza de parada de planta, ya que el horno de craqueo es una máquina crítica en la producción.

f) Obtención del Tiempo Medio entre Fallas

Se define como la probabilidad del tiempo medio, hasta la ocurrencia de una falla promedio, es decir este factor depende directamente de la confiabilidad de la máquina.

Dentro del modelo matemático de Weibull, se evalúa por medio de la siguiente relación:

$$MTBF = \int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{t-r}{\alpha}\right)^{\beta}} dt$$

donde MTBF, significa "tiempo medio entre fallas".

Sustituyendo los valores respectivos y haciendo la integración, se obtiene como resultado: MTBF = 681.25 hr.

La evaluación de este resultado, permite afirmar que para el año de 1991, considerando 8,640 hr de funcionamiento de la máquina, ésta probablemente parará 12.68 veces en el año, es decir en la práctica unas 13 veces como mínimo; en otras palabras cada 28 días se tendrá una parada del horno de craqueo, lo cual es intolerable desde todo punto de vista, el más grave será la pérdida de producción, ya que su paralización implica parada de planta, por otro lado si se tiene en cuenta la opinión de los técnicos-mecánicos que han trabajado reparando el horno, ellos opinan que en

promedio dura cada reparación 30 hr., lo que equivale a 390 hr. de parada de planta.

#### 4.4.5 Métodos de Control Propuestos

Se basa en la necesidad de determinar algunos índices de control de mantenimiento, para definir objetivos y resultados del sistema propuesto de mantenimiento.

Entre los factores de control, que proponemos calcular tenemos:

a) Costo de Pérdida de Producción por Parada

Para su determinación, se debe considerar el número de horas de paralización de planta, definido en forma precisa. para este chequeo exhaustivo será necesario utilizar formatos especiales que se proponen, tales como: Tarjeta de Fallas y Reporte de Inspección, cuyos detalles se indicarán en la sección respectiva.

Por otro lado, el costo de producción por hora siempre lo tiene registrado la planta a través del Departamento de Contabilidad y por la política antes establecida en el Departamento de Mantenimiento, este dato será conocido con

precisión y actualizado a la fecha del análisis.

Proponemos que este control sea realizado cada tres meses, para que nos sirva de medio de cuantificación del sistema de mantenimiento propuesto; buscando que este costo disminuya en el tiempo.

b) Costo de Mantenimiento con Respecto a la Producción

Esta relación de costos, constituye un factor imprescindible como medio de control, debido a que el resultado nos indica la magnitud del porcentaje con relación al porcentaje promedio del 5% aceptable para nuestro medio industrial, reconocido por el Ministerio de Industria y por el de Energía y Minas; así como también por entidades.

La forma de cuantificar es la siguiente:

$$(ICM)_p = \frac{CT_{(mc)} + CT_{(mp)} + C_{(parada)}}{C_{(producción)}} \times 100$$

Observándose la presencia del costo de parada y del costo de producción.



Se recomienda calcular este factor cada tres meses, para observar su comportamiento, el cual nos indicará el nivel de confianza del sistema propuesto y por ende su eficiencia del mismo.

Como referencia para el año 1990 en la planta en estudio resultó ser del orden del 16.17%.

Se debe buscar que este porcentaje tienda a disminuir y mantenerse en valores aceptables.

#### **4.4.6 Técnicas de Mantenimiento Propuesto**

En el sistema actual de mantenimiento, las reparaciones por mantenimiento correctivo constituyen el 70% del total de actividades desarrolladas, quedando sólo el 30% para las reparaciones por mantenimiento preventivo. Con el sistema propuesto, este porcentaje del 30% para el preventivo, de hecho se incrementará; para ello proponemos seguir la metodología que se indica a continuación:

##### **4.4.6.1 Identificación de Causas**

analizando los problemas que se presentan en una máquina, que posteriormente se convierte en falla, son por problemas mecánicos, salvo algunas excepciones. Entre las causas más frecuentes, sobre todo en máquinas

rotativas, que sea dicho de paso son las más numerosas en la planta, tenemos:

Desalineación de los acoplamientos y cojinetes,

Engranajes desgastados, defectuosos o excéntricos,

- Partes dinámicas desequilibradas,
- Flexión de los ejes,
- Cadenas de transmisión en mal estado,
- Correas de transmisión en mal estado,
- Cojinetes antifricción con defectos,
- Variaciones de torsión,
- Generación de fuerzas electromagnéticas,

Presencia de fuerzas hidráulicas y acero dinámicas,

- Juego excesivo,
- Presencia de rozamiento metálico,

Generalmente se presentan asociadas las causas o en algunos casos puntuales en forma aislada.

Sea cual fuere la causa, siempre se genera una fuerza y ésta engendra vibración y ruido, como consecuencia se observa determinadas características subnormales, que dan origen implícita a la falla en la máquina.

El significado de estas características de vibración y ruido, radica en el hecho de que sirven como fundamento para detectar y describir el movimiento indeseable de una máquina, de tal manera que se consideran síntomas para diagnosticar el funcionamiento subnormal o un problema inminente de mayor magnitud que va afectar la máquina y/o equipo.

#### **4.4.6.2 Determinación de la Severidad Vibracional**

Se determina conociendo la amplitud vibratoria, lo que permite revisar el estado general de las máquinas, por medio de las mediciones de la frecuencia y el desplazamiento.

Así mismo, recordando que la velocidad vibratoria es función del desplazamiento y de la frecuencia (velocidad = desplazamiento  $\times$  frecuencia), es lógico concluir, que medir la velocidad vibratoria es tomar medida directa de la severidad vibratoria.

Seguidamente, se presenta una tabla guía de velocidades:

VELOCIDAD DE VIBRACION (pulg/seg)	SEVERIDAD
0.005 - 0.01	muy uniforme
0.01 - 0.02	uniforme
0.02 - 0.04	muy bien
0.04 - 0.08	bien
0.08 - 0.16	regular
0.16 - 0.32	algo violenta
0.32 - 0.64	violenta
más de 0.64	muy violenta

Tabla Nº 16

Las lecturas que se tomen, deben ser comparadas con los valores de la Tabla Nº 16. Otro medio que nos permitirá determinar la severidad vibracional, es el uso de la "carta de severidad", que se muestra en el Abaco Nº 2 del Anexo adjunto, de la cual se puede indicar su interpretación, mediante la siguiente aclaratoria:

SEVERIDAD	DESCRIPCION
Extremely smooth (sumamente suave)	Característico de equipos nuevos
Very Smooth (muy suave)	Característicos de equipos nuevos
Smooth (suave)	Característicos de equipos nuevos
Very Good (muy bueno)	Característico de equipos bien alineados y balanceados
Good (bueno)	Característico de equipos bien alineados y balanceados
Fair (regular)	Fallas, pequeñas, no es económico corregir
Slightly Rough (algo áspero)	Corregir para evitar desgaste
Rough (áspero)	Corregir en pocos días, se puede producir una falla grave
Very Rough (muy áspero)	Detener el equipo, corregir la falla de inmediato

Tabla Nº 17

Observando la carta y la tabla Nº 17, podemos afirmar que están relacionados tanto la frecuencia como el desplazamiento, en la determinación de la severidad de vibración.

#### 4.4.6.3 Evaluación de Niveles de Vibración

Los niveles de vibración deber ser evaluados de acuerdo a los límites recomendados por el fabricante.



Además, existen niveles de vibración establecidos para diferentes tipos de máquinas, que han sido reconocidos como límites para el mantenimiento, que se muestran por medio de las siguientes tablas aclaratorias.

TIPOS DE MAQUINAS	MAQUINAS NUEVAS				MAQUINAS USADAS			
	NIVEL 1		NIVEL 2		NIVEL 3		NIVEL 4	
	VdB	mm/s	VdB	mm/s	VdB	mm/s	VdB	mm/s
<b>Compresoras:</b>								
- Pistón libre	140	10	150	32	150	32	155	56
- para aire acon.	133	4.5	140	10	140	10	145	18
- para refriger.	115	0.56	135	5.6	140	10	145	18
<b>Centrífugas:</b>	123	1.4	140	10	145	18	150	32
<b>Cajas de Engranj.</b>								
- 10 a 10,000 HP	115	0.56	135	5.6	145	18	150	32
- hasta 10 HP	110	0.32	130	3.2	140	10	145	18
<b>Bombas:</b>								
- más de 5 HP	123	1.4	135	5.6	140	10	145	18
- hasta 5 HP	118	0.79	130	3.2	135	5.6	140	10
<b>Ventiladores:</b>								
- bajo 1,800 rpm	120	1.0	130	3.2	135	5.6	140	10
- sobre 1,800 rpm	115	0.56	130	3.2	135	5.6	140	10
<b>Motores Elect.:</b>								
- más de 5 HP	108	0.25	125	1.8	130	3.2	135	5.6
- Hasta 5 HP	103	0.14	125	1.8	130	3.2	135	5.6
<b>Transformadores:</b>								
- más de 1 kVA	103	0.14	-	--	115	0.56	120	1.0
- menos de 1 kVA	100	0.10	-	--	110	0.32	115	0.56
<b>Calderos</b>	120	1.0	130	3.2	135	5.6	140	10

Tabla Nº 18

Observando la Tabla Nº 18, se puede distinguir lo siguiente:

- Nivel 1: máquinas para 1,000 a 10,000 hr. de funcionamiento por año.
- Nivel 2: máquinas para 100 a 1,000 hr de funcionamiento por años.
- Nivel 3: cuando se alcanza este nivel, se debe aplicar mantenimiento normal.
- Nivel 4: cuando se alcanza este nivel en cualquier frecuencia, se debe reparar de inmediato.

Como regla general, si la vibración se incrementa a un valor que sea el doble o más del valor de vibración normal, se debe aplicar acciones de mantenimiento de inmediato, para identificar y corregir la causa.

#### **4.4.6.4 Determinación del Nivel de Vibración Normal**

Se define como "Nivel de Vibración Normal" a un nivel bajo comparado con los valores de la Tabla Nº 18.

Para ello se utilizará un vibrómetro portátil, y se debe tomar medidas totales en las direcciones horizontal, vertical y axial de cada cojinete de la máquina.



Si estas medidas obtenidas son bajas, significa que la máquina está en buenas condiciones de operación; en consecuencia se procederá registrar y graficar dichas medidas en un formato diseñado para este fin (Ver Anexo), que servirá de patrón para comparar las futuras lecturas.

Si sucede lo contrario, es decir lecturas altas o excesivas, significa que la máquina tiene algún problema mecánico y ello implica un análisis de vibración detallado para descubrir la causa y reparar la máquina, hasta obtener lecturas bajas, es decir la máquina habrá regresada a su condición aceptable.

#### **4.4.7 Control por Inspecciones**

La fiabilidad del servicio de inspección, dependerá mucho de la habilidad y sentido de responsabilidad del personal de instrumentistas, los que estarán a cargo de las inspecciones de las máquinas, equipos, instalaciones diversas y todo cuanto este bajo el control del departamento de mantenimiento.

##### **4.4.7.1 Procedimiento**

En principio a cada inspector o instrumentista, se le asignará un grupo de máquinas, de modo que pueda realizar un ciclo de inspecciones sobre todas las

máquinas a su cargo, con una frecuencia previamente determinada.

La sección de planificación diseñará programas de inspección adecuados a las necesidades de cada planta, tratando de obtener información confiable y de utilidad para los fines de planificación de las actividades y tareas necesarias.

#### **4.4.7.2 Frecuencia**

Debe ser establecido, considerando para ello lo siguiente:

- Criticidad de la máquina
- Disponibilidad de reserva (máquina adicional en paralelo secuencial)
- Condiciones de funcionamiento y operación
- Frecuencia de fallas
- Confiabilidad
- Tiempo medio entre fallas
- Tipo de máquina, dentro de la clasificación.

#### **4.4.7.3 Niveles**

Se propone establecer los siguientes niveles de control:

a) Inspección directa

Consiste en realizar toma de datos de la máquina, por simple inspección o con instrumentos sencillos, tales como: multímetros, amperímetros, estroboscopios, termómetros, pinzas amperimétricas, etc.

b) Controles no destructivos

En esta etapa de inspección, básicamente se refiere a la toma de datos sobre espesores y defectos de los materiales; para ello será necesario la ayuda de instrumentos que permitan efectivizar estas pruebas, tales como: equipo radiográfico, líquidos penetrantes y fluorescentes, ultrasonido, etc.

c) Controles Vibracionales

Este nivel de la inspección es muy importante, porque permitirá la toma de datos en piezas rotativas, mediante la determinación de los niveles vibracionales, es decir registrando la frecuencia, el desplazamiento, la velocidad y la aceleración del estado vibracional de la máquina; para ello será necesario, la

utilización de instrumentos tales como: estetoscopio, analizador de vibraciones, amplificador de ultrasonido y otros.

d) Controles de lubricantes

A través de esta inspección lo que se pretende es la determinación de un metal guía del órgano lubricado, cuyo desgaste se quiere conocer; para ello será necesario un análisis del lubricante, mediante la espectrografía de absorción atómica, además del análisis físico del mismo.

#### **4.4.8 Equipos y/o Instrumentos**

Para seleccionar adecuadamente los equipos y/o instrumentos necesarios debe considerarse el tamaño y las necesidades de la maquinaria.

Se debe tener presente que la información obtenida de las máquinas, que se debe mantener, debe ser completa y en el menor tiempo posible, es decir desde el realizar mediciones, analizar y determinar las causas del problema, diagnosticar y generar el reporte de los resultados, debe ser tan rápido y preciso como sea posible.

Proponemos la adquisición de los siguientes instrumentos, que se utilizarán en el nuevo sistema de mantenimiento de la planta.

a) Analizador de Vibraciones

Para proporcionar una indicación del estado general de la maquinaria, con las siguientes características:

- Severidad vibracional en mm/s o pulg/s.
- Desplazamiento vibracional en  $\mu\text{m}$  y mils.

b) Vibro analizador Balanceador

Para poder identificar con mayor precisión, comparando características de vibración con la siguientes funciones:

- Análisis de frecuencia
- Severidad vibracional
- Análisis de múltiplos y submúltiplos
- Balanceo dinámico
- Tacómetro de seguimiento

c) Termómetro Digital

Permitirá determinar las temperaturas en superficies duras, tales como:

- Cojinetes antifricción
- Soportes de rodamientos
- Carcaza de motores

Con rango de temperatura máxima de 960°C.

d) Equipo de Ultrasonido

Que permitirá determinar espesores de pared, con las siguientes características:

- espesores en micras
- alta sensibilidad
- fácil transporte
- medición directa
- palpador de 0.6 a 25 mm

e) Medidor de Impulso de Choque

Permitirá inspeccionar los rodamientos antifricción y de fricción, con las siguientes características.

- transductor
- alta sensibilidad
- medición directa
- portátil

f) Analizador de Lubricantes

permitirá determinar el estado del lubricante, con las siguientes características:

- contenido de humedad en porcentaje
- detector de partículas extrañas

**4.4.9 Diseño de Formato**

Permitirán llevar un control adecuado del historial técnico de sus máquinas, para que al mismo tiempo constituya una fuente de datos técnicos, de donde se tome la información necesaria para programar las actividades de mantenimiento, los programas de inspecciones, los tiempos de parada programados y en general todas las tareas que conduzcan a las reparaciones.

Los formatos que se proponen son los siguientes:



#### **4.4.9.1 Tarjeta de Máquina**

En este registro se debe anotar las características técnicas de la máquina, así como también datos referenciales de procedencia. Además será necesario registrar aquellos componentes mas importantes de la unidad.

Todos estos datos serán útiles para un mejor control de los activos fijos, cuya protección es realmente del departamento de mantenimiento. Los detalles específicos que se deben registrar, se indica en el Formato Nº 4 del Anexo.

#### **4.4.9.2 Tarjeta de Fallas**

En este formato se registran todos los datos relacionados con las fallas, destacando entre ellos: el tiempo empleando en la reparación, los materiales que se han cambiado, los cortos generados por mano de obra, materiales y repuestos, entre otros.

Las especificaciones del caso, se pueden ver en el Formato Nº 5 del anexo.

La evaluación de estos datos servirán para realizar un seguimiento en la operatividad de las máquinas y/o equipos de la planta.

#### **4.4.9.3 Orden de Trabajo**

Este formato debidamente autorizado, se convierte en un documento de importancia, por que a través de él se podrá registrar lo siguiente: el tipo de máquina a intervenir, la descripción de la misma, las causas que motivan dicho trabajo, la urgencia de la intervención técnica, la descripción de la secuencia a seguir en el desarrollo de las tareas, equipos y medios para efectivizar tal labor, tiempo asignado para cumplir con la toma de reparación, así como también las observaciones del jefe del servicio.

Las características específicas de este registro, se encuentran en el Formato Nº 6 del Anexo adjunto.

#### **4.4.9.4 Orden de Almacén**

Este formato también es de gran importancia, porque constituye el medio para la adquisición de materiales y repuestos para ejecutar la reparación. Se deben registrar datos relativos al pedido, al despacho, a la descripción de objeto solicitado; así como también el costo unitario, el importe del pedido; además se nota espacio referidos al control de almacén, tales como: código, tipo, clave, número de jobs, sección solicitante; concluye esta información con datos adicionales referidos a la autorización, indicando el nombre de la persona que

autoriza, el jefe de sección la fecha, el nombre del que recibe y del que despacha.

Las características, se encuentran en el Formato Nº 7 del Anexo.

#### **4.4.9.5 Reporte de Inspección**

Se utiliza para registrar información general de una inspección cualquiera, que básicamente no sea referida a piezas dinámicas o máquinas rotativas.

Se debe considerar datos sobre: tipo de planta, ubicación de la máquina, número de reporte, fecha, tipo de inspección, descripción del equipo o máquina, combustible usado, métodos de combustión, variación de la presión, condición de operatividad de la máquina y/o equipo, nombre y cargo del inspector, requerimientos y recomendaciones.

Los detalles característicos de este registro, están indicados en el Formato Nº 8 del Anexo adjunto.

#### **4.4.9.6 Reporte de Control de Vibración**

Se usa para registrar la información de la toma de datos en máquina rotativas en el cual se deben registrar los siguientes datos: tipo de máquina, localización, velocidad, potencia, amperaje, voltaje, equipo utilizado en la medición, indicación de la

velocidad o desplazamiento en la medición de la amplitud, unidades. Indicar el símbolo del elemento o pieza dinámica que se va a medir; así mismo indicar el punto de referencia en posición horizontal, vertical, axial y su temperatura.

Seguidamente se coloca los valores leídos en el instrumento para cada posición y fecha de realizada la prueba, así como también el amperaje, potencia de descarga y otras observaciones que se quiera indicar; finalmente, el nombre del inspector que realiza la operación.

La frecuencia de la inspección puede ser semanal o quincenal, dependiendo del tipo de máquina y de la decisión de la sección de planificación.

## CAPITULO V

### EVALUACION DE COSTOS

#### 5.1 Introducción

Este capítulo se analiza teniendo presente básicamente, la evaluación de todos los costos que intervienen en la gestión del mantenimiento, sin llegar a desarrollar un análisis económico, porque no se trata de un tema de producción.

Como propuesta económica, se presentará alternativas de solución, considerando obviamente las probables variaciones dentro de la evaluación de costos.

En consecuencia, se propondrá la alternativa mas económica y conveniente para la empresa, determinándose los beneficios que se obtendrán, así como también su rentabilidad.

#### 5.2 Análisis de los Componentes del Costo de Mantenimiento

En este acápite, se analizarán todas las inversiones probables de realizarse, así como también los costos de

operación que demande el nuevo sistema de mantenimiento propuesto.

### **5.2.1 Inversiones**

#### **5.2.1.1 Adquisición de Equipos y/o Instrumentos**

Para determinar la inversión en los equipos y/o instrumentos propuestos, como medios de análisis de fallas, se han solicitado cotizaciones diferentes empresas comercializadoras de instrumentos de medición, y luego de una selección de propuestas, se ha llegado a los resultados mostrados en la siguiente tabla.

Cabe mencionar que estas cotizaciones fueron realizadas entre los meses de Marzo y Abril de 1991, tal como se muestra una de las cotizaciones en el Anexo adjunto, bajo la denominación de cotización N<sup>o</sup> 1. Así mismo la vigencia de precios se mantiene, ya que están dados en dólares americanos, salvo las variaciones del IGV y de los aranceles vigentes.

DENOMINACION	COSTO \$
Analizador de vibraciones	4,500
Vibro analizador balanceador	15,250
Termómetro digital	2,650
Equipo de ultrasonido	13,700
Medidor de impulso de choque	4,600
Analizador de lubricantes	3,150
TOTAL PRECIO DE LISTA	\$ 43,850
IMPUESTO GENERAL A LAS VENTAS	\$ 6,139
TOTAL PRECIO DE VENTA	\$ 49,989

Tabla Nº 19

#### 5.2.1.2 Reparación del Horno de Craqueo

Actualmente en la planta existe un presupuesto de reparación integral del horno de craqueo, el cual fue desarrollado por el Departamento de mantenimiento. Se considera dentro de este estudio las partes principales más afectadas, los sistemas de control, accesorios y otros componentes menores; así mismo materiales diversos, mano de obra directa e indirecta.

En resumen de este presupuesto se muestra en la tabla siguiente:



DESCRIPCION	INVERSION \$
Repuestos diversos principales	135,650
Repuestos varios secundarios	41,800
Materiales necesarios	7,500
Accesorios varios	17,920
Elementos de control	21,500
Mano de obra directa	1,950
Mano de obra indirecta	565
SUB TOTAL	\$ 226,885
IMPREVISTOS	\$ 11,344
TOTAL	\$ 238,229

Tabla Nº 20

### 5.2.1.3 Adquisición de un Horno de Craqueo

El Departamento de mantenimiento, también consideró la posibilidad de adquirir un nuevo horno, pensando así mismo en una posible ampliación de la capacidad de producción hasta un 30% adicional.

La propuesta más factible y conveniente a la empresa, considerando el precio puesto en la aduana, transporte, IGV, instalación, pruebas y puesta en marcha asciende a la suma total de \$ 720,000.

### 5.2.1.4 Capacitación del Personal

El personal que debe capacitarse, para el manejo de los equipos y/o instrumentos de mantenimiento, está

formado por los seis inspectores o instrumentistas, por dos técnicos de la oficina de planificación y además por el Ing. Jefe de la Sección.

Esta capacitación las proporcionan las empresas que venden los instrumentos, por un costo adicional en función al número de personas; en promedio se estima que este costo asciende a la suma total de \$ 2,000.

## 5.2.2 Costos de Operación

### 5.2.2.1 Costo por Pérdida

Este costo definido así, es imputable al mantenimiento, debido a que la generación de los tiempos de parada; por causa de fallas de las máquinas y equipos de la planta, así como también los tiempos empleados en inspecciones, toma de datos de vibración, pruebas, ajustes, calibraciones y puesta en marcha, y otros; constituye uno de los factores más importantes que producen pérdidas en la producción.

Para su determinación se debe tener en cuenta, la producción proyectada en toneladas por año y el tiempo en horas de funcionamiento de la planta para cumplir con las metas proyectadas.

Analizando para el año 1990, último año de estudio, se determinó que el costo por pérdida en la producción fue de \$803,110 por año, tal como se analizó

en el acápite 3.5.9.2; así mismo el costo por pérdida en la producción y por hora, resultó ser de \$1,078, según el análisis hecho en el acápite 3.5.9.1

#### **5.2.2.2 Costo de Mano de Obra**

El costo de Mano de Obra al que se hace referencia, considera el costo directo, el costo indirecto y el costo de terceros.

Cabe mencionar también, que se debe tener presente que en la sección de planificación se tiene que incrementar el personal para que se opere adecuadamente; el mismo que estará formado por un ingeniero mecánico con amplia experiencia en mantenimiento y dos técnicos especialistas en técnicas de mantenimiento, los que serán contratados previo concurso.

Además, se toma como referencia los resultados obtenidos en la Tabla Nº 16.

La cuantificación de este costo se muestra en la siguiente tabla.

D E N O M I N A C I O N	COSTO ANUAL \$
Mano de obra directa e indirecta actual	90,552
Mano de obra directa e indirecta nueva	11,160
SUB TOTAL	\$ 101,712
BENEFICIOS SOCIALES	\$ 50,856
TOTAL	\$ 152,568
Mano de obra de terceros	14,854
TOTAL MANO DE OBRA DE MANTENIMIENTO (\$)	167,422

Tabla Nº 21

### 5.2.2.3 Costo de Repuestos y Materiales

El análisis de este costo se refiere también al último año de estudio, considerándose para tal hecho los gastos realizados en la adquisición de repuestos y materiales, así como también aquellos gastos no planificados y que surgen durante las reparaciones.

Se toma como referencia el análisis realizado en el acápite 3.5.8, así como lo especificado en la tabla Nº 10.

El resumen de estos cálculos, lo indicamos en la siguiente tabla.

D E N O M I N A C I O N	COSTO ANUAL \$
Repuestos y materiales	450,560
Gastos imprevistos	22,493
TOTAL	\$ 473,053

Tabla Nº 22

5.2.2.4 Costo de Mantenimiento de Equipos y/o Instrumentos

El mantenimiento de los equipos y/o instrumentos utilizados en la detección de fallas y en actividades conexas a las propias tareas de reparaciones, inspecciones, ajustes y puesta en marcha, es realizado por empresas especializadas y fuera de la planta.

Este costo también está determinado en la tabla Nº 10.

Así mismo, se tiene que considerar los nuevos instrumentos que se adquirirán en el sistema propuesto.

El resumen de estos costos, se muestran en la tabla siguiente:



D E N O M I N A C I O N	COSTO ANUAL \$
Mantenimiento y desgaste de instrumentos y/o equipos actuales	15,182
Mantenimiento de equipos y/o instrumentos nuevos	2,499
TOTAL	\$ 17,681

Tabla Nº 23

### 5.3 Formulación del Costo de Mantenimiento para el Sistema Propuesto

La ingeniería de mantenimiento actual, considera la existencia de dos costos básicos, que son: los costos controlados y los costos inconvenientes.

Los costos controlados, se deben a la presencia de las fallas, es decir a los costos generados por: repuestos y materiales, mano de obra directa e indirecta, y los costos de mantenimiento de los equipos y/o instrumentos.

Los costos inconvenientes, son ocasionados por las horas de paralización de la producción, lo que se revela en el costo por pérdidas.

Por lo tanto, estos costos serán determinados, para el sistema de mantenimiento propuesto, considerando al mismo tiempo las condiciones planteadas en cada alternativa de solución presentada.

## 5.4 Evaluación de Alternativas Propuestas

Se presentará tres alternativas de solución, a la problemática actual, que están en relación directa con el nuevo sistema de mantenimiento propuesto.

### 5.4.1 Primera Alternativa

Las condiciones que determinan esta alternativa, son las siguientes:

- a) Inversión en la adquisición, de equipos y/o instrumentos para fallas que se han propuesto.

Así mismo se plantea, que el período de recuperación de la inversión será de 2 años considerando la rentabilidad de la empresa; teniendo presente que la tasa de interés se estima en 8% anual (crédito no comercial).

Cabe mencionar también, que para calcular el monto a pagar por período, es decir por cada año, se ha calculado mediante la siguiente expresión:

$$R = P \left[ \frac{(1 + i)^n i}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

Donde: R = monto a pagar/año

P = monto de la inversión



$i$  = tasa de interés

$n$  = número de años

- b) Mantenimiento de equipos y/o instrumentos, tanto de los ya existentes como de los que se van a adquirir.
- c) Mano de obra directa e indirecta del personal existente, así como también del nuevo personal que integrará a la sección de planificación
- d) Reducción de mano de obra de terceros, que se estima en un 50%. debido a que el sistema propuesto será planificado y por ende distribuirá mejor la carga de trabajo y se reducirá notablemente las horas muertas.
- e) Reducción del costo por pérdida de producción, que se estima en un 20%, debido a que se contará con un sistema moderno, técnico, que permitirá un mejor control de la operatividad de las máquinas en la planta; es decir, las horas de parada que para el año 1990 fueron de 745 hr., se reducirán a 596 hr para el año siguiente.
- f) Capacitación del personal de instrumentistas que laboran actualmente en la planta, así como también del personal nuevo que se integrará al departamento.

La evaluación económica de esta alternativa, se indica en la siguiente tabla.

C O N C E P T O	COSTO ANUAL \$
Costos controlados	625,621
Costos inconvenientes	642,488
Monto a pagar por inversión en equipos y/o instrumentos para fallas	2,032
Costo de mantenimiento de instrumentos	17,681
Mano de obra de terceros	7,427
Costo por capacitación	2,000
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 1'323,249</b>

Tabla Nº 24

#### 5.4.2 Segunda Alternativa

Para determinar esta alternativa de solución, se tiene presente las siguientes condiciones:

- a) Inversión en la adquisición, de equipos y/o instrumentos, para la detección de fallas, que se ha propuesto anteriormente.

Así mismo, se considera que el período de recuperación sea al término de dos años, después del cual recién se recuperará todo el monto invertido, lo que permite afirmar que

para el año siguiente no se devolverá ningún monto.

Cabe mencionar así mismo, que para calcular el monto que se va pagar al final del período, se aplica la siguiente ecuación:

$$S = F (1 + i)^n$$

donde: S = monto total a pagar

F = monto de la inversión

i = 8% (tasa anual)

n = número de años

- b) Inversión en la reparación del horno de craqueo, considerando para ello el presupuesto presentado en el acápite 5.2.1.2.

Se considera que el período de recuperación de esta inversión, debe ser de dos años, teniendo en cuenta la rentabilidad de la empresa para esta decisión. La tasa de interés estimada es de 8% anual.

Los montos que constituyen los pagos por cada período, se ha determinado usando la siguiente expresión analítica:

$$R = F \left[ \frac{(1 + i)^n i}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

De manera similar a lo detallado en el acápite 5.4.1.a)

- c) Costo de mantenimiento de instrumentos para detección de fallas, considerando los que existen actualmente en la planta y los que se tienen que adquirir, según lo indicado anteriormente.
- d) Costo por mano de obra de mantenimiento del personal del departamento, teniendo presente que lo conforman los trabajadores actuales, como también aquellos que se contratarán, para la sección de planificación.
- e) Reducción en el costo de mano de obra de terceros, se estima en 70% de reducción real, debido a que las actividades serán planificadas y por ende existirán menos horas hombre libres y también los tiempos empleados en la reparaciones serán menores.
- f) Reducción del costo por pérdida de producción, para lo cual se toma en cuenta que el horno de craqueo ya estará reparado y por lo tanto el tiempo de paralización que genera esta máquina se reducirá en un 50%, es decir de 390 hr para el último período de análisis a 195 hr para el año siguiente. Así mismo la diferencia del

tiempo de paralización, con respecto a las 745 hr para el último año, es decir 355 hr restantes, también serán reducidas en un 20% es decir, serán computables para el año siguiente sólo 284 hr.

- g) Costo por capacitación del personal de inspectores y/o instrumentistas, que actualmente trabaja en la planta, así como también el personal nuevo que se integrará al departamento.
- h) Reducción en el costo de repuestos y materiales, que se estima en un 15%, debido a que el horno de craqueo consumirá menos repuestos y materiales, ya tendrá menor intervenciones; además en general también se producirá un menor consumo de repuestos y materiales que están implícitos en el 15% considerado.

La evaluación económica de esta alternativa, se muestra en la tabla siguiente.

C O N C E P T O	COSTO ANUAL \$
Costos controlados	554,663
Costos inconvenientes	516,362
Monto a pagar por inversión en reparación del horno de craqueo	133,591
Costo de mantenimiento de instrumentos	17,681
Costo Mano de obra de terceros	4,456
Costo por capacitación	2,000
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 1'228,753</b>

Tabla Nº 25

### 5.4.3 Tercera Alternativa

Para establecer esta alternativa de solución, se plantean las siguientes condiciones:

- a) Inversión en la adquisición de instrumentos, para la detección de fallas, tal como se ha propuesto con anterioridad.

Se considera que el período de recuperación del monto invertido será de un año, a una tasa de interés comercial del 12% anual.

- b) Inversión en la adquisición de una unidad nueva del horno de craqueo, tal como se indicó en el acápite 5.2.1.3.



Se considera que el periodo de recuperación de esta inversión, debe ser de cinco años, para lo cual deberá recurrirse a solicitar un crédito blando de alguna entidad nacional como COFIDE o extranjera como el BID o cualquiera otra institución financiera no comercial, cuya tasa de interés no pase del 8% anual.

Los montos que se pagarán por cada año considerado, se determinarán con la siguiente expresión analítica:

$$R = F \left[ \frac{(1 + i)^n i}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

cuyos parámetros ya han sido discutido con anterioridad.

- c) Costo de mantenimiento de instrumentos, teniendo presente además los que se proponen adquirir.
- d) Costos de mano de obra directa e indirecta de mantenimiento, teniendo presente contratar.
- e) Eliminación del costo de mano de obra de terceros, debido que existirá un sistema planificado y sobre todo el horno de craqueo no causará mayores problemas.



- f) Reducción del costo por pérdida de producción, debido al mantenimiento, para lo cual se considera que el horno de craqueo será una unidad nueva, y por lo tanto el tiempo de paralización que genera esta máquina se reducirá en un 85%, es decir de 390 hr para el último período de análisis a 59 hr para el año siguiente.

De la misma manera, la diferencia del tiempo de paralización, con respecto a las 745 hr para el último año, es decir 355 hr restantes, también serán reducidas en un 20%, en otras palabras sólo serán computables 284 hr para el año siguiente.

- g) Costo por capacitación del personal de inspectores, será considerado en las mismas condiciones que para las alternativas anteriores.
- h) Reducción del costo de repuestos y materiales, que se estima en un 25%, debido básicamente a que el horno de craqueo consumirá una mínima cantidad de materiales y repuestos sólo los considerados en catálogo.

Luego, la evaluación de estas condiciones dentro de la alternativa planteada, se pueden apreciar en la tabla resumen siguiente:

C O N C E P T O	COSTO ANUAL \$
Costos controlados	507,358
Costos inconvenientes	369,754
Monto a pagar por inversión en instrumentos	55,988
Monto a pagar por inversión en adquisición de un horno de craqueo nuevo	180,329
Costo de mantenimiento de instrumentos	17,681
Costo por capacitación	2,000
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 1'133,110</b>

Tabla Nº 26

### 5.5 Formación de Sistemas Propuestos

Observando las tres alternativas planteadas, como solución a la problemática actual, todas tienen sus ventajas propias, con respecto al costo total del sistema de mantenimiento actual.

Cabe aclarar, que cualquiera de las tres alternativas puede ser aplicable, sin embargo desde el punto de vista económico, existe una que es la más económica y por lo tanto la más conveniente a la empresa.

Para realizar una selección comparativa, calcularemos el costo del sistema de mantenimiento actual, el mismo que lo mostramos en la tabla siguiente.

C O N C E P T O	COSTO ANUAL \$
Costos controlados	608,881
Costos inconvenientes	803,110
Costo de mantenimiento de instrumentos	15,182
Costo de mano de obra de terceros	14,854
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 1'442,027</b>

Tabla Nº 27

Luego, se procede a comparar costos totales de cada alternativa propuesta con el costo total del sistema actual, para ello mostramos la siguiente tabla:

ALTERNATIVA	COSTO TOTAL SISTEMA ACT. \$	COSTO TOTAL SIST. PROPUESTO \$	ECONOMIA SIST. PROPUESTO \$
Primera	1'442,027	1'323,249	118,778
Segunda	1'442,027	1'228,753	213,274
Tercera	1'442,027	1'133,110	308,917

Tabla Nº 28

Analizando la tabla Nº 28, se observa que la tercera alternativa propuesta, es la más conveniente desde el punto de vista económico, ya que ella significa una

economía para la empresa de \$ 308,917 en el primer año de aplicación del nuevo sistema de mantenimiento propuesto.

#### **5.6 Costo de Mantenimiento con Respecto a la Producción**

Esta relación constituye un indicador del comportamiento del sistema de mantenimiento propuesto, considerando para ello la alternativa seleccionada.

Teniendo en cuenta que el costo total del mantenimiento en el sistema propuesto es de \$ 1'133,110 por año y el costo total de producción es de \$8'296,800, se obtiene una razón de 0.1366, que expresado en porcentaje es 13.66%.

Así mismo, para el último período de análisis, el costo total de mantenimiento es de \$ 1'442,027 y el costo total de producción resultó ser de 7'888,800 y haciendo la relación respectiva se obtiene 0.1828, es decir 18.28%.

Comparando estos dos últimos resultados, se observa que el costo de mantenimiento con respecto a la producción, ha disminuido en un 4.62%, lo que significa que el sistema de mantenimiento propuesto es más económico y por ende genera mayor rentabilidad para la empresa.

## **5.7 Evaluación del Incremento de la Producción**

Esta evaluación se realiza, considerando la alternativa seleccionada, dentro del sistema propuesto.

Para el último período analizado, la producción alcanzó un total de 6,579 toneladas por año, con el sistema de mantenimiento actual.

Para el año siguiente, es decir para el primer año de aplicación del sistema propuesto, la producción llegará a las 6,914 toneladas por año.

Comparando estas dos producciones anualizadas, se concluye que el incremento de la producción es de 5.17%.

Este incremento permitirá la generación de un mayor margen de utilidades para la empresa, y por lo tanto será más sólida su rentabilidad.

## **5.8 Disminución del Costo de Mantenimiento**

La alternativa seleccionada, genera un costo total del mantenimiento, de \$ 1'133,110 para el primer año de su aplicación.

Si recurrimos al último año de análisis, veremos que el costo total del mantenimiento actual, asciende a \$1'442,027.



Al comparar estos dos costos totales, se observa que se ha producido una disminución del orden de 21.42%, es decir entre el último año del sistema actual y el primer año del nuevo sistema propuesto.

Lo que permite afirmar, que el sistema propuesto, es más conveniente para la empresa, desde todo punto de vista analítico.

### 5.9 Rentabilidad de la Inversión

Para determinar la rentabilidad se considera un período de cinco años, comprendidos entre 1991 y 1995, para el cual se calculará su producción anual proyectada, considerando la tasa de crecimiento antes calculada, es decir, del 5.17%; así mismo se calculará las utilidades correspondientes, es decir la economía que produce el nuevo sistema propuesto para el mismo período.

Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

AÑOS	PRODUCCION ton/año	UTILIDAD \$ año
1991	6914	308,917
1992	7271	324,868
1993	7650	341,801
1994	8045	359,450
1995	8641	386,079

Tabla Nº 29

Observando la tabla Nº 29, los resultados obtenidos como utilidades para el período 91/95, deben ser actualizados a su valor neto para el año 1991.

El valor de actualización neto (VAN) se calcula con la siguiente expresión analítica:

$$P = \frac{S}{(1 + i)^n}$$

donde: P = valor actual neto

S = valor futuro

n = número de años

i = tasa de interés anual (8%)

Aplicando esta fórmula a los resultados de la tabla Nº 29, obtenemos los siguientes valores actualizados:

UTILIDAD FUTURA \$	UTILIDAD ACTUAL NETA \$
308,917	308,917
324,868	300,804
341,801	293,039
359,450	285,343
386,079	283,780

Tabla Nº 30



Tomando los resultados de la tabla Nº 30, la utilidad total neta actualizada al año 1991, resulta ser de \$ 1'471,883.

Por otro lado, considerando el monto total de la inversión, para la alternativa seleccionada dentro del sistema propuesto, ésta resulta ser de \$ 785,648 generada por: adquisición del horno de craqueo, compra de instrumentos para detección de fallas, gasto por mantenimiento de instrumentos, gasto por mano de obra adicional y capacitación del personal de inspectores instrumentistas.

Además teniendo presente la tasa libre más alta del mercado actual que es de 18% anual; la inversión planteada genera una utilidad de \$141,417.

Así mismo si comparamos la utilidad total actualizada con la inversión, ésta significa 187.35%; lo que demuestra a todas luces que el sistema de mantenimiento propuesto tiene una rentabilidad de 187.35%, la misma que es alta y atractiva.

## CONCLUSIONES

1. Dentro del sistema propuesto, la primera modificación que se realiza es referente a su estructura orgánica, con la creación de la sección de planificación y la ubicación de los trabajadores en los denominados talleres de mecánica y de electricidad; lo que permitirá en primer lugar ordenar el departamento haciendo que sea más funcional y dinámico y en segundo lugar permitirá definir las funciones y obligaciones de cada instancia jerárquica, lo que repercutirá en la eficiencia del sistema propuesto, ya que se planificará las actividades de mantenimiento en sus diferentes niveles.
  
  2. Otro aspecto que es importante destacar es referente al sistema de comunicación, el cual permitirá mantener una relación laboral fluida, dinámica y cordial con otros departamentos de la planta, buscando través de esto que el departamento sea importante y mecánico, para asegurar el cumplimiento de la producción programada.
- Así mismo, permitirá tener un mayor contacto con los directivos de la empresa, quienes estarán debidamente informados de la gestión desarrollada y de las proyecciones futuras del departamento.

3. La aplicación del sistema propuesto, permitirá una reducción significativa del tiempo de parada, debido a que de 745 hr de paralización de planta para el último año de análisis, se reducirá a 343 hr de interrupción de la producción para el primer año de su aplicación, es decir se observa una reducción de 54% aproximadamente; lo que repercute directamente en un beneficio económico para la empresa, debido a que se podrá producir 402 hr más al año.
4. Desde el punto de vista técnico se puede concluir, que el sistema propuesto, permitirá detectar las fallas aplicando procedimientos y metodologías modernas, debido a que las técnicas propuestas son modernos y actualizadas, ya que se podrá detectar las fallas: con la ayuda de instrumentos y/o equipos especiales, con la participación de inspectores o instrumentistas debidamente calificadas, con la aplicación del análisis probabilístico y la asesoría técnica de la sección de planificación; todo esto permitirá realizar las reparaciones en menor tiempo, garantizando así el menor número de horas de paralización de planta, por causas de fallas de las máquinas y/o equipos.
5. Los trabajos, actividades o tareas de mantenimiento no serán ejecutadas estrictamente por orden de llegada, sino que existirá una priorización que

obedecerá a factores técnicos, como son: urgencia del trabajo, criticidad de la máquina, frecuencia de fallas, stock de repuestos y materiales, y otros según sea el caso; es decir existirá un programa de mantenimiento, que contemple estos factores y sobre todo ofrezca facilidades para las ejecución de las órdenes de trabajo aplicándose para ello, como se propone, técnicas modernas de la planificación y programación, que permitan una ejecución de los trabajos mucho más rápido, y a su vez sean controlados y supervisados.

6. Con este sistema propuesto, realmente se ofrece una mayor protección a los activos fijos de la empresa, es decir a sus máquinas, equipos e instalaciones en general, debido a que permitirá un control continuo en la operatividad de cada máquina, es decir en otras palabras se sabrá para una fecha cualquiera, el estado en que se encuentra cada máquina y/o equipo, desde el punto de vista de su conservación, de su funcionamiento, de su rendimiento, y de las proyecciones de reparación o sustitución que se tengan previstas dentro del programa a largo plazo.

7. La alternativa seleccionada dentro del sistema propuesto, generará una economía de \$308,917, que vista de otra manera es una utilidad para la empresa, considerando solamente el primer año de su

aplicación; para el futuro también se producirán utilidades de mayor monto, siempre que se siga aplicando este sistema propuesto bajo las condiciones indicadas, estos montos se encuentran especificados en la Tabla Nº 29, hasta el año 1995.

8. La aplicación del sistema propuesto, permitirá incrementar la producción en los años futuros, como se puede apreciar en la Tabla Nº 29 para el período comprendido entre 91/95, esto es positivo para la empresa y que la planta irá logrando su máxima capacidad de producción para el período indicado. Además cabe recordar que la máquina que se va adquirir, es decir el horno de craqueo tendrá una capacidad hasta 9,000 toneladas por año, lo que garantiza plenamente la mayor producción que se va generar por la aplicación del sistema propuesto.
9. Es importante destacar que el proyecto del nuevo sistema, es altamente rentable, cuya evaluación es de 187.35% de rentabilidad para el primer año de ejercicio y comparando con el sistema financiero actual, supera todas las metas existentes tanto en el mercado nacional como en el exterior.

Estos resultados implican seguridad en la inversión y anulan todo riesgo de pérdida para la empresa; lo que facilitará el financiamiento del préstamo y además

permitirá un clima favorable para el préstamo del monto requerido por parte de cualquier entidad financiera.

Para el desarrollo del presente proyecto se ha considerado un Impuesto General a las Ventas del 14%, pero por disposición con fecha 1/03/92 del Gobierno Central el Impuesto ha variado de la siguiente manera:

Impuesto General a las Ventas : 16%

Promoción Social : 2%

I.G.V. 18%

=====



## BIBLIOGRAFIA

1. ADMINISTRACION DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.  
Newbrough, E.T. Editorial Diana
2. EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA.  
Stewart. Editorial Deusto
3. DIAGNOSTICO DE LA EMPRESA.  
Brown, Gerard. Editorial Iberico
4. PLANEAMIENTO Y CONTROL DE LA PRODUCCION.  
Munier, Nolberto. Editorial Astrea
5. LOCALIZACION , LAYOUT Y MANTENIMIENTO DE PLANTA.  
Ruddell, Reed. Editorial El Ateneo
6. MANUAL DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.  
Tomos I, II y III. Morrow, L.C. Editorial Mc Graw-Hill
7. MANTENIMIENTO, ADMINISTRACION Y REDUCCION DE COSTOS.  
Calabro, Salvador. Editorial Mc Graw-Hill
8. MANUAL DE MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES INDUSTRIALES.  
Baldin Furlanetto, Roversi y turco. Editorial G. Gili S.A.



9. ECONOMIA DEL PROYECTO DE INGENIERIA.

Thursen, F.M.I. Editorial Diana

10. RELIABILITY MODELING IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Endoenyi J. y Wiley T. Editorial Mc Graw-Hill