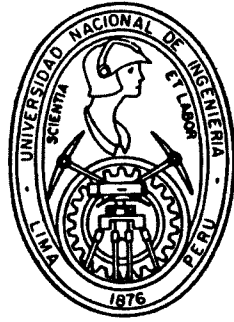


# Universidad Nacional de Ingenieria

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



## “Organización del Mantenimiento de una Planta de Embotellado de Cerveza de 50,000 Botellas por Hora”

**T E S I S**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECANICO**

**OSCAR LEONIDAS CASANOVA VENERO**

PROMOCION: 1980 - I

**LIMA • PERU • 1986**

## TABLA DE CONTENIDOS

Prólogo	6
1. Introducción	8
2. Organización de Archivos	12
2.1 Fuentes de Información	12
2.1.1 Catálogos	12
2.1.2 Inventarios	13
2.1.3 Datos de funcionamiento	13
2.2 Codificación	14
2.2.1 Código de área	14
2.2.2 Código nominal	14
2.2.3 Código de orden	14
2.2.4 Unidad principal	17
2.2.5 Unidad auxiliar	17
2.3 Registros	17
2.4 Reportes	20
3. Programas de Lubricación y Mantenimiento	23
3.1 Cartas de Lubricación y Mantenimiento	23
3.2 Programación	27
3.3 Control	28
3.3.1 Mantenimiento	28
3.3.2 Lubricación	28
4. Política de Repuestos	30
4.1 Criterios	30
4.2 Procedimiento	32
4.3 Control	32
5. Estudio y Análisis de Fallas	33
5.1 Arboles de fallas	33
5.1.1 Puertas lógicas	33
5.1.2 Símbolos eventuales	36

5.2 Tablas de decisión	37
5.3 Construcción de un árbol de fallas	37
5.4 Aplicación	38
6. Evaluación y Corrección	52
6.1 Evaluación	54
6.1.1 Evaluación de los parámetros de mantenimiento	54
6.1.2 Evaluación Económica	68
6.1.3 Determinación del punto óptimo de operación	86
6.2 Corrección	90
6.2.1 Análisis de fallas frecuentes	90
6.2.2 Corrección del Programa de Mantenimiento	100
6.2.3 Previsión de repuestos de urgencia	100
Conclusiones	101
Bibliografía	107
Apéndice	108
A Planta de Embotellado - Plano de Codificación	109
B Planta de Embotellado - Archivo de Mantenimiento	110
C Planta de Embotellado - Manual de Mantenimiento	154
D Planta de Embotellado - Programa Anual	204

## PROLOGO

El desarrollo de la Industria en nuestro país exige métodos de mantenimiento cada vez más simples, organizados y económicos. Este trabajo propone una técnica para organizar el mantenimiento de fábricas aplicada a un caso específico, una planta de embotellado de cerveza. Incluye varios temas que en conjunto forman la base de todo programa de mantenimiento, y el desarrollo de cada capítulo está conceptuado de tal manera que los criterios expuestos son aplicables en general.

El capítulo 2 trata de la organización de archivos, fundamentales en el departamento de mantenimiento por la información que contienen y porque permiten identificar a cada componente del sistema. El capítulo 3 expone los criterios básicos para programar el mantenimiento y la lubricación. Otro punto importante, la política a seguir - en cuanto a repuestos, se desarrolla en el capítulo 4. En el capítulo 5 se presenta una técnica de análisis de riesgos adaptada para el análisis de fallas, cuyo estudio - permite mejorar el rendimiento. Por último, el capítulo 6, Evaluación y corrección, da las pautas para evaluar -

los resultados de la aplicación del programa, proponer alternativas para mejorar el estado actual, y corregir las acciones preventivas del programa, el cual, de esta manera, mejora periódicamente.

Este trabajo es el resultado de 3 años de experiencias con una planta de embotellado de cerveza, desde la instalación hasta el actual funcionamiento. Otros responsables del mismo son el personal del Centro de Mantenimiento de la Compañía Cervecera del Sur del Perú S. A., institución que con su favorable acogida ha hecho posible se logre aplicar en todos sus términos. A ellos mi agradecimiento por su valioso aporte.

## INTRODUCCION

Organizar el departamento de mantenimiento es fundamental en una fábrica moderna. Las grandes inversiones que demandan la adquisición de maquinaria y su instalación justifican protegerlas con una política adecuada de mantenimiento, pues técnicas erradas dan como resultado el deterioro apresurado de la maquinaria. Al organizar deben conjugarse criterios técnicos y administrativos, y lograrse una unidad homogénea.

La organización abarca los siguientes aspectos:

### 1. Codificación.

La identificación del objeto estudio es primordial. La codificación facilita igualmente la ubicación de cada componente del sistema.

### 2. Organización de archivos.

Los archivos contienen la información que permite la posterior evaluación y corrección de un programa.

### 3. Elaboración de Programas de Lubricación y Mantenimiento.

Deben identificarse las necesidades de cada componente y, seguidamente, planificarse cómo satisfacerlas dentro de las limitaciones impuestas por el medio de trabajo, sobre todo, sometidos a las exigencias de producción.

#### 4. Definición de una política de repuestos.

Además de atención, una máquina requiere repuestos, y los procedimientos para obtenerlos deben ser ágiles y exactos en cubrir las necesidades de la planta.

#### 5. Estudio y análisis de fallas.

Las fallas son las causantes del mantenimiento, por lo tanto, deben analizarse exhaustivamente, existiendo métodos adecuados para ello. Aquí nos hemos inclinado por árboles de fallas y tablas de decisión, método desarrollado por vez primera en 1961-62 por H. A. Watson, de Bell Telephone Laboratories en el análisis de riesgos en el lanzamiento de cohetes; trabajo hecho para la fuerza aérea de EE.UU.

#### 6. Evaluación y corrección del Programa.

Dos ideas prevalecen durante el trabajo; todo puede ser mejorado y ningún sistema es perfectamente confiable. Al evaluar y corregir conocemos que no podremos eliminar completamente los costos indeseados que producen las paradas por falla, pero también es cierto que pueden ser continuamente reducidas. Por eso, los

programas se deben corregir periódicamente.

En el capítulo 6, que trata este tema, para la evaluación hemos recogido modelos matemáticos utilizados hasta ahora en aeronáutica y electrónica, y los hemos adaptado al mantenimiento de fábricas, definiendo conceptos propios sobre escalas de tiempo y estados en el comportamiento de la maquinaria, con el propósito de simplificar el enfoque.

No sería posible comprender el alcance del trabajo hecho sin exponer paralelamente cómo y dónde ha sido aplicado. El objeto concreto del mismo es la planta de embotellado de cerveza propiedad de la Compañía Cervecera - del Sur del Perú S. A. situada en Cusco. Sus características resaltantes son:

- Capacidad nominal: 50,000 botellas de 0.6l l /hora.

- Graduación del rendimiento nominal por máquina:

- Llenadoras (2)	25,000 b.p.h.
- Lavadora de botellas	55,000 b.p.h.
- Pasteurizadora	50,000 b.p.h.
- Desencajonadora	60,000 b.p.h.
- Encajonadora	60,000 b.p.h.
- Lavadora de cajas	5,400 c.p.h.
- Depaletizadora	64,800 b.p.h.
- Paletizadora	64,800 b.p.h.
- Etiquetadoras (2)	33,000 b.p.h.
- Inspectores de botellas (2)	30,000 b.p.h.



Las máquinas son completamente automáticas. Un esquema de la planta se muestra en la Figura 11, capítulo 6, y el plano de codificación en el apéndice A. La estadística reunida es de dos años, 1983 y 1984. Durante ese lapso, la planta ha trabajado 10 horas diarias, 3 días a la semana y 1550 horas anuales en promedio. El programa se empezó a aplicar en Noviembre de 1983 y se ha corregido durante el primer semestre de 1985. Este último es el que se presenta en el apéndice D. El manual de mantenimiento y lubricación, también corregido, se puede ver en el apéndice C.

## ORGANIZACION DE ARCHIVOS

La correcta elaboración de los Planes de Mantenimiento y Lubricación, las solicitudes de repuestos y los Registros estadísticos es proporcional al conocimiento de la maquinaria y equipos que incluye un Sistema; conocimiento que se desprende del estudio de la información disponible: Catálogos, datos de inventario y datos de funcionamiento. La recolección y ordenamiento de tal información deben ser metódicos para poder utilizarla con fines concretos.

### 2.1 Fuentes de Información

Los datos que se pueden obtener de las fuentes de información señaladas son:

#### 2.1.1 Catálogos

Proporcionan información sobre instrucciones de operación, actividades rutinarias de mantenimiento y lubricación, lista de partes y piezas de repuesto.

### 2.1.2 Inventarios

Los datos de inventario sirven a la elaboración de los Registros de Maquinaria . Son:

- Marca.
- Número de fabricación.
- Modelo, tipo.
- Año de fabricación.
- Fecha de instalación.
- Capacidad.
- Potencia.
- Voltaje.
- Corriente.
- Frecuencia.
- Factor de potencia.
- Velocidad de giro.
- Presiones de trabajo.
- Temperaturas de trabajo.
- Caudal, altura.
- Lubricantes.
- Otras características técnicas.

La mayoría de éstos son datos de placa.

### 2.1.3 Datos de funcionamiento.

Son proporcionados por los reportes del personal de mantenimiento. De ellos se obtiene la información siguiente:

- Fecha del reporte.
- Horas trabajadas.
- Partes falladas.
- Tiempo de paralización.
- Tiempo de reparación.
- Horas hombre empleadas.
- Causas de la falla.

## 2.2 Codificación

Los códigos permiten identificar rápida e inequívocamente cada componente del sistema en estudio. Para ello, hemos asumido un sistema de codificación alfanumérico en el cual cada código se genera por la combinación de tres códigos subalternos:

### 2.2.1 Código de área

Señala la ubicación en el espacio físico de la planta. (Tabla 1).

### 2.2.2 Código nominal

Determina la clase de maquinaria. (Tabla 2).

### 2.2.3 Código de orden

Determina el orden que ocupa el ítem entre unidades de la misma clase.

Al asignar los códigos se consideran dos tipos de unidades:

## Tabla 1 Códigos de área

## Area 10: Sala de Máquinas.

- 11 Subestación eléctrica.
- 12 Grupos electrógenos.
- 13 Planta de generación de vapor.
- 14 Planta de refrigeración.
- 15 Planta de compresión de aire.
- 16 Planta de recuperación de gas carbónico.
- 17 Planta de elevación de presión de agua.

## Area 20: Cebada.

## Area 30: Maltería.

- 31 Recepción y ensilado.
- 32 Transporte.
- 33 Limpieza.
- 34 Clasificación.
- 35 Remojo.
- 36 Germinación.
- 37 Tostación.

## Area 40: Cocimiento.

- 41 Transporte.
- 42 Molienda.
- 43 Coción.
- 44 Enfriamiento.

## Area 50: Fermentación.

- 51 Levadura.
- 52 Flotación.
- 53 Fermentación I.
- 54 Fermentación II.
- 55 Limpieza.

## Area 60: Filtro.

## Area 70: Embotellado.

## Area 80: Recepción y Despacho.

## Area 90: Servicios

- 91 Administración.
- 92 Obra civil.
- 93 Mecánica.
- 94 Electricidad.
- 95 Electrónica e instrumentación.
- 96 Laboratorio.
- 97 Carpintería.

Tabla 2 Códigos nominales

AG	Agitador	MC	Motor de c. i.
AS	Ascensor	MN	Montacargas
AT	Automóvil	MO	Molino
		MR	Motorreductor
BA	Balanza	MT	Motor eléctrico
BS	Báscula		
BO	Bomba centrífuga	PA	Paletizadora
BT	Transportador de botellas	PL	Paila
		PR	Prensa
CA	Caja de germinación	PS	Pasteurizadora
CD	Condensador	PT	Transportador de paletas
CE	Cepillo		
CI	Separador ciclónico	QU	Quemador
CJ	Transportador de cajas	RE	Reductor
CL	Caldera	RJ	Rejilla
CM	Compresor		
CP	Compuerta	SC	Secador
		SE	Separador centrífugo
DA	Desaerador	SH	Sistema hidráulico
DE	Despumador	SN	Sistema neumático
DG	Desgerminadora	SL	Silo
DO	Deodorizador		
DP	Depaletizadora	TB	Transportador de banda
DS	Desencajonadora	TC	Transportador de cadenas
EL	Elevador	TD	Tostadora
EN	Encajonadora	TE	Torre de enfriamiento
EP	Esparcidor	TF	Transformador
ES	Esclusa	TL	Taladro
ET	Etiquetadora.	TN	Transporte neumático
EV	Evaporador	TQ	Tanque
		TR	Torno
FI	Filtro	TS	Transportador de tornillo sinfin
GE	Generador	TT	Tablero
		TV	Tolva
IN	Intercambiador		
LC	Lavadora de cajas	VE	Ventilador
LB	Lavadora de botellas	VA	Válvula
LG	Lavador de gas		
LL	Llenadora de botellas	ZN	Zaranda

#### 2.2.4 Unidad principal

Aquella que no forma parte de otra más compleja. Ejemplo:

Código de área:	70	(Embotellado).
Código nominal:	ET	(Etiquetadora).
Código de orden:	02	(Número 2).

#### 2.2.5 Unidad auxiliar

Aquella que acciona a una unidad principal o forma parte de ella. Ejemplo:

Código de área:	70	(Embotellado).
Código nominal:	LB	(Lavadora de botellas).
Código de orden:	01	(Número 1).
Código nominal:	B0	(Bomba).
Código de orden:	02	(Número 2).

El Apéndice A, al final del texto, "Planta de Embotellado: Plano de codificación"; muestra la aplicación de este sistema al caso estudiado.

### 2.3 Registros

El Archivo de Mantenimiento contiene dos registros: el Registro de Maquinaria y Equipos (Figura 1), y el Registro de Mantenimiento (Figura 2). En nuestro caso, para formar el Archivo, durante el inventario se tomaron los datos de placa de todas las unidades auxi

ARTICULO

CODIGO

### REGISTRO DE EQUIPOS

I: DATOS DE PLACA		
Motores / Reductores / Bombas / Maquinarias		
FABRICANTE		
TIPO		
No. DE SERIE		
POTENCIA		
AMPERES	VOLTS	KVA
FASES	CICLOS	COS $\phi$
BPM I	RPM II	
ARMAZON	AISLAMIENTO	
CAPACIDAD	ALTURA	
UBICACION		

II: DATOS DE PLACA			
Intercambiadores de calor / Recipientes			
	1	2	3
PRESION MAXIMA			
TEMPERATURA MAXIMA			
CAPACIDAD			
FLUIDO			
III: INFORMACION ADICIONAL			
LUBRICANTE			
FRECUENCIA DE LUBRICACION			
OBSERVACIONES			

Figura 1





liares y principales, y con ellos se organizó el Registro de Maquinaria y Equipos. Continuando a éste, se ha llevado el Registro de Mantenimiento de acuerdo a los reportes. El Apéndice B: "Planta de Embotellado - Archivo de Mantenimiento", reúne los registros de las unidades principales de la planta. No se incluyen las unidades auxiliares (motores, bombas, válvulas, etc.) porque el número de éstas es elevado y su presencia no ayuda al objeto de este trabajo, - aunque en la práctica están debidamente registradas. También se omiten los datos de marca, tipo y otras características propias del fabricante.

#### 2.4 Reportes

Los reportes (Figura 3) son el medio por el cual - se recogen los datos de funcionamiento, información que se anota en el registro de mantenimiento para su posterior procesamiento. Para simplificar los reportes, hemos incluido códigos para describir las fallas y la condición del repuesto. (Tabla 3).

## REPORTE DE MANTENIMIENTO

1 REPORTADO POR	2 AREA	3 MAQUINA	4 COMPONENTE	5 FECHA	6 NUMERO
7 HOROMETRO	8 No. MECANICOS	9 TIEMPO PARADA	10 TIEMPO REPARAR	11 ACCION SEGUIDA <input type="checkbox"/> CAMBIO <input type="checkbox"/> REPARACION	
12 DESCRIPCION					
			CALIF	CODIGO AVERIA	CODIGO REPUESTO

Figura 3

Tabla 3 Códigos para el Reporte de Mantenimiento

**A Causa****1. Factor Humano**

- 11 Diseño inadecuado.
- 12 Mal manejo.
- 13 Mal regulado.
- 14 Insuficiente lubricación.
- 15 Mal reparado.
- 16 Accidente, golpes, daños durante la operación.

**2. Medio Ambiente**

- 21 Sobrecarga.
- 22 Vibración.
- 23 Suciedad, cuerpos extraños.
- 24 Incrustación.
- 25 Corrosión, óxido.
- 26 Rozamiento, fricción.
- 27 Alta temperatura.
- 28 Humedad.

**B Falla Básica**

- 31 Fatiga.
- 32 Desgaste.
- 33 Torsión.
- 34 Fractura.
- 35 Desajuste.
- 36 Obstrucción, traba.
- 37 Cortocircuito.
- 38 Fugas.
- 39 Baja eficiencia.

**C Condición del Repuesto**

- 0 No necesario.
- 1 En almacén.
- 2 Fabricado en planta.
- 3 Fabricado por terceros.
- 4 Reparado y vuelto a instalar.
- 5 No disponible.

## PROGRAMAS DE LUBRICACION Y MANTENIMIENTO

La elaboración de los Programas de Lubricación y Mantenimiento parte del estudio de las recomendaciones del fabricante y de la experiencia recogida durante el funcionamiento.

### 3.1 Cartas de Lubricación y Mantenimiento

Las cartas resumen sistemáticamente las acciones a seguir y su frecuencia.

La información que se registra en una Carta de Lubricación es la siguiente: (Figura 4)

- Código de la Unidad: De acuerdo a lo establecido en el It. 2.2.
- Descripción del conjunto a lubricar: Se incluye para facilitar la ubicación, dividiéndose la unidad en varios conjuntos, según la función que desempeñen u otra característica resaltante.
- Punto de lubricación: Aquí se describe la pieza o elemento a lubricar.

CARTA DE LUBRICACION					AREA										
CODIGO	CONJUNTO	No.	PUNTO DE LUBRICACION	LUBRICANTE	FRECUENCIA										
					DIARIA	SEMANAL	MENSUAL	TRIMEST.	SEMES.	ANUAL					

Figura 4

- Lubricante.

- Frecuencia de lubricación: Este dato es común encontrarlo entre las recomendaciones del fabricante pero debe afinarse de acuerdo a las condiciones de operación.

Es recomendable también registrar la cantidad necesaria de lubricante, con el propósito de preveer las necesidades para un período dado, aunque es más práctico hacerlo en forma global.

- Las Cartas de Mantenimiento registran similar información (Figura 5):

- Código de la unidad.
- Número de la actividad.
- Descripción de la actividad.
- Frecuencia de la actividad.

Las actividades de mantenimiento vienen descritas en forma general en los catálogos e instrucciones de servicio, dado lo variable de las condiciones de trabajo, por lo que estas normas deben revisarse continuamente, añadiéndose las actividades preventivas - que la experiencia determine necesarias.

El conjunto de Cartas de Lubricación y Mantenimiento forma el Manual de Mantenimiento. El Apéndice C - contiene el de la planta de embotellado.





### 3.2 Programación

Para diseñar el programa de mantenimiento hay tres criterios:

- Definir una o más etapas de mantenimiento durante el año. Es aplicable en el caso de una producción continua que no permita detener las máquinas sino después de períodos espaciados.
- Distribuir equilibradamente las actividades durante el año, semanal o mensualmente. Puede lograrse si la producción es intermitente y se dispone de tiempo libre para mantenimiento cada cortos intervalos. Necesariamente, los programas de lubricación deben diseñarse de esta manera.
- Es posible un programa mixto que incluya actividades periódicas con paradas relativamente grandes - para las labores pesadas.

Evidentemente, el programa de mantenimiento depende en gran parte de las condiciones de operación, y debe de amoldarse al plan productivo.

De estas tres alternativas, las dos últimas ofrecen mayores ventajas, pues permiten:

- Acciones correctivas continuas.
- Adecuar permanentemente el programa a las necesidades reales.

- Mantener un grupo exclusivo de personal estable para mantenimiento.

Los Programas de Lubricación y Mantenimiento para la planta de embotellado (Apéndice D) se han diseñado acorde al segundo criterio. Naturalmente, el programa original se ha modificado hasta en un 50%, lo cual da clara idea sobre la influencia de las condiciones de trabajo en el comportamiento del sistema.

### 3.3 Control

#### 3.3.1 Mantenimiento

En el programa anual, se pueden clasificar las actividades en diarias, semanales, mensuales y de menor frecuencia.

Las actividades de mantenimiento diarias y semanales son generalmente sencillas: control de valores de trabajo, niveles de líquidos, limpieza, etc., y son de responsabilidad del operario. Para las actividades de menor frecuencia distribuidas a lo largo del año en el programa anual debe elaborarse una Lista de comprobación mensual, la cual se envía al responsable del mantenimiento de planta, quien la hace cumplir y la devuelve con las anotaciones necesarias.

#### 3.3.2 Lubricación

Para el control de las actividades de lubricación se necesitan dos listas de comprobación, una diaria, con las actividades rutinarias, y otra semanal con las actividades de frecuencia semanal y las que correspondan por el programa anual.

## POLITICA DE REPUESTOS

### 4.1 Criterios

La necesidad de mantener una provisión de repuestos debe establecerla el encargado del mantenimiento de planta. Al hacerlo, debe considerar lo siguiente:

#### 4.1.1 Grupos de repuestos

Hemos considerado tres grupos:

- Repuestos originales: Aquellos que sólo el fabricante puede proveer.
- Repuestos comerciales: Los que se fabrican de acuerdo a normas técnicas por varias firmas, como rodamientos, cadenas, fajas, etc.
- Repuestos maquinables: Los que se pueden fabricar en planta, si se dispone de máquinas herramientas, v.g. ejes, engranajes, piezas roscadas, bocinas, etc.

4.1.2 Antes de efectuar un pedido, es necesario conocer el funcionamiento de la máquina y determi-

nar, con ayuda de la Lista de Partes, los repuestos necesarios por desgaste, daño o extravío. Luego, deben clasificarse y redactarse - tres listados, uno por cada grupo. Los repuestos originales y comerciales se solicitan a - los proveedores, y se hace un programa de fabricación para los repuestos maquinables.

4.1.3 Por regla general, en el almacén no deben faltar:

- Juntas: anillos "O", anillos ranurados, empaquetaduras, etc.
- Rodamientos y cojinetes.
- Sellos mecánicos.
- Anillos de desgaste.
- Anillos de seguridad.
- Pasadores: cónicos, de aletas.
- Fajas.
- Cadenas y eslabones de empalme.
- Tornillos prisioneros, de formas especiales, o pequeños.

Inversamente, no siempre se debe incluir piezas de fundición, bastidores, carcasas, etc.

## 4.2 Procedimiento

- 4.2.1 Determinadas las piezas por solicitar, se redacta el pedido en un formato adecuado, original y copia.
- 4.2.2 Se archiva la copia y el original se remite a la sección encargada de solicitar las proformas. (Logística).
- 4.2.3 Las proformas se comparan con el pedido original, se corrigen y se devuelven.
- 4.2.4 Acorde a la aprobación de las proformas, se emite la orden de compra a los proveedores.
- 4.2.5 Los repuestos se ingresan al almacén identificados con el pedido original.

## 4.3 Control

Para evitar paradas prolongadas de producción, debe controlarse continuamente la existencia de repuestos, con el fin de reponer a tiempo los que se vayan agotando. Debe existir una vía única para retirarlos del almacén, de modo que apenas se usen sean descargados del listado correspondiente. Los nuevos pedidos pueden efectuarse cuando se haya consumido el 50 por ciento, para tener un margen de seguridad hasta recibir nuevas partidas.

## ESTUDIO Y ANALISIS DE FALLAS

Por lo general, cuando ocurre una falla pueden identificarse fácilmente las causas que la originaron; sin embargo, hay fallas que merecen un análisis mayor, pues son producto de complejas relaciones causales entre varios eventos básicos. La identificación de éstos hace posible encontrar medios de aminorar las consecuencias de la falla, mejorando las acciones preventivas o rediseñando el sistema.

El presente capítulo trata del método de análisis de fallas por árboles lógicos y tablas de decisión.

### 5.1 Arboles de fallas



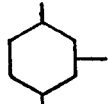


La construcción de un árbol de fallas utiliza símbolos para representar los eventos y puertas lógicas para relacionarlos.

#### 5.1.1 Puertas lógicas

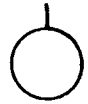
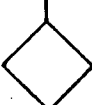
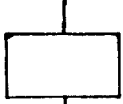


Las puertas lógicas (Tabla 4) establecen la relación entre dos o más eventos y uno que es consecuencia de los primeros. Las más impor

Tabla 4. Puertas lógicas y símbolos eventuales.

## I Puertas lógicas.

Símbolo	Nombre	Relación causal
	Puerta Y	El evento de salida ocurre si suceden todos los eventos de entrada simultáneamente.
	Puerta O	El evento de salida ocurre si sucede cualquiera de los eventos de entrada.
	Puerta restringida	El evento de entrada induce el de salida sólo si ocurre el evento condicional (al costado).
	Puerta Y de prioridad	El evento de salida ocurre si suceden los eventos de entrada en orden de izquierda a derecha.
	Puerta O exclusiva	El evento de salida ocurre si sucede uno, pero no todos, de los eventos de entrada.

## II Símbolos eventuales

	Falla básica con suficiente información.
	Evento no investigado.
	Evento ligado a una puerta lógica.
	Evento condicional.
	Símbolo de transferencia.



tantes son:

- Puerta "Y"

El evento de salida ocurre sólo si se dan simultáneamente todos los eventos de entrada.

- Puerta "O"

El evento de salida ocurre si se da cualquiera de los eventos de entrada.

- Puerta restringida

El evento de entrada produce el evento de salida sólo si se da el evento condicional.

- Puerta "Y" de prioridad

El evento de salida ocurre sólo si se producen todos los eventos de entrada en orden sucesivo de izquierda a derecha.

- Puerta "O" exclusiva

El evento de salida ocurre si se da uno, pero no el resto, de los eventos de entrada.

- Puerta "O" electiva

El evento de salida ocurre si se dan "m" - de "n" eventos de entrada.

### 5.1.2 Símbolos eventuales

Los símbolos eventuales establecen las características y la jerarquía de un evento en un árbol de fallas. Se representan por figuras geométricas.

#### Círculo

Representa la falla básica de un elemento y es la solución de una rama del árbol.

#### Rombo

Señala un evento no investigado hasta encontrar las fallas básicas por falta de importancia, información o tiempo.

#### Rectángulo

Representa a una falla que tiene origen en varios eventos que actúan relacionados por puertas lógicas.

#### Ovalo

Representa a un evento condicional o "señal de apertura en una puerta restringida.

#### Triángulo

Es un símbolo de transferencia usado para simplificar un árbol cuando existen partes idénticas.

ticas en su desarrollo.

## 5.2 Tablas de decisión

En un sistema, cada componente recibe y transmite diversas magnitudes. A cada magnitud de entrada se le asigna un valor, y el conjunto de valores asignados determina el estado de entrada. Igualmente, se determina un estado de salida con valores asignados a las magnitudes de salida. El estado normal o anormal del componente en sí se llama modo interno, y para la tabla de decisión se considera como magnitud de entrada.

Una tabla de decisión es una tabla de verdad. Describe cómo cada combinación de los valores de entrada determina los valores de salida.

## 5.3 Construcción de un árbol de fallas

El procedimiento de construcción de un árbol de fallas es el siguiente:

### 1. Especificar la falla

Falla es un valor anormal de una magnitud, como "flujo insuficiente a través de una válvula", o, en caso de un cortocircuito, "excesiva corriente".

### 2. Hacer un esquema del sistema y sus componentes.

### 3. Elaborar tablas de decisión.

#### 4. Construir el árbol de fallas.

El vértice del árbol es la falla analizada. Se busca entre las "salidas" de las tablas de decisión. Los valores de las magnitudes de entrada son los eventos cuya relación causa la falla. Estos se unen por la puerta lógica apropiada con el evento final. Si los eventos de entrada no son fallas básicas, se continúa la investigación.

#### 5.4 Aplicación

Vamos a ilustrar la aplicación del método con un ejemplo típico de la planta: algunas botellas salen con restos de papel de la Lavadora de Botellas, lo que hace evidente una deficiente extracción de etiquetas. El esquema del sistema se muestra en la figura 6. Descubrir las causas de la falla.

#### Solución

##### 1. Identificación de la falla

Evento final: "Deficiente extracción de etiquetas".

##### 2. Análisis del evento final

Componente:	Chute de descarga.
Magnitud de salida:	Descarga de etiquetas.
	Valores: Normal.
	Baja.

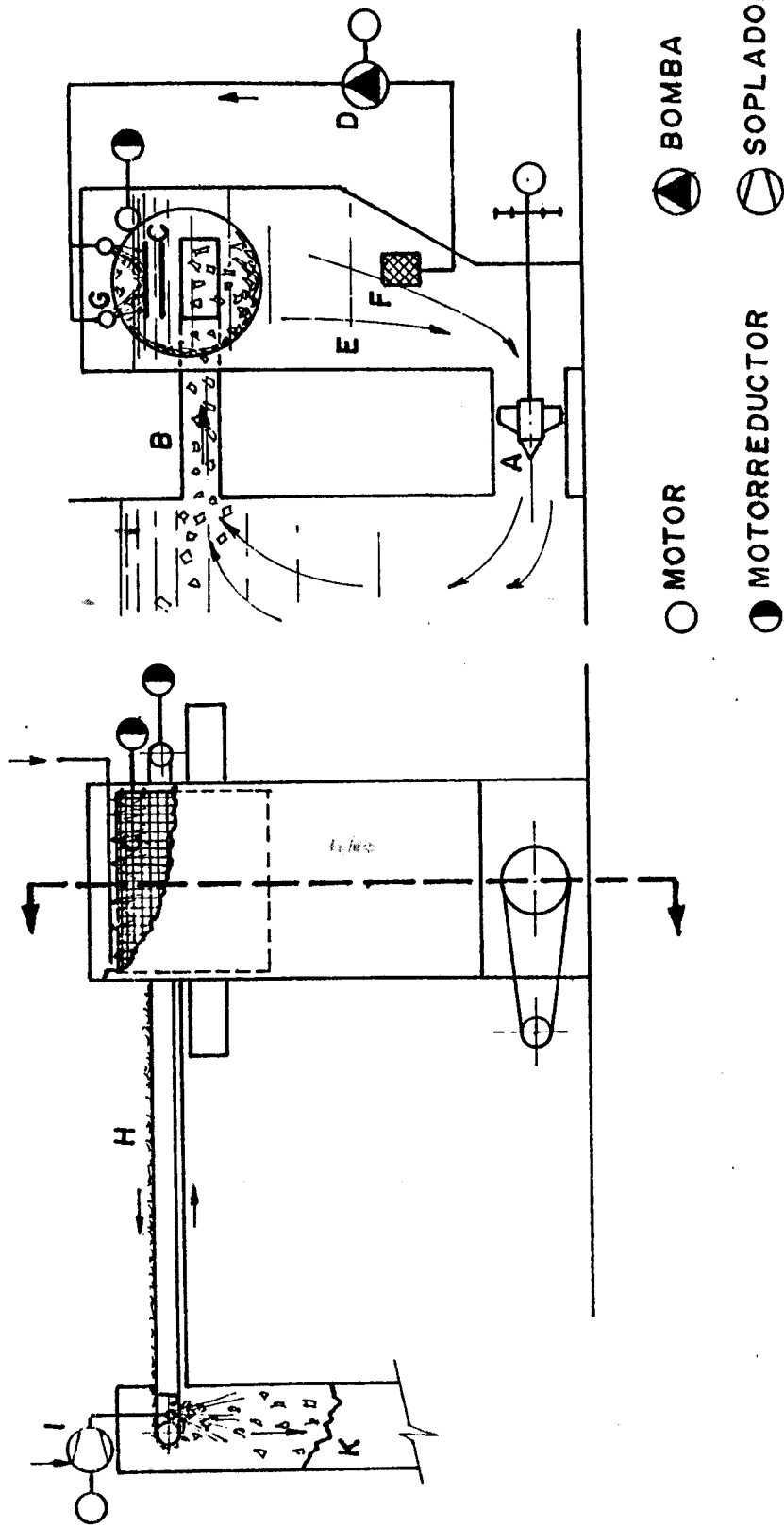


Figura 6. Sistema de extracción de etiquetas.

La bomba axial A impulsa la mezcla de soda y etiquetas de la lavadora por el ducto B hacia el tambor de extracción C, donde las etiquetas son retenidas. El giro del tambor coloca bajo los chorros G. La bomba de soda succiona el tanque de extracción E por el filtro F y alimenta a los chorros, que desprenden las etiquetas de la parte superior del tambor sobre el transportador de malla metálica H. El soplador I insufla aire a presión por los aspersores J para desprender las etiquetas en el chute de descarga K.

Magnitudes de entrada: Flujo de etiquetas por el transportador.

Valores: Normal.  
Bajo.

Chorro de aire.

Valores: Normal.  
Bajo.

Tabla de decisión 1

Entrada		Salida
Flujo de etiquetas	Chorro de aire	Descarga de etiquetas
a Normal	Normal	Normal
b Bajo	-	Baja
c -	Bajo	Baja

El guión (-) en la tabla indica que el valor de la magnitud no influye en el resultado, ya determinado por las otras magnitudes de entrada.

### 3. Análisis del evento "Chorro de aire bajo".

Componente: Tubo aspersor.

Magnitud de salida: Chorro de aire.  
Valores: Normal.  
Bajo.

Magnitudes de entrada: Presión de aire.  
Valores: Normal.  
Baja.

Modo Interno: Estado de las toberas.  
Valores: Limpias.  
Obstruídas.

Tabla de decisión 2

Entrada		Salida
Presión de aire	Estado de las toberas	Chorro de aire
d Normal e Baja f -	Limpias - Obstruídas	Normal Bajo Bajo

El evento "Toberas obstruídas" es una falla básica y constituye la solución a esta rama del árbol de fallas.

#### 4. Análisis del evento "Baja presión de aire".

Componente: Soplador.

Magnitud de salida: Presión de aire.  
Valores: Normal.  
Baja.

Magnitudes de entrada: Fuerza motriz.  
Valores: Normal.  
Nula.

Modo interno: Estado del soplador.  
Valores: Normal.  
Malogrado.

Tabla de decisión 3.

Entrada		Salida
Soplador	Fuerza motriz	Presión de aire
g Normal h Malogrado i -	Normal - Nula	Normal Nula Nula

#### 5. Análisis del evento "Fuerza motriz nula".

Componente: Motor - accionamiento.

Magnitud de salida: Fuerza motriz  
Valores: Normal.  
Nula.

Magnitudes de entrada: Mando eléctrico.  
Valores: Normal.  
Nulo.

Modo interno: Estado del motor.  
Valores: Normal.  
Malogrado.

Estado del accionamiento.  
Valores: Normal.  
Malogrado.

Tabla de decisión 4

Entrada			Salida
Acciona- miento	Motor	Mando eléctrico	Fuerza motriz
j Normal	Normal	Normal	Normal
k Malogrado	-	-	Nula
l -	Malogrado	-	Nula
m -	-	Nulo	Nula

6. Análisis del evento "Flujo de etiquetas bajo en -  
el transportador".

Componente: Transportador de etiquetas

Magnitud de salida: Flujo de etiquetas.  
Valores: Normal.  
Bajo.

Magnitudes de entrada: Descarga de etiquetas en -  
el tambor cribador.  
Valores: Normal.  
Baja.

Fuerza motriz  
Valores: Normal.  
Nula.



Tabla de decisión 5

Entrada		Salida
Descarga de etiquetas	Fuerza motriz	Flujo de etiquetas
n	Normal	Normal
o	Baja	-
p	-	Nula

Para el análisis del evento "Fuerza motriz nula" véase el punto 5.

7. Análisis del evento "Baja descarga de etiquetas - en el tambor cribador!"

Componente: Tambor cribador.

Magnitud de salida: Descarga de etiquetas.  
Valores: Normal.  
Baja.

Magnitudes de entrada: Chorro de soda.  
Valores: Normal.  
Bajo.

Flujo de etiquetas hacia el tambor.  
Valores: Normal.  
Bajo.

Fuerza motriz.  
Valores: Normal.  
Nula.

Tabla de decisión 6

Entrada			Salida
Chorro de soda	Flujo de etiquetas	Fuerza motriz	Descarga de etiquetas
q	Normal	Normal	Normal
r	Bajo	-	Baja
s	-	Bajo	Baja
t	-	Nula	Nula

## 8. Análisis del evento "Bajo chorro de soda".

**Componente:** Tubería y tubos aspersores

**Magnitud de salida:** Chorro de soda.  
Valores: Normal.  
Bajo.

**Magnitudes de entrada:** Presión de soda.  
Valores: Normal.  
Baja.

**Modo interno:** Estado de la tubería y aspersores.  
Valores: Limpios.  
Obstruídos.

Tabla de decisión 7

Entrada		Salida
Aspersores y tubería	Presión de soda	Chorro de soda
u Normal	Normal	Normal
v Obstruídos	-	Bajo
w -	Baja	Bajo

## 9. Análisis del evento "Baja presión de soda".

**Componente:** Bomba de soda.

**Magnitud de salida:** Presión de soda  
Valores: Normal.  
Baja.

**Magnitudes de entrada:** Fuerza motriz.  
Valores: Normal.  
Nula.

Altura efectiva de succión.  
Valores: Normal.  
Baja.

Tabla de decisión 8

Entrada		Salida
Fuerza motriz	Altura de succión	Presión de soda
x Normal	Normal	Normal
y Nula	-	Nula
z -	Baja	Baja

## 10. Análisis del evento "Baja altura de succión".

Componente: Filtro de succión.

Magnitud de salida: Altura efectiva de succión.  
Valores: Normal.  
Baja.

Magnitudes de entrada: Altura del nivel de soda.  
Valores: Normal.  
Baja.

Modo interno: Estado del filtro.  
Valores: Limpio.  
Sucio.

Tabla de decisión 9

Entrada		Salida
Filtro	Nivel de soda	Altura de succión
a' Limpio	Normal	Normal
b' Sucio	-	Baja
c' -	Bajo	Baja

## 11. Análisis del evento "Bajo nivel de soda".

Componente: Tanque de extracción.

Magnitud de salida: Nivel de soda.  
Valores: Normal.  
Bajo.

**Magnitudes de entrada:** Nivel de soda en la lavadora.

Valores: Normal.  
Bajo.

Caudal impulsado por la -  
bomba axial.

Valores: Normal.  
Alto.  
Bajo.

Formación de espuma.

Valores: Alta.  
Baja.

Tabla de decisión 10

Entrada			Salida
Formación de espuma	Caudal de bomba axial	Nivel de lavadora	Nivel de soda
d' Baja	Normal	Normal	Normal
e' Alta	-	-	Bajo
f' -	Alto	-	Bajo
g' -	-	Bajo	Bajo

12. Análisis del evento "Alto caudal impulsado por la bomba axial".

**Componente:** Bomba axial.

**Magnitud de salida:** Caudal de soda.  
Valores: Normal.  
Alto.  
Bajo.

**Modo interno:** Regulación de los álabes de la bomba axial.  
Valores: Normal.  
Cerrados.  
Abiertos.

Tabla de decisión 11

Entrada		Salida
Regulación de álabes		Caudal de soda
h'	Normal	Normal
i'	Abiertos	Alto
j'	Cerrados	Bajo

## 13. Análisis del evento "Alta formación de espuma".

Componente: Sódica.

Magnitud de salida: Formación de espuma.  
Valores: Alta.  
Baja.

Magnitudes de entrada: Contenido de materia orgánica.  
Valores: Alto.  
Bajo.

Modo interno: Concentración de la solución de soda.  
Valores: Alta.  
Normal.

Tabla de decisión 12

Entrada		Salida
Concentración de soda	Contenido de materia orgánica	Formación de espuma
k'	Normal	Baja
l'	Alta	Alta
m'	-	Alta

## 14. Análisis del evento "Bajo flujo de etiquetas hacia el tambor cribador".

Componente: Ducto de alimentación.

Magnitud de salida: Flujo de etiquetas.  
Valores: Normal.  
Bajo.

Magnitudes de entrada: Caudal impulsado por la bomba axial.  
 Valores: Normal.  
 Alto.  
 Bajo.

Formación de espuma.  
 Valores: Baja.  
 Alta.

Tabla de decisión 13

Entrada		Salida
Formación de espuma	Caudal de la bomba axial	Flujo de etiquetas
n'	Baja	Normal
o'	Alta	Bajo
p'	-	Bajo

#### 15. Construcción del árbol de fallas.

El árbol de fallas se muestra en la figura 7.

Al costado de las puertas lógicas se indica el número de la tabla de decisión a que corresponden y sobre las líneas de unión se especifica qué fila de la tabla se utiliza.

#### 16. Conclusiones.

Del árbol de fallas se extraen las siguientes fallas básicas que producen una deficiente extracción de etiquetas:

##### a. Bomba axial

- Alabes muy abiertos.
- Alabes muy cerrados.
- No funciona.

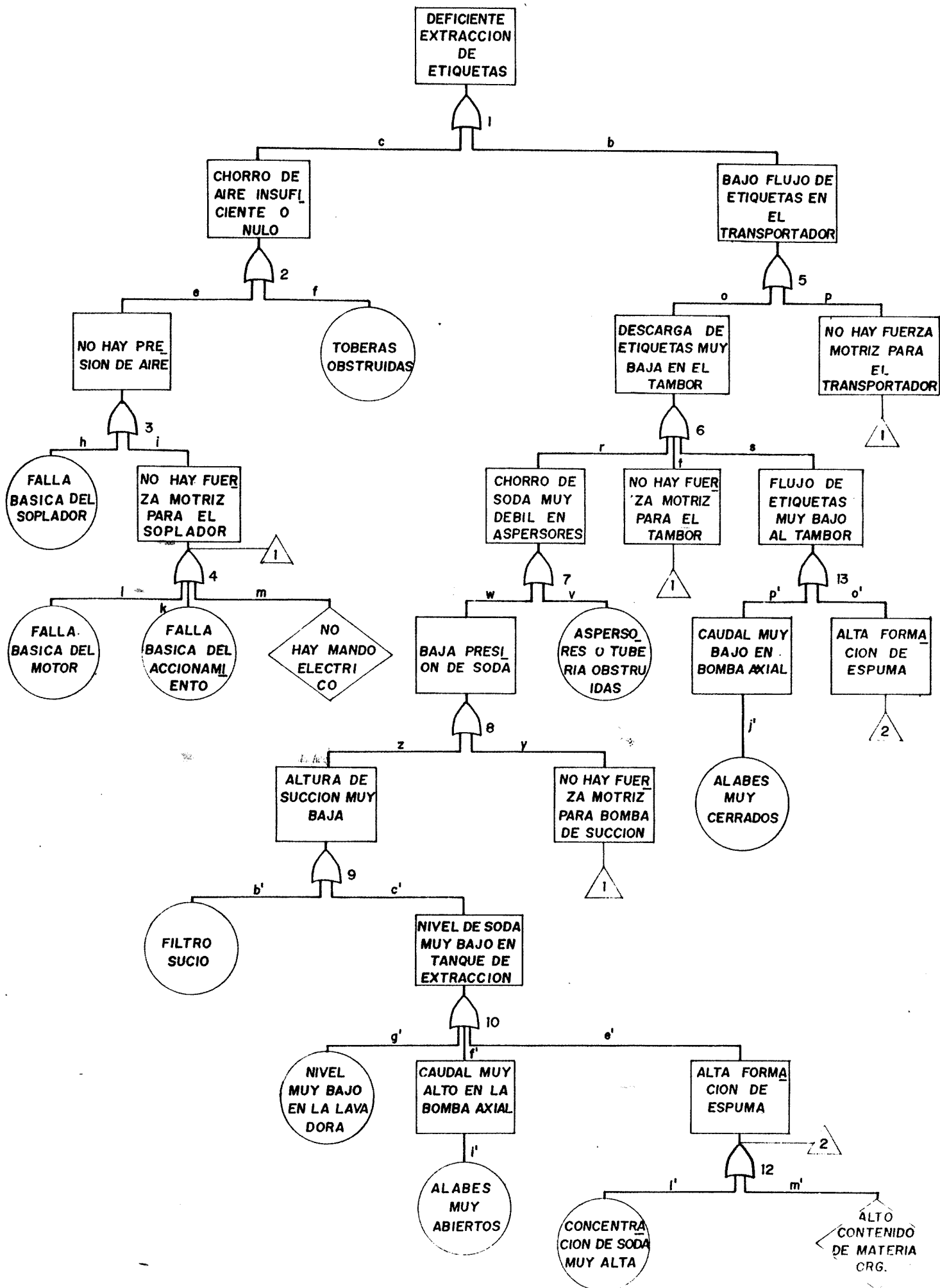


Figura 7 : Arbol de fallas para Sistema de Extraccion de Etiquetadora

**b. Soda**

- Concentración muy alta.
- Alto contenido de materia orgánica.

**c. Bomba de soda**

- No funciona.
- Filtro de aspiración obstruido.

**d. Aspersores de soda.**

- Toberas o tubería obstruidas.

**e. Tambor cribador.**

- No funciona.

**f. Transportador.**

- No funciona.

**g. Soplador.**

- Toberas del tubo de soplado obstruidas.
- No funciona.

Si eliminamos las fallas evidentes, queda el -  
siguiente cuadro:

**a. Bomba axial.**

- Alabes muy abiertos.
- Alabes muy cerrados.

**b. Soda.**

- Concentración muy alta.
- Alto contenido de materia orgánica.



Efectivamente, el origen de la falla residía en estos puntos. Luego de fijar la regulación de los álabes de la bomba, se investigó la formación de espuma. La concentración de soda tiene valor definido y controlado. En cuanto al contenido de materia orgánica (no investigado en el árbol de fa-llas), éste depende de dos factores: el grado de suciedad de las botellas y la cantidad de cola en las etiquetas. El grado de suciedad no es posible de controlar, pero sí lo es la cantidad de cola, y realmente era excesiva la aplicación de cola en la etiquetadora. Actualmente se usan también inhibidores de espuma, con lo que se logró dar solu-ción final al problema.

## EVALUACION Y CORRECCION

Evaluar, en un programa de Mantenimiento Preventivo, significa no sólo determinar si se lograron los objetivos propuestos, es decir, obtener el mayor rendimiento con el mínimo costo. La evaluación es un proceso activo, se evalúan el rendimiento y el costo y se analiza cómo mejorar el primero y reducir el segundo. No se evalúa para saber si se está bien, sino para saber cómo es posible mejorar.

La Corrección de un programa es la modificación, eliminación o adición de las acciones preventivas, con el propósito de reducir las fallas frecuentes. No se incluye la modificación de las características del sistema, como unidades redundantes, sustitución de maquinaria, inversiones en personal o herramientas; que son alternativas estudiadas al determinar el punto óptimo de operación económica.

El Archivo de Mantenimiento es la fuente de información para la Evaluación y Corrección, como puede apreciarse en la Figura 8.

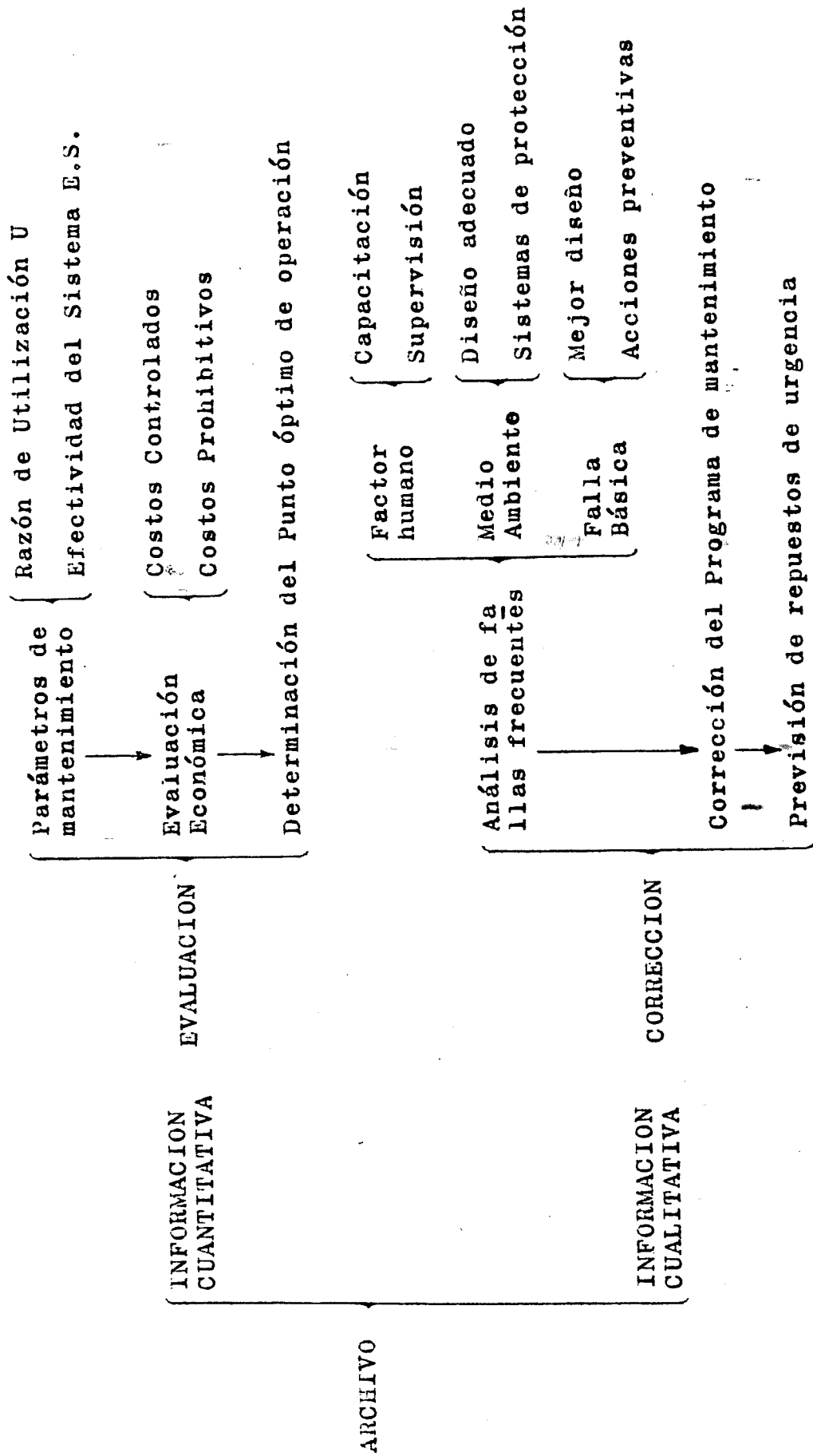


Figura 8. Proceso de Evaluación y Corrección.

## 6.1 Evaluación

La evaluación comprende lo siguiente:

- Evaluación de los parámetros de mantenimiento.
- Evaluación Económica.
- Determinación del punto óptimo de operación.

### 6.1.1 Evaluación de los parámetros de mantenimiento.

En un instante dado, una unidad puede estar operativa o fuera de servicio, y este estado varía en el tiempo. Así, una máquina está sucesivamente operando, parada por falla, en espera a ser usada, o en mantenimiento. Los parámetros que vamos a evaluar dependen del tiempo de operación, de falla y del empleado para reparar. Refiriéndonos a la figura 9, definimos los siguientes conceptos:

**Tiempo de Operación TDO**

El tiempo efectivo de trabajo desde la puesta en marcha.

**Tiempo entre fallas TEF**

El intervalo de tiempo de operación entre dos fallas sucesivas.

**Tiempo de paralización TDP**

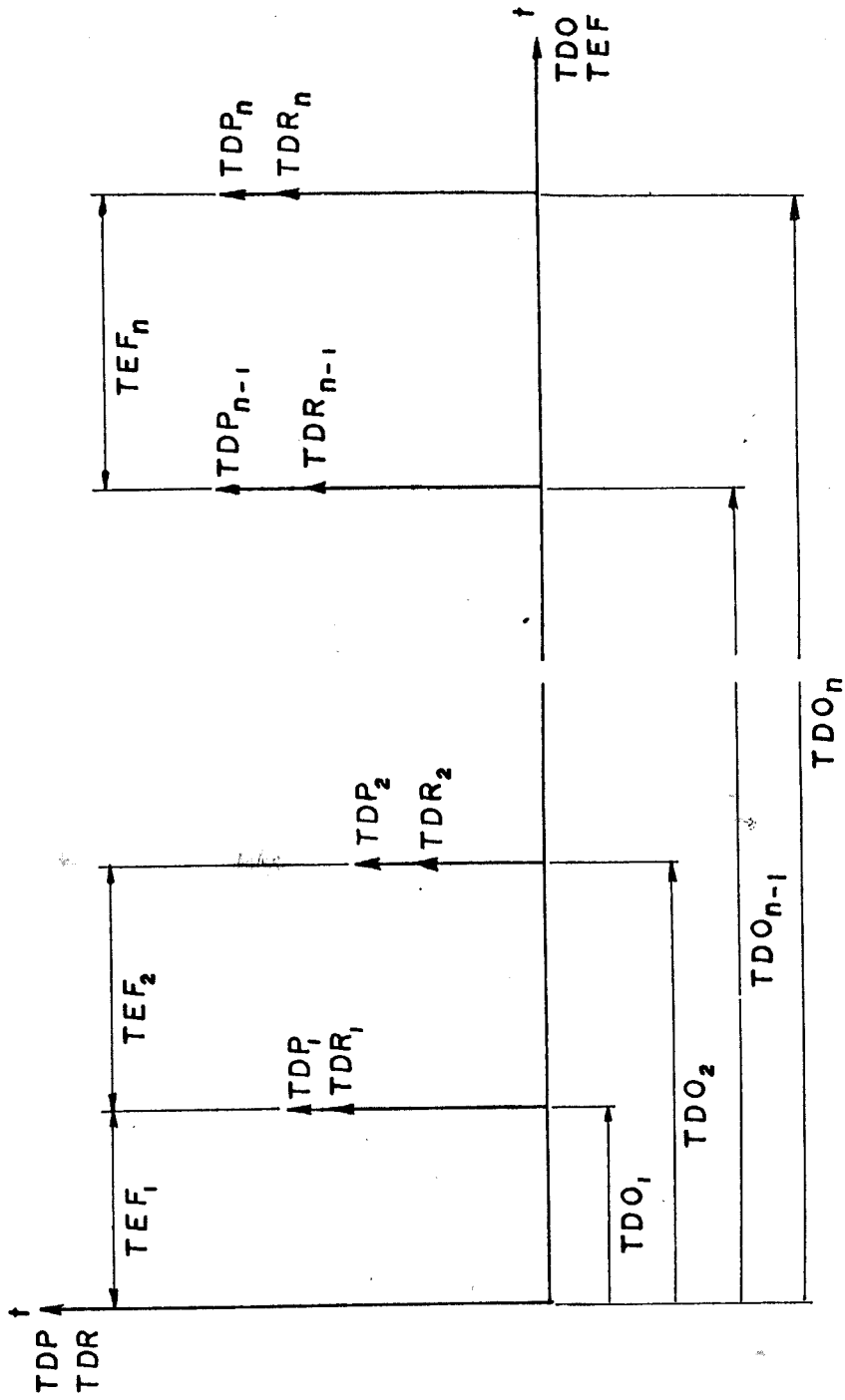


Figura 9. Definición de tiempos.

El tiempo total que una máquina está paralizada por una falla.

#### Tiempo de reparación TDR

El tiempo activo de reparación, sin incluir el empleado en conseguir herramientas y repuestos.

Relacionados con los TEF, TDP y TDR, se definen los estados de Operación, Paralización y Reparación respectivamente. El ciclo operativo es una sucesión de los estados de operación y paralización.

#### Estado de Operación

Los parámetros que describen el estado de operación son los siguientes:

1. Desconfiabilidad  $F(t)$ : La probabilidad de que ocurra una falla en el intervalo  $[0, t]$ .

$$F(t) = P(0 \leq \text{TEF} \leq t) = \int_0^t f(u) du \quad (6.1)$$

donde  $f(u)$  es la función de densidad de probabilidad de  $F(t)$ . Entonces:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (6.2)$$

El valor esperado del TEF, o tiempo medio entre fallas, se halla por:

$$\mu_t = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (6.3)$$

2. Confiabilidad  $R(t)$ : La probabilidad de que no ocurra una falla en el intervalo  $[0, t]$ . Por ser la ocurrencia y la no ocurrencia de una falla eventos mutuamente excluyentes:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (6.4)$$

3. Razón de Falla  $r(t)$ : La probabilidad, por unidad de tiempo, de que una falla ocurra en  $t$ , o de que  $TEF=t$ ; dado que no ocurrió antes de  $t$ . Según esto, la cantidad  $r(t)dt$  es la probabilidad de que  $t \leq TEF \leq t+dt$ , dado que  $TEF > t$ . Para evaluar  $r(t)$  definimos los siguientes eventos:

A; Ocorre una falla en  $[t, t+dt]$  .

B; No ocurre una falla antes de  $t$ .

$$r(t)dt = P(A/B)$$

$$P(A) = P(t \leq TEF \leq t+dt) = \int_t^{t+dt} f(u)du$$

$$P(A) = f(t)dt$$

$$P(B) = R(t)$$

Sabemos que  $P(A, B) = P(A) \cdot P(B/A) = P(B) \cdot$

$P(A/B)$ , de donde:

$$P(A/B) = \frac{P(A) \cdot P(B/A)}{P(B)}$$

La probabilidad de B dado A es 1, por lo -

que:

$$P(A/B) = \frac{P(A)}{P(B)}, \text{ y sustituyendo:}$$

$$r(t)dt = \frac{f(t)dt}{R(t)}, \text{ o}$$

$$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (6.5)$$

### Estado de Reparación

Similarmente, los parámetros de este estado son:

1. Reparabilidad  $G(t)$ : La probabilidad de que una reparación concluya en el intervalo  $[0, t]$ .

$$G(t) = P(0 \leq \text{TDR} \leq t) = \int_0^t g(u)du \quad (6.6)$$

donde  $g(u)$  es la función de densidad de probabilidad de  $G(t)$ . Entonces:

$$g(t) = \frac{dG(t)}{dt} \quad (6.7)$$

El valor esperado del TDR, o tiempo medio de reparación, se halla por:

$$\mu_r = \int_0^{\infty} tg(t)dt \quad (6.8)$$

2. Razón de reparación  $s(t)$ : La probabilidad, por unidad de tiempo, de que se concluya una reparación en  $t$ , dado que no ha terminado antes de  $t$ . De modo similar al utilizado para demostrar (6.5) se concluye que:



$$s(t) = \frac{g(t)}{1 - G(t)} \quad (6.9)$$

### Estado de Paralización

Los parámetros de este estado son:

1. **Mantenibilidad  $M(t)$** : La probabilidad de que una máquina sea restituida al estado de operación en el intervalo  $[0, t]$ .

$$M(t) = P(0 \leq \text{TDP} \leq t) = \int_0^t p(u) du \quad (6.10)$$

donde  $p(u)$  es la función de densidad de probabilidad de  $M(t)$ . Entonces:

$$p(u) = \frac{dM(t)}{dt} \quad (6.11)$$

El valor esperado del TDP, o tiempo medio de paralización, se halla por:

$$\mu_p = \int_0^{\infty} tp(t) dt \quad (6.12)$$

2. **Razón de Mantenimiento  $m(t)$** : La probabilidad, por unidad de tiempo, de que una máquina sea restituida al estado de operación en  $t$ , dado que no lo fue antes de  $t$ . Igual que para (6.5) se demuestra:

$$m(t) = \frac{R(t)}{1 - M(t)} \quad (6.13)$$

### Ciclo Total

Los parámetros del Ciclo total relacionan to dos los estados.

1. Disponibilidad A; La probabilidad de que una máquina se encuentre operativa. Se define la Disponibilidad intrínseca por la relación:

$$A_i = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR} \quad (6.14)$$

y la Disponibilidad operacional:

$$A_o = \frac{TMEF}{TMEF + TMDP} \quad (6.15)$$

donde TMEF, TMDR y TMDP son los tiempos medios de falla, reparación y paralización.

2. Razón de Utilización U: La Disponibilidad, calculada con  $\mu_f$ ,  $\mu_r$  y  $\mu_p$ :

$$U_i = \frac{\mu_f}{\mu_f + \mu_r} \quad (6.16)$$

$$U_o = \frac{\mu_f}{\mu_f + \mu_p} \quad (6.17)$$

La Razón de Paralización se define por:

$$D = 1 - U \quad (6.18)$$

### Distribuciones Típicas

Dentro de toda la gama de distribuciones de probabilidad, hay dos que se ajustan con mayor exactitud a nuestro campo de estudio. Son la Distribución Exponencial y la Distribución Weibull.

Distribución Exponencial

De (6.4) y (6.5):

$$r(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (6.19)$$

y por (6.2):

$$r(t) = \frac{dF(t)/dt}{1 - F(t)}$$

$$r(t) = - \frac{d \ln(1 - F(t))}{dt}$$

$$\int_0^t r(u) du = \ln(1 - F(0)) - \ln(1 - F(t))$$

como  $F(0) = 0$ ,

$$\int_0^t r(u) du = - \ln(1 - F(t))$$

$$\exp \left[ - \int_0^t r(u) du \right] = 1 - F(t)$$

$$F(t) = 1 - e^{- \int_0^t r(u) du}$$

Si la razón de falla es constante,  $r(u) = \lambda$

$$F(t) = 1 - e^{- \lambda t} \quad (6.20)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{- \lambda t} \quad (6.21)$$

$$f(t) = \lambda e^{- \lambda t} \quad (6.22)$$

La distribución definida por (6.20) es conocida como exponencial y es aplicable en situaciones exentas de fallas por desgaste. Sabemos que:

$$\mu_f = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

Usando (6.22):

$$\mu_f = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda \quad (6.23)$$

### Distribución Weibull

La distribución Weibull se reconoce como única para el campo. Está definida por:

$$F(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\left(\frac{t-\delta}{\sigma}\right)^\beta} & \text{para } t \geq \delta \\ 0, & \text{para } 0 \leq t < \delta \end{cases} \quad (6.24)$$

donde

$\delta$  = tiempo de operación mínimo para que ocurra una falla.

$\sigma$  = vida característica. Es un parámetro de escala y no debe confundirse con el tiempo medio entre fallas.

$\beta$  = parámetro de forma.

Por razones prácticas, es conveniente y razonable asumir que  $\delta = 0$ . Esto reduce (6.24) a:

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\sigma)^\beta} \quad \text{para } t > 0 \quad (6.25)$$

La distribución Weibull puede tomar variadas formas:

1. Para  $\beta = 1$ , la razón de fallas, expresada por (6.29), es constante, y toma la forma de la distribución exponencial, con  $\lambda = 1/\sigma$ .

En este caso especial,  $\mu_f = \sigma$ , de acuerdo a (6.23).

2. Para  $\beta < 1$ , la razón de fallas tiene tendencia decreciente, lo cual significa que disminuye la densidad de fallas con el tiempo.
3. Para  $1 < \beta \leq 2$ , se obtiene una distribución normal sesgada a la izquierda, y la densidad de fallas es mayor alrededor de un tiempo determinado.
4. Para  $\beta > 2$ , se obtiene una distribución normal.

En una distribución Weibull, definida por la ecuación (6.25):

$$R(t) = e^{-(t/\sigma)^\beta} \quad (6.26)$$

$$f(t) = \frac{d(F(t))}{dt} = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\sigma^\beta} e^{-(t/\sigma)^\beta} \quad (6.27)$$

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\sigma^\beta} R(t) \quad (6.28)$$

$$r(t) = \frac{t^{\beta-1}}{\sigma^\beta} \quad (6.29)$$

$$\mu_f = \int_0^\infty t \frac{t^{\beta-1}}{\sigma^\beta} e^{-(t/\sigma)^\beta} dt$$

$$\text{Sea } x = (t/\sigma)^\beta \quad dx = \beta/\sigma^\beta t^{\beta-1} dt$$

$$t = \sigma x^{1/\beta} \quad dt = \frac{\sigma^\beta}{\beta t^{\beta-1}} dx$$

Sustituyendo:

$$\mu_f = \int_0^{\infty} \sigma x^{1/\beta} \frac{\beta t^{\beta-1}}{\sigma^\beta} \frac{\sigma^\beta}{\beta t^{\beta-1}} e^{-x} dx$$

$$\mu_f = \int_0^{\infty} \sigma x^{1/\beta} e^{-x} dx \quad (6.30)$$

haciendo  $n-1 = 1/\beta$ ,  $n = \frac{1+\beta}{\beta}$

$$\mu_f = \sigma \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx$$

$$\mu_f = \sigma \Gamma(n); \text{ donde } \Gamma \text{ es la función Gamma.}$$

$$\mu_f = \sigma \Gamma\left(\frac{1+\beta}{\beta}\right) \quad (6.31)$$

La función Gamma, definida por

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx \quad (6.32)$$

tiene las siguientes propiedades:

$$\Gamma(n) = (n-1)! , \text{ para } n \text{ entero y positivo}$$

$$\Gamma(n+1) = n\Gamma(n)$$

Por esta última expresión, puede evaluarse  $\Gamma$  para todo número real si se conocen los valores para un intervalo unitario, como por ejemplo para  $1 \leq n < 2$ . En la tabla 5 se dan estos valores en incrementos de 0.1 para  $n$ .

#### Efectividad del Sistema E.S.

Es la probabilidad de que un sistema cumpla con entregar el nivel de producción para el cual fue diseñado, en determinadas condiciones de operación.

Tabla 5. Valores para la función  
Gamma.

n	$\Gamma(n)$
1.00	1.0000
1.10	0.9514
1.20	0.9182
1.30	0.8975
1.40	0.8873
1.50	0.8862
1.60	0.8935
1.70	0.9086
1.80	0.9314
1.90	0.9618
2.00	1.0000

Por lo general, un sistema puede operar de varios modos con diferentes capacidades. En consecuencia:

$$E.S. = \sum_{i=1}^n E.S._i C_i \quad (6.33)$$

donde  $n$  = número de modos de operación,

$E.S._i$  = efectividad del modo  $i$ ,

$C_i$  = capacidad del sistema en el modo  $i$ .

La Efectividad de un modo determinado se calcula por:

$$E.S._i = \prod_{j=1}^n U_j \cdot \prod_{k=1}^m D_k \quad (6.34)$$

donde se considera que operan  $n$  máquinas con Razón de Utilización  $U_j$  cada una, y están paralizadas  $m$  máquinas con Razón de paralización  $D_k$  cada una.

### Método de Cálculo

Si tenemos información estadística de un período lo suficientemente largo, tendremos una muestra poblacional de  $N$  fallas con  $N$  diferentes TEF, TDR y TDP. Sea  $n(t)$  el número de fallas con  $TEF \leq t$ . Una estimación de los parámetros de estado es:

$$F(t) = \frac{n(t)}{N} \quad (6.35)$$

$$R(t) = 1 - \frac{n(t)}{N} \quad (6.36)$$



Igualmente, definiendo  $n(t)$  como el número de reparaciones con  $TDR \leq t$ :

$$G(t) = 1 - \frac{n(t)}{N} \quad (6.37)$$

o, si  $n(t)$  es el número de paralizaciones con  $TDP \leq t$ :

$$M(t) = 1 - \frac{n(t)}{N} \quad (6.38)$$

Ya que la distribución exponencial es forma particular de la distribución Weibull, utilizaremos esta última para correlacionar los datos calculados con (6.35) a (6.38).

De (6.25):

$$\frac{1}{1 - F(t)} = e^{(t/\sigma)^\beta}$$

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} = \beta \ln t - \beta \ln \sigma \quad (6.39)$$

Esta expresión tiene la forma  $Y=AX+B$ , donde:

$$Y = \ln \ln \frac{1}{1 - F(t)}$$

$$X = \ln t$$

$$A = -\beta \ln \sigma$$

$$B = \beta$$

Por el método de mínimos cuadrados es posible un ajuste de (6.39) con los datos experimentales, obteniéndose valores para A y B. Con ellos se determinan  $\beta = B$  y  $\sigma = e^{-A/\beta}$ .  $\mu_f$  se calcula por (6.31). Si reemplazamos  $G(t)$  o  $M(t)$

por  $F(t)$  en (6.39) también se pueden correlacionar los datos de los estados de reparación y paralización. Con la ecuación (6.31) obtenemos  $\mu_r$  y  $\mu_p$ . Las razones de utilización y paralización se calculan usando (6.16) a (6.18). La disponibilidad se evalúa con los promedios estadísticos de TEF, TDR y TDP.

Los cuadros 1 a 15 resumen el cálculo de los parámetros de mantenimiento para las máquinas de la planta de embotellado. El cuadro 16 presenta la evaluación de la Efectividad, de acuerdo al esquema del sistema de la figura 10.

### 6.1.2 Evaluación Económica

Los costos de producción se componen de Costos Controlados y Costos Prohibitivos.

#### Costos Controlados

- Planilla de personal.
- Materiales de consumo.
- Materiales de aseo.
- Repuestos.
- Lubricantes.
- Servicios: agua, electricidad, vapor, etc.
- Depreciación de Maquinaria y Repuestos,

#### Costos Prohibitivos



CONFIABILIDAD				REPARABILIDAD				MANTENIBILIDAD				DISPONIBILIDAD		
N	14	c	$\sigma$	N	14	c	$\sigma$	N	14	c	$\sigma$	T MDF	$\bar{t}_r$	193.07
$\beta$	0.624			$\beta$	0.465			$\beta$	0.411			TMDR	$\bar{t}_r$	1.757
$i'$	$\dagger$	n	$\bar{R}$	$i$	$\dagger$	n	$\bar{G}$	$i$	$\dagger$	n	$\bar{M}$	TMDP	$\bar{t}_p$	2.007
	TDF	n/N	$e^{-\lambda t}$		TDR	n/N	$e^{-\lambda t}$		TDP	n/N	$e^{-\lambda t}$			
1	7	0.857	0.854	1	0.10	0.357	0.395	1	0.20	0.500	0.509	$\mu_r$		191.7
2	14	0.786	0.786	2	0.20	0.500	0.500	2	0.40	0.571	0.612			
3	28	0.714	0.686	3	0.30	0.571	0.567	3	0.50	0.643	0.646	$\mu_r$		1.12
4	29	0.643	0.681	4	0.40	0.643	0.616	4	0.90	0.714	0.733			
5	54	0.571	0.567	5	0.80	0.714	0.733	5	1.00	0.786	0.748	$\mu_p$		1.36
6	107	0.500	0.420	6	0.90	0.786	0.786	6	1.40	0.857	0.795	DISPONIBILIDAD		
7	108	0.429	0.417	7	1.30	0.857	0.809	7	6.50	0.929	0.949	INTRINSECA $A_i$		
8	125	0.357	0.384	8	5.00	0.929	0.955	8	16.00	1.000	0.987	$A_i = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$		
9	134	0.286	0.368	9	15.00	1.000	0.994					$A_i$		0.9910
10	219	0.214	0.257									DISPONIBILIDAD OPERATIVA $A_o$		
11	543	0.143	0.091									$A_o = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$		
12	573	0.071	0.084									$A_o$		0.9897
13	755	0.000	0.053									RAZON DE UTILIZACION U		
												$U_{i,o} = \frac{\mu_r}{\mu_r + \mu_{r,p}}$		
												$U_i$		0.9942
												$U_o$		0.9930

CONFIABILIDAD				REPARABILIDAD				MANTENIBILIDAD				DISPONIBILIDAD							
N	8	c	$\sigma$	N	8	c	$\sigma$	N	8	c	$\sigma$	TMDF $\bar{t}_r$	362.25						
$\beta$	0.861	$\mu$	388	$\beta$	0.888	$\mu$	0.28	$\beta$	1.319	$\mu$	0.35	TMDR $\bar{t}_r$	1.21						
i	t	n	$\hat{R}$ n/N	R	$e^{-(R/t)^A}$	i	t	n	$\hat{G}$ n/N	G	$e^{-(G/t)^A}$	i	t	n	$\hat{M}$ n/N	M	$e^{-(M/t)^A}$		
1	48	1	0.875	0.835	0.10	1	0.20	3	0.375	0.343	0.20	3	0.375	0.354	$\mu_r$	388			
2	65	2	0.750	0.792	0.20	2	0.30	4	0.500	0.541	0.30	4	0.500	0.522	$\mu_r$	0.28			
3	115	3	0.625	0.683	0.30	3	0.40	5	0.625	0.672	0.40	5	0.625	0.660	$\mu_p$	0.35			
4	245	4	0.500	0.481	0.40	4	0.50	6	0.750	0.763	0.50	6	0.750	0.765	DISPONIBILIDAD INTRINSECA $A_i$				
5	343	5	0.375	0.376	0.50	5	0.60	7	0.875	0.827	0.60	7	0.875	0.842	$A_i = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$				
6	652	6	0.250	0.183	8.00	6	24.00	8	1.000	1.000	24.00	8	1.000	1.000	$A_i = 0.9967$				
7	703	7	0.125	0.163											DISPONIBILIDAD OPERATIVA $A_o$				
8	727	8	0.000	0.155											$A_o = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$				
													A <sub>o</sub>	0.9910	RAZON DE UTILIZACION U				
													$U_{i,o} = \frac{\mu_r}{\mu_r + \mu_{r,p}}$		U <sub>i</sub>	0.9993			
													U <sub>o</sub>	0.9991					

CONFIABILIDAD										REPARABILIDAD										MANTENIBILIDAD										DISPONIBILIDAD	
N	3	c	1.0000	σ	797.2	N	3	c	1	σ	0.375	N	3	c	1	σ	0.476	TMDF $\bar{t}_r$	946.7												
β	3.196	μ	715.5	β	1.438	β	1.951	μ	0.422	TMDR $\bar{t}_r$	0.433	β	1.951	μ	0.422	TMDP $\bar{t}_p$	0.533	μ <sub>r</sub>	715.5												
i	t	n	R̂	R	i	t	n	Ĝ	G	i	t	n	Ḣ	H	i	t	n	μ <sub>r</sub>	0.341												
	TDF		n/N	$e^{-Rt/n}$	i	TDR		n/N	$e^{-Gt/n}$	i	TDP		n/N	$e^{-Ht/n}$	i	TDP		μ <sub>p</sub>	0.422												
1	601	1	0.667	0.667	1	0.20	1	0.333	0.333	1	0.30	1	0.333	0.333	1	0.30	1	0.333	0.333												
2	821	2	0.333	0.333	2	0.40	2	0.667	0.667	2	0.50	2	0.667	0.667	2	0.50	2	0.667	0.667												
3	1418	3	0.000	0.002	3	0.70	3	1.000	0.914	3	0.80	3	1.000	0.936	3	0.80	3	1.000	0.936												
DISPONIBILIDAD INTRINSECA A <sub>i</sub>																				A <sub>i</sub>		0.9995									
DISPONIBILIDAD OPERATIVA A <sub>o</sub>																				A <sub>o</sub>		0.9994									
RAZON DE UTILIZACION U																				U <sub>i,0</sub>		0.9995									
EVALUACION																				U <sub>o</sub>		0.9994									

EVALUACION

ARTICULO

LAVADORA DE CAJAS

CODIGO

70LC1

CUADRO N°

3

CONFIABILIDAD				REPARABILIDAD				MANTENIBILIDAD				DISPONIBILIDAD		
N	26	c	$\sigma$	N	26	c	$\sigma$	N	26	c	$\sigma$	T MDF	$\bar{t}_r$	107.46
$\beta$	0.857	$\mu$	106.33	$\beta$	1.829	$\mu$	0.222	$\beta$	1.996	$\mu$	0.261	TMDR	$\bar{t}_r$	0.317
$i'$	$t$	n	$\hat{R}$	$i$	$t$	n	$\hat{G}$	$i$	$t$	n	$\hat{M}$	TMDP	$\bar{t}_p$	0.356
	TDF		n/N	$R$	TDR		n/N	$G$	TDP		n/N			106.33
				$e^{-\lambda t}$				$e^{-\lambda t}$						0.222
1	7	2	0.923	0.900	0.10	4	0.154	0.169	0.10	3	0.115	0.10	$\mu_r$	0.109
2	10	3	0.884	0.867	0.15	8	0.308	0.322	0.15	7	0.269	0.15	$\mu_r$	0.229
3	13	4	0.846	0.836	0.25	19	0.731	0.628	0.20	8	0.308	0.20	$\mu_p$	0.369
4	14	5	0.808	0.826	0.30	21	0.808	0.749	0.25	10	0.385	0.25		0.513
5	19	6	0.769	0.780	0.40	22	0.846	0.903	0.30	20	0.769	0.30		0.645
6	21	7	0.731	0.763	0.50	25	0.962	0.970	0.40	21	0.808	0.40		0.841
7	25	8	0.692	0.730	2.00	26	1.000	1.000	0.50	25	0.962	0.50		0.943
8	32	9	0.654	0.678					2.25	26	1.000	2.25		1.000
9	38	10	0.615	0.638										
10	46	11	0.577	0.589										
11	48	12	0.538	0.577										
12	54	13	0.500	0.544										
13	91	14	0.462	0.386										
14	93	15	0.423	0.379										
15	96	16	0.385	0.369										
16	97	17	0.346	0.366										
17	107	18	0.308	0.335										
18	114	19	0.269	0.315										
19	206	20	0.231	0.147										
20	209	21	0.192	0.144										
21	220	22	0.154	0.132										
22	257	23	0.115	0.099										
23	263	24	0.077	0.094										
24	309	25	0.038	0.066										
25	398	26	0.000	0.034										

$$A_i = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$$

DISPONIBILIDAD OPERATIVA A<sub>0</sub>

$$A_0 = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$$

A<sub>0</sub> 0.9967

RAZON DE UTILIZACION U

$$U_{i,0} = \frac{\mu_r}{\mu_r + \mu_{r,p}}$$

U<sub>i</sub> 0.9979

U<sub>0</sub> 0.9976

EVALUACION

ARTICULO

LAVADORA DE BOTELLAS

CODIGO 70LBI

CUADRO N° 4

CONFIABILIDAD										REPARABILIDAD										MANTENIBILIDAD										DISPONIBILIDAD	
N	10	c	0.9420	$\sigma$	144.61	N	10	c	0.9766	$\sigma$	0.417	N	10	c	0.9884	$\sigma$	0.587	TMDF	$\bar{t}_r$	261.02	TMDF	$\bar{t}_r$	0.77	TMDF	$\bar{t}_r$	0.88	TMDF	$\bar{t}_r$	0.88		
$\beta$	0.714		$\mu$	180	$\beta$	0.923		$\mu$	0.44	$\beta$	1.311		$\mu$																		
$i'$	$\dagger$	n	$\hat{R}$	n/N	R	$e^{-R(t)}$	$\dagger$	TDR	n	$\hat{G}$	n/N	G	$e^{-G(t)}$	i	$\dagger$	TDP	n	$\hat{M}$	n/N	M	$e^{-M(t)}$	$\mu_r$	180	$\mu_r$	0.44	$\mu_p$	0.55	DISPONIBILIDAD	INTRINSECA $A_i$		
1	16	1	0.90	0.90	0.813	0.813	0.10	2	0.20	0.20	0.20	0.235	0.235	1	0.20	2	0.20	0.20	0.20	0.216	0.216	$\mu_r$	180	$\mu_r$	0.44	$\mu_p$	0.55	DISPONIBILIDAD			
2	20	2	0.80	0.80	0.784	0.784	0.20	5	0.50	0.50	0.398	0.398	2	0.30	4	0.30	4	0.40	0.40	0.339	0.339							A <sub>i</sub> = $\frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$			
3	21	3	0.70	0.70	0.777	0.777	0.60	7	0.70	0.70	0.753	0.753	3	0.50	5	0.50	5	0.50	0.50	0.555	0.555							A <sub>0</sub> = $\frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$			
4	46	4	0.60	0.60	0.643	0.643	0.70	8	0.80	0.80	0.801	0.801	4	0.70	7	0.70	7	0.70	0.70	0.716	0.716							DISPONIBILIDAD			
5	60	5	0.50	0.50	0.587	0.587	1.00	9	0.90	0.90	0.894	0.894	5	0.80	8	0.80	8	0.80	0.80	0.777	0.777							INTRINSECA A <sub>i</sub>			
6	83	6	0.40	0.40	0.510	0.510	4.00	10	1.00	1.00	1.000	1.000	6	1.10	9	1.10	9	0.90	0.90	0.898	0.898							A <sub>0</sub> = $\frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$			
7	166	7	0.30	0.30	0.332	0.332																						A <sub>i</sub> = 0.9971			
8	422	8	0.20	0.20	0.117	0.117																						DISPONIBILIDAD			
9	533	9	0.10	0.10	0.080	0.080																						OPERATIVA A <sub>0</sub>			
10	1245	10	0.00	0.00	0.010	0.010																						A <sub>0</sub> = 0.9966			
																														RAZON DE UTILI-	
																														ZACION U	
																														U <sub>i,0</sub> = $\frac{\mu_r}{\mu_r + \mu_{r,p}}$	
																														U <sub>i</sub> = 0.9977	
																														U <sub>0</sub> = 0.9970	

EVALUACION

ARTICULO LLENADORA DE BOTELLAS CODIGO 70LL1

CUADRO N° 5



CONFIABILIDAD										REPARABILIDAD										MANTENIBILIDAD										DISPONIBILIDAD		
N	6	c	0.9503	$\sigma$	335.25	N	6	c	0.9941	$\sigma$	0.412	N	6	c	0.9773	$\sigma$	0.464	T MDF	$\bar{t}_r$	461.5												
$\beta$	0.558	$\mu$	563.22	$\beta$	1.218	$\mu$	0.384	$\beta$	1.172	$\mu$	0.446	TMDR	$\bar{t}_r$	0.450																		
i'	TDF	n	$\hat{R}$ n/N	R $e^{-(t/t)^n}$	i	TDR	n	$\hat{G}$ n/N	G $e^{-(t/t)^n}$	i	TDP	n	$\hat{M}$ n/N	M $e^{-(t/t)^n}$	TMDP	$\bar{t}_p$	0.583															
1	12	1	0.833	0.856	1	0.1	1	0.167	0.163	1	0.20	2	0.333	0.311	$\mu_r$	563.2																
2	151	2	0.667	0.527	2	0.2	2	0.333	0.340	2	0.40	3	0.500	0.568	$\mu_r$	0.384																
3	194	3	0.500	0.479	3	0.3	3	0.500	0.493	3	0.50	4	0.667	0.664	$\mu_p$	0.446																
4	302	4	0.333	0.389	4	0.5	4	0.667	0.718	4	0.70	5	0.833	0.802	DISPONIBILIDAD INTRINSECA $A_i$																	
5	655	5	0.167	0.234	5	0.6	5	0.833	0.794	5	1.50	6	1.000	0.981	$A_i = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$																	
6	1455	6	0.000	0.103	6	1.0	6	1.000	0.947	6					$A_i = 0.9990$																	
DISPONIBILIDAD OPERATIVA $A_o$																		$A_o = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$														
RAZON DE UTILIZACION U																		$A_o = 0.9987$														
$U_{i,o} = \frac{\mu_r}{\mu_r + \mu_{r,p}}$																		$U_i = 0.9993$														
E ALJACION																		$U_o = 0.9992$														

CONFIABILIDAD					REPARABILIDAD					MANTENIBILIDAD					DISPONIBILIDAD									
N	3	c	1.0000	$\sigma$	986.63	N	3	c	1.0000	$\sigma$	0.289	N	3	c	1	$\sigma$	0.375	T MDF $\bar{t}_r$	974.7					
$\beta$	0.513	$\mu$	1803			$\beta$	2.458	$\mu$	0.256			$\beta$	1.438	$\mu$	0.34			TMDR $\bar{t}_r$	0.30					
$i_i$	$t$	n	$\bar{R}$	R	$e^{-(t/\bar{R})^2}$	i	$t$	n	$\hat{G}$	G	$e^{-(t/\hat{G})^2}$	i	$t$	n	$\hat{M}$	M		TMDP $\bar{t}_p$	0.367					
	TDF		n/N				TDR		n/N				TDP		n/N	$e^{-(t/\hat{M})^2}$		$\mu_r$	1803					
1	170	1	0.667	0.667	0.667	1	0.20	1	0.333	0.333	0.333	1	0.20	1	0.333	0.333		$\mu_r$	0.26					
2	1185	2	0.333	0.333	0.667	2	0.30	2	0.667	0.667	0.667	2	0.40	2	0.667	0.667		$\mu_r$	0.26					
3	1569	3	0.000	0.281	0.892	3	0.40	3	1.000	0.892	0.892	3	0.50	3	1.000	0.780		$\mu_p$	0.34					
DISPONIBILIDAD INTRINSECA $A_i$																			$A_i = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$					
DISPONIBILIDAD OPERATIVA $A_o$																			$A_o = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$					
RAZON DE UTILIZACION $U_{i,o}$																			$U_{i,o} = \frac{\mu_r}{\mu_r + \mu_{r,p}}$					
EVALUACION																			$U_i$		0.9999			
ARTICULO																			70PS1		CODIGO		7	
PASTEURIZADORA																			CUADRO N°		7			

CONFIABILIDAD				REPARABILIDAD				MANTENIBILIDAD				DISPONIBILIDAD				
N	8	c	$\sigma$	N	8	c	$\sigma$	N	8	c	$\sigma$	T MDF $\bar{t}_r$	289.25			
$\beta$	0.945	$\mu$	161	$\beta$	0.664	$\mu$	0.14	$\beta$	1.322	$\mu$	0.17	TMDR $\bar{t}_r$	0.175			
$i'$	TDF	n	$\bar{R}$ n/N	R $e^{-(t/\theta)^a}$	i	TDR	n	$\bar{G}$ n/N	$'G$ $e^{-(t/\theta)^a}$	i	TDP	n	$\bar{M}$ n/N	M $e^{-(t/\theta)^a}$	TMDP $\bar{t}_p$	0.213
1	33	1	0.875	0.792	1	0.10	5	0.625	0.614	1	0.10	3	0.375	0.361	$\mu_r$	161
2	37	2	0.750	0.771	2	0.20	6	0.750	0.778	2	0.20	5	0.625	0.673	$\mu_r$	0.14
3	38	3	0.625	0.766	3	0.30	7	0.875	0.861	3	0.30	7	0.875	0.852	$\mu_p$	0.17
4	122	4	0.500	0.448	4	0.40	8	1.000	0.908	4	0.40	8	1.000	0.939	DISPONIBILIDAD INTRINSECA $A_i$	
5	154	5	0.375	0.368											$A_i = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$	
6	242	6	0.250	0.216											$A_i$ 0.9994	
7	285	7	0.125	0.167											DISPONIBILIDAD OPERATIVA $A_o$	
8	1403	8	0.000	0.000											$A_o = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$	
													$A_o$ 0.9993			
													RAZON DE UTILIZACION U			
													$U_{i.o} = \frac{\mu_r}{\mu_r + \mu_{r.p}}$			
													$U_i$ 0.9991			
													$U_o$ 0.9989			

CONFIABILIDAD										REPARABILIDAD										MANTENIBILIDAD										DISPONIBILIDAD	
N		6		0.9769		517.75		σ		482		N		6		0.9990		σ		0.192		N		6		1.000		σ		0.185	
β		1.271		μ		482		β		1.362		β		1.206		μ		0.17		β		1.206		μ		0.17		0.17			
i'		t		R̂		R		n		TDR		i		n		Ĝ		G		i		n		TDP		n		M̂		M	
		TDF		n/N		e <sup>-(t/R)</sup>										e <sup>-(t/G)</sup>										n/N		e <sup>-(t/M)</sup>			
1	2	3	4	5	6	0.833	0.584	0.854	1	2	0.10	0.333	0.337	2	4	0.333	0.667	0.667	1	2	0.20	0.667	0.667	4	0.20	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667
2	3	4	5	6	0.667	0.584	0.584	2	4	0.20	0.652	0.652	4	5	0.667	0.833	0.833	2	5	0.30	0.833	0.833	5	0.30	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833	
3	4	5	6	0.500	0.481	0.481	3	5	0.30	0.841	0.841	5	6	0.833	1.000	1.000	3	6	24.00	1.000	1.000	6	24.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
4	5	6	0.333	0.331	0.331	4	6	0.331	4	12.00	1.000	1.000	6	6	1.000	1.000	4	6	12.00	1.000	1.000	6	12.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
5	6	0.167	0.230	0.230	5	0.167	0.230	5	6	12.00	1.000	1.000	6	6	1.000	1.000	5	6	12.00	1.000	1.000	6	12.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
6	0.000	0.191	0.191	0.191	6	0.000	0.191	6	6	12.00	1.000	1.000	6	6	1.000	1.000	6	6	12.00	1.000	1.000	6	12.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
DISPONIBILIDAD INTRINSECA A <sub>i</sub>																															
$A_i = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$																															
A <sub>i</sub>																0.9955															
DISPONIBILIDAD OPERATIVA A <sub>o</sub>																															
$A_o = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$																															
A <sub>o</sub>																0.9914															
RAZON DE UTILIZACION U																															
$U_{i,o} = \frac{\mu_r}{\mu_r + \mu_{r,p}}$																															
U <sub>i</sub>																0.9996															
U <sub>o</sub>																0.9996															

EVALUACION

ARTICULO

ETIQUETADORA

CODIGO

70ET2

CUADRO N°

9

CONFIABILIDAD				REPARABILIDAD				MANTENIBILIDAD				DISPONIBILIDAD			
N	13	c	$\sigma$	N	13	c	$\sigma$	N	13	c	$\sigma$	TMDF $\bar{t}_t$	210.8		
$\beta$	1354	$\mu$	162	$\beta$	1.271	$\mu$	0.20	$\beta$	2.22	$\mu$	0.27	TMDR $\bar{t}_t$	0.30		
$i'$	$\dagger$	n	$\bar{R}$ n/N	R $e^{-R/n}$	$\dagger$	n	$\bar{G}$ n/N	$\bar{G}$ $e^{-G/n}$	i	$\dagger$	n	$\bar{M}$ n/N	M $e^{-M/n}$	TMDP $\bar{t}_p$	0.36
1	35	1	0.923	0.896	0.10	4	0.308	0.307	1	0.10	1	0.077	0.080	$\mu_t$	162
2	45	2	0.846	0.856	0.20	7	0.538	0.587	2	0.20	4	0.308	0.322	$\mu_t$	0.20
3	57	3	0.769	0.808	0.30	11	0.846	0.773	3	0.30	9	0.692	0.616	$\mu_p$	0.27
4	83	4	0.692	0.701	0.50	12	0.923	0.941	4	0.40	11	0.846	0.837	DISPONIBILIDAD INTRINSECA $A_i$	
5	106	5	0.615	0.610	1.20	13	1.000	1.000	5	0.50	12	0.923	0.945	$A_i = \frac{\bar{t}_t}{\bar{t}_t + \bar{t}_p}$	
6	117	6	0.538	0.568					6	1.20	13	1.000	1.000	$A_i$	0.9986
7	141	7	0.462	0.483										DISPONIBILIDAD OPERATIVA $A_o$	
8	175	8	0.385	0.376										$A_o = \frac{\bar{t}_t}{\bar{t}_t + \bar{t}_p}$	
9	212	9	0.307	0.283										$A_o$	0.9983
10	213	10	0.231	0.281										RAZON DE UTILI- ZACION U	
11	302	11	0.154	0.130										$U_{i,o} = \frac{\mu_t}{\mu_t + \mu_{t,p}}$	
12	386	12	0.077	0.058										$U_i$	0.9988
13	868	13	0.000	0.000										$U_o$	0.9983

CONFIABILIDAD				REPARABILIDAD				MANTENIBILIDAD				DISPONIBILIDAD									
N	12	c	$\sigma$	N	12	c	$\sigma$	N	12	c	$\sigma$	TMDF $\bar{t}_f$	71.75								
$\beta$	1.324	$\mu$	43.2	$\beta$	1.286	$\mu$	0.741	$\beta$	1.746	$\mu$	0.806	TMDR $\bar{t}_f$	0.767								
$i'$	$\dagger$ TDF	n	$\bar{R}$ n/N	R $e^{-(R/\lambda)^n}$	$i$	$\dagger$ TDR	n	$\bar{G}$ n/N	${}^iG$ $e^{-(i/\lambda)^n}$	$i$	$\dagger$ TDP	n	$\bar{M}$ n/N	M $e^{-(M/\lambda)^n}$	TMDP $\bar{t}_p$	0.883					
1	10	1	0.917	0.877	1	0.10	1	0.083	0.067	1	0.30	2	0.167	0.136	$\mu_f$	43.2					
2	11	2	0.833	0.862	2	0.20	2	0.167	0.156	2	0.50	3	0.250	0.300	$\mu_r$	0.74					
3	16	3	0.750	0.783	3	0.40	3	0.250	0.338	3	0.60	4	0.333	0.388	$\mu_p$	0.81					
4	19	4	0.667	0.736	4	0.50	4	0.333	0.423	4	0.70	6	0.500	0.474	DISPONIBILIDAD						
5	31	5	0.583	0.556	5	0.60	5	0.500	0.501	5	0.90	7	0.583	0.630	INTRINSECA $A_i$						
6	52	7	0.417	0.312	6	0.80	7	0.583	0.634	6	1.00	9	0.750	0.698	$A_i = \frac{\bar{t}_f}{\bar{t}_f + \bar{t}_r}$						
7	53	8	0.333	0.303	7	0.90	9	0.750	0.690	7	1.30	10	0.833	0.849	$A_i$	0.9894					
8	59	9	0.250	0.252	8	1.20	10	0.833	0.816	8	1.40	11	0.917	0.884	DISPONIBILIDAD						
9	64	10	0.167	0.216	9	1.30	11	0.917	0.847	9	1.90	12	1.000	0.975	OPERATIVA $A_o$						
10	88	11	0.083	0.097	10	1.70	12	1.000	0.929						$A_o = \frac{\bar{t}_f}{\bar{t}_f + \bar{t}_p}$						
11	406	12	0.000	0.000											$A_o$	0.9878					
EVALUACION													RAZON DE UTILIZACION U		$U_{i,o} = \frac{\mu_f}{\mu_f + \mu_{rp}}$	$U_i$	0.9832				
ARTICULO													PALETIZADORA		CODIGO		70PA1	CUADRO N°	11	$U_o$	0.9816
													(ANTES DE MODIFICACION)								

CONFIABILIDAD				REPARABILIDAD				MANTENIBILIDAD				DISPONIBILIDAD			
N	20	c	$\sigma$	N	20	c	$\sigma$	N	20	c	$\sigma$	TMDF $\bar{t}_r$	87.80		
$\beta$	79.3			$\beta$	0.57			$\beta$	0.905			TMDR $\bar{t}_r$	0.85		
$i_r$	$\dagger$	n	$\hat{R}$ n/N	R $e^{-(R/n)^n}$	$\dagger$	n	$\hat{G}$ n/N	G $e^{-(G/n)^n}$	i	$\dagger$	n	$\hat{M}$ n/N	M $e^{-(M/n)^n}$	TMDP $\bar{t}_p$	1.005
	TDF				TDR					TDP				$\mu_r$	79.3
1	7	1	0.950	0.861	0.10	4	0.200	0.312	1	0.10	2	0.100	0.168	$\mu_r$	0.57
2	8	3	0.850	0.846	0.20	9	0.450	0.450	2	0.20	5	0.250	0.292		
3	9	4	0.800	0.832	0.30	10	0.500	0.545	3	0.30	8	0.400	0.393		
4	10	5	0.750	0.819	0.40	13	0.650	0.616	4	0.40	9	0.450	0.476		
5	17	6	0.700	0.735	0.50	17	0.850	0.671	5	0.50	14	0.700	0.547		
6	19	8	0.600	0.713	0.70	18	0.900	0.753	6	0.60	15	0.750	0.607		
7	37	10	0.500	0.559	4.40	19	0.950	0.992	7	0.80	18	0.900	0.702		
8	38	11	0.450	0.552	7.00	20	1.000	0.999	8	4.50	19	0.950	0.997		
9	75	12	0.400	0.356					9	8.00	20	1.000	1.000		
10	84	13	0.350	0.322											
11	91	14	0.300	0.298											
12	111	15	0.250	0.241											
13	121	16	0.200	0.217											
14	185	17	0.150	0.115											
15	223	18	0.100	0.081											
16	311	19	0.050	0.037											
17	346	20	0.000	0.027											
DISPONIBILIDAD INTRINSECA $A_i$												$A_i = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$		0.9904	
DISPONIBILIDAD OPERATIVA $A_o$												$A_o = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$		0.9887	
RAZON DE UTILIZACION U												$U_{i,p} = \frac{\mu_r}{\mu_r + \mu_{r,p}}$		0.9929	
EVALUACION												U <sub>i</sub>		0.9915	
ARTICULO												70PAI		CUADRO N° 12	
PALETIZADORA												(DESPUES DE MODIFICACION) CODIGO		70PAI	





CONFIABILIDAD					REPARABILIDAD					MANTENIBILIDAD					DISPONIBILIDAD	
N	ll	c	$\sigma$	211.07	N	ll	c	$\sigma$	0.286	N	ll	c	$\sigma$	0.308	T MDF $\bar{t}_r$	267.9
$\beta$	0.944	$\mu$	221	$\beta$	0.387	$\mu$	1.06	$\beta$	0.356	$\mu$	1.45	$\beta$	0.356	1.45	T MDR $\bar{t}_r$	1.318
$i_r$	$t$	n	$\bar{R}$	R	$t$	n	$\bar{G}$	G	$t$	n	$\bar{M}$	M	TDP	$\mu_r$	2.882	
	TDF		n/N	$e^{-\beta R}$	TDR		n/N	$e^{-\beta G}$	TDP		n/N	$e^{-\beta M}$				
1	13	1	0.909	0.931	0.10	4	0.364	0.486	0.20	5	0.455	0.576	0.20	$\mu_r$	221	
2	43	2	0.818	0.800	0.20	7	0.636	0.581	0.30	8	0.727	0.629	0.30			
3	101	3	0.727	0.607	0.30	8	0.727	0.639	0.80	9	0.818	0.755	0.80			
4	131	4	0.636	0.529	0.70	9	0.818	0.757	5.00	10	0.909	0.933	5.00			
5	141	5	0.545	0.505	4.50	10	0.909	0.945	24.00	11	1.000	0.991	24.00			
6	146	6	0.455	0.494	8.00	11	1.000	0.974								
7	172	7	0.364	0.439												
8	221	8	0.273	0.352												
9	363	9	0.182	0.189												
10	440	10	0.091	0.135												
11	1176	11	0.000	0.006												
DISPONIBILIDAD INTRINSECA $A_i$																
$A_i = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$																
A <sub>i</sub>					0.9951					DISPONIBILIDAD OPERATIVA A <sub>o</sub>						
$A_o = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_p}$																
A <sub>o</sub>					0.9894					RAZON DE UTILIZACION U						
$U_{i,o} = \frac{\mu_r}{\mu_r + \mu_{i,p}}$																
U <sub>i</sub>					0.9952					U <sub>o</sub>						
U <sub>o</sub>					0.9935					CUADRO N° 14						
EVALUACION					ARTICULO TRANSPORTADORES DE CAJAS CODIGO 700J					14						



Razón de Utilización del modo	0.965901	0.000387	0.001453	0.000193	0.000532	0.000002	0.000001	0.000000	0.000000	0.968469
Capacidad del modo	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
15. Transporte de paletas 70PT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9998
14. Transporte de cajas 70CJ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9935
13. Transporte de botellas 70BT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9987
12. Paletizadora 70PA1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9915
11. Encajonadora 70EN1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9983
10. Etiquetadora 70ET2	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0.9996
9. Etiquetadora 70ET1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0.9989
8. Pasteurizadora 70PS1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9998
7. Llenadora 70LL2	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0.9992
6. Llenadora 70LL1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0.9970
5. Lavadora 70LB1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9976
4. Lavadora 70LC1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9994
3. Desencajonadora 70DS1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9991
2. Almacén de paletas 70AP1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0000
1. Depaletizadora 70DP1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9930
Modo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	U°

Cuadro 16. Cálculo de la Efectividad del sistema

Las paradas de producción traen como consecuencia una disminución del rendimiento nominal de la planta equivalente a la razón de paralización  $D$ . Si  $N$  es la capacidad nominal de producción en u./h y  $Q$  el costo real de producción en \$/h, el costo unitario nominal será de  $Q/N$  \$. Este costo se eleva a  $Q/(N(1-D))$ . La pérdida es, por lo tanto:

$$\frac{Q}{N(1-D)} - \frac{Q}{N} = \frac{Q}{N} \frac{1}{1-D} \quad \text{en } \$/u.$$

Como la producción real es  $N(1-D)$  u./h, la pérdida en \$/h es:

$$\frac{Q}{N} \frac{D}{1-D} N(1-D) = QD \quad \$/\text{hora de producción.}$$

La pérdida anual es:

$$(\text{Horas producidas/año})(Q)(D) \quad \$/\text{año.}$$

Los costos Controlados y Prohibitivos para la planta de embotellado en la actualidad son mostrados en el cuadro 17.

### 6.1.3 Determinación del punto óptimo de operación.

Para determinar el punto óptimo de operación se hacen suposiciones sobre la modificación de características básicas del sistema para predecir el estado económico de cada nueva situación, y, por comparación, encontrar alternativas mejores que la actual.



El Sistema puede ser alterado con las acciones siguientes:

- Aumentar el personal de mantenimiento.
- Invertir en herramientas.
- Invertir en repuestos.
- Invertir en equipos redundantes.
- Rediseñar la maquinaria actual.
- Cambiar la maquinaria actual.

Las acciones deben ser elegidas de acuerdo a la situación presente y al valor de la Efectividad. Si la efectividad es muy baja se estudiarán las alternativas mas drásticas, como la instalación de equipos redundantes o el cambio de maquinaria.

El análisis para la planta de embotellado es el siguiente:

1. Aumento de personal: Actualmente se logra cubrir un 60 % de las acciones del programa de mantenimiento preventivo, con 4 mecánicos y 2 electricistas. Si se aumentara este número podría cubrirse totalmente el programa, lo que reduciría las fallas por desgaste, que son el 16.2 % . En el análisis de fallas frecuentes se verá que éstas pueden eliminarse con acciones preventivas adecuadas, lo cual puede hacerse sólo si se dispo

ne de personal suficiente. Resumiendo, aumentar el personal puede reducir o eliminar las fallas causadas por desgaste, fatiga, rozamiento, corrosión, incrustaciones, suciedad, accidentes, mal mantenimiento, falta de lubricación y mala regulación, que representan el 58.4 % (véase la Fig. 11), y posiblemente más.

2. Inversión en herramientas: Con herramientas adecuadas se acorta el tiempo de reparación y la diferencia entre éste y el tiempo de paralización. Los TDR y TDP que hemos tenido son bastante bajos y esto nos demuestra que no hay deficiencia en cuanto a herramientas.
3. Inversión en repuestos: Cuando las paradas se prolongan por no tener los repuestos necesarios, debe considerarse una mayor inversión en repuestos. Como hemos visto, esto ha sucedido en sólo dos ocasiones, claro indicio de que la falta de repuestos es mínima, y la inversión necesaria para subsanarla mínima también.
4. Unidades redundantes; rediseño de maquinaria y sustitución: Estas alternativas son aplicables en sistemas con valores bajos de efectividad, y no estamos en esa situación.

Por el análisis anterior, concluimos que sólo el aumento de personal influirá de manera significativa en el comportamiento del Sistema. En el cuadro 18 se comparan varias alternativas, entre las que el costo total más bajo se obtiene cuando el número de mecánicos es 8. Tenemos aún más argumentos para apoyar esta alternativa y son:

1. El mejor mantenimiento, que prolongará la vida útil de la maquinaria.
2. El tiempo de mantenimiento podrá ser reducido, quedando un margen mayor de tiempo disponible para producir, cuando la demanda lo requiera.

## 6.2 Corrección

El proceso de corrección se desarrolla en las etapas siguientes:

- Análisis de fallas frecuentes.
- Corrección del Programa de Mantenimiento.
- Previsión de repuestos de urgencia.

### 6.2.1 Análisis de fallas frecuentes.

La repetición de la misma falla es signo de deficiencias en las acciones preventivas. Corrigiendo estas se logrará eliminar la falla o



Número de mecánicos	Variación estimada de la Razón de Paralización	Razón de Paralización D	Efectividad del sistema E.S.	Costos Controlados \$/año	Costos Prohibitivos \$/año	Costos Totales \$/año
2	2D	0.0630	0.9055	223,297	14,068	237,365
4	D	0.0315	0.9685	225,457	7,102	232,559
6	0.675D	0.0213	0.9787	227,617	4,848	232,465
8	0.35D	0.0110	0.9890	229,777	2,528	232,305
10	0.3D	0.0095	0.9905	231,937	2,203	234,140

Cuadro 18. Comparación de alternativas económicas para el sistema.

al menos aminorar su impacto. La acción de solución se toma de acuerdo a la causa o naturaleza de la falla:

1. **Falla Básica :** Determina la necesidad de re diseñar, cambiar de materiales y agregar ac ciones preventivas de inspección.
2. **Causa atribuible al medio ambiente :** Determina la necesidad de diseños adecuados al medio y el desarrollo de sistemas de protec ción.
3. **Causa atribuible al factor humano :** Determi na la necesidad de acciones de capacitación y mejorar la supervisión del personal.

El análisis de fallas frecuentes para la línea de embotellado es el siguiente:

#### Depaletizadora

**Falla:** El cabezal de ganchos baja sobre la ruma de cajas con los ganchos cerrados.

**Consecuencias:** Se tuercen o rompen los ganchos, pasadores de sujeción, ejes de ganchos, carriles guía del cabezal y los ejes de los rodillos guía.

**Causas:** Los ganchos se quedan cerrados cuando la presión del aire comprimido que acciona los

cilindros neumáticos de los ganchos baja a menos de 5 bar. Hay un presostato de seguridad - en la máquina pero no funciona cuando se opera en el modo manual, lo cual sucede cuando el operario tiene que arreglar una ruma por venir con cajas malogradas o sobre paletas torcidas.

**Solución:** Debe cambiarse la conexión del presostato de modo que paralice la máquina también en el modo manual. Deben estudiarse las variaciones de presión en el sistema de aire comprimido y racionalizar el consumo de este servicio en las diferentes plantas.

**Falla:** Piezas sueltas o flojas.

**Consecuencias:** Señales erróneas de fotoceldas e instrumentos. Mecanismos trabados o funcionando deficientemente.

**Causas:** Vibración producida por el movimiento de la máquina.

**Solución:** Inspección y ajuste periódico de las piezas que pueden aflojarse.

### Desencajonadora

**Falla:** Torsión de la cadena de arrastre de cajas.

**Consecuencias:** Las cajas no se sitúan con exactitud.

titud bajo la máquina, evitando su funcionamiento correcto.

Causas: Las cajas se traban al ser arrastradas debido al desgaste del eslabón de arrastre.

Solución: Aumentar la frecuencia de cambio de los eslabones de arrastre e inspeccionarlos periódicamente.

#### Lavadora de cajas

No hay fallas frecuentes.

#### Lavadora de Botellas

Falla: Rotura de discos de carga y cangilones de botellas.

Consecuencias: Debe pararse la máquina para el cambio del elemento o eliminarse una o varias entradas de botellas, reduciéndose la capacidad de la máquina, aparte de la parada ocurrida en el momento de la rotura del disco.

Causas: Las botellas se traban en el momento de la carga, rompiéndose el disco en el esfuerzo. Existe una barrera de luz que detecta las botellas mal acomodadas, pero por la humedad de la zona de carga se empaña, debiendo ser desactivada para que la máquina pueda funcionar.

**Solución:** Reubicar las celdas fotoeléctricas - de la barrera de luz en un lugar más adecuado.

**Falla:** Desgaste y rotura del seguidor de leva del mecanismo de accionamiento de las duchas - de enjuague.

**Consecuencias:** Las duchas de enjuague no centran ni siguen a las botellas, saliendo éstas con restos de soda.

**Causas:** El desgaste es excesivo por la fricción de acero con acero.

**Solución:** Debe adaptarse al seguidor de leva un rodamiento.

#### Llenadora de Botellas

**Falla:** Rotura de los elementos de tapado.

**Consecuencias:** No puede funcionar la máquina.

**Causas:** El bulón de centrar se traba debido a la melaza que se forma por la mezcla de cerveza y grasa.

**Solución:** Inspeccionar y limpiar con mayor frecuencia los elementos de tapado.

#### Pasteurizadora

No hay fallas frecuentes.

### Etiquetadora

Falla: Mal funcionamiento del sistema de encolado.

Consecuencias: El etiquetado es deficiente.

Causas: Los filtros y silenciadores neumáticos se obstruyen, parando la bomba de cola; o bien la manguera de cola se obstruye, aumentando la presión hasta reventarla.

Solución: Aumentar la frecuencia de limpieza de los elementos del sistema de encolado.

### Encajonadora

No hay fallas frecuentes.

### Paletizadora

Véase la Depaletizadora.

### Transporte de Paletas

Falla: La cadena de transporte se traba.

Consecuencias: Se para el transportador, con una posible rotura de la cadena de accionamiento.

Causas: La cadena se estira por el desgaste de los pasadores, trabándose con el piñón de accionamiento.

**Solución:** Aumentar la frecuencia de templado y programar oportunamente el cambio de la cadena de transporte.

#### Transporte de cajas

**Falla:** Rotura de la faja de transporte CJ28.

**Consecuencias:** Rotura de cajas y botellas, paro prolongado de producción.

**Causas:** Desgaste.

**Solución:** Inspeccionar frecuentemente la faja y cambiarla oportunamente.

#### Transporte de botellas.

**Falla:** Rotura o torsión de cadenas de transporte; rotura de cadenas de accionamiento.

**Consecuencias:** Para el transporte de botellas.

**Causas:** Vidrios producto de la rotura de botellas traban la cadena de transporte ocasionando que se rompa o tuerza, o que se rompa la cadena de accionamiento.

**Solución:** Reducir la rotura de botellas. Esto se puede conseguir disminuyendo las presiones en los transportadores con una buena ubicación de los interruptores de transporte lleno.

Aparte de lo visto en el análisis precedente es importante el estudio global de las fallas de acuerdo a sus causas y efectos. Los histogramas de la figura 11 discriminan las causas y efectos registrados en la muestra de 154 fallas. Nótese que en el 61.7 % de los casos hubo fractura o torsión. Los accidentes ocupan lugar importante, con 20.1 % de las fallas, y debe recalarse que se presentan principalmente en la Paletizadora (12 fallas), Transporte de botellas (7 fallas), y Depaletizadora, (6 fallas); y se deben a cajas malogradas y botellas rotas durante el transporte. El desgaste ha contribuido al 16.2 % de fallas, lo cual indica una deficiencia en el cumplimiento de las acciones de mantenimiento, ratificando lo afirmado en el punto 1 del It. 6.1.3. Asociada en muchos casos con los accidentes, la sobrecarga ayudó al 13.6 % de fallas. La suciedad es causante del 11.0 %.

Las fallas por accidente pueden reducirse estudiando el flujo de cajas y botellas y corrigiendo defectos en los transportadores. Las fallas por suciedad o cuerpos extraños disminuirán al reducirse los accidentes, pues éstos ocasionan desperdicios de botellas rotas.



n (número de fallas)

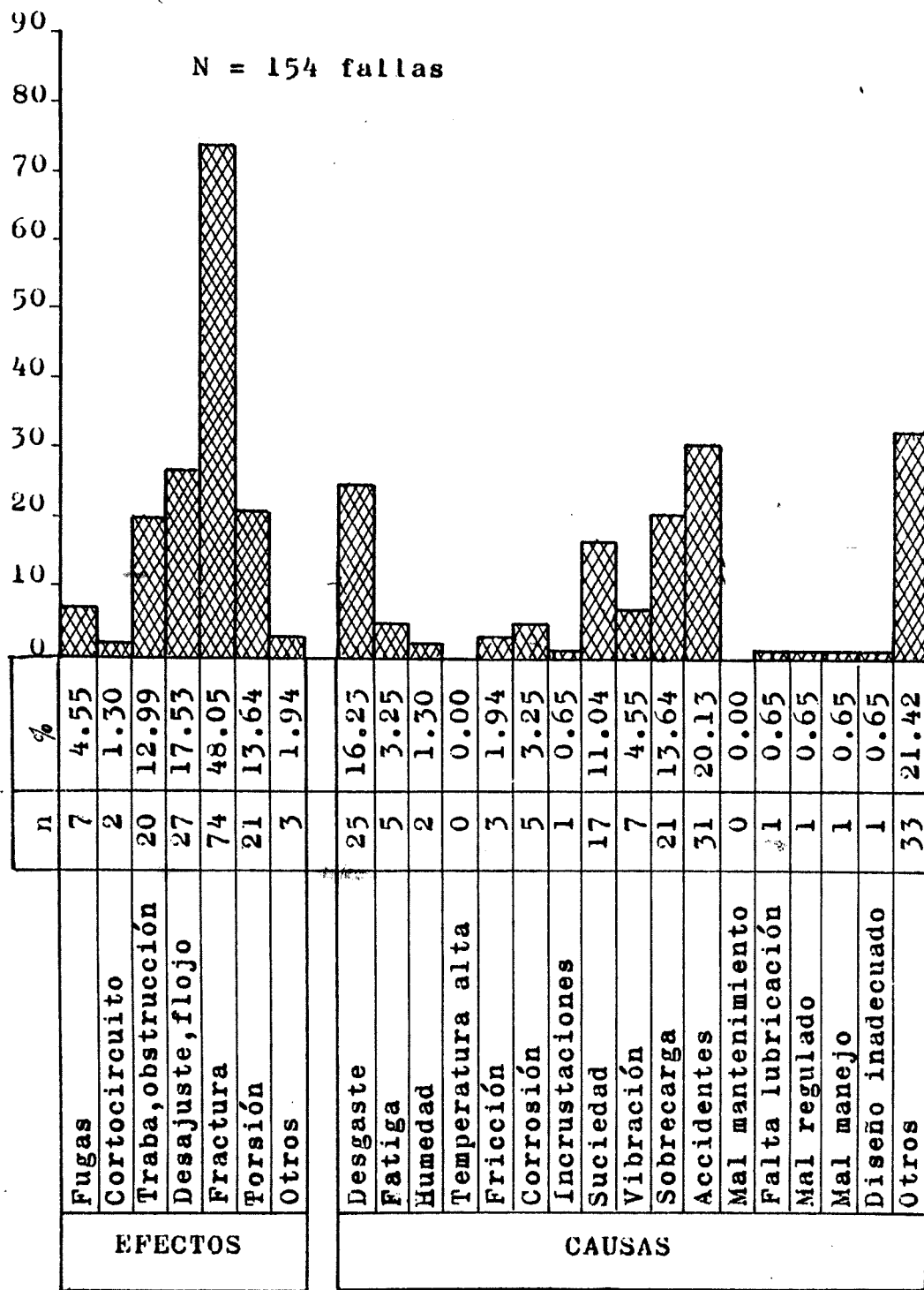


Figura 11. Histograma de fallas.

### 6.2.2 Corrección del Programa de Mantenimiento.

El análisis de fallas ha determinado acciones preventivas que deben incluirse en el programa existente. Paralelamente, debe hacerse un nuevo estudio de la frecuencia y necesidad de las acciones en general.

### 6.2.3 Previsión de repuestos de urgencia.

Deben identificarse los repuestos cuya falta ha ocasionado paradas prolongadas y aquellos que deben tenerse a mano en cualquier momento; un ejemplo de ello son los eslabones de cadenas de transmisión.

## CONCLUSIONES

1. El estado actual de la planta permite afirmar que se han obtenido resultados positivos con la aplicación de los criterios expuestos en este trabajo. El cuadro 19 resume la producción de botellas en 1983 y 1984, así como las horas producidas. El rendimiento real, referido a la capacidad nominal de la planta, ha sido - 72.07 % en 1983 y 87.91 % en 1984. El ahorro de costos prohibitivos (véase it. 6.1.2) en 1984 respecto a 1983 es:

$$\text{Ahorro} = (0.8791 - 0.7207)(225,457 \text{ \$/año})$$

$$\text{Ahorro} = 35,712 \text{ \$}$$

Para 1985 se prevee un rendimiento real por encima de 90 %.

Estos incrementos del rendimiento no pueden ser ajenos a la implementación del programa, en Noviembre de 1983; aunque se admita que parte de ello se deba al período de asentamiento de maquinaria.

2. A pesar de tener un alto valor de efectividad (0.9685),

	1983	1984
0.61 lt.	50'080,160	49'522,110
0.31 lt. (x)	5'103,965	6'337,684
Horas de producción	1,673	1,415
Rendimiento real	72.07 %	87.91 %

(x) Para la producción de botellas de 0.31 lt. la planta trabaja a media capacidad, por lo tanto, al calcular el rendimiento debe duplicarse esta producción.

Cuadro 19. Producción de botellas de cerveza en 1983 y 1985.

hemos comprobado que el rendimiento real está muy por debajo. En parte, se debe a la inercia del sistema en alcanzar nuevamente el régimen de producción luego de una parada, y, en mayor grado, a paradas ocasionadas por falta de servicios, aire y energía; fallas en los sistemas auxiliares; tiempos de espera excesivos en ciertas máquinas por desregulación de los mecanismos de alimentación; fallas resueltas parcialmente en detrimento de la capacidad; paradas por la mala calidad del material de proceso, botellas, cajas y paletas ma log ra da s, etc; que no dependen de la máquina en sí si no del medio que la rodea. Concluimos que puede lo gr a r se un sustancial aumento en el rendimiento de la planta eliminando o disminuyendo la influencia del me di o. Por ejemplo, es de esperar que las paradas por falta de aire comprimido disminuyan drásticamente lue g o de una última instalación ampliatoria de un compre sor más en la Sala de Máquinas.

También es importante observar el funcionamiento de cada máquina para determinar la causa de retrasos por falta de alimentación o mala regulación, lo cual hemos notado con frecuencia, hecho que pasa muchas veces desapercibido pues sustancialmente no constituye una falla básica.

3. Los manuales de Lubricación y Mantenimiento originalmente propuestos han sido alterados hasta en un 50 % y eso corrobora el planteamiento hecho sobre la in-

fluencia del medio en el comportamiento de la maquinaria y de que los programas deben elaborarse en un principio en base a las recomendaciones del fabricante y seguidamente acorde a la experiencia recogida, por el proceso de evaluación y corrección.

4. Como ya hemos mencionado, la efectividad del sistema es bastante alta. Sin embargo, la instalación es nueva y el programa sólo se aplica actualmente en un 60 %. El impacto de esta deficiencia no es predecible, pero se puede asegurar que de no hacerse una inversión en este rubro, las paradas por desgaste, actualmente no significativas se incrementarán notablemente, aparte de la reducción de la vida útil de la maquinaria.
5. La tabla 6 da en orden ascendente los valores de la razón de utilización de las máquinas del sistema. Es evidente que debe prestarse atención a mejorar el rendimiento de las 5 primeras máquinas. Nótese que a pesar de haber sido modificado el diseño de la paletizadora, continúa siendo la menos eficiente de las máquinas.
6. Se ha logrado mantener adecuadas existencias de repuestos gracias a un concienzudo estudio (Cap. 4), y una inversión anual de 20,000 \$. Una vez organizado completamente el control de repuestos deberá implementarse el programa de fabricación de piezas en la maestra

Tabla 6. Razones de Utilización de las máquinas de la planta de embotellado.

<u>Máquina</u>	<u>U<sub>a</sub></u>
Paletizadora	0.9915
Depaletizadora	0.9930
Transporte de cajas	0.9935
Llenadora 1	0.9970
Lavadora de botellas	0.9976
Encajonadora	0.9983
Transporte de botellas	0.9987
Etiquetadora 1	0.9989
Desencajonadora	0.9991
Llenadora 2	0.9992
Lavadora de cajas	0.9994
Etiquetadora 2	0.9996
Transporte de paletas	0.9998
Pasteurizadora	0.9998
Almacén de paletas	1.0000

tranza.



## BIBLIOGRAFIA

- Garfias, Miguel E. "Ingeniería de Mantenimiento. Primera parte: Estudio de Reducción de Costos: Mantenibilidad". Departamento de Energía y Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 1981.
- Henley, Ernest J. & Kumamoto, Hiromitsu. "Reliability Engineering and Risk Assessment". Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, U.S.A., 1981.
- Maisel, Louis. "Probabilidad y Estadística". Fondo Educativo Interamericano S.A., E.U.A., 1973.