

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**TESIS DE GRADO**

**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN MODELO EXPERIMENTAL DE  
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA EL  
SECTOR INDUSTRIAL”**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**ESPECIALIZACION ELECTRONICA Y AUTOMATIZACION**

**INDUSTRIAL**

**Presentado por:**

**Carlos Federico Quinteros López**

**Johanna Viviana Razzo Orellana**

**María Lorena Solórzano Rivas**

**Guayaquil – Ecuador**

**2008**

**TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

---

**ING. GUSTAVO BERMUDEZ**

**DECANO DE LA FIEC**

---

**ING. GOMER RUBIO**

**DIRECTOR DE TÓPICO**

---

**ING. JUAN GALLO**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

**ING. HOLGER CEVALLOS**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

**Carlos Federico Quinteros López**

---

**Johanna Viviana Razzo Orellana**

---

**María Lorena Solórzano Rivas**

## **RESUMEN**

Este trabajo de tesis está orientado a diseñar un modelo experimental para el proceso de análisis de Mantenimiento Centrado a la Confiabilidad dirigido a una industria de alimentos, que consciente de las amenazas de costos y oportunidades de inversión, busca nuevas estrategias para lograr mayor competitividad en el mercado. Por lo que, este modelo experimental estará orientado a una de sus líneas de producción como lo es la planta de líquidos que consta de cinco áreas: área de equipos auxiliares, planta de agua, área de preparación, área de envasado, área de etiquetado y área de empaçado.

Para ello se tomaran en cuenta tipos de mantenimientos existentes, clasificación de las industrias en nuestro país; para conocer las posibilidades de introducción de esta teoría que asociado a conceptos de innovación y competitividad, complementara la realización de un mantenimiento confiable.

## INDICE GENERAL

Resumen	IV
Índice General	V
Índice de Tablas	IX
Abreviaturas	XV
Introducción	XVI

### Capítulo 1

<b>JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE APLICACIÓN</b>	1
1.1.- El sector industrial.	1
1.1.1.- Mantenimiento en la Industria Internacional.	8
1.1.2.- Mantenimiento en la Industria Nacional.	10
1.2.- Descripción del plan piloto de mantenimiento centrado en la confiabilidad.	12
1.3.- Objetivos del Problema de Aplicación.	14

### Capítulo 2

<b>MARCO TEÓRICO</b>	16
2.1.- Algunos aspectos históricos del mantenimiento.	16
2.2.- Innovación y Competitividad para un mantenimiento de clase mundial.	18
2.2.1.- Algunos problemas de mantenimiento comunes.	19
2.2.2.- Propagación de soluciones.	21

2.2.3.- Una visión emergente para la optimización de mantenimiento.	22
2.2.4.- Acercamiento a un mantenimiento de clase mundial.	23
2.3.- Sistema de calidad Deming.	27
2.4.- Tipos de mantenimiento.	32
2.4.1.- Mantenimiento Preventivo.	32
2.4.2.- Mantenimiento Predictivo.	33
2.4.3.- Mantenimiento Correctivo.	33
2.4.4.- Mantenimiento Productivo Total.	34
2.5.- Teoría del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.	36
2.5.1.- Introducción.	36
2.5.2.- Aspectos históricos.	37
2.5.3.- Confiabilidad y Conceptos de Probabilidades.	39
2.5.4.- Indicadores del mantenimiento confiable.	43
2.5.5.- Regla 80-20.	45
2.5.6.- La curva de la bañera.	46
2.5.7.- Análisis del modo y efecto de falla.	48

### **Capítulo 3**

<b>PLANEACIÓN Y DESARROLLO DEL CONCEPTO DEL MCC</b>	<b>55</b>
3.1.- Declaración de objetivos	56
3.2.- Generación del concepto	59

3.3.- Selección del concepto	61
3.4.- Matriz de Definición	64
3.5.- Despliegue de la función de la calidad	70

## **Capítulo 4**

### **DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DEL MCC** 73

4.1.- Enfoque del proyecto según el tipo de industria	73
4.2.- Normas de Seguridad Industrial a utilizar	74
4.3.- Metodología del MCC	76
4.3.1.- PASO1: Selección del sistema y recolección de la información	77
4.3.2.- PASO2: Definición de los límites del sistema.	85
4.3.3.- PASO3: Descripción del sistema y diagrama de bloque funcional.	87
4.3.4.- PASO4: Funciones del sistema y fallas funcionales.	95
4.3.5.- PASO5: Análisis del Modo y Efecto de Falla.	97
4.3.6.- PASO6: Análisis del árbol de decisiones.	102
4.3.7.- PASO7: Selección de tareas.	106

## **Capítulo 5**

### **APLICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD A UNA PLANTA DE LÍQUIDOS** 116

5.1.- Diseño enfocado a una planta de líquidos. Pasos a seguir:	116
---	-----

5.1.1.- PASO1: Recolección de la información	117
5.1.2.- PASO2: Definición de los límites del sistema.	124
5.1.3.- PASO3: Descripción del proceso y partes de la planta de líquidos y diagrama de bloque funcional.	124
5.1.4.- PASO4: Funciones del proceso de la planta de líquidos y fallas funcionales.	125
5.1.5.- PASO5: Análisis del modo y efecto de falla.	126
5.1.6.- PASO6: Análisis del árbol de decisiones.	127
5.1.7.- PASO7: Selección de tareas.	128
5.2.- Normas de seguridad Industrial a considerar	129

## **Capítulo 6**

<b>REVISIÓN, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO</b>	131
6.1.- Revisión del diseño	131
6.2.- Verificación del diseño	135
6.3.- Validación del diseño	138

<b>Conclusiones</b>	140
---------------------	-----

<b>Recomendaciones</b>	143
------------------------	-----

<b>TABLAS</b>	145
---------------	-----

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	222
---------------------	-----

## INDICE DE TABLAS

Tabla No. 1.- Función de la Calidad del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	145
Tabla No. 2.- Tabla de Capacidades Instaladas en la Maquinaria	146
Tabla No. 3.- Tabla de Criterios de Ponderación para el Análisis de Criticidad	147
Tabla No. 4.- Tabla del Cálculo de Criticidad de los Equipos Auxiliares	148
Tabla No. 5.- Tabla del Cálculo de Criticidad de los Planta de Agua	149
Tabla No. 6.- Tabla del Cálculo de Criticidad de los Área de Preparación	150
Tabla No. 7.- Tabla del Cálculo de Criticidad de los Área de Envasado	151
Tabla No. 8.- Tabla del Cálculo de Criticidad de los Área de Etiquetado y Empacado	152
Tabla No. 9.- Tabla de Resumen de Análisis de Criticidad	153
Tabla No. 10.- Formulario Paso 2-1: Apreciación Global de Límites en Caldero Donlee	154
Tabla No. 11.- Formulario Paso 2-2: Detalle de Límites de Caldero Donlee	155
Tabla No. 12.- Formulario Paso 3-1: Descripción de Límites de Caldero Donlee	156
Tabla No. 13.- Formulario Paso 3-2: Diagrama de Bloques Funcional de Caldero Donlee	157
Tabla No. 14.- Formulario Paso 3-3: Interfaces de Entrada y Salida de	158

Caldero Donlee

Tabla No. 15.- Formulario Paso 3-4: Listado de Componentes de Caldero Donlee	159
Tabla No. 16.- Formulario Paso 3-5: Historial del Equipo de Caldero Donlee	160
Tabla No. 17.- Formulario Paso 4: Descripción de Fallas Funcionales de Caldero Donlee	161
Tabla No. 18.- Formulario Paso 5-1: Matriz de Componentes-Fallas Funcionales de Caldero Donlee	162
Tabla No. 19.- Formulario Paso 5-2: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos de Caldero Donlee	163
Tabla No. 20.- Formulario Paso 6: Análisis de Árbol Lógico de Caldero Donlee	165
Tabla No. 21.- Formulario Paso 7-1: Proceso de Selección y Decisión de Caldero Donlee	166
Tabla No. 22.- Formulario Paso 7-2: Lista de Verificación de Conformidad de Caldero Donlee	167
Tabla No. 23.- Formulario Paso 7-3: Comparación de las Tareas MCC con Tareas Vigentes de Mantenimiento en el Caldero Donlee	168
Tabla No. 24.- Formulario Paso 2-1: Apreciación Global de Límites en Compresor de Aire 25 HP	169

Tabla No. 25.-	Formulario Paso 2-2: Detalle de Límites de Compresor de Aire 25 HP	170
Tabla No. 26.-	Formulario Paso 3-1: Descripción de Límites de Compresor de Aire 25 HP	171
Tabla No. 27.-	Formulario Paso 3-2: Diagrama de Bloques Funcional de Compresor de Aire 25 HP	172
Tabla No. 28.-	Formulario Paso 3-3: Interfaces de Entrada y Salida de Compresor de Aire 25 HP	173
Tabla No. 29.-	Formulario Paso 3-4: Listado de Componentes de Compresor de Aire 25 HP	174
Tabla No. 30.-	Formulario Paso 3-5: Historial del Equipo de Compresor de Aire 25 HP	175
Tabla No. 31.-	Formulario Paso 4: Descripción de Fallas Funcionales de Compresor de Aire 25 HP	176
Tabla No. 32.-	Formulario Paso 5-1: Matriz de Componentes-Fallas Funcionales de Compresor de Aire 25 HP	177
Tabla No. 33.-	Formulario Paso 5-2: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos de Compresor de Aire 25 HP	178
Tabla No. 34.-	Formulario Paso 6: Análisis de Árbol Lógico de Compresor de Aire 25 HP	180
Tabla No. 35.-	Formulario Paso 7-1: Proceso de Selección y Decisión de	181

Compresor de Aire 25 HP

Tabla No. 36.-	Formulario Paso 7-2: Lista de Verificación de Conformidad de Compresor de Aire 25 HP	183
Tabla No. 37.-	Formulario Paso 7-3: Comparación de las Tareas MCC con Tareas Vigentes de Mantenimiento en el Compresor de Aire 25 HP	184
Tabla No. 38.-	Formulario Paso 2-1: Apreciación Global de Límites en Osmosis Inversa	186
Tabla No. 39.-	Formulario Paso 2-2: Detalle de Límites de Osmosis Inversa	187
Tabla No. 40.-	Formulario Paso 3-1: Descripción de Límites de Osmosis Inversa	188
Tabla No. 41.-	Formulario Paso 3-2: Diagrama de Bloques Funcional de Osmosis Inversa	189
Tabla No. 42.-	Formulario Paso 3-3: Interfaces de Entrada y Salida de Osmosis Inversa	190
Tabla No. 43.-	Formulario Paso 3-4: Listado de Componentes de Osmosis Inversa	191
Tabla No. 44.-	Formulario Paso 3-5: Historial del Equipo de Osmosis Inversa	192
Tabla No. 45.-	Formulario Paso 4: Descripción de Fallas Funcionales de Osmosis Inversa	193

Tabla No. 46.- Formulario Paso 5-1: Matriz de Componentes-Fallas Funcionales de Osmosis Inversa	194
Tabla No. 47.- Formulario Paso 5-2: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos de Osmosis Inversa	195
Tabla No. 48.- Formulario Paso 6: Análisis de Árbol Lógico de Osmosis Inversa	197
Tabla No. 49.- Formulario Paso 7-1: Proceso de Selección y Decisión de Osmosis Inversa	198
Tabla No. 50.- Formulario Paso 7-2: Lista de Verificación de Conformidad de Osmosis Inversa	200
Tabla No. 51.- Formulario Paso 7-3: Comparación de las Tareas MCC con Tareas Vigentes de Mantenimiento en Osmosis Inversa	201
Tabla No. 52.- Formulario Paso 2-1: Apreciación Global de Límites en Llenadora Arbras	203
Tabla No. 53.- Formulario Paso 2-2: Detalle de Límites de Llenadora Arbras	204
Tabla No. 54.- Formulario Paso 3-1: Descripción de Límites de Llenadora Arbras	205
Tabla No. 55.- Formulario Paso 3-2: Diagrama de Bloques Funcional de Llenadora Arbras	206
Tabla No. 56.- Formulario Paso 3-3: Interfaces de Entrada y Salida de	207

## Llenadora Arbras

Tabla No. 57.-	Formulario Paso 3-4: Listado de Componentes de Llenadora Arbras	208
Tabla No. 58.-	Formulario Paso 3-5: Historial del Equipo de Llenadora Arbras	209
Tabla No. 59.-	Formulario Paso 4: Descripción de Fallas Funcionales de Llenadora Arbras	211
Tabla No. 60.-	Formulario Paso 5-1: Matriz de Componentes-Fallas Funcionales de Llenadora Arbras	212
Tabla No. 61.-	Formulario Paso 5-2: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos de Llenadora Arbras	213
Tabla No. 62.-	Formulario Paso 6: Análisis de Árbol Lógico de Llenadora Arbras	216
Tabla No. 63.-	Formulario Paso 7-1: Proceso de Selección y Decisión de Llenadora Arbras	217
Tabla No. 64.-	Formulario Paso 7-2: Lista de Verificación de Conformidad de Llenadora Arbras	219
Tabla No. 65.-	Formulario Paso 7-3: Comparación de las Tareas MCC con Tareas Vigentes de Mantenimiento en Llenadora Arbras	220

## ABREVIATURAS

MCC	Mantenimiento centrado en la confiabilidad
PSA	Producto, servicio o aplicación
CTC	Criterios técnicos de calidad
TIR	Tasa interna de retorno
CMFT	Costo de mantenimiento por facturación
CTMN	Costo total de mantenimiento
FTEP	Facturación de la empresa
TPEF	Tiempo promedio entre fallas
TPPR	Tiempo promedio para reparar
TPPP	Tiempo promedio de mantenimientos preventivos
HMPR	Horas de mantenimientos preventivos
NTMP	Número totales de mantenimientos preventivos
NCFM	No conformidades de funciones de mantenimiento
NMPR	Número de mantenimiento preventivo
NMEJ	Número de mantenimientos ejecutados
CONF	Confiabilidad
HCAL	Horas calendario
HTMN	Horas totales de mantenimiento
CSM	Condición del servicio de mantenimiento
HMEJ	Horas de mantenimientos preventivos
CIP	Clean in place

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento ha evolucionado a gran escala con el transcurso del tiempo, esto ha traído nuevas políticas e ideologías, que se han adaptado al ritmo de vida de las empresas de clase mundial. Estos cambios han generado otros requerimientos en la industria, que siente la necesidad de innovar las estrategias o enfoques de la función de mantenimiento. La necesidad de organizar adecuadamente el servicio de mantenimiento con la introducción de programas de mantenimiento preventivo y el control del mantenimiento correctivo hace ya varias décadas conllevan el objetivo de optimizar la disponibilidad de los equipos de producción.

Las funciones y expectativas del mantenimiento no solo cubren la producción; sino que atañen a temas como calidad del producto, economía y eficiencia de operación, el control, la contención, la protección y el cumplimiento de regulaciones ambientales, que conduce a la necesidad de analizar de forma sistemática las mejoras que pueden ser introducidas en la gestión, tanto técnica como económica del mantenimiento.

Por todos estos antecedentes el mantenimiento en la Industria ecuatoriana debe innovarse y llevarse a cabo con un mantenimiento de clase mundial como lo es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad el cual está dirigido a la mejora en la producción, manejando criterios de causa – raíz, análisis de modo de fallas, y otros.

# **Capítulo 1**

## **1. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE APLICACIÓN**

### **1.1 El sector industrial**

La competitividad depende de varios factores como: la productividad, la tecnología, la inversión extranjera y la cantidad y calidad de la infraestructura del país. Las mejoras de productividad y eficiencia en la utilización de insumos y factores productivos reducen costos y hacen a las empresas más competitivas. La competitividad también involucra dimensiones humanas. La evolución del empleo y salarios manufactureros refleja condiciones de vida de la población, constituyen indicadores del desempeño competitivo y determinan las posibilidades de ahorro, educación y salud. Estos factores, a su vez, influyen en la competitividad futura. La transferencia y esfuerzo tecnológico son cruciales para la competitividad

industrial. Solo con esfuerzo tecnológico las empresas pueden elevar la productividad, así como la calidad y/o variedad de los bienes producidos. Tanto la inversión extranjera como nacional son determinantes para el buen funcionamiento de la economía y el desempeño industrial. Finalmente, la competitividad de un país mejora si éste posee la infraestructura física adecuada para desarrollar su economía en una forma más eficiente y productiva.

Analizando el sector industrial se puede decir que en el Ecuador, de acuerdo a su tamaño, las empresas se las clasifica en:

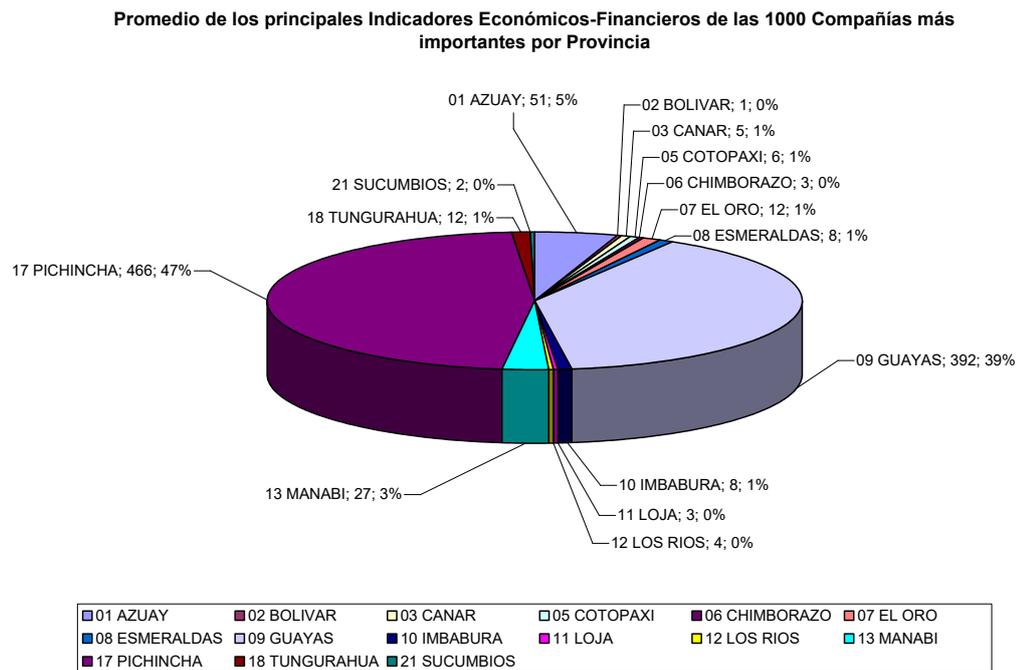
<b>CLASIFICACION</b>	<b>INGRESO BRUTO ANUAL</b>	<b>TRABAJADORES</b>	<b>ACTIVOS FIJOS</b>
Pequeña empresa	≤ 1.000.000	≤ 50	≤ 500.000
Mediana empresa	1.000.001 - 3.000.000	51-150	500.001- 2.500.000
Grandes empresas	> 3.000.001	> 150	> 2.500.000

**Tabla 1.1.-**Clasificación de las Industrias en el mercado ecuatoriano

Los sectores industriales más importantes son: textil, de confección y la industria del cuero en primer lugar, seguidas por la de alimentos y bebidas y la de productos químicos. Desafortunadamente, la distribución de la industria presenta un marcado desequilibrio, ya que la mayor parte de la misma se concentra en las provincias de Guayas y Pichincha. Conviene

destacar que otras provincias van teniendo una notable presencia industrial en sus áreas de influencia como Manabí y Azuay.

### Geográficamente el sector industrial está distribuido:



**Figura 1.1.-Distribución de las industrias ecuatorianas por provincia**  
(Fuente: Superintendencia de Compañías)

Las empresas se clasifican en los siguientes sectores:

- A. Agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca
- B. Explotación de minas y canteras
- C. Industrias manufactureras (excluye refinación de petróleo)

- D. Suministro de electricidad y agua
- E. Construcción y obras públicas
- F. Comercio al por mayor y al por menor
- G. Transporte, almacenamiento y comunicaciones
- H. Servicios de Intermediación financiera
- I. Otros servicios
- J. Servicios gubernamentales

A su vez, la industria manufacturera (sector industrial, excluido refinación del petróleo) se clasifica en los siguientes subsectores:

Carnes y pescado elaborado

Cereales y panadería

Elaboración de azúcar

Productos alimenticios diversos

Elaboración de bebidas

Elaboración de productos de tabaco

Fabricación de productos textiles, prendas de vestir

Papel y productos de papel

Fabricación de productos químicos, caucho y plástico

Fabricación de otros productos minerales no metálicos

Fabricación de maquinaria y equipo

La industria de alimentos, especialmente, ha sido líder dentro del proceso de desarrollo industrial nacional. Este sector desplegó una serie de estrategias de competitividad para lograr una mayor eficiencia en los procesos y más racionalización de los costos operativos. Las grandes empresas de este sector, como parte de su estrategia, también se han convertido en importadoras y comercializadoras de marcas internacionales reconocidas; sin duda, una de las mayores fortalezas de esta actividad son los canales de distribución.

La situación actual de este sector es muy diferente a la de años anteriores. Aunque la industria alimenticia es una de las más importantes y significativas para la economía si se ha visto gravemente afectada por la situación económica por la que atraviesa el país actualmente.

### **Comportamiento económico del Sector Industrial**

El cambio tan fuerte que ha tenido la economía del país desde 1998 está reflejada en el comportamiento de este sector ya que es uno de los más importantes y de mayor participación en el PIB. La producción de bebidas en el año 2003 fue un 13% menor a la obtenida en 2001. De igual manera el crecimiento fue negativo aunque logró mantener una participación estable.

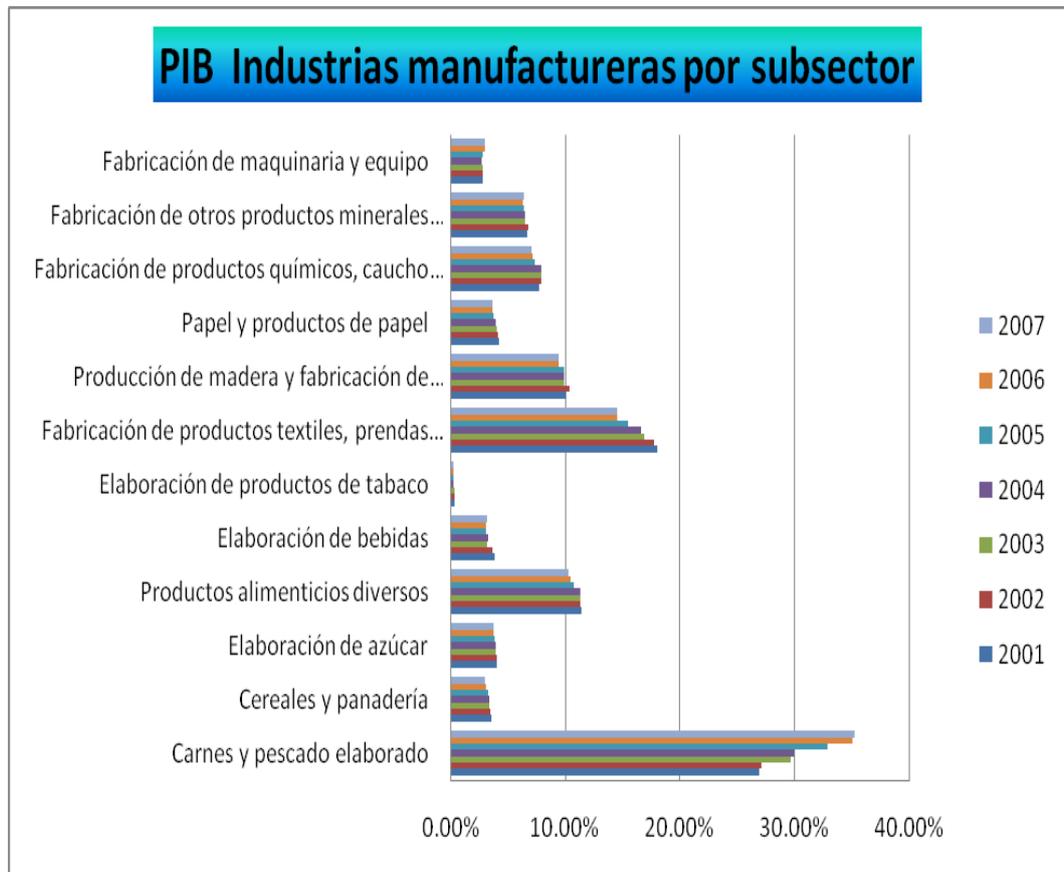
El panorama general del año 2003 fue desalentador, el sector tuvo una reducción en la producción, en las utilidades, el crecimiento y en la participación en el PIB.

El PIB del sector industrial desde el año 2001 hasta el 2007 es:

**PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB) DEL SECTOR INDUSTRIAL**

<b>Subsector industrial</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
Carnes y pescado elaborado	611,105	631,253	722,318	754,176	904,068	1,046,348	1,098,665
Cereales y panadería	82,261	81,701	82,764	86,700	89,609	93,381	94,875
Elaboración de azúcar	92,621	94,389	96,475	99,333	106,023	111,962	117,000
Productos alimenticios diversos	259,454	264,483	276,318	285,850	296,934	312,794	322,178
<b>Elaboración de bebidas</b>	<b>88,294</b>	<b>86,105</b>	<b>77,270</b>	<b>82,750</b>	<b>86,558</b>	<b>92,144</b>	<b>100,898</b>
Elaboración de productos de tabaco	7,878	7,921	8,135	7,510	7,892	7,850	8,243
Fabricación de productos textiles, prendas de vestir	410,654	413,337	411,598	418,322	425,965	434,128	453,664
Producción de madera	230,277	241,931	241,115	248,643	271,594	280,846	294,607
Papel	96,148	97,005	99,016	99,297	103,868	109,836	113,570
Fabricación de productos químicos, caucho y plástico	176,633	184,887	194,160	199,044	201,466	215,001	221,451
Fabricación de productos minerales no metálicos	151,710	159,153	158,050	163,525	175,433	188,046	199,517
Fabricación de maquinaria y equipo	64,697	66,981	69,005	69,782	77,881	89,978	93,127
Industrias manufactureras n.c.p.	4,095	4,253	4,201	4,406	4,878	4,946	5,094
<b>PRODUCTO INTERNO BRUTO</b>	<b>2,275,827</b>	<b>2,333,399</b>	<b>2,440,425</b>	<b>2,519,338</b>	<b>2,752,169</b>	<b>2,987,260</b>	<b>3,122,890</b>

**Tabla 1.2.- PIB anual por sector industrial**



**Figura 1.2.- PIB de Industrias manufactureras por subsector**

### 1.1.1 Mantenimiento en la Industria Internacional

El mantenimiento en el sector industrial es un elemento muy importante para lograr la competitividad de las organizaciones, puesto que permite una mejor utilización de sus instalaciones productivas. Para lograrlo, algunas industrias de clase mundial utilizan actualmente el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC).

El MCC es una metodología capaz de involucrar las distintas formas de mantenimiento tales como preventivo, correctivo, predictivo e incluso el mantenimiento productivo total (TPM).

En algunos países de América Latina, el MCC ha sido utilizado exitosamente. Como testimonio se transcribe la opinión del Ing. Carlos Cárdenas, Gerente de Mantenimiento de Petrocel-Temex/Altamira en México[3].

“Las Plantas de Petrocel-Temex/Altamira; hemos decidido implementar la Metodología de MCC: porque estamos convencidos que es una Estrategia de Mantenimiento para mejorar en la confiabilidad operativa, incrementar la disponibilidad de los equipos, en mejorar la aplicación de los costos de mantenimiento, detección de fallas ocultas y mejora continua en la calidad del mantenimiento, además en fortalecer los equipos de trabajo entre operación y mantenimiento.

Estamos en la etapa inicial (Capacitación y Adiestramiento de los equipos en MCC y formación de Facilitadores). Nuestro Plan para este año es crear 4 equipos mínimo de MCC enfocados a los procesos o sistemas de más bajo rendimiento. El proyecto total está planeado a tres años.

Considero muy relevante que mis compañeros de operaciones hayan aceptado la metodología y están altamente interesados en participar en la mejora, esto es clave para el éxito de un equipo de MCC”.

### **1.1.2 Mantenimiento en la Industria Nacional**

Lamentablemente en nuestro país gran parte de las industrias manejan conceptos de versiones anteriores del mantenimiento, que no se adaptan a las necesidades crecientes de las industrias. Los tipos de mantenimiento usados comúnmente son el correctivo y el preventivo, utilizados sin un previo análisis estratégico para aplicarlos, esto origina paradas intempestivas, pérdidas de la producción, incumplimiento con los clientes, accidentes, etc.

Esto lo realizan por la falta de conocimiento en los nuevos conceptos y sus beneficios; las creencias que tienen al respecto es que la implementación y capacitación del personal es muy costosa y consumiría mucho tiempo por ello prefieren manejarse como hasta ahora siendo su ventaja competitiva menor que la industria latinoamericana.

En el Ecuador no existe mucha incidencia de aplicaciones de MCC aunque las industrias grandes ya comienzan a involucrarse en el tema y a

capacitarse tal es el caso de Repsol YPF que comparte su experiencia con el MCC a través del Ing. Luís Hidalgo, Coordinador de Mantenimiento en Quito, la misma que transcribe a continuación[3]:

"El término MCC apareció hace un año y medio aproximadamente en nuestras actividades con una de nuestras compañías de servicio. Fue cuando nosotros empezamos a indagar sobre qué era MCC y cuáles eran los beneficios en otras compañías en especial de la industria petrolera.

Al conocer los beneficios de MCC para ayudar a tener mantenimientos más efectivos y que a su vez ayudaban el tener equipos seguros y confiables, nuestra Gerencia decidió darnos todo su apoyo a fin de tener un costo efectivo de mantenimiento en operaciones seguras en nuestras operaciones y más aun cuando nuestra operación se encuentra en medio de un parque nacional en la Amazonía ecuatoriana.

En este momento REPSOL-YPF Ecuador S.A. se encuentra invirtiendo en la capacitación de nuestro personal sobre lo que es MCC y ya tenemos a 4 facilitadores y más de 60 personas capacitadas incluyendo a gerentes, coordinadores, supervisores y técnicos, en estos días se capacitarán 30 personas adicionales con lo cual el MCC arrancará oficialmente en su implementación en nuestra operación, por eso nuestra filosofía de trabajo,

de lo que hasta hoy es mantenimiento, va cambiar hacia un nuevo modelo de mantenimiento".

## **1.2 Descripción del plan piloto de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**

El MCC se ha ubicado como una metodología innovadora en la gestión del mantenimiento, teniendo éxito en empresas del sector minero, petrolero, energético, manufacturero y de transporte. Las cuales han reportado que con su implantación han logrado reducir los costos de mantenimiento preventivo en un 40% - 70%, y en los trabajos de mantenimiento correctivos en un 20% - 30%.

Esta técnica se basa en seleccionar mantenimiento solo donde las consecuencias de las fallas así lo requieren, para esto se debe hacer un estudio exhaustivo de todas las funciones, fallas, modos y consecuencias de las fallas, para poder decidir dónde y qué tipo de mantenimiento hacer. Este análisis establece un orden de prioridades como: la seguridad, producción, costos de reparación, permitiendo así que sea una herramienta valiosa en las industrias que requieren altos niveles de seguridad, generando cambios de los esfuerzos y resultados satisfactorios.

En el presente proyecto se aplicaran siete pasos para la implementación del *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad* (MCC) a la línea de líquidos de la planta de SUMESA S.A. en la ciudad de Guayaquil, donde se definirá los límites de los sistemas y se determinara, mediante gráficos de Pareto, los más críticos para tener un entendimiento preciso de las funciones de cada sistema y de cómo poder enfocar el proceso de análisis MCC a los más representativos.

Este modelo experimental será aplicado a las cinco áreas de la planta de líquidos que constan de diferentes equipos como se describe a continuación:

1. **Área de equipos auxiliares:** caldero de 100 HP, compresor de aire de 25 hp, secador de aire, Chiller de 30 hp, torre de enfriamiento, sistema de flujo laminar y cámara de frío.
2. **Área de planta de agua:** equipo de osmosis inversa, ablandadores de agua, filtros UV, tanques pulmones de agua, y bombas sanitarias de agua,
3. **Área de preparación:** tanques de preparación, marmitas, sistema CIP, bombas de producto, intercambiador de calor y pasteurizadora.
4. **Área de envasado:** transportadores, rinseadora, llenadora, tapadoras, túnel de enfriamiento y codificadora video jet.
5. **Área de empaçado:** transportadores, pulmones para acumulación de producto, etiquetadora y un túnel de termo contracción.

### 1.3 Objetivos del Problema de Aplicación

El MCC es una forma ideal para desarrollar planes de mantenimiento en equipos complejos y para los que no existe mucha documentación al respecto, ahorrando errores en pruebas y costos tan comunes al desarrollar planes de mantenimiento.

Los objetivos a perseguir en el problema de aplicación son:

- Mayor seguridad y protección del medio ambiente, al tener claras estrategias para prevenir los modos de falla que puedan afectar a la seguridad mejorando así el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
- Mejores rendimientos operativos, al diagnosticar más rápido las fallas mediante la referencia a los modos de falla relacionados con la función y a los análisis de sus efectos.
- Mayor control de los costos del mantenimiento; al disminuir el mantenimiento rutinario innecesario; al prevenir o eliminar los costos de fallas; al no necesitar de personal experto que represente costo más altos.
- Aumentar la vida útil de los equipos; debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento a condición.
- Tener una amplia base de datos de mantenimiento; a fin de proveer un conocimiento general de la planta más profundo en su contexto operacional

reduciendo la pérdida de información y experiencia debido a la rotación del personal.

- Mejor trabajo de grupo; motivado por un planeamiento altamente estructurado al grupo a los análisis de los problemas de mantenimiento y a la toma de decisiones, mejorando la comunicación y cooperación entre personal de las diferentes áreas.

## Capítulo 2

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Algunos aspectos históricos del mantenimiento

Históricamente el mantenimiento ha evolucionado y se ha desarrollado desde sus inicios hasta nuestros días, en tres generaciones:

				<b>Tercera Generación</b>		
				• <i>Costos aun menores</i>		
				• <i>Mayor disponibilidad y confiabilidad</i>		
		<b>Segunda Generación</b>		• <i>Mayor seguridad</i>		
		• <i>Mayor Disponibilidad de la maquinaria</i>		• <i>Mejor calidad del producto</i>		
		• <i>Mayor duración de los equipos</i>		• <i>Amante con el medio ambiente</i>		
		• <i>Menores costos</i>		• <i>Mayor duración de los equipos</i>		
<b>Primera Generación</b>						
• <i>Reparar en caso de avería</i>						
1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000

Figura 2.1 Evolución del mantenimiento

***Primera generación:***

Cubre el período hasta el final de la II Guerra Mundial, en ésta época las industrias tenían pocas máquinas, eran muy simples, fáciles de reparar y normalmente sobredimensionadas. Los volúmenes de producción eran bajos, por lo que los tiempos de parada no eran importantes. La prevención de fallas en los equipos no era de alta prioridad gerencial y solo se aplicaba el mantenimiento reactivo o de reparación.

***Segunda generación:***

Nació como consecuencia de la II Guerra Mundial. La incorporación de maquinarias complejas, trajo consigo la implementación de sistemas de control y planificación del mantenimiento (revisiones a intervalos fijos), buscando reducir los fallos de la maquinarias, los tiempos improductivos; etc. y originando lo que se conoce actualmente como el mantenimiento preventivo.

***Tercera generación:***

Se inicia a mediados de la década de los setenta donde los cambios, a raíz del avance tecnológico y de nuevas investigaciones, se aceleran. Aumenta la mecanización y la automatización en la industria, se opera con volúmenes de producción más altos, se le da importancia a los tiempos de parada debido a los costos por pérdidas de producción, alcanzan mayor complejidad las

maquinarias y aumenta nuestra dependencia de ellas, se exigen productos y servicios de calidad, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente y se consolida el desarrollo de mantenimiento preventivo.

## **2.2 Innovación y Competitividad para un mantenimiento de clase mundial**

En 1980 se produce un despertar de la industria en los Estados Unidos de América (EE.UU.), que hasta esa fecha había dominado el mercado mundial. De improviso llegó la fuerte competencia japonesa por cada línea de producto, no solamente por sus bajos precios sino también por su calidad y servicio. El ataque asiático llegó a desplazar a algunas industrias de los EE.UU., en los sectores relacionados a: hierro, electrodomésticos, equipos electrónicos.

La competencia asiática se centro en temas innovadores (tales como reingeniería, mejoramiento continuo, reducción de costos, Mantenimiento de calidad total, Mantenimiento productivo total y otros), que le dieron un giro hacia la competitividad a la teoría del mantenimiento, básicamente en dos puntos:

- 1) La inversión se ve recuperada en base a la disponibilidad de líneas.

- 2) Cambio en la mentalidad de “preservación del equipo” a “preservación de la función del equipo”.

### **2.2.1 Algunos problemas de mantenimiento comunes**

A continuación se enlistan los problemas de mantenimiento más comunes:

1. *Insuficiente Mantenimiento Predictivo.*- Es común que se evite el mantenimiento preventivo debido a que implica un análisis previo, por ello se prefiere hacer correcciones cuando se suscita la eventualidad.
2. *Repetición del problema.*- La falta del análisis causa raíz-efecto, ocasiona que las fallas vuelvan a aparecer, al no haberse eliminado las causas que las originaron.
3. *Trabajo de mantenimiento erróneo.*- Al no tener una idea definida de la actividad de mantenimiento que se va a realizar pueden aparecer errores los cuales dependiendo del impacto que causen llegan a tener un nivel de tolerancia aceptable, aunque siempre causara la pérdida de tiempo y la posible aparición de otra nueva actividad de mantenimiento.
4. *Falta de reglamentación de las prácticas y procedimientos de mantenimiento.*- Una manera de evitar que la falla sea repetitiva por

problemas de errores humanos es dar a conocer las prácticas y procedimientos para cada actividad de mantenimiento.

5. *Mantenimiento preventivo innecesario.*- Al no tener un correcto análisis previo, se originan costos por actividades de mantenimiento preventivo innecesarias, que pudieron ser evitadas.

6. *Programa de mantenimiento carente de trazabilidad.*- La ausencia de un historial de fallas en los equipos de la planta, imposibilita la fácil detección de la causa del problema de futuros daños.

7. *Aceptación del programa de mantenimiento dado por el fabricante.*- El fabricante proporciona en su manual un programa de mantenimiento, orientado más a la funcionalidad del equipo que a su operación según las condiciones del proceso, por lo que el programa de mantenimiento debe ser analizado para cada tipo de planta e incluir las actividades adicionales que se requieran.

8. *Variabilidad de mantenimiento preventivo entre equipos similares.*- Es un error aplicar la misma frecuencia de mantenimiento preventivo a equipos con similares características técnicas, ya que esto debe realizarse de acuerdo a las condiciones del área donde opera.

9. *Uso ineficaz de tecnología para un mantenimiento predictivo.*- La mayoría de las plantas que tienen planes de mantenimiento predictivo utilizan –sin ser necesario-, sistemas de medición con tecnología sofisticada.

10. *Falla al emplear la regla 20/80.*- La mayoría de los gerentes de mantenimiento y personal técnico encargado de planta conocen la regla 20/80, pero es común que no la apliquen en sus planes de mantenimiento, desviando así la atención de los sistemas críticos (ellos representan el 20% en fallas, que al ser solucionadas, eliminan el 80% del mantenimiento correctivo).

11. *Ausencia de compromiso de gran alcance.*- Esto se debe a la falta de compromiso a largo plazo por parte del personal, que se limita a conformarse con mejoras a corto plazo.

### **2.2.2 Propagación de soluciones**

La madurez en el mantenimiento de las industrias, ha permitido ir solucionando los problemas comunes de mantenimiento mediante una propagación de soluciones desarrolladas en programas y metodologías. Es así que los encargados de las plantas muchas veces realizan reingeniería de los

planes que tienen, pasando de una metodología a otra, tales como Mantenimiento de Calidad Total (TQM.- total quality maintenance) o Mantenimiento Productivo Total (TPM.- Total productive maintenance).

La clave de un mantenimiento de clase mundial se basa en la optimización del mantenimiento; que incluye una serie de experimentos organizacionales complejos y la aplicación de mejores prácticas<sup>1</sup>.

### **2.2.3 Una visión emergente para la optimización del mantenimiento**

El Mantenimiento es uno de los costos operativos controlables más grandes en las industrias y de gran movimiento de capital por el tipo de inversión que esta realiza. Es también una función crítica del negocio que tiene un impacto en el riesgo comercial, la producción de la planta, la calidad del producto, el costo de producción, la seguridad y el desempeño del entorno. Por lo indicado, una visión emergente es considerarlo como un alto proveedor de la función del negocio; un socio valioso que

---

<sup>1</sup> Las “mejores prácticas” pretenden identificar acciones puntuales, procesos y/o equipos que son directamente relacionados a logros específicos, ganancias o eficiencias las mismas que pueden ser evaluadas. Usualmente cada organización tiene al menos una mejor práctica, que otras emularían si fueran conocidas.

contribuye a adquirir capacidades y mejorar continuamente el desempeño de los activos.

#### **2.2.4 Acercamiento a un mantenimiento de clase mundial**

El mantenimiento de clase mundial es un conjunto de mejores prácticas operacionales, que reúne elementos de distintos enfoques organizacionales con visión de negocio, para crear un todo armónico de alto valor práctico, las cuales aplicadas en forma coherente generan ahorros sustanciales a las empresas.

La categoría clase mundial, exige la focalización de los siguientes aspectos: Excelencia en los procesos medulares, calidad y rentabilidad de los productos, motivación y satisfacción personal y de los clientes, máxima confiabilidad, logro de la producción requerida, máxima seguridad personal y máxima protección ambiental.

Por consiguiente existen diez mejores prácticas que sustentan el mantenimiento clase mundial.

**1.- Organización centrada en equipos de trabajo:**

Se refiere al análisis de procesos y resolución de problemas a través de equipos de trabajo multidisciplinarios y a organizaciones que evalúan y reconocen formalmente esta manera de trabajar.

**2.- Contratistas orientados a la productividad:**

Se debe considerar al contratista como un socio estratégico, donde se establecen pagos vinculados con el aumento de los niveles de producción, con mejoras en la productividad y con la implantación de programas de optimización de costos. Todos los trabajos contratados deben ser formalmente planificados, con alcances bien definidos y presupuestados, que conlleven a no incentivar el incremento en las horas - hombres utilizadas.

**3.- Integración con proveedores de materiales y servicios:**

Considera que los inventarios de materiales sean gerenciados por los proveedores, asegurando las cantidades requeridas en el momento apropiado y a un costo total óptimo. Por otro lado, debe existir una base consolidada de proveedores confiables e integrados con los procesos para los cuales se requieren tales materiales.

**4.- Apoyo y visión de la gerencia:**

Involucramiento activo y visible de la alta Gerencia en equipos de trabajo para el mejoramiento continuo, adiestramiento, programa de incentivos y reconocimiento, evaluación del empleado, procesos definidos de selección y empleo.

**5.- Planificación y Programación Proactiva:**

La planificación y programación son bases fundamentales en el proceso de gestión de mantenimiento orientada a la confiabilidad operacional. El objetivo es maximizar efectividad (eficacia y eficiencia) de la capacidad instalada, incrementando el tiempo de permanencia en operación de los equipos e instalaciones, el ciclo de vida útil y los niveles de calidad que permitan operar al más bajo costo por unidad producida.

**6.- Procesos orientados al mejoramiento continuo:**

Consiste en buscar continuamente la manera de mejorar las actividades y procesos, siendo estas mejoras promovidas, seguidas y reconocidas públicamente por las gerencias. Esta filosofía de trabajo es parte de la cultura de todos en la organización.

**7.- Gestión disciplinada de disponibilidad de materiales:**

Procedimiento de disponibilidad de materiales homologado y unificado en toda la corporación, que garantice el servicio de los mejores proveedores, balanceando costos y calidad, en función de convenios con tiempos de entrega oportunos y utilizando modernas tecnologías de suministro.

**8.- Integración de sistemas:**

Se refiere al uso de sistemas estándares en la organización, alineados con los procesos que apoyen y faciliten la captura y registro de datos para análisis.

**9.- Gerencia disciplinada de paradas de plantas:**

Paradas de plantas con visión de gerencia de proyectos con una gestión rígida y disciplinada, liderada por profesionales. Se debe realizar adiestramiento intensivo en paradas tanto a los custodios como a los contratistas y proveedores, y la planificación de las paradas de planta debe realizarse con anticipación al inicio de la ejecución física involucrando a todos los actores bajo procedimientos y prácticas de trabajo documentadas.

### **10.- Producción basada en confiabilidad:**

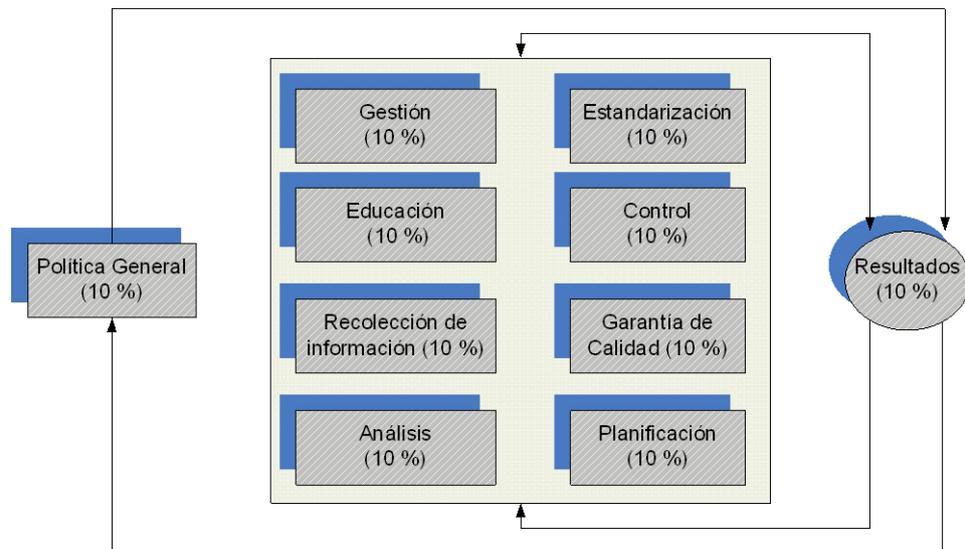
Grupos formales de mantenimiento predictivo y confiabilidad deben aplicar sistemáticamente las más avanzadas tecnologías y metodologías existentes del mantenimiento. Este grupo debe tener la habilidad de predecir el comportamiento de los equipos con anticipación y coordinar la realización de procesos formales de "análisis causa-raíz" y otras herramientas de confiabilidad.

### **2.3 Sistema de calidad Deming**

Edward Deming fue estadista, profesor y fundador de la Calidad Total (Total Quality). Durante la Segunda Guerra Mundial, él y otros habían enseñado al personal técnico de las industrias de guerras norteamericanas los conceptos de "*Control Estadístico de Calidad*". Enterados de la labor de Deming, los japoneses fueron en busca de él en 1950. Deming a la edad de 49 años enseñó un nuevo sistema a los administradores, ingenieros y científicos japoneses quienes supieron poner en práctica como producir calidad.

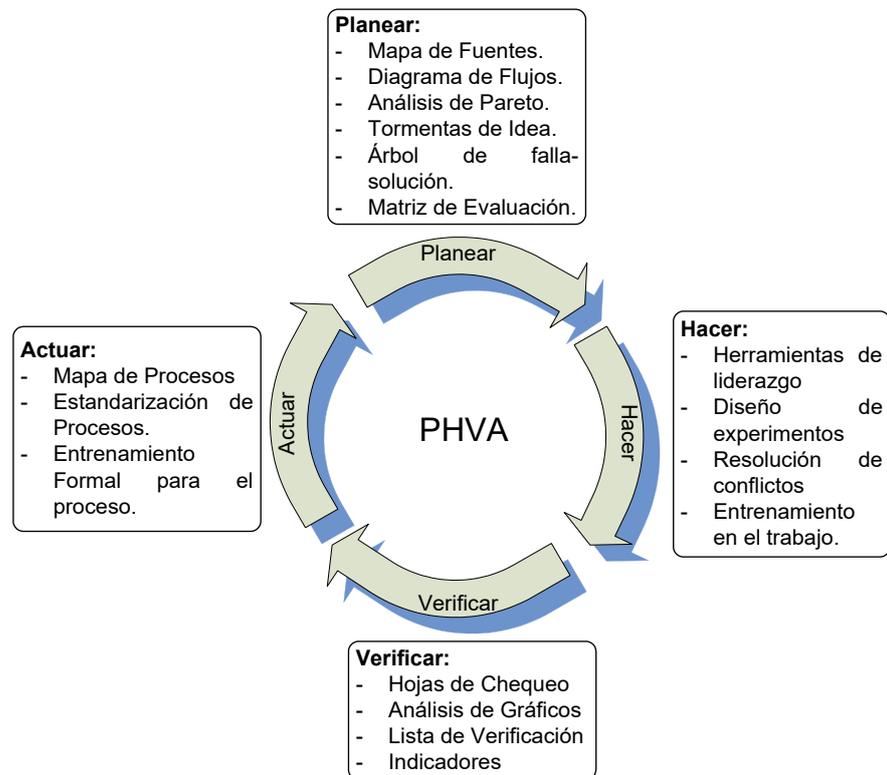
El modelo de excelencia de Deming, se basa en los siguientes catorce puntos:

1. Crear constancia de satisfacción a los clientes.
2. Adoptar nueva filosofía de calidad.
3. No depender de la inspección masiva (Adoptar control estadístico).
4. No adoptar siempre lo más barato sino lo más económico.
5. Mejorar constantemente y siempre el proceso de producción y de servicio.
6. Instituir la capacitación en el trabajo (Gente capacitada - mayor productividad)
7. Instituir el liderazgo.
8. Desterrar el temor (Permitir que la gente piense, que no tenga miedo).
9. Romper barreras entre departamentos (Crear comunicación en el staff mercadeo-producción.
10. Evitar el señalamiento continuo de calidad.
11. Eliminar cuotas numéricas (Más producción de la apropiada - baja de calidad).
12. Reconocer la calidad (Que se sienta el empleado orgullo de su trabajo).
13. Entrenamiento sin fin - curva de aprendizaje (Como lo está haciendo y como hacerlo).
14. Tomar las medidas para lograr la transformación.



**Figura 2.2.-** Modelo de Calidad de Deming

El sistema sigue el ciclo planificar, hacer, verificar, actuar (PDCA: Plan, Do, Check, Act), también conocido como "círculo de Deming", que es una estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos, basada en un concepto ideado por Walter A. Shewhart.



**Figura 2.3.-** Ciclo de la Mejora Continua de Deming

### **PLANEAR (Plan)**

- Identificar el proceso que se quiere mejorar.
- Recopilar datos para profundizar en el conocimiento del proceso.
- Analizar e interpretar de los datos.
- Establecer los objetivos de mejora.
- Detallar las especificaciones de los resultados esperados.
- Definir los procesos necesarios para conseguir estos objetivos, verificando las especificaciones.

**HACER (DO)**

- Ejecutar los procesos definidos en el paso anterior.
- Documentar las acciones realizadas.

**REVISAR (CHECK)**

- Pasado un periodo de tiempo previsto de antemano, volver a recopilar datos de control y analizarlos, comparándolos con los objetivos y especificaciones iniciales, para evaluar si se ha producido la mejora esperada.
- Documentar las conclusiones.

**ACTUAR (ACT)**

- Modificar los procesos según las conclusiones del paso anterior para alcanzar los objetivos con las especificaciones iniciales, si fuese necesario.
- Aplicar nuevas mejoras, si se han detectado en el paso anterior.
- Documentar el proceso.

## **2.4 Tipos de mantenimiento**

### **2.4.1 Mantenimiento Preventivo**

Consiste en un grupo de tareas planificadas, direccionadas en el tiempo (periódicas). La regla es aplicar la tarea de mantenimiento a intervalos definidos como, ciclos, turnos, horas de trabajo, estaciones del año, etc.; con el objetivo de garantizar que los activos cumplan con las funciones requeridas en el ciclo operacional previsto, alargar sus ciclos de vida y mejora la eficiencia de los procesos.

Si se opta por este tipo de mantenimiento, se debe tener en cuenta que:

- Un bajo porcentaje de mantenimiento, ocasionaría muchas incidencias y reparaciones y por lo tanto, un elevado lucro.
  
- Un alto porcentaje de mantenimiento, ocasionaría pocas incidencias y reparaciones, pero demasiadas interferencias en la producción.

### **2.4.2 Mantenimiento Predictivo**

Consiste en un grupo de tareas planificadas, direccionadas en la condición y basadas en programas de inspección de equipos, los cuales se adelanta al suceso de las fallas, es decir, es un mantenimiento que detecta las fallas potenciales con el sistema en funcionamiento.

Con los avances tecnológicos se hace más fácil detectar las fallas potenciales, ya que se cuenta con sistemas que permiten realizar el seguimiento y medición de algunos parámetros como son, la temperatura, la presión, la velocidad lineal o angular, los ruidos y vibraciones, la rigidez dieléctrica, la viscosidad de los aceites, el contenido de humedad y de impurezas; etc.

### **2.4.3 Mantenimiento Correctivo**

También denominado Mantenimiento Reactivo, consiste en un grupo de tareas no planificadas (tareas de reparación) que tienen como objetivo restaurar la función de un activo una vez producido un paro imprevisto.

Las causas que pueden originar un paro imprevisto se deben a:

- Desperfectos no detectados durante las inspecciones predictivas.

- Errores operacionales.
- Ausencia de tareas mantenimiento.
- Políticas de "repara cuando falle" (RTF)<sup>2</sup>.

Existen desventajas cuando dejamos trabajar una máquina hasta la condición de reparar cuando falle, ya que generalmente los costos por impacto total son mayores que si se hubieran realizado las tareas de mantenimiento adecuadas.

Normalmente el costo de la solución de este tipo de táctica es significativamente mayor cuando se produce en máquinas o procesos denominados críticos. Esto se debe a que a las rupturas e incidencias desencadenan otras incidencias, aumentando la envergadura del problema. Sin embargo puede ser una decisión acertada en costos, cuando se produce en equipos no críticos.

#### **2.4.4 Mantenimiento Productivo Total (TPM)**

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es un moderno sistema gerencial de soporte al desarrollo de la industria, que permite con la

---

<sup>2</sup> RTF: por sus siglas en inglés Run to Failure

participación total del personal tener equipos de producción siempre listos. Su metodología, soportada por técnicas de gestión, establece las estrategias adecuadas para mejorar la productividad empresarial, con miras a lograr afrontar con éxito y competitividad, el proceso de globalización y apertura de la economía.

El TPM incluye las cinco metas siguientes:

- Mejora de la Eficacia de los Equipos
- Mantenimiento Autónomo por operadores
- Planeación y programación óptima de un sistema Preventivo – Predictivo
- Mejoramiento de la habilidad operativa
- Gestión Temprana de Equipos para evitar problemas futuros

En el TPM todos los problemas de operación de los equipos se consideran pérdidas de su función, las cuales deben ser monitoreadas y agrupadas en “las seis grandes pérdidas”:

- Pérdidas por averías
- Pérdidas de preparación y ajustes

- Inactividad y paradas menores
- Pérdidas de velocidad reducida
- Pérdidas de puesta en marcha
- Defectos de calidad y repetición de trabajos

## **2.5 Teoría del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**

### **2.5.1 Introducción**

La idea de mantenimiento esta cambiando debido a un aumento de mecanización, a una mayor complejidad de la maquina, a nuevas técnicas de mantenimiento y a enfoques organizacionales de seguridad y medio ambiente.

Frente a esta avalancha de cambios, el personal que dirige mantenimiento trata de encontrar un marco de trabajo que sintetice los nuevos avances en un modelo coherente, tal como lo es el “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad” o MCC.

### **2.5.2 Aspectos históricos**

La causa principal por la que surgió el MCC fue debido a que, al final de los 1950 dos tercios de los accidentes en la aviación comercial mundial ocurridos eran causados por fallas en los equipos, lo que implicaba que, al menos inicialmente, el principal enfoque tenía que hacerse en la seguridad de los mismos. Todos esperaban que los motores y otras partes importantes se gastaran después de cierto tiempo. Esto los condujo a creer que las reparaciones periódicas retendrían las piezas antes de que se gastaran y así prevenir fallas. En esos días, mantenimiento significaba una cosa: reparaciones periódicas.

Cuando la idea parecía no estar funcionando, cada uno asumía que ellos estaban realizando muy tardíamente las reparaciones; después de que el desgaste se había iniciado. Naturalmente, el esfuerzo inicial era para acortar el tiempo entre reparaciones. Cuando hacían las reparaciones, los gerentes de mantenimiento de las aerolíneas hallaban que en la mayoría de los casos, los porcentajes de falla no se reducían y por el contrario se incrementaban.

De esta manera el MCC tiene sus inicios a principios de 1960. El trabajo del desarrollo inicial fue hecho por la Industria de la Aviación Civil

Norteamericana. Y se hizo realidad cuando las aerolíneas comprendieron que muchas de sus filosofías de mantenimiento eran no sólo costosas sino también altamente peligrosas.

A mediados de 1970, el gobierno de los Estados Unidos de América quiso saber más acerca de la filosofía moderna en materia de mantenimiento de aeronaves y solicitaron un reporte sobre éste a la industria aérea. Dicho reporte fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines. Ellos lo titularon “RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE” (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD), fue publicado en 1978, y aún sigue siendo uno de los documentos más importantes en la historia del manejo de los activos físicos.

Es así que el MCC demostró ser muy valioso en la Industria Aeronáutica, no solo disminuyendo costos y actividades de mantenimiento, sino que además mejorando los niveles de confiabilidad, disponibilidad y seguridad. Por lo que estos excelentes resultados hicieron que otras industrias se interesaran en el MCC, tales como el sector militar, petrolero y generación eléctrica.

### 2.5.3 Confiabilidad y Conceptos de Probabilidades

Hoy en día los procesos industriales, están orientados hacia el continuo incremento de la confiabilidad operacional de sus equipos/sistemas, mediante un análisis de tendencia de indicadores de gestión tales como: Disponibilidad (D), Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF) y Tiempo Promedio para Reparar (TPPR).

Las causas que inciden negativamente en los indicadores son la obsolescencia de los equipos y la deficiencia en la aplicación del mantenimiento preventivo; por lo que las oportunidades de mejora, se centran en una táctica de confiabilidad, soportada en:

- 1.- Políticas de Mantenimiento Basadas en Criticidad
- 2.- Detección y Diagnóstico de Fallas.
- 3.- Medición y control confiables
- 4.- Sistemas con bajo requerimiento de mantenimiento
- 5.- Sistemas con capacidad de auto-diagnóstico en línea.

La confiabilidad de los sistemas en la Industria la podemos clasificar en:

**Confiabilidad Intrínseca:**

- Conceptualización; redundancias, expansión futura.
- Ingeniería; normas, mantenibilidad, compatibilidad de las partes.
- Procura; calidad, manuales, repuestos.
- Construcción; normas, documentación.
- Aceptación; protocolos, documentación.
- Arranque y puesta en producción
- Adiestramiento y narrativas.

**Confiabilidad Operacional:**

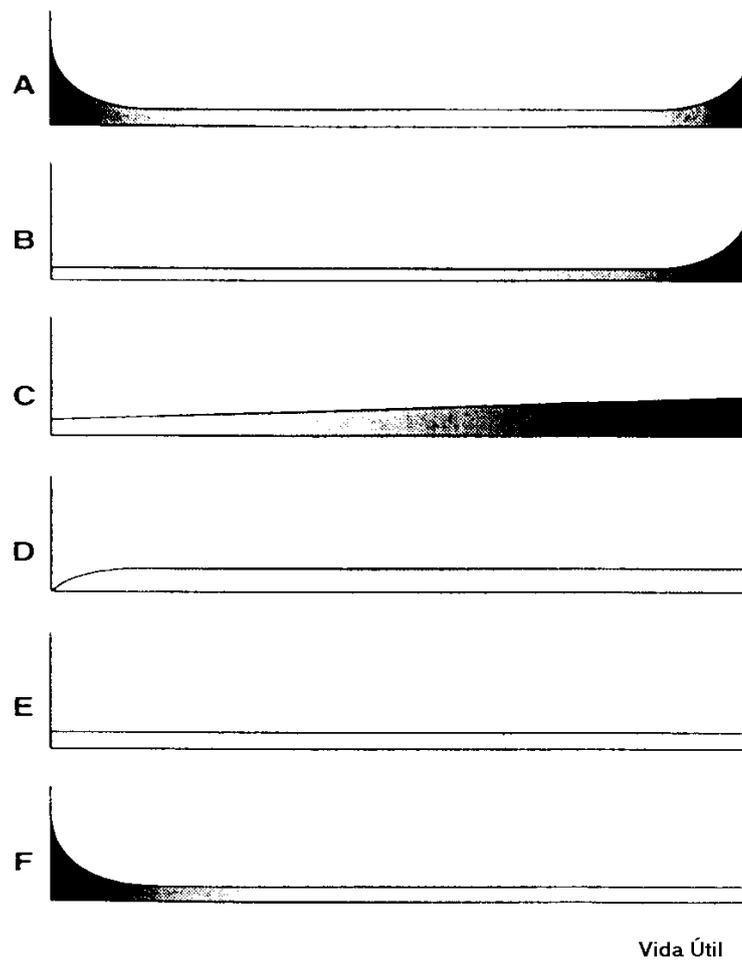
Confiabilidad operacional es de naturaleza dinámica y de ella depende la maximización de la productividad y de la vida útil del sistema.

- Operación; límites operacionales, respetar plan de mantenimiento.
- Mantenimiento, protocolos, políticas de mantenimiento, adiestramiento.

Lograríamos entonces otro período de tiempo, igual a la vida útil del nuevo componente, en el cual mantendríamos acotada la probabilidad de falla. La contradicción evidente será entonces que si se están cambiando o reacondicionando los componentes antes que se cumpla su vida útil y este cambio o reparación se atrasan, la probabilidad condicional de falla se

incrementará significativamente, con lo que no podría afirmarse que el nivel de riesgo se mantenga o que no tendrá consecuencias sobre la seguridad.

Lo que podría alegarse para salvar esta contradicción es que, en realidad, no existe un solo patrón de fallas, sino que existen seis:



**Figura 2.4.-** Gráfico de Diferentes Patrones de Falla

- Patrón A: Alta “mortalidad infantil” seguida de un bajo nivel de fallas aleatorias, terminando en una zona de desgaste.
- Patrón B: Pocas fallas aleatorias terminando en una zona de desgaste.
- Patrón C: Un constante incremento en la probabilidad de falla infantil seguida de un comportamiento aleatorio de la probabilidad de fallas.
- Patrón D: Un rápido incremento de la probabilidad de falla seguido de un comportamiento aleatorio.
- Patrón E: Ninguna relación entre la edad de los equipos y la probabilidad de que fallen.
- Patrón F: Alta mortalidad infantil seguida de un comportamiento aleatorio de la probabilidad de fallas.

Pero sólo en los patrones de falla A, B y C existe cierta relación entre la edad y el incremento de la probabilidad de falla y por lo tanto sólo en ellos puede aplicarse el reacondicionamiento o la sustitución periódica y para estos tres patrones, el atraso de un mantenimiento programado incrementará el riesgo de la falla.

Si por el contrario se dijera que la mayoría de las fallas responde a un patrón de fallas B y que los componentes están recibiendo mantenimiento por programa mucho antes de lo programado para mantener su probabilidad de falla baja, podríamos contra argumentar que se está haciendo sobre mantenimiento, porque hasta que se cumpla su vida útil, la probabilidad de falla continuará siendo tan acotada como en cualquier momento previo. Descubriríamos entonces una de las causas por las cuales el costo de mantenimiento de cualquier planta es elevado sin tener una razón técnica o estadística que sostenga este punto de vista.

#### **2.5.4 Indicadores del mantenimiento confiable**

El tener una buena administración del mantenimiento permite aumentar la productividad no solo en esta área, sino que sus consecuencias se verán reflejadas en diferentes áreas de toda la empresa.

Para poder conocer el estado de una planta, es necesario medir el desempeño de algunos procesos. Para ello la empresa se vale de indicadores, los cuales son calculados en periodos determinados de tiempo y comparados con los de periodos anteriores.

En base a esta comparación, los administradores o supervisiones, conocerán el estado actual de la empresa, identificarán áreas de oportunidad para mejorar procesos, eficiencias o desempeño en cualquier área, es decir los indicadores de desempeño son usados para destacar un punto débil y posteriormente analizarlo con mayor detalle para detectar el problema que hace que el indicador sea negativo.

Dentro de los objetivos de los indicadores de desempeño en el área de mantenimiento esta proporcionar información relevante para conocer y evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos, componentes, el nivel de mantenimiento preventivo o correctivo dentro de la planta, los costos incurridos, y el nivel de desempeño del personal de mantenimiento.

Una vez definidos nos ayudaran a detectar y corregir problemas lo más pronto posible para evitar que continúe la manufactura de producto de mala calidad o el paro de equipo; disminuyendo de esta manera la pérdida de tiempo, costos y esfuerzos.

Dentro de los indicadores de desempeño más importantes en el mantenimiento confiable tenemos:

- **Tiempo Promedio para Reparar (TPPR):** Mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo. Va asociado con mantenibilidad.  
Tiempo Promedio para reparar (TPPR) = Tiempo de Reparación / número de fallas
- **Disponibilidad (D).**- Permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.  
Disponibilidad = Tiempo de Operación neta / (Tiempo Operación neta + Tiempo reparación)
- **Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF):** Indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo, es decir, es el tiempo medio hasta la llegada del intervalo de fallo.  
Tiempo promedio entre fallas (TPEF) = Tiempo de Operación neta / número de fallas

### 2.5.5 Regla 80-20

La regla 80-20 es también conocida como el Principio de Pareto, indica que el 20% de las causas resuelven el 80% del problema y el 80% de las

causas solo resuelven el 20% del problema. Para aplicar este principio, lo que se hace es seleccionar el problema a investigar (Ejemplo: Objetos defectuosos); determinar los tipos de datos que ocasionan el problema (Ejemplo: tipo de defecto, localización, proceso, maquina, etc.), definir el método de recolección de datos, tabular los datos que producen el problema hasta llegar al 80% y tomar las acciones correctivas que permitan eliminar las causas que ocasionan el problema.

### 2.5.6 La curva de la bañera

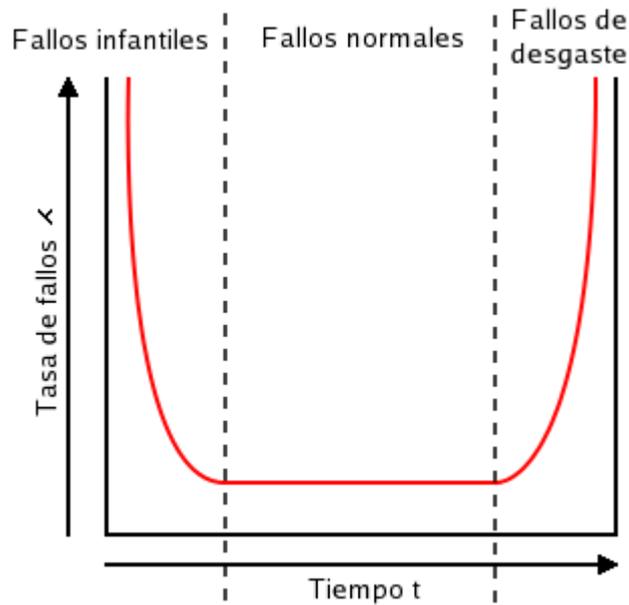
La curva de la bañera es un gráfica que representa los fallos durante el período de vida útil de un sistema o máquina. Se llama así porque tiene la forma una bañera cortada a lo largo.

La teoría de fallas menciona tres etapas bien diferenciadas:

- **Fallos iniciales:** Caracterizada por una elevada tasa de fallos que descende rápidamente con el tiempo. Estos fallos pueden deberse a diferentes razones como equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo, desconocimiento del equipo por parte de los operarios, desconocimiento del procedimiento adecuado.

- **Fallos normales:** etapa con una tasa de errores menor y constante. Los fallos no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas. Estas causas pueden ser accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas y otros sucesos fortuitos.
- **Fallos de desgaste:** etapa caracterizada por una tasa de errores rápidamente creciente. Los fallos se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo.

En resumen mostramos la siguiente gráfica que es conocida como la curva de la bañera. Comienza con un período de mortalidad infantil (falla de infancia) que tiene una incidencia de falla alta que va decreciendo a medida que transcurre el tiempo, la frecuencia de falla disminuye hasta llegar a estabilizarse en un índice aproximadamente constante. Luego comienza el período de operación normal (falla aleatoria) donde el índice de fallas permanece aproximadamente constante y éstas pueden ocurrir en cualquier edad. Por último ocurre el período de desgaste (falla por edad) que se caracteriza porque el índice de fallas aumenta a medida que transcurre el tiempo.



**Figura 2.4.-** Curva de la bañera

### 2.5.7 Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF)

Es un proceso sistemático para la identificación de fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Es considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total.

Se puede utilizar en cualquier clase de empresa, ya sea que se encuentre en operación o en fase de proyecto; así como también es aplicable para sistemas administrativos y de servicios.

Este tipo de análisis aumenta la confiabilidad y soluciona problemas anticipadamente; el AMEF se debe actualizar con frecuencia, debido a las variaciones periódicas de los procesos, para re-calcular el número prioritario, evaluar las acciones tomadas y analizar si surtieron efecto o no.

### **Objetivos Principales**

- Reconoce y evalúa modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto.
- Determina los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- Identifica las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
- Analiza la confiabilidad del sistema.
- Documenta el proceso.

### **Requerimientos del AMEF**

- Un equipo de personas con el compromiso de mejorar la capacidad de diseño.
- Diagramas esquemáticos y de bloque de cada nivel del sistema, desde sub-ensambles hasta el sistema completo.

- Especificaciones de los componentes, lista de piezas y datos del diseño.
- Especificaciones funcionales de módulos, sub-ensambles, etc.
- Requerimientos de manufactura y detalles de los procesos que se van a utilizar.
- Formas de AMEF (en papel o electrónicas) y una lista de consideraciones especiales que se apliquen al producto.

### **Implementación**

Se debe crear una tabla de nueve columnas (véase Tabla 2.1), nombrando a las columnas como:

- Modo de falla
- Causa de la falla
- Efecto de la falla
- Frecuencia de ocurrencia
- Grado de severidad
- Probabilidad de detección
- Prioridad de riesgo
- Diseño de curso de acción
- Validación del diseño

**Pasos de implementación:**

1. Usar lluvia de ideas para identificar todos los modos de falla: Enlistar cada modo en una línea por separado en la columna 1.
2. Identificar todas las posibles causas de falla para cada modo: Utilizar una lluvia de ideas para crear una lista de todas las posibles causas y agregarlas a la columna 2.
3. Determinar el efecto probable de cada falla: En la tercera columna identificar el impacto potencial de las fallas sobre el cliente, el producto o el proceso.
4. Asignar los valores apropiados en las columnas 4, 5 y 6: En estas columnas se asignan los valores del 1 al 10 para la frecuencia de ocurrencia, la severidad de la falla y la probabilidad de detectar el problema, según los criterios de las tablas 2.2, tablas 2.3 y tablas 2.4 respectivamente.
5. Calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) para cada causa de falla: Multiplicar o sumar los números en las columnas en 4, 5, 6 y colocar el resultado en la columna 7.
6. Identificar una solución para cada modo de falla: Diseñar acciones que disminuirán considerablemente el nivel de fallas.
7. Validar cada acción: diseñar un método de verificación para constatar que el remedio está siendo puesto en práctica.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falla	Causa de falla	Efecto de falla	Frecuencia de ocurrencia (1 - 10)	Grado de severidad (1 - 10)	Oportunidad de detección	Prioridad de riesgo	Acción	Validación
Hardware no instalado a tiempo	Retraso en el envío del fabricante	Perdida de tiempo (\$)	2	6	8	96	Revisión de los tiempos con el proveedor	Formatos de envío
	Inexactitud estimada del tiempo requerido	Perdida de tiempo (\$)	3	4	1	12		
	Instaladores no disponibles fuera del horario	Perdida de tiempo (\$)	6	4	3	72		
	Extravío de componentes	Perdida de tiempo (\$)	5	7	5	175	Instaladores verifican componentes necesarios para el trabajo	Lista preliminar para trabajos
Hardware instalado de manera inapropiada	Personal de instalación sin experiencia	Hardware debe ser reinstalado	1	8	10	80		
	Requerimientos no claros del cliente	Hardware debe ser reinstalado	7	8	7	392	Llamadas o contacto con los instaladores para verificar el diseño	

**Tabla 2.1.- Ponderación para AMEF**

DETECCIÓN	CRITERIOS DE OCURRENCIA	VALOR
MUY ALTA	La falla es casi inevitable	10 - 9
ALTA	Asociado generalmente a los procesos similares que han fallado anteriormente	8 - 7
MODERADA	Asociado generalmente a los procesos similares previos que han experimentado incidentes ocasionales, pero no en proporciones importantes	6 - 5
BAJA	Los incidentes aislados se asociaron a procesos similares	4 - 3
MUY BAJA	Solamente los incidentes aislados se asocian a procesos casi idénticos	2
REMOTA	La falla es poco probable	1

**Tabla 2.2.- Criterios de ocurrencia para AMEF**

<b>SEVERIDAD</b>	<b>CRITERIOS DE SEVERIDAD DEL EFECTO</b>	<b>VALOR</b>
<b>MUY ALTA</b>	La falla potencial afecta la operación del producto, implica la no conformidad con la regulación del gobierno.	10 - 9
<b>ALTA</b>	La falla potencial afecta la operación del producto, pero no implica la no conformidad con la regulación del gobierno	8 - 7
<b>MODERADA</b>	El producto es operable, pero el ítem(s) de la comodidad o de la conveniencia es inoperable	6 - 5
<b>BAJA</b>	El producto es operable con un nivel reducido de inconformidad.	4
<b>MUY BAJA</b>	La mayoría de los clientes notan los defectos	3
<b>DE MENOR IMPORTANCIA</b>	Los clientes medios notan los defectos.	2
<b>MUY MENOR IMPORTANCIA</b>	Solo los clientes exigentes notan el defecto	1

**Tabla 2.3.-** Criterios de severidad del efecto para AMEF

<b>DETECCIÓN DE LA FALLA</b>	<b>CRITERIOS DE DETECCIÓN</b>	<b>VALOR</b>
<b>Incertidumbre Absoluta</b>	El control del diseño no detecta una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente; o no hay control del diseño	10
<b>Muy Alejado</b>	La probabilidad muy alejada de que el control del diseño detecte una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	9
<b>Alejado</b>	La probabilidad alejada de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	8
<b>Muy Bajo</b>	La probabilidad muy baja el control del diseño detectará un potencial Causa del incidente o del modo de fallo subsecuente	7
<b>Bajo</b>	La probabilidad baja el control del diseño detectará un potencial Causa del incidente o del modo de fallo subsecuente	6
<b>Moderado</b>	La probabilidad moderada de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	5
<b>Moderadamente Alto</b>	La probabilidad moderado alta de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	4
<b>Alto</b>	La alta probabilidad de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	3
<b>Muy Alto</b>	La probabilidad muy alta de que el control del diseño detectará una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	2
<b>Casi Seguro</b>	El control del diseño detectará casi ciertamente una causa potencial del incidente o del modo de fallo subsecuente	1

**Tabla 2.4.-** Criterios de detección para AMEF

- Una vez implantadas las acciones correctivas, con objeto de mejorar los Números de Prioridad del Riesgo en los modos de fallos seleccionados, el equipo AMEF se debe reunir con los responsables de la implantación, para evaluar los resultados.
  
- Con estos datos, el equipo AMEF comienza a redefinir la probabilidad de ocurrencia, la gravedad y la probabilidad de no detección de aquellos modos de fallo sobre los que se hayan tomado acciones correctoras, con objeto de calcular el nuevo Número de Prioridad del Riesgo (NPR).

## **Capítulo 3**

### **3. PLANEACIÓN Y DESARROLLO DEL CONCEPTO DEL MCC**

Como en los últimos años el mantenimiento ha recibido brillantes aportes provenientes del campo de la estadística y de la teoría de la confiabilidad, el mantenimiento de aeronaves ha sido el motor que ha activado los mejores planeamientos dentro del mantenimiento.

Ante esta situación, puede ser de primera necesidad el conseguir y seguir un método que pretenda únicamente unificar criterios dentro de una misma organización. Criterios que se basan en la lógica y el conocimiento de los equipos y de sus misiones. Son los mismos parámetros que se aplican a diario, pero sistematizados para obtener una mayor uniformidad. El plan así diseñado, puede ser un buen punto de partida para que posteriormente sea afinado y retocado con aportaciones de mayor nivel.

Esta técnica selecciona el mantenimiento solo donde las consecuencias de las fallas así lo requieren, para esto se debe hacer un estudio exhaustivo de todas las funciones, fallas, modos y consecuencias de las fallas, para poder decidir donde y que tipo de mantenimiento hacer. Establece un orden de prioridades como: la seguridad, producción, costos de reparación, y esto ha hecho que sea una herramienta valiosa en las industrias que requieren altos niveles de seguridad, generando cambios de los esfuerzos y resultados satisfactorios.

Para realizar una correcta planeación, se debe realizar un estudio de competitividad el cual depende de la productividad con que se empleen los recursos, lo que a su vez es función tanto de la calidad y características de los productos como de la eficiencia con la que se produce.

En este contexto se analizará el desarrollo de competitividad en una industria de bebidas, tomando como base un mantenimiento de clase mundial como es el MCC.

### **3.1. DECLARACION DE OBJETIVOS**

La declaración de los objetivos se la ha subdividido en la búsqueda de objetivos empresariales, primarios y secundarios los cuales van a permitir visualizar las necesidades de una mejor estrategia para el desarrollo de la

implementación de planes de mantenimiento, además de definir las herramientas con las cuales se efectuara el análisis y el personal involucrado para el cumplimiento de este propósito.

### ***Objetivos empresariales***

1. Aumentar la operabilidad de equipos disminuyendo costos por mantenimiento y por tiempos muertos.
2. Expandir la ideología del MCC en la Industria, sirviendo como plataforma para futuros proyectos de programas de mantenimiento.
3. Involucrar al personal en el desarrollo del proyecto para que tenga un criterio más amplio de la maquinaria que interviene en el proceso de producción.

### ***Objetivos Primarios***

- Incorporar el MCC en los planes de mantenimiento de la línea de líquidos en la industria de alimentos.
- Aumentar la disponibilidad de producción la línea de líquidos, mediante la reducción de tiempos muertos y tiempos de mantenimiento innecesarios.

- Identificar los equipos de mayor criticidad en la Planta para posteriormente realizar el Análisis de Modos y Efectos de Falla.

### ***Objetivos Secundarios***

- Crear registros de datos con información acerca del historial de fallas y mantenimiento de cada equipo, para tomar mejores decisiones en problemas futuros.
- Definir las funciones y parámetros de funcionamiento de la máquina en su verdadero contexto operacional.

### ***Herramientas a utilizar en el proceso de análisis.***

- Análisis de criticidad
- Regla 80/20
- Análisis de modo y efecto de falla.

### ***Personal involucrado***

En la práctica no solo el personal de mantenimiento debe proporcionar comentarios sobre el proceso y el equipo sino también el personal operativo o de producción, por lo que una revisión de los requerimientos del mantenimiento de cualquier equipo debería de hacerse por grupos de trabajo reducidos que incluyan por lo menos una persona de la función del

mantenimiento y otra de la función de producción y/o aseguramiento de la calidad, entrenados previamente en MCC.

El uso de estos grupos no sólo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte eficazmente los problemas del mantenimiento y sus soluciones.

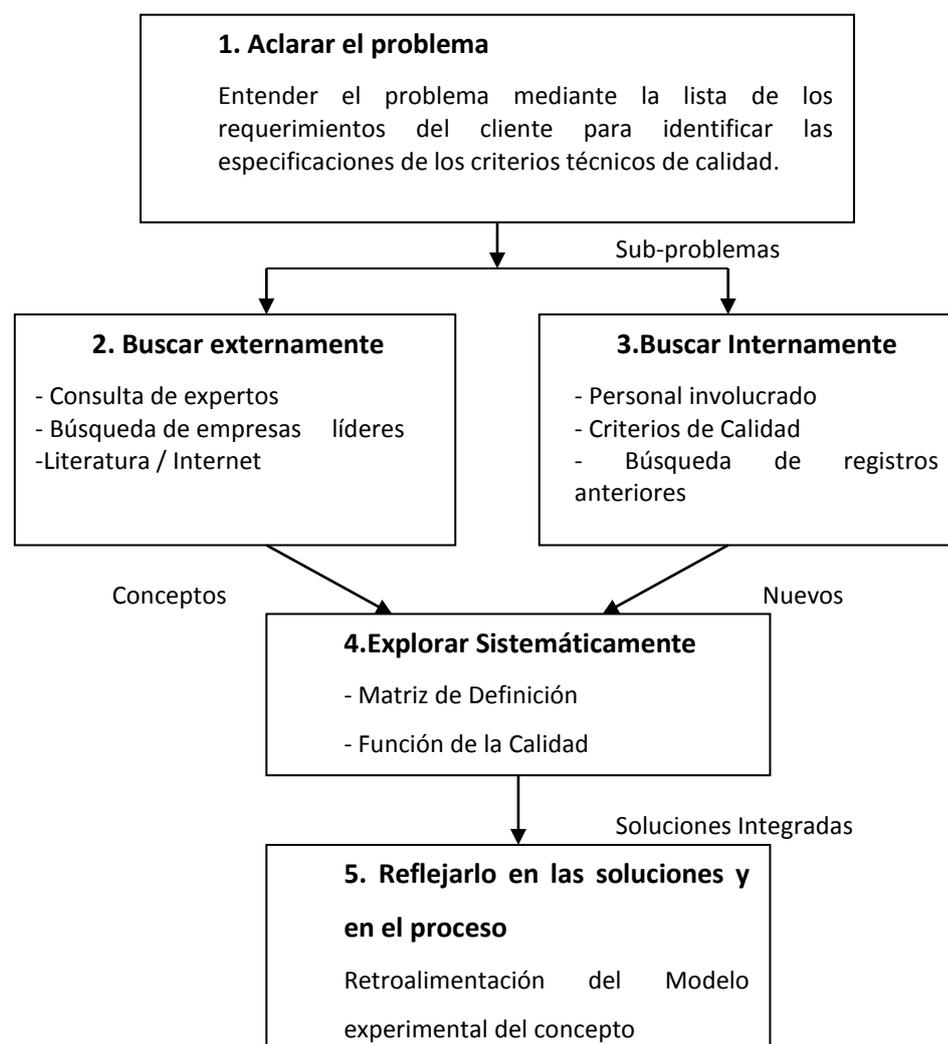
### **3.2 GENERACIÓN DEL CONCEPTO**

Un concepto de producto servicio o aplicación (PSA) es una descripción concisa sobre como el PSA va a satisfacer las necesidades del cliente. Se lo expresa como un bosquejo o un modelo experimental, y con frecuencia es acompañado por una descripción textual.

El proceso de generación del concepto comienza con un conjunto de necesidades del cliente y especificaciones objetivo, y da como resultado un conjunto de estos conceptos a partir de los cuales el equipo realizara la selección final.

Un método estructurado que brinda un procedimiento paso por paso está indicado en la Fig. 3.1. Se descompone un problema complejo en sub-problemas más simples. Luego, se identifican los conceptos de solución para los sub-problemas a través de procedimientos de investigación externos e

internos. La matriz de definición y la función de la calidad se utilizan para explorar de manera sistemática los conceptos de solución e integrar las soluciones de sub-problemas en una solución global. Por último se retrocede para reflejar todo el proceso en la validez y aplicabilidad de los resultados, así como en el proceso utilizado.



*Figura 3.1.-* Método de generación del concepto de cinco pasos

### 3.3 SELECCIÓN DEL CONCEPTO

Es el proceso de evaluar los conceptos con respecto a las necesidades del cliente, así como otros criterios, comparando las fortalezas y debilidades, y seleccionando uno o más de ellos para investigación, prueba o desarrollo adicional.

La selección del concepto con frecuencia se realiza en dos etapas como una manera para administrar la complejidad y evaluar las herramientas del PSA. La primera y la segunda etapa se construyen con el uso de matrices de visualización y puntuación del concepto respectivamente, para evaluar cada uno de ellos con respecto a un conjunto de criterios de selección.

La visualización del concepto utiliza un sistema de comparación ordinario para reducir el rango de conceptos que se están considerando. La puntuación del concepto utiliza criterios de selección ponderados y una escala de calificación mas detallada. Se puede omitir la puntuación si la visualización del concepto produce un concepto dominante.

**MATRIZ DE VISUALIZACIÓN DEL CONCEPTO**

	Conceptos						
	A	B	C	D	E	F	G
Criterios de selección	Plan de capacitación	Equipamiento	Análisis criticidad	Repuestos a tiempo	Mejora de proc. de Mant. Preventivo	Aumento de velocidad del equipo	Automatización
Aumentar la Seguridad Industrial	+	+	-	-	+	-	-
Disminución de número de fallas	0	0	+	+	+	-	0
Disminución de tiempos muertos	0	+	+	+	+	-	0
Disponibilidad de la maquinaria	0	0	+	+	+	-	+
Llevar un histórico	0	-	+	+	+	-	0
Rentabilidad	-	-	+	+	+	+	+
Confiabilidad	+	+	+	+	+	0	0
Productividad	+	+	+	+	+	+	+
Sumar +	3	4	7	7	8	2	3
Sumar 0	4	2	0	0	0	1	4
Sumar -	1	2	1	1	0	5	1
Puntuación neta	2	2	6	6	8	-3	2
Rango	3	3	2	2	1	5	3
¿Continúa?	Sí	Sí	Combinar	Combinar	Sí	No	Sí

Puntuación Relativa	
+	Mejor Que
-	Peor Que
0	Igual Que

**Tabla 3.1.- Matriz de visualización del concepto**

**MATRIZ DE PUNTUACIÓN DEL CONCEPTO**

		<b>Conceptos</b>									
		<b>A</b>		<b>B</b>		<b>CD</b>		<b>E</b>		<b>G</b>	
		<b>Plan de capacitación</b>		<b>Equipamiento</b>		<b>Análisis criticidad / Repuestos a tiempo</b>		<b>Mejora de proc. de Mant. Preventivo</b>		<b>Automatización</b>	
<b>Criterios de selección</b>	<b>Peso</b>	<b>Calificación</b>	<b>Puntuación Ponderada</b>	<b>Calificación</b>	<b>Puntuación Ponderada</b>	<b>Calificación</b>	<b>Puntuación Ponderada</b>	<b>Calificación</b>	<b>Puntuación Ponderada</b>	<b>Calificación</b>	<b>Puntuación Ponderada</b>
Aumentar la Seguridad Industrial	5%	3	0,15	4	0,2	3	0,15	4	0,2	2	0,1
Disminución de número de fallas	15%	3	0,45	2	0,3	5	0,75	3	0,45	3	0,45
Disminución de tiempos muertos	10%	3	0,3	3	0,3	4	0,4	3	0,3	3	0,3
Disponibilidad de la maquinaria	15%	4	0,6	3	0,45	4	0,6	2	0,3	2	0,3
Llevar un histórico	10%	4	0,4	1	0,1	5	0,5	4	0,4	1	0,1
Rentabilidad	15%	2	0,3	2	0,3	4	0,6	2	0,3	4	0,6
Confiability	15%	4	0,6	3	0,45	5	0,75	4	0,6	3	0,45
Productividad	15%	2	0,3	2	0,3	5	0,75	3	0,45	4	0,6
	<b>Puntuación total</b>	3,1		2,4		4,5		3		2,9	
	<b>Rango</b>	2		5		1		3		4	
	<b>¿Continúa?</b>	No		No		Desarrollar		No		No	

<b>Desempeño Relativo</b>	<b>Calificación</b>
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual a la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

**Tabla 3.2** Matriz de puntuación de concepto

Como conclusión de la selección del concepto y tomando como referencia el mantenimiento actualmente reconocido como un elemento fundamental para incrementar la competitividad industrial en un escenario de mercados globales, ha emergido como una sofisticada disciplina que combina técnicas de gestión, organización y planeamiento con aplicaciones de ingeniería avanzada.

En respuesta al desafío planteado, los aspectos distintivos del mantenimiento tradicional y los desarrollos específicos de última generación, se ha propuesto ofrecer un modelo experimental de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) enfocado a una planta de alimentos en su línea de bebidas, destinado a desarrollar las habilidades necesarias para la gestión y el eficaz mantenimiento de activos afectados a la producción de bienes y servicios.

### **3.4 MATRIZ DE DEFINICION**

La Matriz de Definición nos permite entender las necesidades del cliente y hacia donde debe ser el enfoque. La meta final es asegurar al cliente que los empleados de la compañía tienen una relación única e integrada con él y están al tanto de sus necesidades. Para poder crear esta percepción, se deben

diseñar pautas que privilegien esta meta y ayuden a fortalecer la relación, para ello se utiliza la matriz de definición que esta compuesta de dos partes: la matriz de segmentación y la matriz de obtención de información.

La matriz de segmentación permite escoger el segmento del mercado al cual está dirigido el producto, servicio o aplicación, a través de su grado de importancia.

La matriz de obtención de información registra las necesidades que han sido recabados directamente de la voz del cliente a través de encuestas, sugerencias o reclamos, a lo que se denomina hallazgos. Luego estos hallazgos son interpretados para definir cuales son los requerimientos del usuario y bajo que criterio técnico de calidad (CTC) puede ser medido.

A continuación la Matriz de Definición (Tabla 3.3) aplicada al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad:

## MATRIZ DE DEFINICIÓN

### MATRIZ DE SEGMENTACION

PRODUCTO	CLIENTE	SEGMENTO	PRIORIDAD
Planificación de Mantenimiento (MCC)	Industrias que desean aumentar la operabilidad de sus equipos disminuyendo costos por mantenimiento en base al análisis de fallas funcionales	Industrias pequeñas y medianas	Media
		Industrias grandes	Alta

### MATRIZ DE OBTENCION DE INFORMACION

### MATRIZ DE AFINIDAD

HALLAZGOS	REQUERIMIENTOS DEL USUARIO	CTC
Instrucción al personal en el uso de herramientas adecuadas.	Plan de Capacitación	% de cumplimiento del plan de capacitación
No perder tiempo de producción al realizar mediciones	Mayor productividad	Producción / horas-hombre
Aumentar la productividad	Mayor productividad	Producción / horas-hombre
Los operadores no conocen sobre la parte funcional de la máquina.	Plan de Capacitación	% de cumplimiento del plan de capacitación
Ahorro en costos de mantenimiento	Disminución de costos	% TIR (Tasa Interna de Retorno)
Servicio de calidad con buena tecnología.	Instrumentación confiable	% Error de precisión
Llevar un histórico de los datos obtenidos en las mediciones	Registrar datos	% de ordenes de trabajo que son documentadas
Aumentar la seguridad industrial	Plan de Capacitación	% de cumplimiento del plan de capacitación
Disminución de tiempos muertos	Optimizar el tiempo	Tiempo promedio entre fallas = Tiempo de Operación neta / # de fallas
En el momento de una falla eventual se disponga del repuesto.	Disponibilidad de repuesto	% de stock de repuestos críticos
Que la máquina esté disponible todo el tiempo.	Disponibilidad de equipo	Disponibilidad = Tiempo de Operación neta / (Tiempo de Operación neta + Tiempo de reparación)

Que no se demore en la reparación del equipo.	Optimizar el tiempo	Tiempo Promedio para reparar = Tiempo de Reparación / # de fallas
Tener seguridad de que el equipo trabajará en óptimas condiciones	Confiabilidad	$CONF = \frac{\sum(HCAL - HTMN)}{HCAL} \times 100$
Controlar la efectividad del proceso de mantenimiento	Optimizar el tiempo	Tiempo promedio de mantenimientos preventivos
Verificar las no conformidades tras la realización de un mantenimiento (Auditoria interna)	No Conformidades de Mantenimientos	$NCFM = \frac{NMPR - NMEJ}{NMPR} \times 100$
Cumplimiento de los servicios de mantenimiento en el menor tiempo.	Condición de servicios de mantenimiento (Alivio o sobrecarga)	$CSM = \frac{\sum HMPR - \sum HMEJ}{HMPR} \times 100$
No exagerar la actividad de mantenimiento.	Condición de servicios de mantenimiento (Alivio o sobrecarga)	$CSM = \frac{\sum HMPR - \sum HMEJ}{HMPR} \times 100$
Que el mantenimiento no se extralimite al presupuesto dado por la empresa	Relación gasto-ingreso	$CMFT = \frac{CTMN}{FTEP} \times 100$
Al terminar las tareas de mantenimiento realizar las pruebas correspondientes	Estado de las ordenes de trabajo	% de ordenes de trabajo cerradas (concluidas)
Que se cumpla el plan de mantenimiento establecido	Condición de servicios de mantenimiento (Alivio o sobrecarga)	$CSM = \frac{\sum HMPR - \sum HMEJ}{HMPR} \times 100$
Disminución del mantenimiento correctivo	Disponibilidad de equipo	Disponibilidad = Tiempo de Operación neta / (Tiempo de Operación neta + Tiempo de reparación)
Disminuir mano de obra por contratistas.	Disminución de mano de obra externa	No. Actividades tercerizadas / No. Total de actividades
Que las fallas imprevistas no afecten el funcionamiento de otro equipo	Confiabilidad	$CONF = \frac{\sum(HCAL - HTMN)}{HCAL} \times 100$
Control de repuestos utilizados	Registrar datos (material y repuestos utilizados)	% de ordenes de trabajo que son documentadas

**Tabla 3.3.- Matriz de Definición**

La Matriz de Selección de Mediciones e Indicadores (Tabla 3.4), se basa en los datos obtenidos de la Matriz de Afinidad, la cual busca simplificar los

hallazgos del cliente para luego interpretarlos según dos parámetros: *Relación* que mide la prioridad en la implementación, la cual puede ser fuerte, mediana o débil y la *Especificación Técnica*, que representa los valores mínimos a alcanzar para lograr un trabajo de Calidad.

<b>MATRIZ DE SELECCIÓN DE MEDICIONES E INDICADORES</b>		
<b>REQUERIMIENTO DEL CLIENTE</b>	<b>CTC</b>	
<b>Plan de Capacitación</b>	<b>% DE CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE CAPACITACIÓN</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Fuerte	90%
<b>Mayor productividad</b>	<b>PRODUCCIÓN / HORAS-HOMBRE</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Fuerte	Producción/hora-hombre, aumento del 10% de la productividad nominal
<b>Disminución de costos</b>	<b>% TASA INTERNA DE RETORNO</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Fuerte	TIR > 20%
	<b>% COSTO DE MANTENIMIENTO POR FACTURACIÓN (Relación gasto-ingreso)</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Mediana	± 5%
<b>Instrumentación confiable</b>	<b>% ERROR DE PRECISIÓN</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Mediana	± 5%
<b>Registrar datos</b>	<b>% DE ORDENES DE TRABAJO DOCUMENTADAS</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Mediana	>75%
<b>Optimizar el tiempo</b>	<b>% TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS (TPEF)</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Fuerte	> 240 horas-mes

	<b>% TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (TPPR)</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Fuerte	1 h
	<b>% TIEMPO PROMEDIO DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Fuerte	< 5 h
<b>No conformidades de Mantenimientos</b>	<b>% NO CONFORMIDADES DE MANTENIMIENTOS</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Mediana	< 5%
<b>Confiabilidad</b>	<b>% CONFIABILIDAD</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Fuerte	> 99%
<b>Disponibilidad de equipo</b>	<b>% DISPONIBILIDAD</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Fuerte	> 99%
<b>Condición de servicios de mantenimiento (Alivio o sobrecarga)</b>	<b>% DE CONDICIÓN DE SERVICIOS DE MANTENIMIENTO</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Mediana	± 5%
<b>Estado de las ordenes de trabajo</b>	<b>% DE ORDENES DE TRABAJO CERRADAS (CONCLUIDAS)</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Mediana	95%
<b>Disminución de mano de obra externa</b>	<b>% No. ACTIVIDADES TERCERIZADAS / No. TOTAL DE ACTIVIDADES</b>	
	<b>Relación</b>	<b>Especificación técnica</b>
	Débil	Disminuir en un 30% del valor actual

Tabla 3.4.- Matriz De Selección de Mediciones e Indicadores

### 3.5 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE LA CALIDAD

QFD (Quality Function Deployment) significa Despliegue de la Función de Calidad. Esto es, "transmitir" los atributos de calidad que el cliente demanda a través de los procesos organizacionales, para que cada proceso pueda contribuir al aseguramiento de estas características. A través de la función de la calidad, todo el personal de una organización puede entender lo que es realmente importante para los clientes y trabajar para cumplirlo.

El núcleo de la función de la calidad es un mapa conceptual que relaciona los requerimientos de los clientes con las características Técnicas de Calidad (CTC).

Estas relaciones se presentan en forma de una tabla elaborada llamada "matriz de la calidad" o "casa de la calidad" (véase Tabla 1 de los anexos). Tomados en su conjunto, los requerimientos del cliente definen la calidad de un producto y son las expresiones que los clientes utilizan para describir los productos y sus características deseables. Asociada con cada CTC existe una medida, que se usa para determinar el grado de satisfacción de los clientes con cada uno de sus requerimientos. Esta medida es fundamental para la mejora continua.

Los requerimientos del cliente se indican en la dimensión vertical de la matriz de la calidad; los CTC, en la horizontal. Tanto los primeros como los

segundos suelen ser numerosos y pueden ser agrupados en varios niveles, según su grado de relación.

Dado que no todas los CTC contribuyen a conformar un requerimiento del cliente dado, debe indicarse la relación entre las distintas combinaciones de requerimientos del cliente y CTC; esta relación se muestra en los cruces de las filas y columnas de la matriz, con símbolos que reflejan la intensidad del vínculo.

Una adecuada comprensión de las relaciones entre requerimientos del cliente y CTC facilita el balance entre las demandas de los clientes con el potencial tecnológico de la empresa.

La matriz de la calidad contiene los siguientes elementos importantes:

- Una columna con el grado de importancia (GI) que se asigna a cada requerimiento del cliente.

72

- Una columna que compara, para cada requerimiento del cliente, al PSA de la empresa con los de la competencia, según la evaluación del cliente.

- Una fila que pondera numéricamente la importancia de cada CTC con respecto a las demás.

- Una evaluación técnica comparativa de las CTC del PSA con los CTQ de uno o varios productos de la competencia.
- Un valor objetivo fijado para cada CTC.
- Un panel triangular que indica la correlación existente entre las distintas CTC.

Esto se puede visualizar en la tabla 1 de los anexos.

## **Capítulo 4**

### **4. DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL DEL MCC**

#### **4.1 Enfoque del proyecto según el tipo de industria**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad MCC es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, que puede ser aplicado a cualquier tipo de industria, principalmente en las Industrias tales como:

- ✓ Alimentos y Bebidas
- ✓ Minería
- ✓ Cartoneras
- ✓ Explotación de Petróleo
- ✓ Sistema interconectado de aguas
- ✓ Transporte de gas Natural
- ✓ Generación Energía
- ✓ Servicios Petroleros
- ✓ Químicos y Petroquímica
- ✓ Papelerías
- ✓ Plásticos
- ✓ Textileras

El MCC ha ido incursionando en estas Industrias con éxito debido a la necesidad que existe en mantener la confiabilidad y disponibilidad del proceso, aunque dependiendo de la prioridad de cada industria el MCC podría orientarse con otra visión, como por ejemplo en las refinerías en las cuales la prioridad sería la seguridad del personal y de los equipos, mientras que en las industrias de alimentos y bebidas la prioridad podría ser la inocuidad del producto.

#### **4.2 Normas de Seguridad Industrial a utilizar**

La seguridad industrial se define como un conjunto de normas que debe programarse y aplicarse en el momento oportuno, de la manera apropiada y con la continuidad suficiente, para crear un ambiente seguro de trabajo, que ayude a detectar/prevenir los accidentes y los daños tanto a la salud como al medio ambiente, en base a inspecciones de seguridad y a investigaciones de accidentes.

Las normas deben ser técnicas, elaboradas por el personal involucrado y basarse en estudios específicos de la empresa, con investigaciones de campo y teniendo en cuenta cuestiones básicas como: ambiente de trabajo,

señalización, codificación de tuberías, identificación de salidas de emergencia y puestos de auxilio inmediato.

Antes de tratar de efectuar operaciones de limpieza o mantenimiento de cualquier tipo sobre el equipo, se debe:

1. Comprobar que esté aislado de todas las fuentes de energía:

- Acometida eléctrica.
- Acometida neumática.
- Acometida hidráulica.

2. Comprobar que se ha realizado el procedimiento de bloqueo.

3. Comprobar que cualquier equipo que funcione a temperaturas elevadas se haya enfriado a una temperatura adecuada.

4. Al terminar las tareas de limpieza y mantenimiento, asegurarse de que todos los componentes estén correctamente montados y de que el funcionamiento del equipo sea seguro.

5. No hacer funcionar el equipo a menos que se hayan instalado debidamente todas las protecciones en su posición correcta. Si algunas piezas no están

instaladas correctamente (o si las protecciones no están debidamente instaladas, se pueden provocar graves lesiones).

6. Probar todos los sistemas de seguridad antes de poner el equipo de nuevo en producción.

7. Bloquear con llave todos los cuadros y armarios eléctricos que no tengan interconexiones de seguridad, de tal forma que sólo personal autorizado pueda acceder a los mismos.

### **4.3 Metodología del MCC**

#### **4.3.1 PASO1: Selección del sistema y recolección de la información**

Para tomar la decisión de implementar MCC en una planta, se deben tomar en cuenta dos puntos:

- a.- A qué nivel del sistema se va a llevar el proceso de análisis.
- b.- A que áreas se deben aplicar el proceso de análisis.

##### **4.3.1.1 Nivel de sistema**

El nivel de sistema se divide en cuatro áreas cuyas definiciones que describen a continuación:

- **Parte:** el nivel más bajo en el cual el equipo puede ser desarmado sin dañar o destruir alguna otra parte involucrada. Partes como circuitos integrados, rodamientos, engranajes, sellos u otros. Hay que resaltar que el tamaño no entra en consideración para este criterio.
- **Componente o “caja negra”:** Un grupo de partes que forma un solo bloque y que realiza por lo menos una función significativa como un ítem independientemente. A menudo módulos, tarjetas electrónicas y sub-ensamblajes son definidos como un nivel intermedio entre la parte y el componente. Bombas, válvulas, fuentes de poder, turbinas, y motores eléctricos son ejemplos típicos de componentes. Para este criterio tampoco entra en consideración el tamaño.
- **Sistema:** Un grupo lógico de componente que desarrolla una serie de funciones que son requeridas en una planta. Como norma, las plantas están compuestas de algunos procesos principales como: tratamiento de agua, sistema agua helada, condensados, aire comprimido o vapor.
- **Planta:** Un grupo lógico de sistemas que trabajando juntos da como resultado una salida, es decir un producto, por medio del proceso y manipulación de varias entradas de materia prima.

Los elementos que sirven típicamente como un punto de partida para determinar el nivel del sistema son:

- Descripción técnica de los sistemas de planta o producción:
  1. Detalles de la planta y descripción del sistema.
  2. Requerimientos para el desarrollo del estudio.
  3. Condiciones de operación.
  4. Descripciones de los equipos.
- Diagramas de flujo o dibujos técnicos que contengan datos del proceso, variables, productos, códigos de comunicación, etc.
  1. Diagramas de instrumentos y procesos P&ID.
  2. Diagramas de flujo.

#### **4.3.1.2 Selección del sistema**

Establecer sistemas es la mejor forma de conducir al análisis del proceso de MCC por qué:

- Si se considera a nivel de componente, el proceso de análisis se complica ya sea porque es difícil determinar cuáles de las muchas funciones están siendo afectadas por el componente o cuales de los

pocos modos ha ocasionado la falla (condiciones de temperatura, presión, flujo, etc.).

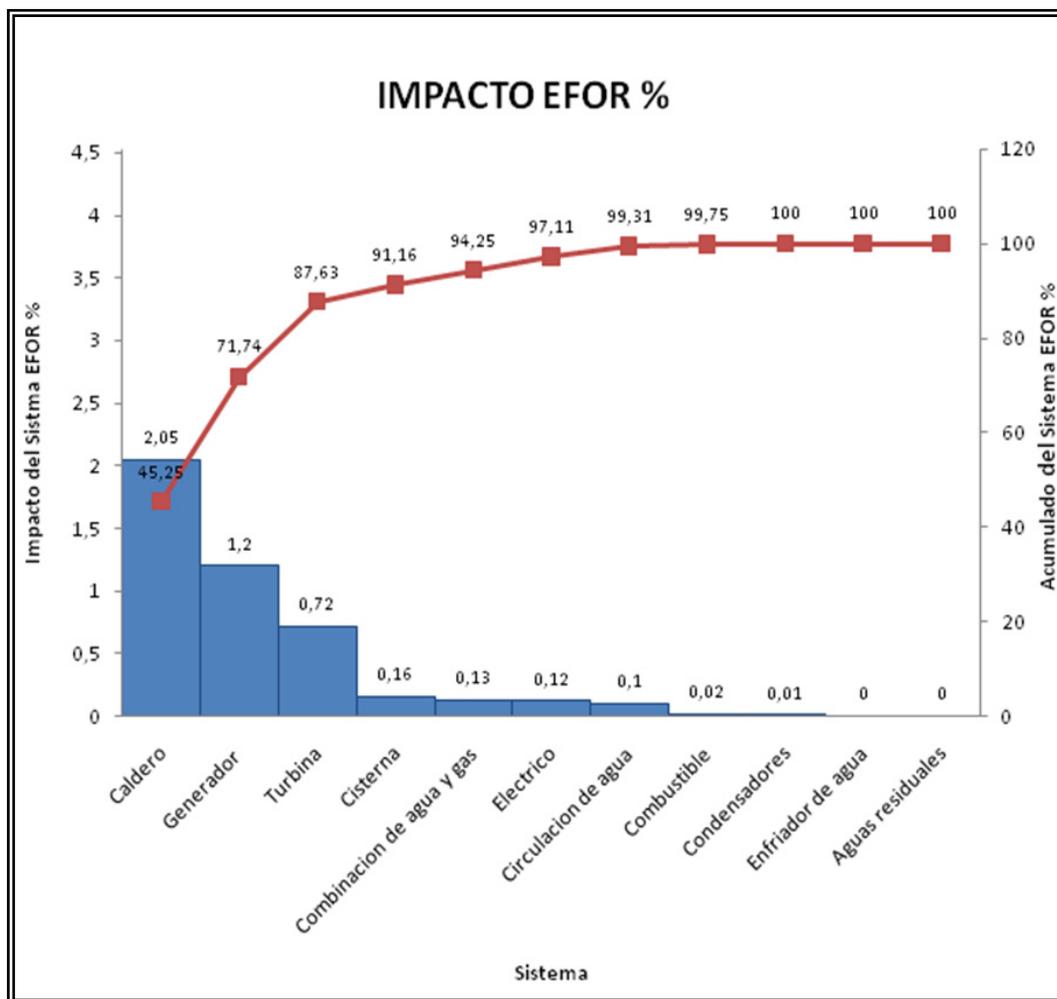
- Si se considera a nivel de planta, el proceso de análisis se complica y se retarda por las muchas funciones que tiene una planta.

Por lo indicado, se sugiere dividir la planta en sistemas equivalentes, pudiendo un solo activo grande/único/especializado ser un sistema; por ejemplo: generador de diesel, compresor de aire grande, alguna maquina compleja.

Después de determinar los sistemas de la planta, se analiza el orden en que se los van a direccionar, para lo cual se sugiere aplicar la regla 80/20 la cual afirma que el 80% de las fallas se originan por el 20% de los elementos (la opción de tratar a todos los sistemas podría no ser rentable desde el punto de vista de mantenimiento, porque algunos sistemas no tienen historial de frecuencia de fallas). Las fallas observadas por esta regla están determinadas por el alto costo de mantenimiento y/o gran cantidad de tiempo desperdiciado de la planta. Los parámetros que normalmente se pueden representar en un diagrama de Pareto son:

1. La cantidad de tareas y/o costos de mantenimiento preventivo.
2. Costo de las acciones de mantenimiento correctivo sobre un periodo reciente de no menos de dos años.
3. Número de acciones de mantenimiento correctivo sobre un periodo reciente de dos años.
4. Incidencia de paradas completas o parciales de la planta sobre un periodo reciente de dos años.
5. Riesgos de seguridad y medio ambiente.

Estos datos, segregados por sistema, no están fácilmente disponibles en la base de datos de mantenimientos anteriores. Un diagrama de Pareto que usa el equivalente de horas de parada representado como un índice efectivo de la parada forzada - IEPF (Effective Forced Outage Rate EFOR) es típico y un ejemplo de esto se muestra en la figura 4.1.



**Figura 4.1.-** Diagrama de Pareto para un Índice Efectivo de Parada Forzada (IEPF)

En cualquiera de estos tipos gráficos podemos notar como la regla 80/20 identifica claramente donde se ubica la mejor oportunidad de mejorar el retorno a la inversión.

Otra herramienta práctica para la determinación de los sistemas de mayor impacto aplicables al análisis, es usar el *Análisis De Criticidad*.

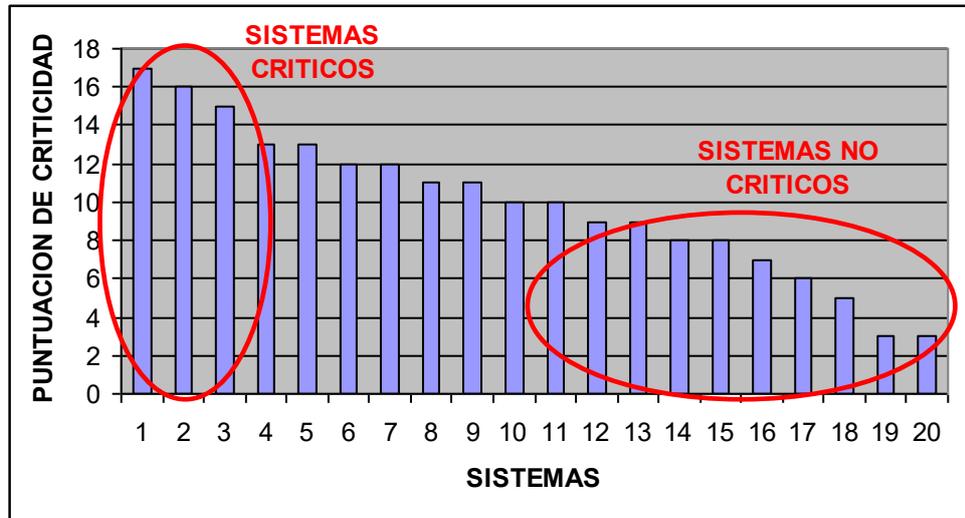
Para hacerlo, se cuantifican los sistemas críticos, asignándole una puntuación a cada sistema de la planta, proporcional al nivel de riesgo y de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- 1.- El servicio que proporciona.
- 2.- El costo de reparación.
- 3.- La seguridad de los componentes y personal de operación.
- 4.- La probabilidad de falla.
- 5.- La flexibilidad del equipo en el sistema.
- 6.- La dependencia logística para la compra de repuestos.
- 7.- La dependencia de la mano de obra.
- 8.- La facilidad de reparación.

La ponderación del equipo por su incidencia sobre cada variable, requiere un buen conocimiento del equipo, su sistema, su operación, su valor y los daños que podría ocasionar una falla.

Finalmente, se asignan prioridades aplicando Pareto o la regla 80/20.

Como ejemplo se muestra la figura 4.2



**Figura 4.2.-** Diagrama de Pareto para un análisis de criticidad

1) Puede ser posible que uno de los sistemas seleccionados sea un contribuyente grande a acciones de mantenimiento o tiempo fuera de servicio debido a que un solo problema puede necesitar una modificación del diseño.

2) Un sistema predominantemente compuesto de hardware electrónico digital, puede ocasionar dificultades por que su repuesto no puede encontrarse en el mercado, por lo que se requiere elaborar una historia de fracaso para este tipo de componente/repuesto.

### 4.3.1.3 Recolección de la información

La documentación requerida por cada sistema en el análisis del MCC es:

1. Diagramas de sistemas de tuberías.
2. Esquemáticos del sistema, diagramas de bloques o de procesos (que ayudan a visualizar el funcionamiento del sistema/equipo/procesos).
3. Manuales del equipo en el sistema (contienen información sobre el diseño y la operación de los equipos).
4. Archivos históricos de los equipos, con una lista actualizada tanto de las fallas como de las acciones de mantenimiento correctivo.
5. Manuales de operación del sistema, el cual provee detalles de la manera en que el sistema está analizado para funcionar, la relación con otro sistema, los límites operacionales y las reglas empleadas.

6. Las especificaciones del diseño del sistema y los datos de su descripción.

Si a los puntos mencionados anteriormente, se lo refuerza con entrevistas al personal de planta, el analista se asegura de tener los detalles suficientes para entender el sistema completo, sus funciones y su historial.

#### **4.3.2 PASO 2: Definición de los límites del sistema**

Dos razones importantes para definir los límites del sistema en el análisis del proceso MCC son:

1. Disponer de una lista exacta de componentes, que permita identificar su relación con otros componentes de un sistema adyacente.
2. Definir las entradas y las salidas del mismo, especialmente las relacionadas a las funciones del sistema.

Los sistemas por definición tienen una o dos funciones de nivel superior y una serie de funciones de apoyo que constituye una agrupación lógica de equipos.

Los formularios de las figuras 4.3 y 4.4 ayudan a definir los límites del sistema. El formulario del paso 2-1 da una rápida percepción de los componentes importantes del sistema y de los parámetros límites. En algunos casos es prudente incluir las advertencias acerca de inclusiones o exclusiones especiales que se usaron.

Análisis de Sistemas - MCC			
<b>Paso 2-1: Definición del Límite del Sistema</b>			
Información: <b>Apreciación Global del Límite</b>	Rev. No.:	Fecha:	
Planta:		ID de la Planta:	
Sistema:		ID del Sistema:	
Sub-sistema:		ID del Sub-sistema:	
Analistas:			
2.1.1 <u>Equipos importantes incluidos</u>			
2.1.2 <u>Límites Físicos Primarios:</u>			
Empieza con:			
Termina con:			
Advertencias:			

**Figura 4.3.-** Formulario del Paso 2.1: Apreciación Global del Límite

El formulario del paso 2-2 especifica en mayor detalle los límites definiendo así las variables como entrada o salida, de que tipo son; neumáticas, eléctricas, hidráulicas, etc., y cuales son sus sistemas limitantes y cual es el plano de referencia

Análisis de Sistemas - MCC			
<b>Paso 2-2: Definición del Límite del Sistema</b>			
Información: <b>Detalles del Límite</b>	Rev. No.:		Fecha:
Planta:			ID de la Planta:
Sistema:			ID del Sistema:
Sub-sistema:			ID del Sub-sistema:
Analistas:			
Tipo	Límite del Sistema	Ubicación de la Interface	Plano de Referencia

**Figura 4.4.-** Formulario del paso 2-2: Detalles del Límite del Sistema

### 4.3.3 PASO 3: Descripción del sistema y diagrama de bloque funcional

Después de la selección del sistema y la definición de los límites, se procede a desarrollar:

1. Descripción del sistema.
2. Diagrama de bloque funcional.
3. Interfaces de entrada/salida

4. Listado de componentes del sistema.
5. Historial del equipo.

#### **4.3.3.1 Paso 3-1: Descripción del sistema**

Una buena documentación de la descripción del sistema puede producir algunos beneficios tangibles:

1. Mantener una documentación básica del sistema, incluido sus modificaciones, actualizaciones o cambios operacionales.
2. Asegurar un entendimiento comprensivo del sistema.
3. Identificar diseños críticos y parámetros operacionales que frecuentemente juegan un rol clave en la degradación o pérdida de funciones de los sistemas.

Estos datos se documentan en la figura 4.5.

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 3-1: Definición del Sistema / Diagrama funcional esquemático			
Información: <b>Descripción del Limite</b>	Rev. No.:	Fecha:	
Planta:		ID de la Planta:	
Sistema:		ID del Sistema:	
Sub-sistema:		ID del Sub-sistema:	
Analistas:			
<p><b>3.1.1 <u>Descripción Funcional /Parámetros importantes</u></b></p> <p><b>3.1.2 <u>Pasos de redundancia</u></b></p> <p><b>3.1.3 <u>Características de Protección</u></b></p> <p><b>3.1.4 <u>Características de control Principales</u></b></p>			

**Figura 4.5.-** Formulario del paso 3-1: Descripción del Sistema

#### 4.3.3.2 Paso 3-2: Diagrama de Bloque Funcional

El diagrama de bloque funcional es una representación de alto nivel de las funciones principales que el sistema desarrolla y, como tal, los bloques son etiquetados como los subsistemas funcionales para el sistema. Este diagrama de bloque, se compone solamente de funciones, no aparecen nombre de equipos o componentes. Los subsistemas funcionales típicos podrían incluir los bloques de bombeo, los flujos de calentamiento, enfriamiento, mezclado, cortado, lubricación, control,

protección, almacenamiento, o distribución. Para completar un gráfico funcional las flechas conectan los bloques para representar como éstos interactúan con otro subsistema, y también para visualmente mostrar las entradas/salidas de la interfaz de los subsistemas.

El diagrama de bloque funcional se registra en el formulario mostrado en la figura 4.6.

Análisis de Sistemas - MCC			
<b>Paso 3-2: Definición del Sistema / Diagrama funcional esquemático</b>			
Información: <b>Diagrama de Bloques Funcional</b>	Rev. No.:	Fecha:	
Planta:		ID de la Planta:	
Sistema:		ID del Sistema:	
Sub-sistema:		ID del Sub-sistema:	
Analistas:			

**Figura 4.6** Formulario del paso 3-2: Diagrama de Bloques Funcional

Como sugerencias:

Que los sistemas no tengan más de cinco funciones principales, así se limita el número de subsistemas funcionales.

Que este paso (3-2) sea hecho inmediatamente después de la definición de los límites del sistema (paso 2-1), para alcanzar un rápido consenso

acerca de si abordar a la planta entera o diferir a los subsistemas, con el objeto de facilitar el proceso de análisis.

#### **4.3.3.3 Paso 3-3: Interfaces de entrada y salida**

El establecimiento de los límites del sistema y el desarrollo de los subsistemas funcionales permiten completar y documentar una variedad de elementos a través de los límites del sistema, o subsistema. Algunos elementos como fuentes de poder, señales, flujos, gases, calor, van hacia adentro de los límites y otros hacia fuera y proveen información adicional para completar el diagrama de bloque funcional. Esta información se documenta en el formulario mostrado en la figura 4.7, en el cual se especifica el tipo de interfaz, entrada o salida, límites, y su diagrama de referencia.

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 3-3: Descripción del Sistema /Diagrama funcional esquemático			
Información: <b>Interfaces Entrada/Salida</b>		Rev. No.:	Fecha:
Planta:		ID de la Planta:	
Sistema:		ID del Sistema:	
Sub-sistema:		ID del Sub-sistema:	
Analistas:			
Tipo	Limite del Sistema	Ubicación de la Interface	Plano de Referencia
<b>3.3.1 <u>Interfaces ENTRADA</u></b>			
<b>3.3.2 <u>Interfaces SALIDA</u></b>			
<b>3.3.3 <u>Interfaces SALIDA interior</u></b>			

**Figura 4.7.-** Formulario del paso 3-3 Interfaces Entrada/Salida

Una vez desarrollado el listado de la figura 4.7 y completado el formato de la figura 4.6 se comienza a observar claramente cómo se desarrolla el sistema por medio de las interfaces de salida, y ello se enfocará el principio de “preservar la función del sistema” que se involucra con el paso 4. Hay que notar que en el proceso de análisis del sistema se asume que todas las interfaces de entrada están siempre presentes y disponibles cuando se requieran. Efectivamente las interfaces de entrada son necesarias para que el sistema trabaje, pero el producto real del sistema se incorpora en las interfaces de salida.

#### 4.3.3.4 Paso 3-4: Listado de componentes del sistema

Se utiliza para describir los equipos o componentes, para cada subsistema funcional mostrado en el diagrama de bloque. En este listado se define el tipo de trabajo que este componente realiza en el campo (S: Estado, C: Control, P: Protección, N.A.: no aplica si no se encuentra dentro de las características anteriores); y se documenta en el formulario de la figura 4.8.

Análisis de Sistemas - MCC				
Paso 3-4: Descripción del Sistema / Diagrama funcional esquemático				
Información: Listado de Componentes		Rev. No.:	Fecha:	
Planta:		ID de la Planta:		
Sistema:		ID del Sistema:		
Sub-sistema:		ID del Sub-sistema:		
Analistas:				
No.	Descripción del Componente	Tipo	Cant.	Plano de referencia

**Figura 4.8.-** Formulario del paso 3-4: Listado de Componentes

Se sugiere que los dispositivos que son de estado del sistema no sean considerados en cualquier análisis futuro del proceso, y sean puestos en la lista RTF (run to failure) “*correr hasta que falle*”, debido a que tales dispositivos no garantizan el gasto de los recursos del mantenimiento preventivo.

#### 4.3.3.5 Paso 3-5: Historial del Equipo

El MCC presenta en el paso 3-5 el historial de fallas que se deriva usualmente de órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo. La información de la historia del equipo es registrada en el formulario que se muestra en la figura 4.9. Hay que acotar que aquí se debe reconocer cual es el modo y la causa de fallo, ya que esta información será de gran valor para completar el paso 5, análisis de modo y efecto de falla.

Análisis de Sistemas - MCC		
Paso 3-4: Descripción del Sistema / Diagrama funcional esquemático		
Información: <b>Historial del Equipo</b>	Rev. No.:	Fecha:
Planta:	ID de la Planta:	
Sistema:	ID del Sistema:	
Sub-sistema:	ID del Sub-sistema:	
Analistas:		
Descripción del Componente	Modo de Falla	Causa de Falla

**Figura 4.9.-** Formulario del paso 3-5: Historial del Equipo

Obviamente la búsqueda de información para completar la historia de la falla de equipo, será mucho más completa en sistemas que tienen años de operación, y será fácil encontrar datos específicos que están disponibles en órdenes de trabajo guardadas, o en archivos digitalizados. En algunos casos esta información también se la puede obtener de plantas similares en donde se utilizan equipos de

características comunes, aunque los datos de la planta original tienen mayor significado y describen con exactitud el componente en investigación.

#### **4.3.4 PASO 4: Funciones del sistema y fallas funcionales**

Este paso comienza definiendo las funciones del sistema, para precautelar el primer principio del MCC “preservar las funciones del sistema” y no el equipo en sí. Por lo tanto le corresponde al analista definir una lista completa de funciones del sistema para luego, en los pasos subsecuentes con esta lista tratar de redefinir las tareas de mantenimiento preventivo que serán orientadas a preservar a la función.

En esencia, cada interfaz de salida debe ser capturada a fin de declarar una función, ya que en ellas se pueden visualizar fácilmente funciones activas. Sin embargo podría darse el caso de que una sola declaración de función contenga a múltiples interfaces de salida. Las funciones pasivas más obvias son las de consideraciones estructurales e incluyen argumentos como preservación de los límites o como soportes estructurales y son de menor relevancia.

En la formulación de la declaración de la función, el analista debe tener en cuenta que esto no es una declaración de los equipos que están en el sistema, por lo que debe evitar el uso de nombres de equipos para describir funciones del sistema. Los datos obtenidos se documentan en el formulario del paso 4 figura 4.10.

Análisis de Sistemas - MCC			
<b>Paso 4: Funciones / Fallas funcionales</b>			
Información: Descripción de fallas funcionales	Rev. No.:	Fecha:	
Planta:		ID de la Planta:	
Sistema:		ID del Sistema:	
Sub-sistema:		ID del Sub-sistema:	
Analistas:			
Función No.	Falla Funcional No.	Descripción de la Falla Funcional	

**Figura 4.10.-** Formulario del paso 4: Descripción de fallas funcionales

Cuando las funciones del sistema han sido definidas, el analista esta listo para definir las fallas funcionales, porque la preservación de la función significa evitar la falla funcional. Este es el primer paso en el proceso donde se muestra como las funciones son derrotadas por las fallas, detectando el inicio de la pérdida de la función. Entonces en resumen, se debe tener en consideración dos aspectos claves:

- 1.- El enfoque está en la pérdida de la función, no en la pérdida del equipo. Por lo tanto, las declaraciones de la función y, las declaraciones de la falla funcional no hablan acerca de las fallas de equipo.
- 2.- Fallas funcionales son usualmente más que una simple declaración de pérdida de la función. La mayoría de las funciones tiene dos o más condiciones de pérdida.

#### **4.3.5 PASO 5: Análisis del Modo y Efecto de Falla**

##### **4.3.5.1 Falla funcional**

En este paso ya se conectan directamente las funciones y los componentes del sistema identificando los modos de falla que puede potencialmente producir una indeseable falla funcional que ocasione la pérdida de la función. Al hacerlo se satisface la característica 2 del proceso del MCC.

Una de las mayores dificultades que se encontró en el estudio del MCC fue establecer una ordenada vía para enlazar y seguir a todas las fallas funcionales con los componentes. Así que después de varios intentos

de prueba y error se desarrollo el uso de la matriz de falla funcional mostrada en la figura 4.11.

Análisis de Sistemas - MCC						
Paso 5-1: Funciones / Fallas funcionales						
Información: <b>Matriz Componentes - Fallas Funcionales</b>			Rev. No.:	Fecha:		
Planta:			ID de la Planta:			
Sistema:			ID del Sistema:			
Sub-sistema:			ID del Sub-sistema:			
Analistas:						
			Falla Funcional			
No.	Descripción del componente					

Figura 4.11.- Formulario del paso 5-1: Matriz relación Componente – Falla Funcional.

Esta matriz es algo que se ha ido agregando al proceso de análisis de sistemas y es la conexión entre la función y los componentes. Los elementos verticales corresponden a la lista de componentes del paso 3-4 y los horizontales a la lista de falla funcional del paso 4. La tarea del analista en este punto es identificar aquellos componente que tienen un alto potencial para crear una o más fallas funcionales, lo cual se indica con una X en la intersección del elemento con la falla, lo que significa que esta intersección debe ser evaluada en el AMEF. Esta matriz detalla de forma rápida y exacta si el analista tiene un conocimiento amplio del diseño del sistema o de las características de

operación. Sin embargo el analista puede sustentar la información con ayuda de ingenieros y operadores para completar la matriz.

### 4.3.5.2 Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

Luego de terminar la matriz, el trabajo del analista es desarrollar el AMEF a cada intersección que contenga X. La mejor forma de enfocar la tarea es seleccionar una o dos fallas funcionales con la mayoría de X en su columna, e iniciar completamente un formulario AMEF, de la figura 4.12.

Análisis de Sistemas - MCC											
Paso 5-2: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos											
Información: AMEF				Rev. No.:		Fecha:					
Planta:				ID de la Planta:							
Sistema:				ID del Sistema:							
Sub-sistema:				ID del Sub-sistema:							
Analistas:											
# FF	No. Comp.	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	# CF	Causa de Falla	Frecuencia de Ocurrencia	Grado de Severidad	Oportunidad de Detección	NPR	LTA

Figura 4.12.- Formulario del paso 5-2: Falla Funcional

Por cada X de cada componente se revisa su modo de falla y se analiza con las demás fallas funcionales para ver si pueden igualmente aplicar,

por entero o por parte, con lo que se elimina la necesidad de repetir el AMEF a otros lugares de la matriz.

Cada falla funcional puede estar relacionada con algunos componentes, por ello usualmente existen múltiples registros para completar el análisis AMEF para cada falla funcional. Se puede hacer una hipótesis para muchos modos de fallo pero se limita el análisis a incluir solamente modos de falla dominantes.

Modos de fallo dominantes imponen dos restricciones útiles:

- 1.- El modo de falla debe describir un problema que puede ser redireccionado como una tarea de mantenimiento preventivo.
- 2.- El modo de falla debe describir una situación real.

Si el analista concluye que un modo de falla hipotético puede aparecer por lo menos una vez en el tiempo de vida de la planta entonces este debe incluirse, pero sino, se le llama a esto un *evento raro*. Se concluye del análisis que la causa única de un modo de falla hipotético debería ser un error humano en el área de producción, operaciones o mantenimiento; la razón es que no se puede crear una tarea de mantenimiento preventivo para direccionar tales situaciones imprevistas.

La mayoría de los componentes tienen más de un modo de fallo asociado con una falla funcional y se debería hacer el esfuerzo para identificar todos los modos de falla dominantes, ya que no se puede enfatizar muy fuertemente en una lista de modo fallas muy completa. Finalmente cuando se definen las tareas de mantenimiento que se necesitan estas serán irrevocablemente ligadas a los modos de falla. Entre mayor sea el número de modo de fallas mayor serán las tareas<sup>102</sup> de mantenimiento preventivo.

Siguiendo con el análisis de la figura 4.12, la causa raíz de cada modo de falla se refiere a la razón básica del porque el modo de falla ocurre. En el proceso del AMEF el análisis del efecto es el paso final, aquí el analista determinará la consecuencia del modo de falla y esto se llevara a tres niveles de consideración: frecuencia de ocurrencia, grado de severidad y oportunidad de detección. Hay dos razones primarias para conducir el análisis de efecto en este punto:

- 1.- Se debe asegurar de que el modo de falla se haya producido y que tiene una relación potencial con la falla funcional que se ha analizado.
- 2.- Se debe introducir una proyección inicial del modo de falla que no permita un sistema perjudicial.

#### **4.3.6 Paso 6: Análisis de árbol de decisiones**

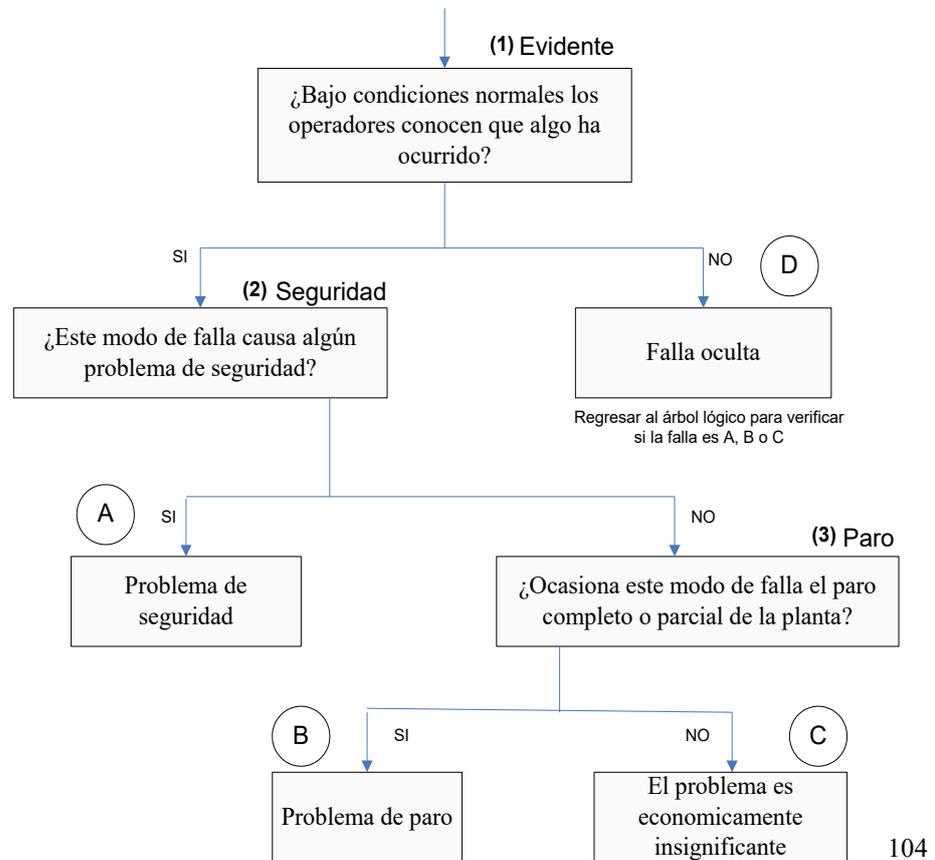
El propósito de este análisis (LTA.- Logic Tree Analysis) es añadir énfasis y recursos que deberán ser dedicados a cada modo de falla, reconociendo todas las funciones, fallas funcionales y modos de fallas que no son creados por igual. Así el paso 6 satisface las tres características del proceso MCC.

103

Muchos proyectos clasificados podrían ser usados para lograr un listado de prioridad del modo de fallas, pero el proceso MCC usa tres simples preguntas o estructuras de decisión que permite el análisis de un modo rápido y preciso dentro de cuatro categorías.

El árbol de decisiones se muestra en la figura 4.13. La información que es obtenida de este árbol es registrada en el formulario de la figura 4.14.

### ESTRUCTURA DEL ANÁLISIS DEL ÁRBOL LÓGICO



**Figura 4.13.-** Formulario del paso 6: Análisis de Árbol Lógico (LTA)

En el proceso de decisión se identifica cada modo de falla en tres distintas categorías: (1) relacionado con seguridad (2) relacionado con las paradas o (3) relacionado con lo económico. Distinguiendo también situaciones evidentes u ocultas para el operador.

Cada modo de falla se analiza desde el bloque superior del árbol donde representando lo que hace el operador en el desempeño normal de sus tareas, se conoce que anomalías han ocurrido en la planta. Las

Fallas en componentes pequeños son típicas de fallas ocultas; y podrían anticiparse por tareas de mantenimiento preventivo. Fallas evidentes sin embargo alertan los operadores a actuar incluso, a tomar decisiones para aislar el modo de falla.

Todos los modos de fallas, evidentes y ocultos, pasan a la segunda pregunta, la cual se dirige a problemas de seguridad. Si la respuesta es afirmativa el modo de falla es colocado en el bloque A o bloque de seguridad.

La tercera pregunta es formulada para considerar el aspecto económico que causaría la aparición del modo de falla, en cuanto al paro o pérdida de productividad. Una respuesta afirmativa pone al modo de falla en el bloque B. Una respuesta negativa nos indica una pérdida económica insignificante y se la coloca en el bloque C.

Cuando el proceso de análisis de árbol de decisiones es concluido, cada modo de falla ha sido clasificado en A, B, C, D/A, D/B, o D/C.

Usualmente se direcciona la prioridad del Mantenimiento Preventivo como:

1. A o D/A

2. B o D/B

3. C o D/C

Los modos de fallas que han sido clasificados como A o B pasan al paso 7-1. Los clasificados como C entran al chequeo en el paso 7-2, para verificar si el modo de fallo es RTF<sup>1</sup> (si no fuese RTF, se le asigna una tarea).

Análisis de Sistemas - MCC								
Paso 6: Análisis de Árbol Lógico (LTA)								
Información: Análisis de Modos de Fallo					Rev. No.:		Fecha:	
Planta:						ID de la Planta:		
Sistema:						ID del Sistema:		
Sub-sistema:						ID del Sub-sistema:		
Analistas:								
# FF	No. Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	Evidente?	Seguro?	Paro?	Categoría

Figura 4.14.- Análisis del Árbol Lógico (LTA)

#### 4.3.7 PASO 7: Selección de tareas

##### 4.3.7.2 Paso 7-1 Proceso de Selección de Tarea

El análisis obtenido en el paso 6 ha identificado específicamente los modos de falla con la designación de A, D/A, B o D/B. Así por cada modo de falla, se determina la lista de tareas aplicables y después se selecciona la tarea más efectiva. El proceso MCC requiere que cada tarea tenga una prueba aplicable y efectiva, lo cual se define a continuación:

107

*Aplicable:* La tarea previene o mitiga la falla, detecta el principio de la falla o descubre una falla oculta.

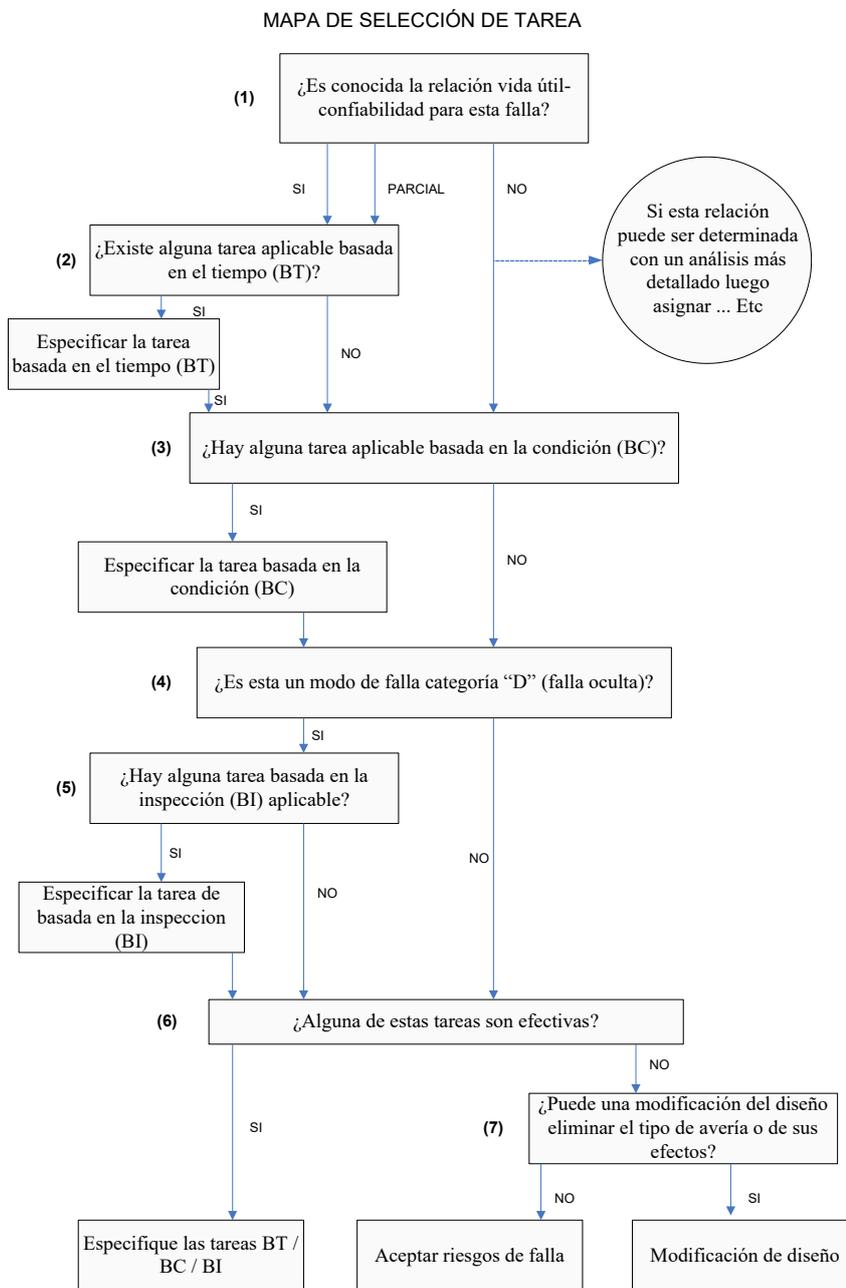
*Efectiva:* Las tareas elegidas deben ser las más rentables de entre todas.

Si no existen tareas aplicables o el costo de una tarea de mantenimiento preventivo aplicable excede el costo acumulado asociado a la falla, la otra opción sería el RTF. La excepción de esta regla será una tipo A o relacionada a la seguridad, donde el modo de falla hará modificaciones al diseño, las cuales serian obligatorias.

El desarrollo de las listas de tareas de mantenimiento preventivo es un paso crucial, y frecuentemente requiere ayuda de múltiples fuentes por lo que la participación del personal es necesaria.

Otras entradas como personal de operación, datos técnicos, consejos del vendedor especialista; etc. Deben tomarse en cuenta para asegurar la inserción nuevas técnicas y tecnologías.

El diagrama de la figura 4.15 y el formulario de la figura 4.16 son usados para estructurar y guardar el proceso de selección de tareas. El primero es útil en el desarrollo de tareas de mantenimiento preventivo para cada modo de falla. Brevemente se explican los pasos de la figura 4.15:



**Figura 4.15.-** Mapa de Selección de Tarea

1. Esta primera premisa requiere que se conozca sobre la relación de la vida útil-confiabilidad del equipo. Es difícil precisar esta relación, pero se puede tener algunas consideraciones que oriente a este dato.
2. Teniendo la información de la relación entre vida útil-confiabilidad o al menos una evidencia de esto, se debe asociar el comportamiento del equipo con el modo de falla del mecanismo del equipo. Por lo tanto tareas relacionadas con el tiempo que se deben generar, en base a cuando aproximadamente ocurrirá este, para prevenir o mitigar el modo de falla.
3. Si una tarea direccionada al tiempo ha sido definida, incluso se debe estudiar la posibilidad de aplicar tareas direccionadas a la condición.
4. En este punto se regresa a la información del análisis de árbol de decisiones para verificar si el modo de falla es de categoría D (falla oculta).
5. En el paso 5 del mapa de selección se cuestiona si podrían existir tareas basadas en la inspección para este modo de falla.

6. Se examina los costos relativos asociados con cada tarea, esto incluye el análisis de costos de correr hasta que falle el equipo. Entonces se selecciona la opción más económica.
  
7. El analista debe direccionar una modificación de diseño, si es posible, como una solución cuando una tarea no aplicable y no efectiva ha sido identificada.

En el caso del bloque A o modos de fallas relacionados a la seguridad se debe considerar realizar modificaciones de un diseño. El formulario en la figura 4.16 es usado para almacenar todas las decisiones que se han efectuado durante el proceso de selección de tareas, incluyendo la selección final la cual es registrada en la penúltima columna. En la última columna se registra el intervalo o frecuencia sugerida que debe ser asignada a cada tarea.

Análisis de Sistemas - MCC																
Paso 7-1: Selección de la Tarea																
Información: Proceso de Selección y Decisión							Rev. No.:		Fecha:							
Planta:							ID de la Planta:									
Sistema:							ID del Sistema:									
Sub-sistema:							ID del Sub-sistema:									
Analistas:																
# FF	No. Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	# CF	1	2	3	4	5	6	7	Tarea candidata	Información efectiva	Decisión selectiva	Frecuencia

**Figura 4.16** Formulario del paso 7-1: Proceso de Selección y Decisión

#### 4.3.7.2 Paso 7-2 Verificación de tareas RTF (correr hasta que falle)

En puntos claves a lo largo del proceso de análisis del sistema, se ha recogido componentes y modos de fallas en una lista de correr hasta que falle (formulario de la figura 4.17)

Análisis de Sistemas - MCC																
Paso 7-2: Selección de la Tarea																
Información: Lista de Verificación Correr Hasta que Falle										Rev. No.:		Fecha:				
Planta:										ID de la Planta:						
Sistema:										ID del Sistema:						
Sub-sistema:										ID del Sub-sistema:						
Analistas:																
# FF	Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	Efectividad marginal	Falla de alto costo	Daño secundario	FOE	Conflicto interno	Conflicto regulatorio	Conflicto de seguro	Oculto	Decisión RTF	Decisión Selectiva	Frecuencia	Comentario

**Figura 4.17.-** Formulario del paso 7-2: Lista de Verificación de Conformidad

Las bases para este chequeo se deriva de que hay validas razones para no realizar una tarea de mantenimiento preventivo. La lista de revisión de conformidad de tareas *correr hasta que falle* es la siguiente:

1.- Efectividad marginal.- La diferencia entre costos de *correr hasta que falle* son significativamente menores que los costos del mantenimiento preventivo.

2.- Alto costo de la falla.- Cuando no hay pérdida de una función crítica, el modo de falla es probable que cause un daño costoso al componente.

3.- Daño secundarios.- similar al punto anterior, excepto que hay una alta probabilidad que el modo de falla pueda causar daños extensivos en los componentes adyacentes, y posibles pérdidas de las funciones críticas debido al efecto domino.

4.- Conflictos FOE.- El fabricante original del equipo recomienda una tarea de mantenimiento preventivo que no está soportada por el proceso de MCC. Este punto delicado si la garantía del equipo está involucrada.

5.- Conflictos internos.- El personal de mantenimiento o de operación reconoce que las tareas de mantenimiento preventivo no son soportadas por el proceso MCC.

6.- Conflictos regulatorios.- Estipulaciones por algunos organismos regulatorios han establecido una tarea de mantenimiento de preventivo que no está soportado por el proceso de análisis del MCC.



Cuando el formulario sea completado contendrá cuatro categorías de comparación:

1.- Tareas del mantenimiento preventivo comunes y las basadas en el MCC son idénticas.

2.- Tareas de mantenimiento preventivo existentes deben ser modificadas para relacionarse con las tareas del MCC.

3.- Tareas de mantenimiento preventivo basadas en el MCC son recomendadas donde no existen las tareas comunes.

4.- Tareas de mantenimiento preventivo comunes existen donde no son recomendadas según el MCC y que se las podría suprimir.

Estas categorías de comparación pueden ser pulidas para producir algunos cuadros con excelentes visibilidad para la toma de decisión de la gerencia. El analista puede usar las cuatro categorías como una lista de chequeo para ver si algún modo de falla o tarea de mantenimiento preventivo se pasó por alto.

Cuando la comparación de tareas ha sido completada se presenta una lista que resume el resultado del análisis MCC (Note que la mayoría de componentes tendrán más de un modo de falla a través del AMEF, por consiguiente el analista debe decidir que modos de falla son de *correr hasta que falle* y cuales requieren de alguna acción de mantenimiento preventivo).

## **Capítulo 5**

### **5. Aplicación del Diseño Experimental de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a una Planta de Líquidos**

#### **5.1 Diseño enfocado a una planta de líquidos. Pasos a seguir:**

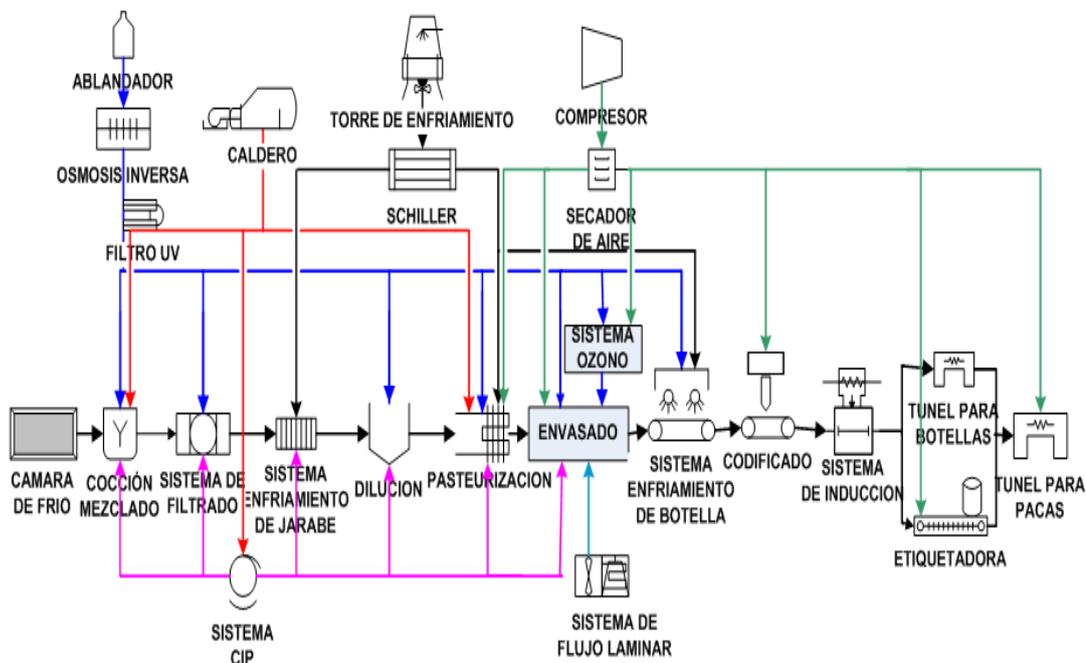
La planta de líquidos por ser un sitio donde es de vital importancia la disponibilidad y la confiabilidad se convierte en un sitio de potencial aplicación para el MCC.

Debido a la gran cantidad de equipos en una línea de líquidos la probabilidad de paro imprevisto aumenta especialmente cuando no son equipos redundantes.

### **5.1.1 PASO 1: Recolección de la información**

La primera fase del mantenimiento centrado en la confiabilidad es la base del proceso de análisis. Consiste en la lógica de la decisión de MCC en acertar qué equipo en la planta o instalación requiere un esfuerzo en su mantenimiento para prevenir una falla. Es la fase del proceso que determina si un componente es crítico, importante, regular u opcional.

Para esto primero veremos el diagrama de proceso de la planta de líquidos en mención a fin de tener una clara visión de las funciones de la línea de producción.



**Figura 5.1** Diagrama de Proceso de la Planta de Líquidos

Dentro de toda la línea se han reconocido las siguientes áreas: Equipos auxiliares, planta de agua, preparación, envasado, y área de etiquetado y empaques.

En el área de *equipos auxiliares* es donde se encuentran aquellos equipos que prestan algún tipo de servicio a toda la línea tal es el caso de:

- Caldero de 100 HP, que provee de vapor saturado a 100 PSI a la línea de producción a fin de entregar energía térmica;
- Compresor de aire de 25 HP con su respectivo secador que suministra aire comprimido seco a 100 PSI para las diferentes partes neumáticas;

- El Chiller y su respectiva torre de enfriamiento que permite enviar agua fría a 12 °C para las diferentes etapas de enfriamiento del jugo;
- El sistema de flujo laminar que sirve para dar una presión positiva de aire frío dentro de la cabina de la llenadora; y por último,
- La cámara de frío que se la utiliza para almacenar pulpa de fruta.

El área de la *planta de agua* la compone el equipo de ósmosis inversa que convierte el agua salobre en agua potable para poder ser enviada al consumo de la línea, antes de que el agua de pozo ingrese al proceso de ósmosis inversa pasa por un ablandador con filtros de carbón activado. Al ser enviada a la línea, el agua de producto es purificada a través de un filtro de lámparas UV.

En el *área de preparación* el operador debe:

- 1) Antes de iniciar cualquier tipo de preparación, limpiar todos los equipos y tuberías a través del sistema CIP (haciendo uso de las marmitas para calentar el producto CIP).
- 2) Una vez limpio el sistema, preparar el producto precalentándolo por medio de la marmita y filtrándolo a través del filtro prensa.
- 3) El producto jarabe es enfriado y enviado a la etapa de dilución para su pasteurización (se eleva la temperatura a 100 °C y luego se la baja a la temperatura ambiente).

El **área de envasado**, está compuesto por un Monoblock que es capaz de producir 10.000Bot./Hrs. y que tiene tres etapas:

- Rinseado, que permite prelavar los envases.
- Llenado, que es la etapa donde el envase es llenado con el producto;
- Tapado, que consta de tapado normal, tapado sport cap y tapado corona.

A la salida de la máquina encontramos un sistema de enfriamiento de la botella para el caso de envasado en caliente (cuando se produce jugo de pulpa de fruta). Si el producto es agua, se utiliza un sistema adicional para ozonizar el agua, antes de la etapa de llenado.

El **área de etiquetado y empaçado** consta de:

- Un sistema de codificación Video Jet para la colocación de la fecha de producción, lote y fecha de expedición;
- Sistema de inducción que permite adherir el foil de aluminio al envase en el caso de la tapa sport cap;
- El sistema de etiquetado lo hace a través de una máquina totalmente automática capaz de etiquetar hasta 200 Bot./min. Muchas veces en lugar de esta etiquetadora se utiliza el túnel de termocontracción en el caso de usar manga y capuchón en la botella.
- Luego al final de la línea en el área de empaçado se encuentra el túnel termoencogible para formar las pacas.

- Finalmente una vez etiquetado el producto va al área de almacenaje para su distribución y comercialización.

#### **5.1.1.1 Nivel de sistema**

Desde el punto de vista de rentabilidad del mantenimiento, se conducirá el análisis del proceso estableciendo sistemas, ya que llevar el análisis al nivel del componente o parte sería muy complejo debido a la cantidad de componentes que existen por sistema. Para esta implementación cada sistema corresponde a un equipo o máquina, donde tenemos 26 sistemas los cuales pertenecen a las 5 áreas esto se muestra en la Tabla No. 2 de las capacidades instaladas de cada equipo.

#### **5.1.1.2 Selección del sistema**

La selección de los sistemas en el análisis, a fin de facilitar la toma de decisiones y conocer el impacto global de cada sistema, se hará con un estudio de análisis de criticidad por cada equipo de área, ya que se considera que para esta línea de producción se conoce muy bien cada

equipo y su resultado bajo este análisis sería confiable. La Tabla No.3, muestra los criterios para las ponderaciones con su respectivo valor siendo el valor de 20 puntos el de más alta criticidad. Las Tablas No. 4, 5, 6, 7 y 8; muestran los resultados del análisis de criticidad realizado a cada área. Luego de hacer el análisis de criticidad se presenta en la Tabla No. 9, el resumen total del análisis en donde, considerando la regla 80/20, se determinó que cuatro sistemas son los que estarán dentro del análisis y estos son: equipo de osmosis inversa, caldero, compresor de aire 25 HP y llenadora ARBRAS.

El gráfico de Pareto según la criticidad de los equipos se muestra a continuación:

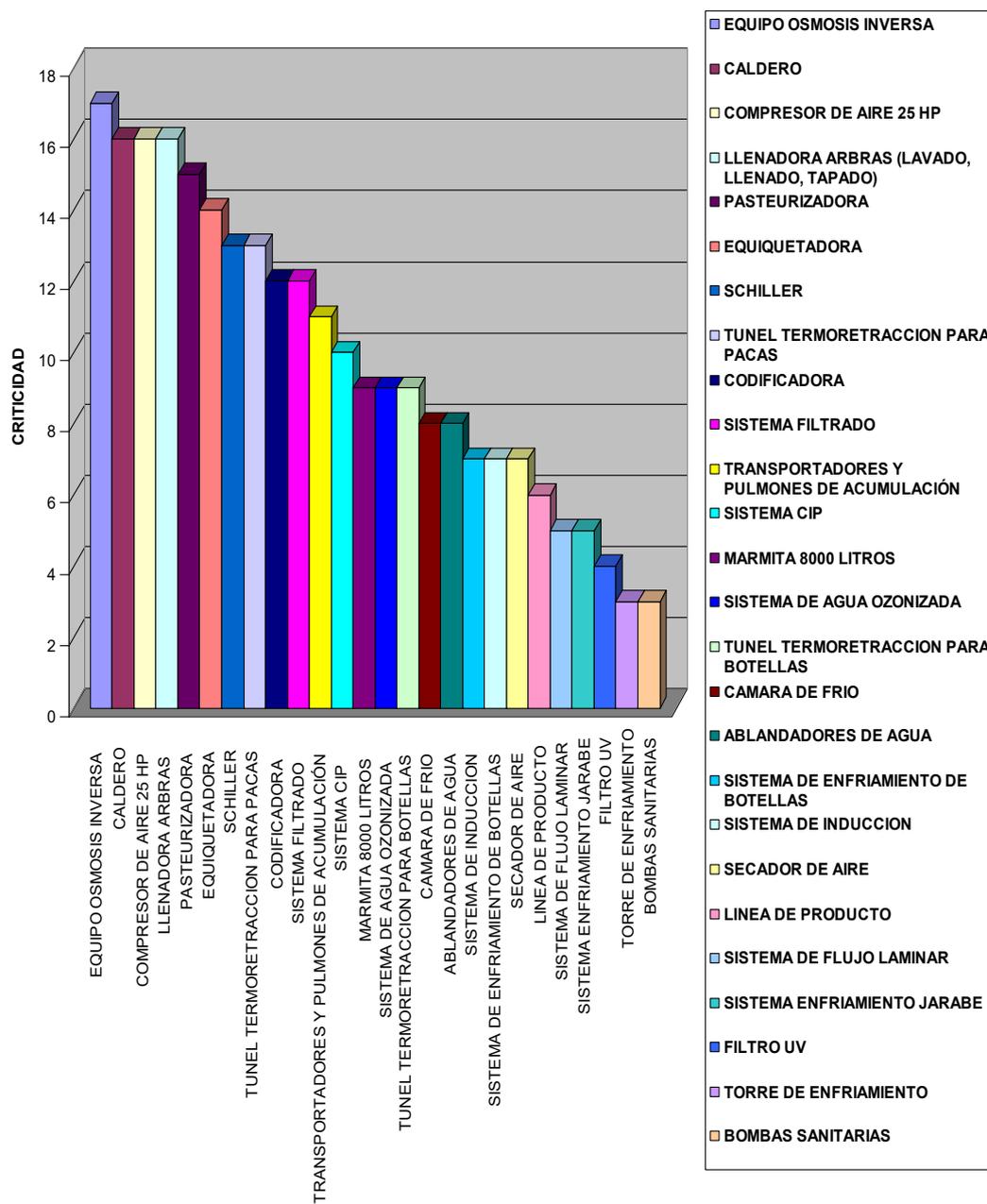


Figura 5.2 Diagrama de Pareto del Análisis de Críticidad

### **5.1.2 PASO 2: Definición de los límites del sistema**

En este paso se generó la idea inicial del funcionamiento del sistema para cada uno de los cuatro sistemas críticos estudiados en el punto 5.1.1.2., para lo cual se establecieron 2 formularios, el primer formulario (paso 2-1) se especifica los componentes importantes del sistema y se detalla los valores de parámetros iniciales y finales del proceso de cada sistema. El segundo formulario (paso 2-2) genera la apreciación inicial de los límites del sistema mediante la determinación de las entradas y salidas que se comparten con los sistemas adyacentes (sean estos eléctricos, neumáticos, hidráulicos, etc.). Los formularios de este paso se encuentran registrados en las Tablas No. 10,11, 24, 25, 38, 39, 52 y 53.

### **5.1.3 PASO 3: Descripción del proceso y partes de la planta de líquidos y diagrama de bloque funcional**

Es en este paso se analizan y describen los sistemas para determinar sus funciones más relevantes. Mediante:

El formulario del paso 3-2, se desarrolla el diagrama de bloque funcional para cada sistema crítico.

El formulario del paso 3-3, se determina las interfaces interiores que existen en cada sistema.

El formulario del paso 3-4, se determina los componentes importantes designándolos con un número de referencia.

El formulario del paso 3-5, se reúne toda la información del histórico del equipo en cuanto a mantenimiento correctivo, que posteriormente servirá para el estudio de la relación entre modos de fallos y componentes.

Los formularios de este paso se encuentran en las Tablas No. 12, 13, 14, 15,16, 26, 27, 28, 29, 30, 40, 41, 42, 43, 44, 54, 55, 56, 57 y 58.

#### **5.1.4 PASO 4: Funciones del proceso de la planta de líquidos y fallas funcionales**

Este fue uno de los pasos que involucro mayor cantidad de tiempo, por la manera en que se debe analizar para determinar en forma acertada las funciones y sus fallas funcionales. A cada función y falla funcional se le designo un código a fin de que sea fácil de identificarlas en los pasos siguientes del proceso de análisis (pueden existir fallas funcionales

similares que pudieran prestar a confusión). Los formularios de este análisis se los muestra en las Tablas No. 17, 31, 45 y 59.

### **5.1.5 PASO 5: Análisis del Modo y Efecto de Falla**

Este paso consta de dos formularios:

En el primero (paso 5-1) se describe la relación entre las fallas funcionales del equipo y los componentes para un modo de fallo específico.

En el segundo (paso 5-2) se encuentra el análisis del modo y efecto de fallas. Fue el paso más complejo del proceso y en el cual se invirtió mayor tiempo e involucro no solo al personal técnico sino al de operación, aquí se estableció cuales son los modos de fallos de mayor impacto para cada sistema por medio de la determinación de su factor de riesgo. Los modos de fallos con factor de riesgo alto serian los de mayor impacto y pasarían al análisis del árbol lógico de decisiones en el paso 6. Los formularios del análisis AMEF para cada sistema se lo muestra en las Tablas No. 18, 19, 32, 33, 46, 47, 60 y 61.

Para eliminar redundancias en el análisis AMEF del paso 5-2, si las causas que originan una falla funcional son las mismas de otra en un componente específico, no se necesita volver a analizarla; por lo tanto, se coloca el código de la falla funcional en donde ya fue analizado.

### **5.1.6 PASO 6: Análisis del Árbol de Decisiones**

En este paso se asignó una categoría a cada modo de fallo, y se continuó filtrando los modos de fallos que son más importantes, aquí las categorías: A, D/A (Se refieren a seguridad y fallas ocultas), B y D/B (Se refieren a paro de planta y fallas ocultas).

Las fallas críticas van al paso 7-1 y las no críticas al 7-2. Para este análisis se utilizó la estructura del análisis del árbol lógico a fin de establecer las categorías de cada modo de fallo. Los formularios de este análisis se encuentran en las Tablas No. 20, 34, 48 y 62

### 5.1.7 PASO 7: Selección de Tareas

En este paso se tomaron las decisiones de las tareas que se aplican para cada modo de fallo:

- En el paso 7-1 se analizaron las tareas candidatas basadas en el tiempo, en la condición o en la inspección para cada modo de falla crítico, con la ayuda del mapa de selección de tareas enunciado en el capítulo 4 figura 4.15.
- En el paso 7-2 se analizaron los modos de falla que podrían aplicar al riesgo de correr hasta que falle, utilizando “la lista de revisión de conformidad” del capítulo 4, a los modos de falla que no aplicaron se les asignó una tarea basada en el tiempo.

Finalmente los formularios del paso 7-3 fueron de ayuda para visualizar en qué forma se mejoró el sistema de mantenimiento existente, muestra claramente la comparación de las tareas que existían frente a las resultantes del MCC para cada modo de fallo.

Los formularios del paso 7 se encuentran en las Tablas No. 21, 22, 23, 35, 36, 37, 49, 50, 51, 63, 64 y 65.

## 5.2 Normas de seguridad Industrial a considerar

Las normas de seguridad en una industria son fundamentales y por ello deben realizarse inspecciones en forma periódica para comprobar el cumplimiento y evitar riesgos al trabajador. En nuestro plan piloto se realizó una inspección a la planta de líquidos en la cual se pueden acotar las siguientes recomendaciones que se deben llevar a cabo para tener un ambiente con menores probabilidades de accidentes:

- a. Dotar de equipo de protección al personal.
- b. Considerar proyecto de reubicación de tanque de reservorio de diesel a un área alejada del caldero que no implique riesgo por la fuente de calor.
- c. Trasladar el tanque de GLP fuera del área del caldero.
- d. Demarcación de áreas de extintores de cisterna de combustible.
- e. Elaborar plano de evacuación que sea difundido a todo el personal de planta así como su señalización.
- f. Verificación y pruebas de válvulas de alivio en el caldero.

- g. Aislamiento de tuberías de salida y descarga de agua residuales de caldero.
- h. Instalar válvula de alivio para el tanque pulmón del agua caliente del caldero.
- i. Instalar sistema de alarma sonora y visible al nivel del agua de la cisterna de agua contra incendio.
- j. Colocar aislante eléctrico de alta tensión al cable templador de la acometida eléctrica de los transformadores.
- k. Realizar anualmente la inspección y verificación de micros de seguridad de la maquinaria.

## **Capítulo 6**

### **6. REVISIÓN, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO**

#### **6.1 Revisión del diseño**

Después de la descripción del método sistemático MCC, la segunda consideración más importante es la revisión. La revisión es realizada constantemente a lo largo del proceso MCC, en las etapas adecuadas, deben realizarse revisiones sistemáticas del diseño y desarrollo de acuerdo con lo planificado; con una serie de preguntas. La respuesta indicará en qué lugar sobre la línea del tiempo está el análisis y cuan exitoso ha sido. A continuación enlistamos unas cuantas preguntas de las muchas que se pueden realizarse:

- ❖ ¿De qué manera ayudan las actividades?
  - ¿Están en el cronograma?
  - ¿Son realizadas exitosamente?
  - ¿Pueden mejorarse?
  
- ❖ ¿Cuáles son los comentarios del personal involucrado?
- ❖ ¿De qué manera es recibida y ejecutada por el personal?
- ❖ ¿Están listos para las próximas acciones a realizar de acuerdo al plan trazado?

Finalmente, ¿se ha mantenido una estimación de progreso y logros entre el personal de mantenimiento y la gerencia?

La selección de un correcto intervalo de frecuencia para realizar tareas de mantenimiento preventivo es lo más difícil de analizar principalmente porque está asociado con un parámetro de tiempo (o algún equivalente como ciclos, kilómetros, etc.).

El mismo diseño va exigiendo con su dinámica las revisiones que sean necesarias en su momento; ya que el diseño en si es un proceso dinámico que exige proponer, revisar lo propuesto para ver que se mejora.

Para la revisión del proyecto se realizó la comprobación de cada uno de los pasos del MCC a los cuatros sistemas críticos de la planta de líquidos: planta de ósmosis inversa, caldero Donlee 100 HP, compresor de aire de 25 HP, llenadora Arbras. Tomando en consideración criterios como: Cumplimiento, utilidad, posibilidades de mejora, complejidad y aceptación del personal. Si el criterio esta totalmente conforme lleva un visto, si no está conforme una x, o el porcentaje estimado. Esto se muestra en las figuras No. 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4.

<b>Planta de Ósmosis Inversa</b>		<b>Cumplimiento</b>	<b>¿Fue útil?</b>	<b>¿Puede Mejorar?</b>	<b>¿Complejo?</b>	<b>Aceptación del Personal</b>	<b>Lista para el siguiente análisis</b>	<b>Necesita una nueva revisión</b>
1	Definición de los Limites Globales	✓	✓	x	x	✓	✓	x
2	Diagrama de bloques funcional	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
3	Definición de interfaces de entrada y salida	✓	✓	x	x	x	✓	x
4	Detalle de listado de componentes	✓	✓	x	x	✓	✓	x
5	Historial del equipo	90%	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	Descripción de funciones y fallas funcionales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	Desarrollo de análisis AMEF	95%	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	Análisis de Árbol Lógico	95%	✓	✓	x	✓	✓	✓
9	Proceso de Selección y Decisión	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓
10	Verificación de tareas RTF	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
11	Comparación de MCC con el MP actual	✓	x	✓	x	✓	✓	x

**Figura 6.1.-** Revisión del MCC para la Osmosis Inversa

Caldero Donlee 100HP		Cumplimiento	¿Fue útil?	¿Puede Mejorar?	¿Complejo?	Aceptación del Personal	Lista para el siguiente análisis	Necesita una nueva revisión
1	Definición de los Limites Globales	✓	✓	x	x	✓	✓	x
2	Diagrama de bloques funcional	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
3	Definición de interfaces de entrada y salida	✓	✓	x	x	x	✓	x
4	Detalle de listado de componentes	✓	✓	x	x	✓	✓	x
5	Historial del equipo	98%	✓	✓	x	✓	✓	x
6	Descripción de funciones y fallas funcionales	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
7	Desarrollo de análisis AMEF	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
8	Análisis de Árbol Lógico	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
9	Proceso de Selección y Decisión	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
10	Verificación de tareas RTF	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
11	Comparación de MCC con el MP actual	✓	x	✓	x	✓	✓	x

**Figura 6.2.-** Revisión del MCC para el Caldero Donlee 100HP

Compresor de Aire de 25 HP		Cumplimiento	¿Fue útil?	¿Puede Mejorar?	¿Complejo?	Aceptación del Personal	Lista para el siguiente análisis	Necesita una nueva revisión
1	Definición de los Limites Globales	✓	✓	x	x	✓	✓	x
2	Diagrama de bloques funcional	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
3	Definición de interfaces de entrada y salida	✓	✓	x	x	✓	✓	x
4	Detalle de listado de componentes	✓	✓	x	x	✓	✓	x
5	Historial del equipo	90%	✓	✓	x	✓	✓	✓
6	Descripción de funciones y fallas funcionales	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓
7	Desarrollo de análisis AMEF	95%	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	Análisis de Árbol Lógico	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓
9	Proceso de Selección y Decisión	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓
10	Verificación de tareas RTF	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
11	Comparación de MCC con el MP actual	✓	x	✓	x	✓	✓	x

**Figura 6.3.-** Revisión del MCC para el Compresor de Aire de 25HP

Llenadora ARBRAS		Cumplimiento	¿Fue útil?	¿Puede Mejorar?	¿Complejo?	Aceptación del Personal	Lista para el siguiente análisis	Necesita una nueva revisión
1	Definición de los Limites Globales	✓	✓	x	x	✓	✓	x
2	Diagrama de bloques funcional	✓	✓	✓	x	✓	✓	x
3	Definición de interfaces de entrada y salida	✓	✓	x	x	✓	✓	x
4	Detalle de listado de componentes	✓	✓	x	x	✓	✓	x
5	Historial del equipo	90%	✓	✓	x	✓	✓	✓
6	Descripción de funciones y fallas funcionales	98%	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	Desarrollo de análisis AMEF	90%	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	Análisis de Arbol Lógico	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	Proceso de Selección y Decisión	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	Verificación de tareas RTF	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓
11	Comparación de MCC con el MP actual	✓	✓	✓	x	✓	✓	x

**Figura 6.4.-** Revisión del MCC para la Llenadora ARBRAS

## 6.2 Verificación del diseño

A pesar de que se ha realizado una revisión minuciosa del diseño, es importante realizar la verificación de aquellas partes que se consideren críticas y relevantes sobre todo para el funcionamiento o uso seguro del producto.

Se debe realizar la verificación, de acuerdo con lo planificado para asegurarse de que los resultados del diseño y desarrollo cumplen con los requisitos de los elementos de entrada del diseño y desarrollo. Este tipo de

verificación permite redefinir parámetros, frecuencia y tiempos de mantenimiento en caso que sea necesario debido a que esta hoja de verificación se va a convertir en un historial.

Para este proyecto en particular, se verificó que se cumpla con requerimientos como: Plan de capacitación, mayor productividad, disminución de costos, instrumentación confiable, porcentaje de ordenes de trabajo documentadas, llevar un histórico, optimizar el tiempo, disminuir el porcentaje de no conformidades de mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad de equipo, alivio de servicios de mantenimiento, porcentaje de ordenes de trabajo concluidas, disminución de mano de obra externa. La verificación bajo estos requerimientos de diseño se realizó a las actividades involucradas en el proceso de análisis del MCC orientados a los equipos críticos en una forma global. Ver Figura 6.5.

Equipos Críticos	Plan de Capacitación	Mayor productividad	Disminución de costos	Instrumentación confiable	% de ordenes de trabajo que son documentadas	Llevar un histórico	Optimizar el tiempo	Menor % de no conformidades de Mantenimientos	Confiabilidad	Disponibilidad de equipo	Alivio de servicios de mantenimiento	Mayor % ordenes de trabajo concluidas	Disminución de mano de obra externa
	Análisis de criticidad	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x
Definición del Limite del Sistema	x	x	x	x	x	✓	x	x	✓	x	x	x	x
Definición del Sistema / Diagrama funcional esquemático	x	x	x	x	✓	✓	x	x	✓	✓	x	x	x
Funciones / Fallas funcionales	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
Análisis de Modos de Falla y sus Efectos	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Análisis del Árbol Lógico (LTA)	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Selección de la Tarea	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**Figura 6.5.- Verificación del MCC para los equipos críticos**

Luego de verificación se puede señalar que las actividades como: definición de límites del sistema y el diagrama funcional esquemático pueden ser opcionales para el proceso de análisis, debido a que no aportan mayormente con los requerimientos del diseño del proyecto.

### 6.3 Validación del diseño

Se debe realizar la validación del diseño y desarrollo de acuerdo con lo planificado para asegurarse de que el producto resultante es capaz de satisfacer los requisitos para su aplicación especificada o uso previsto. Siempre que sea factible, la validación debe completarse antes de la entrega o implementación del producto.

El sistema más común para validar el diseño es elaborar un prototipo que puede ser un modelo a escala elaborado en ocasiones con materiales diferentes a los del producto que se va a fabricar finalmente, en otras ocasiones se utilizan simulaciones por razones de costos, todo esto es válido en la medida en que las acciones desarrolladas faciliten constatar que el producto que se va a fabricar finalmente cumple, con los requisitos establecidos previamente.

Para la validación se tomo en consideración indicadores de mantenimientos más relevantes que proporcionarían información cuantitativa de que el proyecto cumple con los objetivos para el cual fue diseñado, que serían los enfocados con tiempos, costos, disponibilidad y confiabilidad. El análisis de la validación fue elaborado en base a datos estimados del año 2007 y la comparación se realizó para periodos semestrales y enfocados a la llenadora Arbras. Ver Figura 6.6.

Indicadores	1 <sup>er</sup> Semestre 2007		2 <sup>do</sup> Semestre 2007	
	TIEMPO REPARACION	# DE FALLAS	TIEMPO REPARACION	# DE FALLAS
	27:50:00	14	5:35	5
Tiempo Promedio para reparar = Tiempo de Reparación / # de fallas	1.96 hrs		1.07 hrs	
Tiempo promedio entre fallas (TPEF) = Tiempo de Operación neta / # de fallas	135,15 hrs		335,38 hrs	
Disponibilidad = Tiempo de Operación neta / (Tiempo de Operación neta + Tiempo de reparación)	3716,65/(3716,65+27:50) X 100 = <b>99,26%</b>		1794,29/(1794,29+5,35) X 100 = <b>99,70%</b>	
$CONF = \frac{\Sigma(HCAL - MTMN)}{HCAE} \times 100$	(4344-27:50)/4344 X 100 = <b>99,36 %</b>		(4416-5.35)/4416 X 100 = <b>99,87 %</b>	
$GMFF = \frac{CTMN}{FTEP} \times 100$	\$1821.34/ \$2000298,18 = <b>0,091 %</b>		\$ 803.70/ \$898275,96 X 100 = <b>0,089%</b>	

Figura 6.6.- Verificación del MCC para la planta de líquidos

Los datos de tiempos de reparación y el número de fallas pertenecen a los de mantenimiento correctivo total durante el semestre. Debido al análisis AMEF realizado se previene las fallas potenciales que originan el aumento en horas tiempo de reparación en mantenimiento correctivo y la cantidad de paros imprevistos. Es por esto que el primer indicador disminuye y el tiempo promedio entre fallas aumenta, dando como resultado una mayor disponibilidad y confiabilidad del equipo. En base al incremento en la confiabilidad los costos generados por mantenimiento correctivo se reducen esto se lo puede observar en el último indicador que expresa la relación entre los gastos y lo total facturado por la empresa, cabe recalcar que los criterios del MCC fueron implementados a partir de la mitad del segundo semestre del 2007.

## **CONCLUSIONES**

De acuerdo al trabajo realizado se puede concluir lo siguiente:

- ✓ Las herramientas utilizadas en el capítulo tres tales como: Matriz de puntuación de concepto, matriz de definición y la matriz de la calidad ayudó a obtener los requerimientos del desarrollo del proyecto para su posterior revisión, verificación o validación, con ello se demuestra que la generación del concepto del plan piloto esta correctamente direccionado hacia las necesidades del proyecto.
  
- ✓ Según el análisis de criticidad y en base a la regla 80/20, los sistemas que presentan mayor criticidad son: Sistema de equipo de Osmosis Inversa, Sistema del Caldero, Sistema del Compresor de Aire 25HP y el Sistema de llenadora ARBRAS. Es importante resaltar que el resultado de este análisis fue confirmado con el personal del departamento de producción y mantenimiento.
  
- ✓ La utilización del análisis de modos y efectos de fallas permitió identificar modos de fallos que a su vez permiten tomar acciones para reducir o mitigar la probabilidad de que ocurran fallas e impacten en la confiabilidad y disponibilidad de las líneas de producción.

- ✓ Con el proyecto se disminuyeron los recursos utilizados en el mantenimiento, al haberse reemplazado tareas basadas en el tiempo por tareas basadas en la condición (que representan un menor costo y alargan la vida útil de los repuestos). Adicionalmente, las frecuencias de las tareas fueron analizadas con mayor detalle con la finalidad de disminuir acciones de mantenimiento innecesarias.
  
- ✓ Al estudiar los modos de fallos que atentan contra la seguridad para el operador y el entorno, se llegó a la conclusión de que es necesario mitigar el impacto perjudicial tanto en el sistema Caldero como en el personal, al que habría que exigirle que cumpla las recomendaciones de la inspección de seguridad realizada.
  
- ✓ De acuerdo a la revisión, verificación y validación del proyecto, se cumplió con todos los requerimientos del proceso de análisis MCC, para ello se utilizaron los indicadores mas relevantes, en cuanto a costos y tiempos, determinando en base a estos que la planta de líquidos fue un sitio de potencial aplicación para el MCC.
  
- ✓ De la comparación entre los semestres antes y después de la aplicación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, se obtuvo una notable disminución de 54.59% de tiempos promedios para reparar; así como

un aumento en el tiempo promedio entre fallas de 248.15%, ya que hay una mayor predicción de estos. La disponibilidad de producción aumentó en un 0.44%, incrementando además la confiabilidad del equipo en un 0.51%. Traduciendo esto en dinero y tomando como ejemplo la producción de Agua 24 x 500cc, el lucro cesante que se determinó en el periodo analizado fue de \$8.140,13 teniendo una utilidad alta para la empresa.

## **RECOMENDACIONES**

Producto o resultado de la investigación efectuada, en lo referente a la Gestión de Mantenimiento se recomienda:

- Para que el diseño del proyecto sea exitoso, se debe realizar una selección estructurada de conceptos por lo que se recomienda un proceso de dos etapas: Visualización y puntuación del concepto, la primera porque emplea un concepto de referencia para evaluar variantes y un sistema de comparación ordinario para reducir el rango de conceptos y la segunda porque utiliza criterios de selección ponderados y una escala de calificación mas detallada.
- Capacitar al personal técnico en el manejo de los conceptos de: Trabajos de emergencia y rutina, así como en el cálculo correcto de indicadores de mantenimiento asociadas a esos diferentes tipos de trabajo, todo lo cual forma parte del proceso de mantenimiento confiable.
- Concienciar en general al personal ejecutor de actividades de mantenimiento, en el principio de que las reparaciones deben efectuarse con miras a la reducción del Tiempo Promedio Para Reparar (TPPR), lo cual ayudará en el aumento de la confiabilidad y disponibilidad de la línea de producción.

- Como recomendación de los resultados obtenidos en el paso 7, si una tarea vigente de mantenimiento en la planta no ha sido recomendada por el proceso de análisis del MCC, se podría proponer su anulación. Si una tarea de mantenimiento recomendada por el proceso de análisis MCC no se está aplicando en la actualidad o su frecuencia no coincide con una tarea vigente, se debe obligatoriamente incorporar o modificar en el plan de mantenimiento.
  
- Se recomienda realizar un programa de repuestos críticos que permita al departamento de mantenimiento establecer con certeza con que componentes de estos cuenta o no en su bodega.
  
- Finalmente se recomienda a los profesionales dedicados a la gerencia de mantenimiento que buscan aumentar confiabilidad, disponibilidad y disminuir costos por mantenimiento, que implementen en sus organizaciones el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad como una herramienta de análisis eficaz para este estudio que cambia radicalmente la teoría del mantenimiento tradicional.

**TABLA No. 1**

**Análisis con la competencia:**  
 # Mant Tradicional  
 @ MCC

**Relaciones:**  
 x 9 Fuerte  
 O 5 Mediana  
 0 2 Débil  
 Blanco 0 Sin relación

	G.I.	% de cumplimiento del plan de capacitación	Producción / Hora-Hombre	% TIR	Relación gasto-ingreso	% Error de precisión	% de ordenes de trabajo que son documentadas	Número de accidentes por mes	Tiempo promedio entre fallas (TPEF)	% repuestos críticos en stock	Disponibilidad del equipo	% de confiabilidad	% No Conformidades de Mantenimientos	% Condición de servicio de mantenimientos (Alivio o sobrecarga)	Tiempo promedio entre mantenimientos preventivos	% No Actividades tercerizadas / No. Total de actividades	% de ordenes de trabajo cerradas (concluidas)	1	2	3	4	5
Instrucción al personal en el uso de herramientas adecuadas.	4	x		O	O			/	O			O	O	O	O	O					#	@
No perder tiempo de producción al realizar mediciones	3	O	/	/	O	x			O		x	O	O	O	O						@	#
Aumentar la productividad	5	x	x	x	x				x	x	x	/		O	/	O	O				#	@
Los operadores conozcan sobre la parte funcional de la máquina.	5	x	/	/			O	x	/	x	/	/		/		O					#	@
Ahorro en costos de mantenimiento	4			x	x									/	x	/					#	@
Llevar un histórico de los datos obtenidos en las mediciones	3	/					x		O				/	O	O	/					#	@
Aumentar la seguridad industrial	4	/					/	x				/	/	O							#	@
Disminución de tiempos muertos	5	O	x	x	O				x	/	x	/	O	x	x	O					#	@
Que se aumente la vida útil de los equipos.	3	/		O	/		/		x	/	O	O	/	/	x						#	@
Que la máquina esté disponible todo el tiempo.	5	/	x	x	x	O	O	O	x	x	x	/		x	x	O					#	@
Que no se demore en la reparación del equipo.	3	/	/	O	O		/		O	x	x	x		x	/	/					#	@
Controlar la efectividad del proceso de mantenimiento	2		O			O		/	/	/	/	x	x	/	/	/					#	@
Verificar las no conformidades tras la realización de un mantenimiento (Auditoria interna)	2							/	O	O	O	x	/	O	/	O					#	@
Cumplimiento de los servicios de mantenimiento en el menor tiempo	4	/	x			/	O	/	x	/	x		x	O	/	x	#				@	#
No exagerar la actividad de mantenimiento.	4	/	O	O		O	O	/	O	x	x	O	x	O	O	O					@	#
Que el mantenimiento no se extralimite al presupuesto dado por la empresa.	3			x	x	O		/				/	/	/	/						#	@
Al terminar las tareas de mantenimiento realizar las pruebas correspondientes	2					O	O	O	O		O	/	/	/	O	O					#	@
Que se cumpla el plan de mantenimiento establecido	4			/		x	/	/	O	O	/	x	x	/	O	x					#	@
Disminución del mantenimiento correctivo	5	O	x	x	x	O	x	O	/	x	x	x	/	O						#	@	
Disminuir mano de obra por contratistas	3			x	x	O	/					O	O	x	/						#	@
Que las fallas imprevistas no afecten el funcionamiento de otro equipo.	3		x	/	O	/	x	x	x	/	/	x	/	O							#	@
Control de repuestos utilizados	3	O	O	O	/	x	O	x	O	O	O	O	O	/	/	/					#	@
Ponderación total de cada característica técnica		247	334	368	311	35	229	191	350	332	338	337	248	382	347	158	216					

**TABLA No. 2**

<b>CAPACIDADES INSTALADAS EQUIPOS AUXILIARES PLANTA DE LIQUIDOS</b>					
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>TIPO</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>CARACTERISTICA</b>
1	CALDERO	PIROTUBULAR	DONLEE	SPH-100-2	100HP/ 100PSI/4312LBS-HRS
2	COMPRESOR DE AIRE 25 HP	TORNILLO	INGERSOLD RAND	SSR-EP25SE	25 HP / 100 PSI /95 CFM
3	SECADOR DE AIRE	R-12	DELTECH	HG201	150 PSI / 200 SCFM
4	TORRE DE ENFRIAMIENTO	VENTILACION	EVAPCO	AT3-73A	85 GPM
5	CHILLER	R-22	YORK	LCHA20	85 GPM
6	SISTEMA DE FLUJO LAMINAR	SPLIT-DUCTO			
7	CAMARA DE FRIO	CONTENEDOR R-12	CARRIER	69NT35-6374	28 TON
<b>CAPACIDADES INSTALADAS PLANTA DE AGUA LIQUIDOS</b>					
8	ABLANDADORES DE AGUA	CARBON ACTIVADO	CULLIGAN		
9	EQUIPO OSMOSIS INVERSA	CARTUCHOS	CULLIGAN		15.5 GPM
10	FILTRO UV	LAMPARA	CULLIGAN		
11	BOMBAS SANITARIAS 1 HP	SANITARIO	EVAPCO		
<b>CAPACIDADES INSTALADAS AREA DE PREPARACIÓN PLANTA DE LIQUIDOS</b>					
12	MARMITA 8000 LITROS	ENCHAQUETADO	ACINDEC		
13	SISTEMA FILTRADO (FILTRO PRENSA, BOMBA, TANQUE, VALVULAS)	PRENSA	ACINDEC		
14	SISTEMA ENFRIAMIENTO JARABE (INTERCAMBIADOR, BOMBA, VALVULAS)		ACINDEC		
15	SISTEMA CIP (BOMBAS, DUCHAS, MARMITA, VALVULAS)	SODA CAUSTICA	ACINDEC		
16	LINEA DE PRODUCTO (BOMBAS SANITARIAS, VALVULAS, FLUJOMETROS)	SANITARIO	ACINDEC		
17	PASTEURIZADORA		TETRAPACK		
<b>CAPACIDADES INSTALADAS AREA DE ENVASADO PLANTA DE LIQUIDOS</b>					
18	TRANSPORTADORES Y PULMONES DE ACUMULACIÓN	INTRALOX	ACINDEC		
19	LLENADORA ARBRAS (LAVADO, LLENADO, TAPADO)	MONOBLOCK	ARBRAS		
20	SISTEMA DE AGUA OZONIZADA	P-2000	CLEAR WATER	P-2000	
21	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE BOTELLAS	DUCHAS	SPRAY SYSTEM		
<b>CAPACIDADES INSTALADAS AREA DE ETIQUETADO Y EMPACADO PLANTA DE LIQUIDOS</b>					
22	SISTEMA DE INDUCCION		ENERCON		
23	CODIFICADORA		VIDEOJET		
24	EQUIQUETADORA		POLIPACK		
25	TUNEL TERMORETRACCION PARA BOTELLAS		SEOR		
26	TUNEL TERMORETRACCION PARA PACAS		RAELMA		

TABLA No. 3

<b>Criticidad</b>				
ÍTEM	VARIABLES	CONCEPTO	PONDERACION	OBSERVACIONES
<b>1 Efecto sobre el Servicio que proporciona:</b>				
		Para	4	
		Reduce	2	
		No para	0	
<b>2 Valor Técnico - Económico:</b>				
	Considerar el costo de Adquisición, Operación y Mantenimiento.	Alto	3	Más de U\$ 20000
		Medio	2	
		Bajo	1	Menos de U\$ 1000
<b>3 La falla Afecta:</b>				
	a. Al Equipo en si	Si	1	Deteriora otros componentes?
		No	0	
	b. Al Servicio	Si	1	Origina problemas a otros equipos?
		No	0	
	c. Al operador:	Riesgo	1	Posibilidad de accidente del operador?
		Sin Riesgo	0	
	d. A la seguridad en grl.	Si	1	Posibilidad de accidente a otras personas ù otros equipos cercanos.
		No	0	
<b>4 Probabilidad de Falla (Confiabilidad)</b>				
		Alta	2	Se puede asegurar que el equipo va a trabajar correctamente cuando se le necesite?
		baja	0	
<b>5 Flexibilidad del Equipo en el Sistema:</b>				
		Único	2	No existe otro igual o similar
		By pass	1	El sistema puede seguir funcionando.
		Stand by	0	Existe otro igual o similar no instalado
<b>6 Dependencia Logística:</b>				
		Extranjero	2	Repuestos se tienen que importar
		Loc./Ext.	1	Algunos repuestos se compran localmente.
		Local	0	Repuestos se consiguen localmente.
<b>7 Dependencia de la Mano de Obra:</b>				
		Terceros	2	El Mantenimiento requiere contratar a terceros.
		Propia	0	El Mantenimiento se realiza con personal propio.
<b>8 Facilidad de Reparación (Mantenibilidad):</b>				
		Baja	1	Mantenimiento difícil.
		Alta	0	Mantenimiento fácil.

ESCALA DE REFERENCIA	
A CRITICA	16 a 20
B IMPORTANTE	11 a 15
C REGULAR	06 a 10
D OPCIONAL	00 a 05

Asignar los valores de la ponderación calificando al equipo por su incidencia sobre cada variable. Este paso requiere un buen conocimiento del equipo, su sistema, su operación, su valor y los daños que podría ocasionar una falla.

**TABLA No. 4**

<b>Cálculo de la criticidad de los equipos auxiliares</b>																	
ITEM	CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	PONDERACION												ESCALA DE REFERENCIA	¿SE INCLUYE EN EL MCC?	
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8	TOTAL			
1	1	CALDERO	4	2	1	1	1	1	1	0	2	1	2	1	16	CRITICO	Si
2	2	COMPRESOR DE AIRE 25 HP	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	16	CRITICO	Si
3	3	SECADOR DE AIRE	0	1	0	1	0	0	1	2	0	2	0	7	REGULAR	No	
4	4	TORRE DE ENFRIAMIENTO	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	OPCIONAL	No	
5	5	CHILLER	4	2	1	0	0	0	1	1	1	2	1	13	IMPORTANTE	No	
6	6	SISTEMA DE FLUJO LAMINAR	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	0	5	OPCIONAL	No	
7	7	CAMARA DE FRIO	2	1	1	0	0	0	0	1	1	2	0	8	REGULAR	No	

RESUMEN	Escala de referencia	CANTIDAD
	CRITICO	2
	IMPORTANTE	1
	REGULAR	2
	OPCIONAL	2

**TABLA No. 5**

<b>Cálculo de la criticidad Planta de Agua Liquidos</b>																
ITEM	CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	PONDERACION												ESCALA DE REFERENCIA	¿SE INCLUYE EN EL MCC?
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8	TOTAL		
1	8	ABLANDADORES DE AGUA	2	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	8	REGULAR	No
2	9	EQUIPO OSMOSIS INVERSA	4	3	1	1	0	0	1	2	2	2	1	17	CRITICO	Si
3	10	FILTRO UV	0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	4	OPCIONAL	No
4	11	BOMBAS SANITARIAS	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	OPCIONAL	No

<b>RESUMEN</b>	Escala de referencia	CANTIDAD
	CRITICO	1
	IMPORTANTE	0
	REGULAR	1
	OPCIONAL	2

**TABLA No. 6**

<b>Cálculo de la criticidad del Área de Preparación Planta de Líquidos</b>																	
ITEM	CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	PONDERACION													ESCALA DE REFERENCIA	¿SE INCLUYE EN EL MCC?
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8	TOTAL			
1	12	MARMITA 8000 LITROS	2	1	1	0	1	1	0	2	1	0	0	9	REGULAR	No	
2	13	SISTEMA FILTRADO	4	2	1	0	1	1	1	2	0	0	0	12	IMPORTANTE	No	
3	14	SISTEMA ENFRIAMIENTO JARABE	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	5	OPCIONAL	No	
4	15	SISTEMA CIP	4	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	10	REGULAR	No	
5	16	LINEA DE PRODUCTO	2	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	6	REGULAR	No	
6	17	PASTEURIZADORA	4	2	1	1	1	1	1	2	1	0	1	15	IMPORTANTE	No	

<b>RESUMEN</b>	Escala de referencia	CANTIDAD
	CRITICO	0
	IMPORTANTE	2
	REGULAR	3
	OPCIONAL	1

**TABLA No. 7**

<b>Cálculo de la criticidad del Área de Envasado Planta de Líquidos</b>																	
ITEM	CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	PONDERACION												ESCALA DE REFERENCIA	¿SE INCLUYE EN EL MCC?	
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8	TOTAL			
1	18	TRANSPORTADORES Y PULMONES DE ACUMULACIÓN	4	1	1	0	1	0	1	2	1	0	0	11	IMPORTANTE	No	
2	19	LLENADORA ARBRAS (LAVADO, LLENADO, TAPADO)	4	2	1	1	1	1	1	2	2	0	1	16	CRITICO	Si	
3	20	SISTEMA DE AGUA OZONIZADA	4	1	0	0	0	0	1	2	1	0	0	9	REGULAR	No	
4	21	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE BOTELLAS	2	1	0	0	1	1	0	2	0	0	0	7	REGULAR	No	

<b>RESUMEN</b>	Escala de referencia	CANTIDAD
	CRITICO	1
	IMPORTANTE	1
	REGULAR	2
	OPCIONAL	0

CIB-ESPOL



**TABLA No. 8**

<b>Cálculo de la criticidad del Área de Etiquetado y Empacado Líquidos</b>																
ITEM	CODIGO	NOMBRE DEL EQUIPO	PONDERACION												ESCALA DE REFERENCIA	¿SE INCLUYE EN EL MCC?
			1	2	3A	3B	3C	3D	4	5	6	7	8	TOTAL		
1	22	SISTEMA DE INDUCCION	2	1	0	0	0	0	0	2	2	0	0	7	REGULAR	No
2	23	CODIFICADORA	2	2	1	0	1	0	1	2	0	2	1	12	IMPORTANTE	No
3	24	EQUIQUETADORA	4	2	1	1	1	1	1	2	1	0	0	14	IMPORTANTE	No
4	25	TUNEL TERMORETRACCION PARA BOTELLAS	4	1	0	0	1	0	1	2	0	0	0	9	REGULAR	No
5	26	TUNEL TERMORETRACCION PARA PACAS	4	2	1	0	1	1	1	2	1	0	0	13	IMPORTANTE	No

RESUMEN	Escala de referencia	CANTIDAD
	CRITICO	0
	IMPORTANTE	3
	REGULAR	2
	OPCIONAL	0

TABLA No. 9

<b>Cálculo de la criticidad de los equipos auxiliares</b>		<i>POND</i>
1	CALDERO	16
2	COMPRESOR DE AIRE 25 HP	16
3	SECADOR DE AIRE	7
4	TORRE DE ENFRIAMIENTO	3
5	CHILLER	13
6	SISTEMA DE FLUJO LAMINAR	5
7	CAMARA DE FRIO	8
<b>Cálculo de la criticidad de Planta de Agua Líquidos</b>		
8	ABLANDADORES DE AGUA	8
9	EQUIPO OSMOSIS INVERSA	17
10	FILTRO UV	4
11	BOMBAS SANITARIAS	3
<b>Cálculo de la criticidad de Área de Preparación Líquidos</b>		
12	MARMITA 8000 LITROS	9
13	SISTEMA FILTRADO	12
14	SISTEMA ENFRIAMIENTO JARABE	5
15	SISTEMA CIP	10
16	LINEA DE PRODUCTO	6
17	PASTEURIZADORA	15
<b>Cálculo de la criticidad de Área de Envasado Líquidos</b>		
18	TRANSPORTADORES Y PULMONES DE ACUMULACIÓN	11
19	LLENADORA ARBRAS (LAVADO, LLENADO, TAPADO)	16
20	SISTEMA DE AGUA OZONIZADA	9
21	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE BOTELLAS	7
<b>Cálculo de la criticidad de Área de Etiquetado y Empacado Líquidos</b>		
22	SISTEMA DE INDUCCION	7
23	CODIFICADORA	12
24	EQUIQUETADORA	14
25	TUNEL TERMORETRACCION PARA BOTELLAS	9
26	TUNEL TERMORETRACCION PARA PACAS	13
<b>TOTAL PONDERACIÓN</b>		255
<b>20% DEL TOTAL PORNDERACIÓN</b>		51

TABLA No. 10

Análisis de Sistemas - MCC			
<b>Paso 2:</b> Definición del Limite del Sistema			
<b>Paso 2-1:</b> Apreciación Global del Limite	<b>Rev. No.:</b>	1	<b>Fecha:</b> Oct./2007
<b>Planta:</b> Planta de Líquidos		<b>ID de la Planta:</b>	2
<b>Sistema:</b> Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)		<b>ID del Sistema:</b>	1
<b>Analistas:</b> Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
<b>2.1.1 Componentes importantes incluidos</b>			
Controlador Electrónico Honeywell			
Fotocélula			
Motor Modulación			
Piro tubos			
Quemador			
Regulador de presión de gas			
Transformador de ignición			
Tanque de presión agua			
Precalentador de agua			
Tanque pulmón de diesel			
Bomba de diesel			
Soplador 7-1/2 HP			
Visor de agua			
Visor de llama			
Válvula de seguridad set 150 PSI			
Handholes			
Switches de presión			
Puertas delanteras y traseras			
<b>2.1.2 Límites Físicos Primarios:</b>			
<b>Empieza con:</b>			
Presión de Gas		3 Bar	
Nivel de agua		50% del visor	
Nivel de Diesel		Arriba del 75 %	
Presión de Diesel llama baja		40 PSI	
Presión de Diesel llama alta		80 PSI	
Energía Eléctrica:		230 volt. 45 amp. 60Hz trifásico	
Voltaje del Control:		120V	
Visor de llama		Limpio	
<b>Termina con:</b>			
Vapor		90-100 PSI	
Gases de combustión			
Condensos, que va al drenaje			
<b>Advertencias:</b>			
- Muy importante inspeccionar diario fugas de gas o diesel			
- No realizar cambio de piezas dañadas con el caldero presurizado			
- Nunca realice trabajos con el panel energizado			

TABLA No. 11

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 2: Definición del Límite del Sistema			
Paso 2-2: Detalles del Límite		Rev. No.:	1
Fecha:		Oct./2007	
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta: 2	
Sistema: Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)		ID del Sistema: 1	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
Tipo	Sistema Limitante	Ubicación de la Interface	Plano de Referencia
Entrada (Aire 1 ATM)	Ambiente	Entrada de Aire que entra al Soplador	INSTALLATION, OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL PAGE 1-4
Entrada (Energía Eléctrica)	Del servicio EE	Panel de control 230 volt. 45 amp. trifásico	
Entrada (Agua Ablandada)	Ablandador de Agua	Agua ablandada que sale del ablandador de agua y acumulada para ser enviada por el tanque de presión al caldero Donlee	
Entrada (Diesel)	Tanque pulmón de diesel	Entrada de diesel que es absorbido por la bomba de diesel	
Entrada (Gas)	Tanque de Gas	Gas que proviene del tanque GLP	
Salida (Alarma)	Área de envasado	Salida de Alarma que va a una sirena en el área de envasado	
Salida (Gases de combustión)	Atmósfera	Gases producidos por la combustión que salen al ambiente	
Salida (Purga de sólidos)	Drenaje	Salida de agua con sólidos atrapados por los componentes químicos	INSTALLATION, OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL PAGE 5-13
Salida (Vapor)	Al servicio	Salida de vapor a 100 PSI que se dirige a la línea de producción	INSTALLATION, OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL PAGE 5-13

TABLA No. 12

Análisis de Sistemas - MCC			
<b>Paso 3: Definición del Sistema / Diagrama Funcional Esquemático</b>			
<b>Paso 3-1: Descripción Funcional</b>	Rev. No.:	1	Fecha: Oct./2007
<b>Planta:</b> Planta de Líquidos	<b>ID de la Planta:</b>		2
<b>Sistema:</b> Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)	<b>ID del Sistema:</b>		1
<b>Analistas:</b> Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
<b>3.1.1 Descripción Funcional / Parámetros importantes</b>			
<p><b>PRECALENTADOR:</b> Consta de un tanque en cuyo interior se encuentran una resistencia térmica que precalienta el agua ablandada para evitar que se produzca choque térmico al momento de ingresar a la caldera.</p> <p><b>COMPUERTA DE AIRE:</b> Es comandada mecánicamente por el motor modulador para regular la entrada del flujo de aire.</p> <p><b>MOTOR MODULADOR:</b> Este motor modulador recibe la orden del controlador electrónico Honeywell, el cual le avisa en que estado se encuentra el sistema, en purga, en llama alta o en llama baja. Entonces luego este motor modulador abre y cierra mecánicamente la compuerta de ingreso de aire y la válvula de llama alta.</p> <p><b>QUEMADOR:</b> Este consta de tres electroválvulas, una para la llama piloto otra para llama baja y otra para llama alta, también consta de un soplador de 7,5 hp y de sus respectivas boquillas aspersoras del combustible.</p> <p><b>CALDERA:</b> Es una unidad pirotubular que produce vapor saturado a 100 PSI, el cual es enviado a la línea de producción. En su interior se encuentra el paquete de pirotubos. Esta recibe el agua precalentada la cual es llevada a su punto ebullición a través de la llama del quemador, luego como producto se obtiene vapor saturado y los gases de combustión que son enviados al ambiente. La caldera consta de una purga para eliminar los sólidos (incrustaciones) atrapadas por el tratamiento químico</p> <p><b>CONTROLADOR:</b> Interviene en el proceso de control del quemador según el estado de presión que se encuentre en la caldera.</p>			
<b>3.1.2 Características Redundantes</b>			
En el sistema de generación de vapor no existen características redundantes			
<b>3.1.3 Características de Protección</b>			
Como protección del sistema se tiene:			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Válvula de seguridad de sobrepresión.</li> <li>2. Fotocelula para presencia de llama.</li> <li>3. Alarma de nivel bajo de agua.</li> <li>4. Switches eléctricos de emergencia para alta presión.</li> <li>5. Relé térmico del motor de la bomba de diesel.</li> <li>6. Relé térmico del motor del soplador de aire.</li> </ol>			
<b>3.1.4 Características de Control Principales</b>			
El control de combustión lo hace por medio del motor modulador que controla la apertura de las válvulas de llama baja y llama alta y su respectiva proporción de aire.			

**TABLA No. 13**

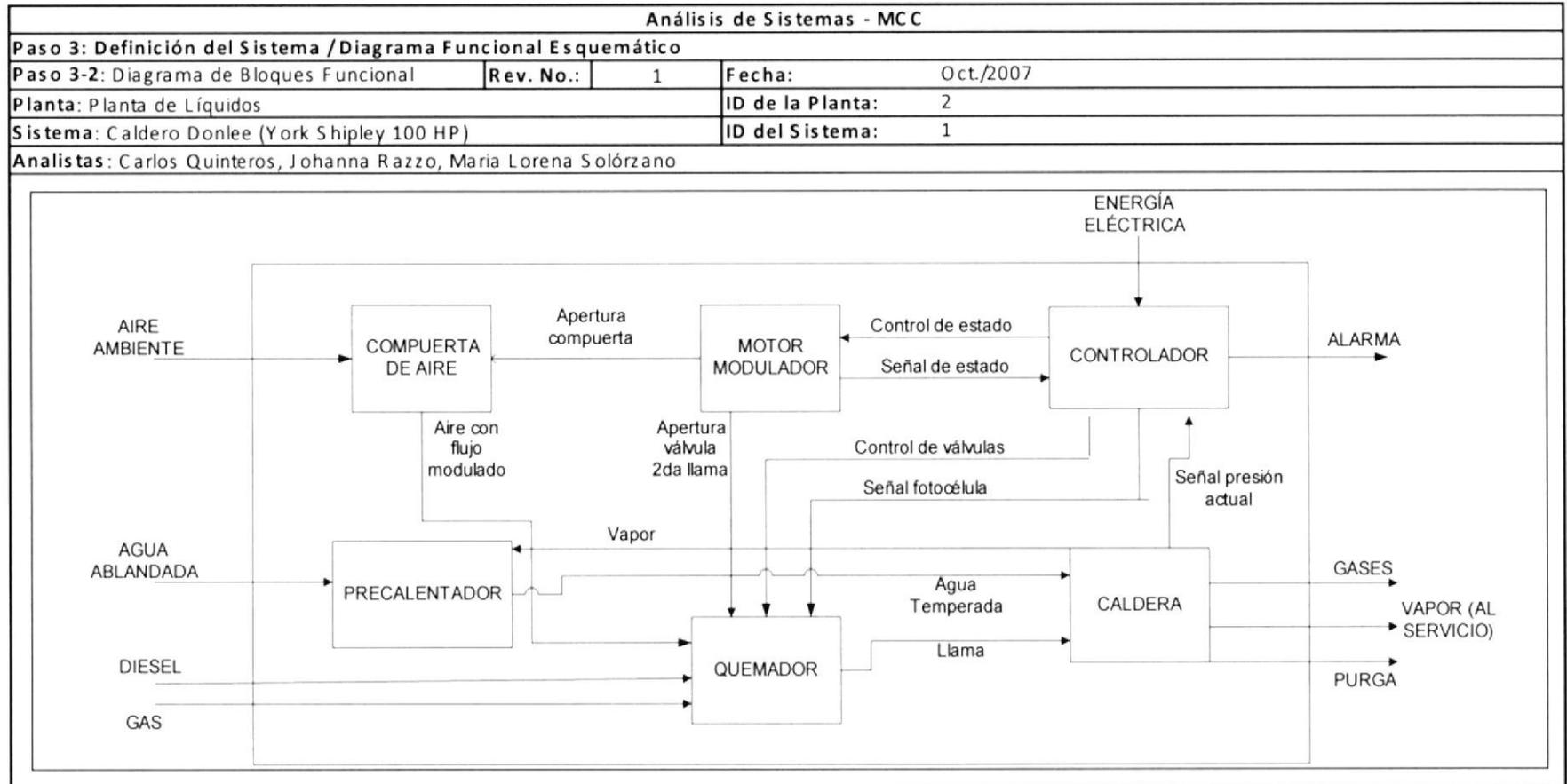


TABLA No. 14

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 3: Descripción del Sistema / Diagrama Funcional Esquemático			
Paso 3-3: Interfaces Entrada/Salida		Rev. No.:	1
		Fecha:	Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta:	2
Sistema: Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)		ID del Sistema:	1
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
Tipo	Sistema Limitante	Ubicación de la Interface	Plano de Referencia
<b>3.3.1 Interfaces ENTRADA</b>			
Entrada (Aire 1 ATM)	Ambiente	Entrada de Aire que entra al Soplador	INSTALLATION, OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL PAGE 1-4
Entrada (Energía Eléctrica)	Del servicio EE	Panel de control 230 volt. 45 amp. trifásico	
Entrada (Agua Ablandada)	Ablandador de Agua	Agua ablandada que sale del ablandador de agua y acumulada para ser enviada por el tanque de presión al caldero Donlee	
Entrada (Diesel)	Tanque pulmón de diesel	Entrada de diesel que es absorbido por la bomba de diesel	
Entrada (Gas)	Tanque de Gas	Gas que proviene del tanque GLP	
<b>3.3.2 Interfaces SALIDA</b>			
Salida (Alarma)	Área de envasado	Salida de Alarma que va a una sirena en el área de envasado	
Salida (Gases de combustión)	Atmósfera	Gases producidos por la combustión que salen al ambiente	
Salida (Purga de sólidos)	Drenaje	Salida de agua con sólidos atrapados por los componentes químicos	INSTALLATION, OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL
Salida (Vapor)	Al servicio	Salida de vapor a 100 PSI que se dirige a la línea de producción	INSTALLATION, OPERATION AND MAINTENANCE MANUAL
<b>3.3.3 Interfaces INTERIOR</b>			
Interior (Aire con flujo regulado)	Compuerta / soplador	Entrada de aire regulado que va al soplador	
Interior (control mecánico)	Motor modulador / Compuerta	Control mecánico que abre y cierra la compuerta a través del movimiento del motor modulador	
Interior (control mecánico apertura 2da llama)	Motor modulador / Quemador	Control mecánico que abre y cierra la válvula de la 2da llama a través del movimiento del motor modulador	
Interior (Señal eléctrica de presión)	Caldera / Controlador	Señal eléctrica de presión actual que entra al Controlador	
Interior (señal eléctrica de estado)	Controlador / Modulador	Señales eléctricas de estado que van al Modulador (Purga, llama piloto, llama baja, llama alta)	
Interior (señal eléctrica de estado)	Modulador / Controlador	Señales eléctricas de estado que entra al controlador para avisar que ya llego al estado deseado (Purga, llama piloto, llama baja, llama alta)	
Interior (Señal eléctrica control)	Controlador / Quemador	Señales eléctricas de control para activación de válvulas (Piloto, llama baja, llama alta)	
Interior (Señal eléctrica de llama presente)	Quemador / Controlador	Señal eléctrica de presencia de llama que va desde el quemador al controlador	
Interior (Vapor)	Caldera / Precalentador	Realimentación de vapor que entra al precalentador para ingresar agua temperada al caldero	
Interior (Agua ablandada precalentada)	Precalentador / Caldera	Agua ablandada temperada que va desde el precalentador a la caldera para evitar choques térmicos.	
Interior (Llama)	Quemador / Caldera	Llama generada por el quemador que va al centro de la caldera	

TABLA No. 15

Análisis de Sistemas - MCC					
Paso 3: Descripción del Sistema /Diagrama Funcional Esquemático					
Paso 3-4: Listado de Componentes		Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos			ID de la Planta:	2	
Sistema: Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)			ID del Sistema:	1	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano					
No.	Descripción del Componente	Tipo	Cant.	Plano de Referencia	
1	Controlador Electrónico Honeywell	C	1		
2	Fotocélula	S	1		
3	Motor Modulación	C	1		
4	Pirotubos	NA	57		
5	Quemador	NA	1		
6	Regulador de presión de gas	C	1		
7	Transformador de ignición	NA	1		
8	Tanque de presión agua	NA	1		
9	Pre calentador de agua	NA	1		
10	Tanque pulmón de diesel	NA	1		
11	Bomba de diesel	NA	1		
12	Soplador 7-1/2 HP	NA	1		
13	Visor de agua	S	1		
14	Visor de llama	S	2		
15	Válvula de seguridad set 150 PSI	P	1		
16	Handholes	NA	6		
17	Switches de presión	P	4		
18	Puertas delanteras y traseras	NA	6		
NA: No Aplica P: Protección S: Status C: Control					



CIB-ESPOL

TABLA No. 16

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 3-5: Descripción del Sistema /Diagrama funcional esquemático			
Paso 3-5: Historial del Equipo		Rev. No.: 1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta:	2
Sistema: Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)		ID del Sistema:	1
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
Descripción del Componente	Modo de Falla		Causa de Falla
	Tipo	Fecha	
Controlador Electrónico Honeywell	Fallo de CPU	02/08/2006	Sobrevoltaje
Regulador de presión de gas	Daño de boquilla	05/11/2005	Tiempo de vida útil
		24/01/2007	
		23/12/2007	
Quemador	Descalibración	27/07/2006	Falta de ajustes
Quemador	Quemador no enciende	23/01/2008	Transformador de ignición con el secundario abierto
Motor Modulación	Descalibración	27/07/2006	Falta de ajustes
Handholes	Daño de empaque	10/12/2003	Tiempo de vida útil
		25/01/2005	
		04/12/2007	
Tanque de presión agua	Daño de presostato	14/11/2003	Tiempo de vida útil
Tanque de presión agua	Bomba no arranca	07/08/2007	Rodamientos en mal estado
Precalentador de agua	Perforación	29/10/2005	Oxidación en el tanque
		13/06/2007	
Pirotubos	Tubos abiertos	28/07/2006	Mal tratamiento de agua
Tanque pulmón de diesel	Goteo en Válvula de ingreso	10/10/2007	Tiempo de vida útil
Tanque pulmón de diesel	Daño de visor de nivel	11/10/2006	Tiempo de vida útil
Visor de agua	Daño de empaques	30/05/2007	Tiempo de vida útil
Fotocélula	Quemador fallo en el arranque	14/05/2007	Falta de limpieza
		19/10/2007	
		19/10/2004	
Bomba de diesel	Daño de bocines del motor	12/07/2005	Desgaste de bocines
		15/09/2006	
		20/08/2007	
Bomba de diesel	Bomba no envía suficiente diesel	10/02/2005	Suciedad dentro de la bomba
Bomba de diesel	Fuga de diesel en el filtro	22/12/2007	Válvula de purga averiada
Puertas delanteras y traseras	Daño de cordón de asbesto	25/07/2006	Tiempo de vida útil

TABLA No. 17

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 4: Funciones / Fallas Funcionales			
Información: Descripción de Fallas Funcionales		Rev. No.: 1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta:	2
Sistema: Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)		ID del Sistema:	1
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
Función #	FF #	Función / Descripción de la Falla Funcional	
1.1		<b>Proveer vapor a 100 PSI</b>	
	1.1.1	No hay vapor en la línea	
	1.1.2	Presión no se recupera	
1.2		<b>Mantener una buena combustión</b>	
	1.2.1	Gases de combustión negros.	
	1.2.2	Llama toma un color claro	
1.3		<b>Controlar moduladamente la presión de la caldera</b>	
	1.3.1	Modulador no regula la llama	
2.1		<b>Entrada automática de agua ablandada</b>	
	2.1.1	Nivel de agua del caldero no recupera rápidamente	
	2.1.2	Se perdió el flujo de entrada de agua	
3.1		<b>Proveer de una entrada regulada de combustible</b>	
	3.1.1	Diesel no ingresa con la presión adecuada	
	3.1.2	Presión baja de gas	
4.1		<b>Mantener condiciones de seguridad apropiadas</b>	
	4.1.1	Fugas de vapor	
	4.1.2	Fugas de combustible	
	4.1.3	Gases de combustión fuera de normal	

**TABLA No. 18**

Análisis de Sistemas - MCC													
Paso 5: Funciones / Fallas Funcionales													
Paso 5-1: Matriz Componentes - Fallas Funcionales										Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos										ID de la Planta:	2		
Sistema: Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)										ID del Sistema:	1		
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano													
		FALLA FUNCIONAL											
No.	DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE	1.1.1	1.1.2	1.2.1	1.2.2	1.3.1	2.1.1	2.1.2	3.1.1	3.1.2	4.1.1	4.1.2	4.1.3
1	Controlador Electrónico Honeywell	x											
2	Fotocélula	x											
3	Motor Modulación	x	1.1.1	1.1.1	1.1.1	1.1.1			1.1.1				1.1.1
4	Pirotubos		x								1.1.2		
5	Quemador	x	1.1.1	1.1.1	1.1.1	1.1.1			1.1.1				1.1.1
6	Regulador de presión de gas	x								1.1.1			
7	Transformador de ignición	x											
8	Tanque de presión agua	x					1.1.1	1.1.1					
9	Pre calentador de agua										x		
10	Tanque pulmón de diesel											x	
11	Bomba de diesel	x		1.1.1	x				1.2.2			x	1.2.2
12	Soplador 7-1/2 HP												
13	Visor de agua										x		
14	Visor de llama												x
15	Válvula de seguridad set 150 PSI												
16	Handholes										x		
17	Switches de presión	x											
18	Puertas delanteras y traseras												x

**TABLA No. 19**

Análisis de Sistemas - MCC												
Paso 5: Funciones /Fallas Funcionales												
Paso 5-2: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos								Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007	
Planta: Planta de Líquidos								ID de la Planta:		2		
Sistema: Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)								ID del Sistema:		1		
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano												
# FF	No. Comp.	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	# CF	Causa de Falla	Efecto de falla	Frecuencia de Ocurrencia	Grado de severidad	Oportunidad de detección	Factor de Riesgo	LTA
1.1.1	1	Controlador Electrónico Honeywell	1.1	Fallo de CPU	1.1.1	Sobrevoltaje	Detiene equipo y producción	1	10	3	14	Si
1.1.1	2	Fotocélula	2.1	Quemador fallo en el arranque	2.1.1	Falta de limpieza	Paro momentáneo del equipo y producción	2	3	3	8	No
1.1.1	3	Motor Modulación	3.1	Descalibración	3.1.1	Falta de ajustes	Detiene equipo y producción	1	7	8	16	Si
1.1.1	5	Quemador	5.1	Descalibración	5.1.1	Falta de ajustes	Detiene equipo y producción	1	7	8	16	Si
1.1.1	6	Regulador de presión de gas	6.1	Daño de boquilla	6.1.1	Tiempo de vida útil	Detiene equipo y producción	3	6	4	13	Si
1.1.1	7	Transformador de ignición	7.1	Transformador abierto	7.1.2	Corto circuito	Detiene equipo y producción	1	7	3	11	No
1.1.1	8	Tanque de presión agua	8.1	Daño de presostato	8.1.1	Daño de presostato	Paro momentáneo del equipo y producción	1	3	3	7	No
1.1.1	8	Tanque de presión agua	8.2	Bomba no arranca	8.2.1	Rodamientos en mal estado	Paro momentáneo del equipo y producción	1	3	5	9	No

1.1.1	11	Bomba de diesel	11.1	Daño de bocines del motor	11.1.1	Desgaste de bocines	Detiene equipo y producción	3	8	5	16	Si
1.1.1	17	Switches de presión	17.1	Descalibración	17.1.1	Acumulación de suciedad en la tubería	Presión de vapor en la línea no adecuada	1	8	4	13	Si
1.1.2	4	Piro tubos	4.1	Tubos abiertos	4.1.1	Mal tratamiento del agua	Detiene equipo y producción	1	10	6	17	Si
1.2.2	11	Bomba de diesel	11.2	Bomba no envía suficiente diesel	11.2.1	Suciedad dentro de la bomba	Podría causar el paro del equipo	1	8	6	15	Si
4.1.1	9	Pre calentador de agua	9.1	Perforación	9.1.1	Oxidación en el tanque	Ocasiona inseguridad para el entorno	2	5	1	8	No
4.1.1	13	Visor de agua	13.1	Daño de empaques	13.1.1	Tiempo de vida útil	Ocasiona inseguridad para el entorno	1	5	1	7	No
4.1.1	16	Handholes	16.1	Daño de empaque	16.1.1	Tiempo de vida útil	Ocasiona inseguridad para el entorno	3	5	4	12	Si
4.1.2	10	Tanque pulmón de diesel	10.1	Daño de visor de nivel	10.1.1	Tiempo de vida útil	Ocasiona inseguridad para el entorno	1	5	2	8	No
4.1.2	11	Bomba de diesel	11.3	Fuga de diesel en el filtro	11.3.1	Válvula de purga averiada	Ocasiona inseguridad para el entorno	1	4	1	6	No
4.1.3	14	Visor de llama	14.1	Falta de visibilidad de la llama	14.1.1	Suciedad en el visor	Se pierde la inspección rutinaria del estado de llama	8	3	1	12	Si
4.1.3	18	Puertas delanteras y traseras	18.1	Daño de cordón de asbesto	18.1.1	Tiempo de vida útil	Ocasiona inseguridad para el entorno	1	5	3	9	No

**TABLA No. 20**

Análisis de Sistemas - MCC									
Paso 6: Análisis de Árbol Lógico (LTA)									
Información: Análisis de los Modos de Fallas						Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos						ID de la Planta:			2
Sistema: Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)						ID del Sistema:			1
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, María Lorena Solórzano									
# FF	No. Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	Evidente?	Seguridad	Paro?	Categoría	
1.1.1	1	Controlador Electrónico Honeywell	1.1	Fallo de CPU	SI	NO	SI	B	
1.1.1	3	Motor Modulación	3.1	Descalibración	NO	NO	NO	D/C	
1.1.1	5	Quemador	5.1	Descalibración	NO	NO	NO	D/C	
1.1.1	6	Regulador de presión de gas	6.1	Daño de boquilla	SI	SI	-	A	
1.1.1	11	Bomba de diesel	11.1	Daño de bocines del motor	NO	NO	SI	D/B	
1.1.1	17	Switches de presión	17.1	Descalibración	NO	NO	NO	D/C	
1.1.2	4	Piro tubos	4.1	Tubos abiertos	NO	SI	-	D/A	
1.2.2	11	Bomba de diesel	11.2	Bomba no envía suficiente diesel	NO	NO	NO	D/C	
4.1.1	16	Handholes	16.1	Daño de empaque	SI	SI	-	A	
4.1.3	14	Visor de llama	14.1	Falta de visibilidad de la llama	SI	NO	NO	C	

**TABLA No. 21**

Análisis de Sistemas - MCC																	
Paso 7: Selección de la Tarea																	
Paso 7-1: Proceso de Selección y Decisión																	
Planta: Planta de Líquidos																	
Sistema: Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)																	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, María Lorena Solórzano																	
Rev. No.: 1																	
Fecha: Oct/2007																	
ID de la Planta: 2																	
ID del Sistema: 1																	
No. Comp.	# FF	No. Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	# CF	Causa de Falla	1	2	3	4	5	6	7	Tarea candidata	Información efectiva	Decisión selectiva	Frecuencia
1.1.1	1	Controlador Electrónico Honeywell	1,1	Fallo de CPU	1.1.1	Sobrevoltaje	NO	-	NO	SI	NO	NO	NO	1. RTF	Por ser un componente electrónico complejo no existen tareas así que se acepta el RTF	1	-
1.1.1	6	Regulador de presión de gas	6,1	Daño de boquilla	6.1.1	Tiempo de vida útil	NO	-	SI	NO	-	SI	-	1. Verificar el estado de la boquilla (BC). 2. RTF	1. La verificación del estado de la boquilla puede evitar que este modo de fallo aparezca 2. Causaría pérdida de producción.	1	Semanal
1.1.1	11	Bomba de diesel	11,1	Daño de bocines del motor	11.1.1	Desgaste de bocines	NO	-	NO	NO	-	NO	SI	1. Modificar el diseño. 2. RTF	1. Se decide cambiar el motor a otro que tenga rodamientos. 2. Causaría pérdida de producción.	1	-
1.1.2	4	Pirotubos	4,1	Tubos abiertos	4.1.1	Mal tratamiento de agua.	NO	-	SI	NO	-	SI	-	1. Aplicar tratamiento químico del agua en base a resultados del análisis. 2. RTF	1. Se procede a cambiar proveedor de productos químicos y a hacer seguimiento de los análisis 2. Causaría pérdida de producción.	1	Semanal
4.1.1	16	Handholes	16,1	Daño de empaque	16.1.1	Tiempo de vida útil	NO	-	NO	NO	-	NO	NO	RTF	Se acepta el riesgo de correr hasta que falle. Una inspección significaría el cambio del empaque.	-	-

**TABLA No. 22**

**Análisis de Sistemas - MCC**

Paso 7: Selección de la Tarea																	
Paso 7-2: Lista de Verificación de Correr Hasta que Falle														Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos														ID de la Planta:	2		
Sistema: Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)														ID del Sistema:	1		
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano																	
# FF	No. Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	Efectividad Marginal	Falla de alto costo	Daño Secundario	Conflicto FOE	Conflicto Interno	Conflicto Regulatorio	Conflicto de Seguro	Oculto	Decisión RTF	Decisión Selectiva	Frecuencia	Comentarios	
1.1.1	3	Motor Modulación	3.1	Descalibración	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	Realizar ajustes al motor modulador	Mensual	El realizar ajustes en los brazos del motor modulador evitara esta falla.	
1.1.1	5	Quemador	5.1	Descalibración	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	Realizar ajustes al quemador	Mensual	El realizar ajustes en el quemador evitara esta falla.	
1.1.1	17	Switches de presión	17.1	Descalibración	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	RTF	-	Dado que la probabilidad de que aparezca esta falla es muy remota y el costo originado no sería alto se toma el riesgo RTF.	
1.2.2	11	Bomba de diesel	11.2	Bomba no envía suficiente diesel	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	Cambiar el filtro de diesel periódicamente	3 meses	El cambio oportuno del filtro de diesel evitara que partículas de suciedad se depositen dentro de la bomba	
4.1.3	14	Visor de llama	14.1	Falta de visibilidad de la llama	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	RTF	-	Dado que esta falla no origina problemas mayores se acepta el RTF	

**TABLA No. 23**

Análisis de Sistemas - MCC										
Paso 7: Selección de Tareas										
Paso 7-3: Comparación del RCM vs. Tareas de Mantenimiento Preventivos actuales								Rev. No.: 1	Fecha:	Oct/2007
Planta: Planta de Líquidos								ID de la Planta:	2	
Sistema: Caldero Donlee (York Shipley 100 HP)								ID del Sistema:	1	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano										
# F.F.	No. Comp.	Descripción del Componente	# M.F.	Modo de Falla /Locación		Selección RCM Decisión/Categoría		Frecuencia	Descripción de tarea actual	Frecuencia
1.1.1	1	Controlador Electrónico Honeywell	1,1	Fallo de CPU	7-1	RTF	B	-	RTF	-
1.1.1	6	Regulador de presión de gas	6,1	Daño de boquilla	7-1	Verificar el estado de la boquilla (BC).	A	Semanal	RTF	-
1.1.1	11	Bomba de diesel	11,1	Daño de bocines del motor	7-1	Cambio de motor	D/B	-	RTF	-
1.1.2	4	Pirotubos	4,1	Tubos abiertos	7-1	Aplicar tratamiento químico del agua en base a resultados del análisis.	D/A	Semanal	Se aplica tratamiento en base a recomendaciones iniciales	-
4.1.1	16	Handholes	16,1	Daño de empaque	7-1	RTF	A	-	RTF	-
1.1.1	3	Motor Modulación	3,1	Descalibración	7-2	Realizar ajustes al motor modulador	D/C	Mensual	RTF	-
1.1.1	5	Quemador	5,1	Descalibración	7-2	Realizar ajustes al quemador	D/C	Mensual	RTF	-
1.1.1	17	Switches de presión	17,1	Descalibración	7-2	RTF	D/C	-	RTF	-
1.2.2	11	Bomba de diesel	11,2	Bomba no envía suficiente diesel	7-2	Cambiar el filtro de diesel periódicamente	D/C	3 meses	RTF	-
4.1.3	14	Visor de llama	14,1	Falta de visibilidad de la llama	7-2	RTF	C	-	RTF	-

TABLA No. 24

Análisis de Sistemas - MCC			
<b>Paso 2:</b> Definición del Limite del Sistema			
<b>Paso 2-1:</b> Apreciación Global del Limite	<b>Rev. No.:</b> 1	<b>Fecha:</b>	Oct./2007
<b>Planta:</b> Planta de Líquidos		<b>ID de la Planta:</b>	2
<b>Sistema:</b> Compresor de Aire 25 HP		<b>ID del Sistema:</b>	2
<b>Analistas:</b> Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
<b>2.1.1 Componentes importantes incluidos</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Prefiltro de aire</li> <li>Filtro de entrada modulación</li> <li>Modulación de entrada de aire</li> <li>Unidad compresora (Airend)</li> <li>Motor trifásico 25HP</li> <li>Intercambiador de calor</li> <li>Separador</li> <li>Control Electrónico (Intellisys)</li> <li>Sensores</li> <li>Válvulas</li> <li>Racores y mangueras neumáticas</li> <li>Mangueras hidráulicas</li> <li>Trampa de condensa</li> </ul>			
<b>2.1.2 Límites Físicos Primarios:</b>			
<b>Empieza con:</b>			
Aire temperatura Ambiente:	1 ATM		
Indicador del filtro de aire:	OK!		
Nivel de aceite:	3/4 de la mirilla		
Energía Eléctrica:	230/460 volt. 73/36 amp. 60Hz trifásico		
Voltaje del Control:	120V		
Diferencia de presión del Separador:	12 PSI máx..		
Encender compresor con la descarga abierta			
<b>Termina con:</b>			
Aire comprimido	80-100 PSI		
Condensa, que va al drenaje			
<b>Advertencias:</b>			
Muy importante se haga control diario del nivel del aceite.			

TABLA No. 25

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 2: Definición del Límite del Sistema			
Paso 2-2: Detalles del Límite		Rev. No.: 1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta: 2	
Sistema: Compresor de Aire 25 HP		ID del Sistema: 2	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
Tipo	Sistema Limitante	Ubicación de la Interfase	Plano de Referencia
Entrada (Aire 1 ATM)	Ambiente	Entrada de Aire que entra al filtro de aire	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Entrada (Energía Eléctrica)	Del servicio EE	Panel de control 230 volt. 73 amp. trifásico	ELECTRICAL SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 49)
Salida (Aire 80-100 PSI)	Secador de aire	Descarga de aire comprimido 80-100 PSI hacia el secador de aire.	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Salida (Aire caliente)	Ambiente	Salida de ducto	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Salida (Condensado)	Drenaje	Salida al drenaje	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)



TABLA No. 26

Análisis de Sistemas - MCC			
<b>Paso 3: Definición del Sistema /Diagrama Funcional Esquemático</b>			
Paso 3-1: Descripción Funcional	Rev. No.:	1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos	ID de la Planta:		2
Sistema: Compresor de Aire 25 HP	ID del Sistema:		2
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
<b>3.1.1 Descripción Funcional /Parámetros importantes</b>			
<b>PREFILTRADO:</b> El prefiltrado del aire permite eliminar particular de polvo que se encuentran el aire del ambiente a fin de proteger el equipo.			
<b>FILTRADO:</b> Se encuentra en la entrada de la modulación y evita que partículas entren en la unidad compresora y deterioren a la misma.			
<b>MODULACIÓN:</b> El modulador permite una entrada de aire regulada para ajustar la salida de aire comprimido a la presión deseada.			
<b>COMPRESION:</b> El aire filtrado y modulado entra a la unidad compresora tipo tornillo en donde es mezclado y presurizado con el aceite enfriador, consta de dos rotores helicoidales que se encuentran en paralelo, encerrados en una carcasa de hierro. La mezcla de aire y aceite es descargado al sistema de separación.			
<b>SEPARADOR:</b> Consta de un elemento separador que es cambiable, y que esta contenido en una carcasa de hierro. Su función es separar de la descarga de aire las partículas de aceite enfriador.			
<b>INTERCAMBIADOR:</b> El intercambiador permite enfriar el aire de salida, para eliminar humedad y enviarlo al servicio. Consta de un radiador y un ventilador.			
<b>TRAMPA:</b> La trampa recibe el aire mezclado con partículas de agua que son eliminadas automaticamente y enviadas al drenaje en forma de condensa. Luego el aire comprimido es dirigido a la descarga.			
<b>CONTROL (INTELLISYS):</b> El compresor es controlado por el Intellisys, que responde a cambios en la presión de aire de la planta.			
<b>3.1.2 Características Redundantes</b>			
En el sistema de compresión de aire no existen características redundantes			
<b>3.1.3 Características de Protección</b>			
Como protección del sistema de compresión de aire se tiene:			
1. Filtro de entrada de aire que protege a la unidad compresora.			
2. Relé térmico del arrancador del motor principal.			
3. Válvula de alivio del recipiente del elemento separador.			
4. Switch de alta temperatura del aire.			
<b>3.1.4 Características de Control Principales</b>			
El Intellisys abre la modulación de entrada y cierra la válvula blowdown (3sv) cuando cae la presión de aire de la planta por debajo del valor online seteado. Entonces el compresor trabajara para entregar la mayor capacidad de aire hacia la planta. Si la presión de aire de la planta alcanza el valor seteado de offline del Intellisys, el modulo de entrada se cierra y la válvula blowdown se abre para poder recibir la presión de sumidero.			

**TABLA No. 27**

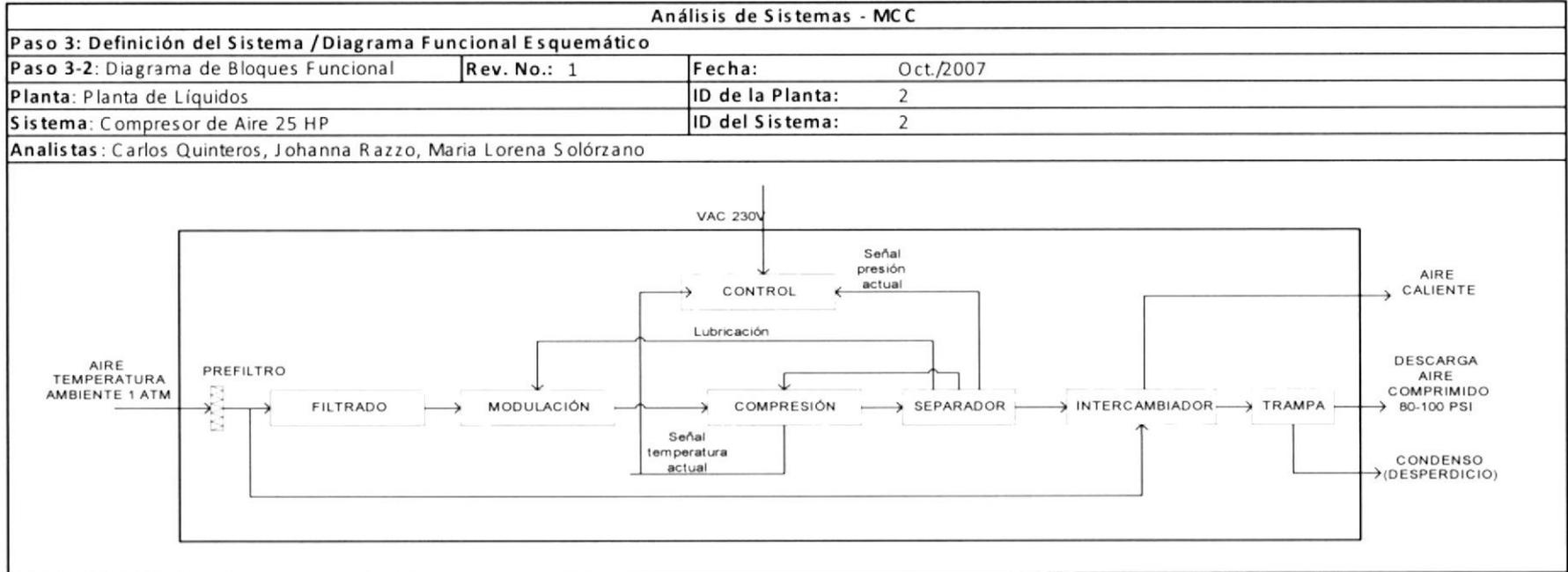


TABLA No. 28

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 3: Descripción del Sistema / Diagrama Funcional Esquemático			
Paso 3-3: Interfaces Entrada/Salida		Rev. No.:	1
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta:	2
Sistema: Compresor de Aire 25 HP		ID del Sistema:	2
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, María Lorena Solórzano			
Tipo	Sistema Limitante	Ubicación de la Interface	Plano de Referencia
<b>3.3.1 Interfaces ENTRADA</b>			
Entrada (Aire 1 ATM)	Ambiente	Entrada de aire que va al prefiltro de aire	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Entrada (Energía Eléctrica)	Del servicio Energía Eléctrica	Panel de control 230 volt. 73 amp. trifásico	ELECTRICAL SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 49)
Entrada (Señal eléctrica)	Tanque pulmón de 6000 ltrs	Señal eléctrica de nivel máximo	CONTROL PANEL ASSEMBLY SCHEMATIC T-SERIES
<b>3.3.2 Interfaces SALIDA</b>			
Salida (Aire 80 - 100 PSI)	Secador de aire	Descarga de aire comprimido 80 - 100 PSI hacia el secador de aire.	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Salida (Aire caliente)	Ambiente	Salida de ducto	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Salida (Condensado)	Drenaje	Salida al drenaje	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
<b>3.3.3 Interfaces INTERIOR</b>			
Interior (Aire 1 ATM)	Prefiltro / Intercambiador	Entrada de aire que va al intercambiador	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Interior (Aire 1 ATM)	Prefiltro / Filtro	Entrada de aire que va al filtro de entrada de modulador.	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Interior (Aire con flujo regulado)	Modulación / Compresión	Aire con flujo modulado que entra a la unidad compresora	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Interior (Aire comprimido)	Compresión / Separador	Aire comprimido que se dirige al separador para retirar aceite	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Interior (Aire libre de aceite)	Separador / Intercambiador	Aire libre de aceite que va a ser enfriado en el intercambiador	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Interior (Aire frío)	Intercambiador / Trampa	Aire frío que entra a la trampa para eliminar el condensado.	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Interior (Señal eléctrica de presión)	Separador / Control	Señal eléctrica con la información de la presión actual que entra al control INTELLISYS	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Interior (Señal eléctrica de Temperatura)	Compresión / Control	Señal eléctrica con la información de la temperatura actual que entra al control INTELLISYS	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Interior (Señal eléctrica de control modulación)	Control / Modulación	Señal eléctrica que controla la modulación para obtener la presión deseada	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
Interior (Señal neumática)	Separador / Modulación	Señal neumática que va desde el separador al modulador.	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)

TABLA No. 29

Análisis de Sistemas - MCC				
Paso 3: Descripción del Sistema / Diagrama Funcional Esquemático				
Paso 3-4: Listado de Componentes		Rev. No.: 1	Fecha:	Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta:	2	
Sistema: Compresor de Aire 25 HP		ID del Sistema:	2	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano				
No.	Descripción del Componente	Tipo	Cant.	Plano de Referencia
1	Prefiltro de entrada de aire	P	1	NA
2	Filtro de entrada de aire del modulador	P	1	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
3	Modulación de entrada de aire	C	1	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
4	Unidad compresora (Airend)	NA	1	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
5	Motor trifásico 25HP	NA	1	ELECTRICAL SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 49)
6	Intercambiador de calor	NA	1	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
7	Separador	NA	1	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
8	Control Electrónico (Intellisys)	C	1	ELECTRICAL SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 49)
9	Sensores	S/P	1	ELECTRICAL SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 49)
10	Válvulas	C	8	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
11	Racores y mangueras neumáticas	NA	varias	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
12	Mangueras Hidráulicas	NA	2	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
13	Trampa de condensa	NA	1	BASIC FLOW SCHEMATIC - MANUAL INSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN (Pág.. 59)
NA: No Aplica P: Protección S: Status C: Control				

TABLA No. 30

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 3-5: Descripción del Sistema / Diagrama funcional esquemático			
Paso 3-5: Historial del Equipo		Rev. No.: 1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta:	2
Sistema: Compresor de Aire 25 HP		ID del Sistema:	2
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
Descripción del Componente	Modo de Falla		Causa de Falla
	Tipo	Fecha	
Prefiltro de aire	Suciedad dentro de la unidad	24/01/2005	Falta de limpieza del filtro
Filtro de entrada modulación	Compresor falla al arrancar por partículas dentro del sistema	18/12/2004	Tiempo de vida útil
Modulación de entrada de aire	Pérdida de modulación	31/03/2000	El perno regulador de la válvula de modulación descalibrado o flojo
Unidad compresora (Airend)	Unidad compresora atorada	10/07/2007	Rodamientos en mal estado
Motor trifásico 25 HP	Ventilador Flojo	22/12/2004	Falló prisionero de ajuste
Motor trifásico 25 HP	Falla de bandas	14/09/2004	Bandas estiradas
		10/07/2007	
Intercambiador de calor	Aire húmedo y caliente en la descarga	19/04/2004	Placas sucias
		23/06/2007	
Separador	Consumo de aceite	04/05/2000	Elemento separador saturado (Diferencial de Presión mayor a 12 PSI)
Separador	Pérdida de aceite parte inferior del tanque	02/01/1998	Ruptura de Tee
Válvulas	Problema al arrancar y cargar	08/11/2004	Válvulas sucias
Racores y mangueras neumáticas	Fugas de aire	30/07/2003	Racores dañados
		12/09/2004	
		21/10/2004	
		24/11/2004	
		03/06/2006	
Mangueras Hidráulicas	Fuga de aceite	10/07/2007	Material saturado
Trampa de condensó	Obstrucción en trampa	31/03/2000	Suciedad en el asiento de la válvula

TABLA No. 31

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 4: Funciones / Fallas Funcionales			
Información: Descripción de Fallas Funcionales		Rev. No.: 1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta:	2
Sistema: Compresor de Aire 25 HP		ID del Sistema:	2
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
Función #	FF #	Función / Descripción de la Falla Funcional	
1.1		<b>Proveer a la línea de producción aire comprimido a 100 PSI</b>	
	1.1.1	No hay aire en la línea	
	1.1.2	Presión de aire incorrecta	
1.2		<b>Proveer de lubricación filtrada para tener niveles de temperatura y presión requerida</b>	
	1.2.1	Pérdida de lubricación	
	1.2.2	Lubricación a inapropiados niveles de temperatura, presión y limpieza	
1.3		<b>Remover calor y humedad del aire comprimido</b>	
	1.3.1	Dificultad para remover el calor de aire comprimido	
	1.3.2	No elimina el condensa	
2.1		<b>Proveer de aire filtrado a la unidad compresora</b>	
	2.1.1	No filtra aire	
	2.1.2	Aire en condiciones incorrectas (alta o baja presión, suciedad)	
3.1		<b>Proveer de una modulación de aire para una demanda constante</b>	
	3.1.1	Aire no modulado	
4.1		<b>Proveer de apropiadas señales de control y protección</b>	
	4.1.1	Falta de señales	

**TABLA No. 32**

Análisis de Sistemas - MCC												
Paso 5: Funciones /Fallas Funcionales												
Paso 5-1: Matriz Componentes - Fallas Funcionales								Rev. No.:	1	Fecha: Oct./2007		
Planta: Planta de Líquidos								ID de la Planta:	2			
Sistema: Compresor de Aire 25 HP								ID del Sistema:	2			
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano												
No.	DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE	FALLA FUNCIONAL										
		1.1.1	1.1.2	1.2.1	1.2.2	1.3.1	1.3.2	2.1.1	2.1.2	3.1.1	4.1.1	
1	Prefiltro de entrada de aire							x	2.1.1			
2	Filtro de entrada de aire al modulador							x	2.1.1	2.1.1		
3	Modulación de entrada de aire		x							1.1.2		
4	Unidad compresora (Airend)	x	1.1.1	x	1.2.1							
5	Motor trifásico 25HP	x	1.1.1			x	1.3.1					
6	Intercambiador de calor					x	1.3.1					
7	Separador			x	1.2.1							
8	Control Electrónico (Intellisys)	x								1.1.1		
9	Sensores	x	1.1.1							1.1.1	1.1.1	
10	Válvulas	x	1.1.1						1.1.1	1.1.1		
11	Racores y mangueras neumáticas	x	1.1.1							1.1.1		
12	Mangueras Hidráulicas	x		1.1.1	1.1.1							
13	Trampa de condensa						x					

**TABLA No. 33**

Análisis de Sistemas - MCC												
Paso 5: Funciones /Fallas Funcionales												
Paso 5-2: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos								Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007	
Planta: Planta de Líquidos										ID de la Planta:	2	
Sistema: Compresor de Aire 25 HP										ID del Sistema:	2	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano												
# FF	No. Comp.	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	# CF	Causa de Falla	Efecto de falla	Frecuencia de Ocurrencia	Grado de severidad	Oportunidad de detección	Factor de Riesgo	LTA
1.1.1	4	Unidad Compresora	4.1	Unidad frenada	4.1.1	Rodamientos en mal estado	Detiene equipo y producción	1	10	5	16	Si
1.1.1	4	Unidad Compresora	4.2	Unidad recalentada	4.2.1	Problema sistema lubricación por pérdida de aceite ultracoolant	Detiene equipo y producción	3	7	3	13	Si
1.1.1	5	Motor Trifásico 25 HP	5.1	Falla de bandas	5.1.1	Bandas estradas	Detiene equipo y producción	3	5	1	9	No
1.1.1	5	Motor trifásico 25 HP	5.2	Falla de rodamientos	5.2.1	Tiempo de vida útil	Detiene equipo y producción	1	9	4	14	Si
1.1.1	8	Control Electrónico	8.1	Raro evento (Fallo de programación)	8.1.1	Considerado un raro evento						No
1.1.1	9	Sensores	9.1	Paro por alarma de sensores	9.1.1	Sensor descalibrado	Detiene equipo y producción	1	8	5	14	Si
1.1.1	10	Válvulas	10.1	Problemas al arrancar y cargar	10.1.1	Válvulas sucias por corrosión o partículas de polvo	Detiene equipo y producción	2	6	7	15	Si
1.1.1	10	Válvulas	10.1	Problemas al arrancar y cargar	10.1.2	Tiempo de vida útil Válvulas desgastadas	Detiene equipo y producción	2	6	7	15	Si

1.1.1	11	Racores y mangueras neumáticas	11.1	Fugas de aire	11.1.1	Material saturado (por corrosión, temperatura, sobrepresión, etc.)	Detiene equipo y producción	4	5	2	11	No
1.1.1	12	Mangueras Hidráulicas	12.1	Fuga de aceite	12.1.1	Material saturado (por corrosión, temperatura, sobrepresión, etc.)	Detiene equipo y producción	1	7	3	11	No
1.1.2	3	Modulación de entrada de aire	3.1	Pérdida de la modulación	3.1.1	El perno regulador de la válvula de modulación descalibrado o flojo	Detiene equipo y producción	1	8	8	17	Si
1.2.1	4	Unidad compresora	4.3	Fuga de aceite	4.3.1	Daño de empaque en unidad compresora	Elevación de temperatura sistema	1	7	5	13	Si
1.2.1	7	Separador	7.1	Consumo de aceite	7.1.1	Tiempo de vida útil	Elevación de temperatura sistema	4	5	3	12	Si
1.3.1	5	Motor trifásico 25HP	5.3	No hay ventilación	5.3.1	Ventilador flojo por prisionero dañado	Elevación de temperatura en la salida de aire	1	5	3	9	No
1.3.1	6	Intercambiador de calor	6.1	Aire Húmedo y caliente en la descarga	6.1.1	Placas sucias	Elevación de temperatura en el sistema y la salida de aire	4	5	3	12	Si
1.3.2	13	Trampa de condensa	13.1	Obstrucción en trampa	13.1.1	Suciedad en el asiento de la válvula	Elevación de humedad en la salida de aire	2	4	5	11	No
2.1.1	1	Prefiltro de entrada de aire	1.1	Suciedad dentro de la unidad.	1.1.1	Falta de limpieza del filtro	Tapa el filtro del modulador	5	4	2	11	No
2.1.1	2	Filtro de entrada de aire al modulador	2.1	Compresor falla al arrancar por partículas dentro del sistema	2.1.1	Filtro dañado deja pasar ciertas partículas de polvo	Ocasiona paros imprevistos en la unidad	2	6	5	13	Si

**TABLA No. 34**

Análisis de Sistemas - MCC									
Paso 6: Análisis de Árbol Lógico (LTA)									
Información: Análisis de los Modos de Fallas						Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos						ID de la Planta:			2
Sistema: Compresor de Aire 25 HP						ID del Sistema:			2
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano									
# FF	No. Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	Evidente?	Seguridad	Paro?	Categoría	
1.1.1	4	Unidad Compresora	4.1	Unidad frenada	SI	NO	SI	B	
1.1.1	4	Unidad Compresora	4.2	unidad recalentada	SI	NO	SI	B	
1.1.1	5	Motor trifásico 25 HP	5.2	Falla de rodamientos	SI	NO	SI	B	
1.1.1	9	Sensores	9.1	Paro por alarma de sensores	NO	NO	SI	D/B	
1.1.1	10	Válvulas	10.1	Problemas al arrancar y cargar	NO	NO	SI	D/B	
1.1.2	3	Modulación de entrada de aire	3.1	Pérdida de la modulación	NO	NO	SI	D/B	
1.2.1	4	Unidad compresora	4.3	Fuga de aceite	SI	NO	NO	C	
1.2.1	7	Separador	7.1	Consumo de aceite	NO	NO	NO	D/C	
1.3.1	6	Intercambiador de calor	6.1	Aire Húmedo y caliente en la descarga	NO	NO	NO	D/C	
2.1.1	2	Filtro de entrada de aire al modulador	2.1	Compresor falla al arrancar por partículas dentro del sistema	NO	NO	SI	D/B	

**TABLA No. 35**

Análisis de Sistemas - MCC																	
Paso 7: Selección de la Tarea																	
Paso 7-1: Proceso de Selección y Decisión										Rev. No.: 1		Fecha: Oct./2007					
Planta: Planta de Líquidos										ID de la Planta: 2							
Sistema: Compresor de Aire 25 HP										ID del Sistema: 2							
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano																	
# FF	No. Comp.	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	# CF	Causa de Falla	1	2	3	4	5	6	7	Tarea candidata	Información efectiva	Decisión selectiva	Frecuencia
1.1.1	4	Unidad Compresora	4.1	Unidad frenada	4.1.1	Rodamientos mal estado.	en NO	-	SI	SI	SI	SI	-	1. Revisión de roces o estancamiento en la polea de la unida compresora (BC) 2. Desarmar completamente unidad compresora para inspeccionar rotores piñones y rodamientos (BI) 3. RTF	1. Seria imprescindible la revisión de roces, así eliminaríamos la posibilidad de aparezca esta falla. 2. Implicaría un trabajo complejo solo para inspeccionar 3. Causaría pérdida de producción	1	15 días
1.1.1	4	Unidad Compresora	4.2	Unidad recalentada	4.2.1	Problema sistema lubricación por pérdida de aceite ultracoolant	SI	SI	SI	NO	-	SI	-	1. Revisión del nivel del aceite ultra coolant (Debe estar a 3/4 del visor con la unidad encendida) (BT) 2. Verificar la presión del elemento separador ya que puede estar abierto. Presión no debe ser menor a 3 PSI ni mayor a 12 PSI. 2. RTF	1. Recomendado para mantener buenas condiciones de operación. 2. Con esta condición significaría que el elemento separador esta abierto y debe ser reemplazado. 2. Causaría perdida de producción	1-2	Diario

1.1.1.1	5	Motor trifásico 25 Hp	5.2	Falla de rodamientos	5.2.1	Tiempo de vida útil	P	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	1. Lubricación rodamientos cada 9 meses o 2000 horas (BT) 2. Cambio de rodamiento debido a sonidos , vibraciones o amperajes (BC) 3. RTF	1. Imprescindible mantener lubricado los rodamientos. 2. Esta tarea no ayuda a detectar próximos fallos 3. Causaría pérdida de producción.	1-2	9 meses
1.1.1.1	9	Sensores	9.2	Paro por alarma de sensores	9.1.1	Sensor descalibrado	NO	NO	SI	1. Verificar la integridad del sensor y sus conexiones. Luego calibrar (BI) 2. RTF	1. No sería prudente sacar el sensor frecuentemente para su revisión, podría ser dañado con una mala manipulación . 2. Debido a que esta falla es muy remota se toma el riesgo de RTF	2	-						
1.1.1.1	10	Válvulas	10.1	Problemas al arrancar y cargar	10.1.1	Válvulas sucias por corrosión o partículas de polvo	NO	NO	SI	1. Desarmar, inspeccionar y limpiar periódicamente el estado de las válvulas (BI) 2. RTF	1. Sería recomendable desarmar y limpiar las válvulas para evitar el paro imprevisto. 2. Causaría pérdida de producción	1	Anual						
1.1.2	3	Modulación de entrada de aire	3.1	Pérdida de la modulación	3.1.1	El perno regulador de la válvula de modulación descalibrado o flojo	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	1. RTF	1. La falla es poco probable así que se toma el riesgo de correr hasta que falle	1	-
2.1.1	2	Filtro de entrada de aire al modulador	2.1	Compresor falla al arrancar por partículas dentro del sistema	2.1.1	Filtro dañado deja pasar ciertas partículas de polvo	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO	1. Reemplazar el filtro de aire cada 4000 horas 2. RTF	1. Es Preferible cambiar el filtro a llenar el sistema de partículas de polvo. 2. Causaría pérdida de producción	1	4000 hrs.



CIB-ESPOL

**TABLA No. 36**

Análisis de Sistemas - MCC																	
Paso 7: Selección de la Tarea																	
Paso 7-2: Lista de Verificación de Correr Hasta que Falle														Rev. No.:	1	Fecha:	Oct. /2007
Planta: Planta de Líquidos														ID de la Planta:			2
Sistema: Compresor de Aire 25 HP														ID del Sistema:			2
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano																	
# FF	No. Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	Efectividad Marginal	Falla de alto costo	Daño Secundario	Conflicto FOE	Conflicto Interno	Conflicto Regulatorio	Conflicto de Seguro	Oculto	Decisión RTF	Decisión Selectiva	Frecuencia	Comentarios	
1.2.1	4	Unidad Compresora	4.3	Fuga de aceite	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	RTF			
1.2.1	7	Separador	7.1	Aceite ultracoolant no circula correctamente	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	Cambio de elemento separador cuando el diferencial de presión sea mayor a 12 PSI o menor a 3 PSI			
1.3.1	6	Intercambiador de calor	6.1	Aire húmedo y caliente en la descarga	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	Limpieza de intercambiador	12 meses		

**TABLA No. 37**

Análisis de Sistemas - MCC								
Paso 7: Selección de Tareas								
Paso 7-3: Comparación del RCM vs. Tareas de Mantenimiento Preventivos actuales						Rev. No.: 1	Fecha:	Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos						ID de la Planta:	2	
Sistema: Compresor de Aire 25 HP						ID del Sistema:	2	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano								
# F.F.	No. Comp.	Descripción del Componente	# M.F.	Modo de Falla / Locación	Selección RCM Decisión/Categoría	Frecuencia	Descripción de tarea actual	Frecuencia
1.1.1	4	Unidad Compresora	4.1	Unidad frenada	7-1 Revisión de roces o estancamiento en la polea de la unidad compresora (BC)	B	15 días	RTF
1.1.1	4	Unidad Compresora	4.2	Unidad recalentada	7-1 1. Revisión del nivel del aceite ultra coolant (Debe estar a 3/4 del visor con la unidad encendida) (BT) 2. Verificar la presión del elemento separador ya que puede estar abierto. Presión no debe ser menor a 3 PSI ni mayor a 12 PSI.	B	Diario	Verificar la presión del elemento separador ya que puede estar abierto. Presión no debe ser menor a 3 PSI ni mayor a 12 PSI. DIARIO
1.1.1	5	Motor trifásico 25 HP	5.2	Falla de rodamientos	7-1 1. Lubricación rodamientos cada 9 meses o 2000 horas (BT) 2. Cambio de rodamiento debido a sonidos , vibraciones o amperajes (BC)	B	9 meses	Lubricación rodamientos cada 9 meses o 2000 horas (BT) 9 meses

1.1.1	9	Sensores	9.2	Paro por alarma de sensores	7-1	RTF	D/B	-	RTF	-
1.1.1	10	Válvulas	10.1	Problemas al arrancar y cargar	7-1	Desarmar, inspeccionar y limpiar periódicamente el estado de las válvulas (BI)	D/B	Anual	RTF	-
1.1.2	3	Modulación de entrada de aire	3.1	Pérdida de la modulación	7-1	RTF	D/B	-	RTF	-
2.1.1	2	Filtro de entrada de aire al modulador	2.1	Compresor falla al arrancar por partículas dentro del sistema	7-1	Reemplazar el filtro de aire cada 4000 horas	C	4000 hrs.	RTF	-
1.2.1	7	Unidad Compresora	4.3	Fuga de aceite	7-2	RTF	D/C	-	RTF	-
1.2.1	7	Separador	7.1	Consumo de aceite	7-2	Cambio de elemento separador cuando el diferencial de presión sea mayor a 12 PSI o menor a 3 PSI	D/C	-	Cambio de elemento separador cuando el diferencial de presión sea mayor a 12 PSI	-
1.3.1	6	Intercambiador de calor	6.1	Aire Húmedo y caliente en la descarga	7-2	Limpieza de intercambiador	D/B	12 meses	RTF	-

TABLA No. 38

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 2-1: Definición del Limite del Sistema			
Información: Apreciación Global del Limite	Rev. No.:	1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta:	2
Sistema: Osmosis Inversa		ID del Sistema:	9
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
<p><b>2.1.1 Equipos importantes incluidos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Prefiltro 5 micras</li> <li>Bomba electrónica dosificadora de anticrustante</li> <li>Bomba multietapa 85 GPM, 450 PSI.</li> <li>Membranas semipermeables de osmosis inversa</li> <li>Flujometros y manómetros</li> <li>Panel de control</li> </ul> <p><b>2.1.2 Limites Físicos Primarios:</b></p> <p><b>Empieza con:</b></p> <p>Parámetros agua de entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nivel de cloro: 0</li> <li>Temperatura: &lt; 30°C</li> <li>TDS : &lt; 740 ppm</li> <li>PH: 7.4</li> <li>Flujo: 20,7 GPM &amp; 40-45 PSI</li> </ul> <p>Presión entrada prefiltro: 40 PSI</p> <p>Presión salida prefiltro: 30 PSI</p> <p>Presión de descarga bomba multietapa: 210 PSI</p> <p>Presión de modulo de alimentación: 135-150 PSI</p> <p>Presión de concentrado: 106-121 PSI</p> <p>Energía Eléctrica: 230 volt. 30 amp. trifásico</p> <p><b>Termina con:</b></p> <p>Parámetros agua de salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>TDS producto: &lt; 120 ppm</li> <li>PH: 6,5-7,5</li> <li>GPM Producto: 15,5</li> <li>GPM concentrado: 5,2</li> <li>TDS rechazo: 2927</li> </ul> <p><b>Advertencias:</b></p> <p>Muy importante se haga control diario de los parámetros mencionados</p>			

TABLA No. 39

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 2-2: Definición del Limite del Sistema			
Información: Detalles del Limite	Rev. No.:	1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos	ID de la Planta:	2	
Sistema: Osmosis Inversa	ID del Sistema:	9	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
Tipo	Sistema Limitante	Ubicación de la Interfase	Plano de Referencia
Entrada (Agua de pozo)	Ablandadores de agua	Agua de pozo que entra al prefiltro de 5 micras	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
Entrada (Anti-incrustante)	Subsistema de dosificación de Anti-incrustante	Líquido anti-incrustante proveniente de la bomba electrónica dosificadora a 3GPD	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
Entrada (Energía Eléctrica)	Servicio	Panel de fuerza 230 volt. 30 amp. trifásico	POWER PANEL ASSEMBLY SCA-44
Entrada (Señal eléctrica)	Ablandadores de agua	Señal Agua Ablandada Lista proveniente de los ablandadores de agua	CONTROL PANEL ASSEMBLY SCHEMATIC T-SERIES
Entrada (Señal eléctrica)	Tanque pulmón de 6000 ltrs	Señal eléctrica de nivel máximo	CONTROL PANEL ASSEMBLY SCHEMATIC T-SERIES
Salida (Agua de Producto)	Filtro UV	Agua potable que va hacia el filtro de Lámparas UV CULLIGAN	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
Salida (agua concentrado)	Sistema agua concentrado	Agua de concentrado que va a una cisterna	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605

TABLA No. 40

Análisis de Sistemas - MCC			
<b>Paso 3-1: Definición del Sistema / Diagrama funcional esquemático</b>			
Información: Descripción Funcional	Rev. No.:	1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos	ID de la Planta:		2
Sistema: Osmosis Inversa	ID del Sistema:		9
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
<b>3.1.1 Descripción Funcional / Parámetros importantes</b>			
<p><b>PREFILTRADO:</b> El subsistema de prefiltrado permite que, al ingresar el agua de pozo, retenga las partículas mayores a 5 micras, para evitar que se deterioren las membranas de osmosis inversa. La presión de entrada del prefiltro es de 40PSI para después de filtrar tener una presión a la salida de 30PSI. Dependiendo de la diferencia de presión (Max. 10PSI), se realiza el cambio del elemento filtrante.</p> <p><b>BOMBEO MULTIETAPA:</b> Es un subsistema multietapa que recibe el agua prefiltrada a 30PSI y la eleva a 210PSI, esta alta presión fuerza al agua salobre a circular a través de las membranas semipermeables como un flujo osmótico inverso, dichas membranas utilizan un anti-incrustante para disminuir el efecto de las incrustaciones en la superficie de las mismas.</p> <p><b>FILTRADO:</b> El agua salobre enviada desde el subsistema de bombeo es recibida por los cartuchos en donde se logra separar en dos tipos de aguas: agua de producto y agua de concentrado. El agua de producto sale con una concentración de TDS (sólidos totales disueltos) de máximo 120PPM a un galonaje de 15.5GPM y es recibida por el tanque pulmón de 6000 litros a presión atmosférica. El agua de concentrado (desecho) contiene todos los sólidos disueltos rechazados por las membranas, la cual va al drenaje.</p>			
<b>3.1.2 Características Redundantes</b>			
En el sistema de osmosis inversa no existen características redundantes			
<b>3.1.3 Características de Protección</b>			
Como protección del sistema de osmosis inversa se tiene:			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Presostato a la entrada de la bomba multietapa. (Switch de baja presión)</li> <li>2. Relé térmico del arrancador del motor de la bomba.</li> <li>3. Válvula de entrada automática</li> </ol>			
<b>3.1.4 Características de Control Principales</b>			
Existen dos controles principales en el subsistema de bombeo multietapa para que entre en funcionamiento la bomba: si la señal del nivel bajo del tanque pulmón y la señal que proviene del ablandador de agua están activadas.			

**TABLA No. 41**

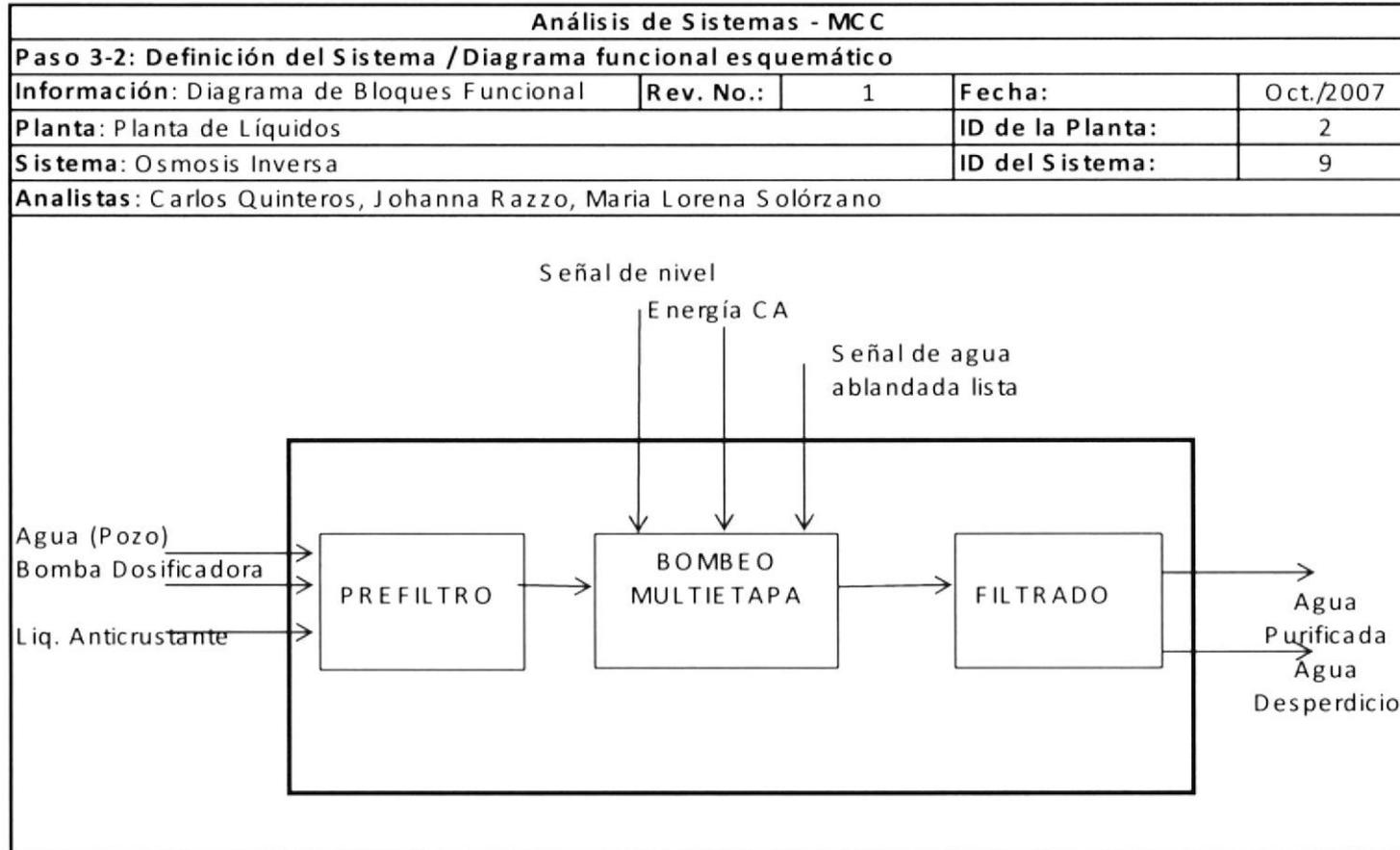


TABLA No. 42

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 3-3: Descripción del Sistema / Diagrama funcional esquemático			
Información: Interfaces Entrada/Salida	Rev. No.:	1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos			ID de la Planta: 2
Sistema: Osmosis Inversa			ID del Sistema: 9
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, María Lorena Solórzano			
Tipo	Sistema Limitante	Ubicación de la Interfase	Plano de Referencia
<b>3.3.1 Interfaces ENTRADA</b>			
Entrada (Agua de pozo)	Ablandadores de agua	Agua de pozo que entra al prefiltro de 5 micras	PROCESS & INSTRUMENTATION
Entrada (Anticrustante)	Subsistema de dosificación de Anticrustante	Líquido anticrustante proveniente de la bomba electrónica dosificadora a 3GPD	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
Entrada (Energía Eléctrica)	Servicio	Panel de fuerza 230 volt. 30 amp. trifásico	POWER PANEL ASSEMBLY SCA-44
Entrada (Señal eléctrica)	Ablandadores de agua	Señal Agua Ablandada Lista proveniente de los ablandadores de	CONTROL PANEL ASSEMBLY SCHEMATIC T-
Entrada (Señal eléctrica)	Tanque pulmón de 6000 ltrs	Señal eléctrica de nivel máximo	CONTROL PANEL ASSEMBLY SCHEMATIC T-SERIES
<b>3.3.2 Interfaces SALIDA</b>			
Salida (Agua de Producto)	Filtro UV	Agua potable que va hacia el filtro de Lámparas UV CULLIGAN	PROCESS & INSTRUMENTATION
Salida (agua concentrado)	Cisterna agua concentrado	Agua de concentrado que va a una cisterna	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
<b>3.3.3 Interfaces INTERIOR</b>			
Interior (Agua prefiltrada)	Prefiltro / Bombeo	Agua de pozo prefiltrada que va desde el prefiltro a la bomba multietapa	PROCESS & INSTRUMENTATION
Interior (Agua con alta presión)	Bombeo / Filtrado	Agua de pozo prefiltrada a 210 PSI que va desde la bomba multietapa hacia las membranas semipermeables de osmosis inversa	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605

**TABLA No. 43**

Análisis de Sistemas - MCC				
Paso 3-4: Descripción del Sistema /Diagrama funcional esquemático				
Información: Listado de Componentes		Rev. No.:	1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos			ID de la Planta:	2
Sistema: Osmosis Inversa			ID del Sistema:	9
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano				
No.	Descripción del Componente	Tipo	Cant.	Plano de Referencia
1	Prefiltro	NA	1	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
2	Bomba multietapa	NA	1	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
3	Switch de baja presión	P	1	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
4	Válvula de concentrado	NA	1	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
5	Válvula del modulo de entrada	NA	1	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
6	Válvula de entrada Automática	P	1	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
7	Membranas semipermeables de osmosis inversa	NA	18	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
8	Conectores, mangueras y tuberías	NA	varios	PLUMBING ASSY T-3605
9	Bomba dosificadora electrónica	NA	1	PROCESS & INSTRUMENTATION DIAGRAM T-3605
10	Flujometros y manómetros	S	varios	PLUMBING ASSY T-3605
11	Panel de Control	C	1	CONTROL PANEL ASSEMBLY SCHEMATIC T-SERIES
NA: No Aplica P: Protección S: Status C: Control				

**TABLA No. 44**

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 3-5: Descripción del Sistema / Diagrama funcional esquemático			
Información: Historia del Equipo	Rev. No.:	1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos	ID de la Planta:	2	
Sistema: Osmosis Inversa	ID del Sistema:	9	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, María Lorena Solórzano			
Descripción del Componente	Modo de Falla	Causa de Falla	
Prefiltro	Elemento filtrante saturado reemplazado: (19-Abril-2005) (28-Julio-2005) (11-Enero-2007) (26 Septiembre-2007) (15-Diciembre-2007)	Tiempo de vida útil	
Manómetros	Descalibración (26-Enero-2005) 1 reemplazado (23-Nov-2005) 1 reemplazado (4-Enero-2006) 1 reemplazado	Sobrepresión	
Membranas semipermeables de ósmosis inversa	Las membranas no ejercen la función de filtrado. (30-Sep-2005) Se reemplaza 18 membranas. (11-Nov-2006) Se reemplaza 12 membranas.	Tiempo de vida útil	
Membranas semipermeables de osmosis inversa	Taponamiento de membranas Limpieza acida y alcalina (26-Ene-2005) (07-Ene-2006) (16-Ene-2006) (25-Mar-2006) (29-Abril-2006) (26-May-2006) (03-Junio-2006) (06-Junio-2006) (01-Jul-2006) (27-Ene-2007) (30-Ene-2007) (02-Feb-2007)	Falta de anticrustante	
Membranas semipermeables de osmosis inversa	Daño de oring's o guarniciones (16-Sep-2004) Cambio de oring's	Tiempo de vida útil	
Conectores, mangueras y tuberías	Fugas de agua por ruptura del elemento (14-Sep-2007) 1 Tee reemplazada (15-Nov-2006) Cambio mangueras 12 mm	Material saturado	
Bomba multietapa	Desgaste entre chaveta y chavetero (15-Dic-2006)	Sobrepresión	
Bomba multietapa	Daño de impellers (15-Dic-2006)	Sobrepresión	
Bomba multietapa	Desgastes de Rodamientos (21-Nov-2005) cambio de rodamientos	Tiempo de vida útil	
Válvula de concentrado	Válvula concentrado tapada con sólidos (03-Junio-2006) (27-Ene-2007)	Sales acumuladas en el interior de la válvula	
Panel de Control	Daño de luces pilotos (19-Feb-2007) (20-Dic-2007)	Tiempo de vida útil	

TABLA No. 45

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 4: Funciones / Fallas funcionales			
Información: Descripción de fallas funcionales		Rev. No.:	1
Fecha:		Oct./2007	
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta:	2
Sistema: Osmosis Inversa		ID del Sistema:	9
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
Función #	FF #	Función / Descripción de la Falla Funcional	
1.1		<b>Mantener un flujo de producto de 15,5 GPM</b>	
	1.1.1	Fallo del flujo inicial de arranque	
	1.1.2	El flujo bajo de 15,5 GPM	
1.2		<b>Mantener agua de producto a max. 120 ppm de TDS con ph 6,5-7,5 con parámetros de presión adecuados.</b>	
	1.2.1	Concentración de TDS subió a mas 120 ppm	
	1.2.2	El ph fuera de limites	
	1.2.3	parámetros de presión por encima de los límites	
	1.2.4	parámetros de presión por debajo de los límites	
1.3		<b>Suministro automático de salida de agua potable</b>	
	1.3.1	Fallo en el arranque por pérdidas de señales	
2.1		<b>Remover partículas mayores a 5 micras prefiltrando el agua</b>	
	2.1.1	Filtro no entrega el galonaje necesario	
	2.1.2	Fallo al pasar partículas mayores a 5 micras	
3.1		<b>Dosificar 3 GPD la solución de anticrustante</b>	
	3.1.1	Dosificación bajó de 3 GPD	
4.1		<b>Mantener seguridades</b>	
	4.1.1	Pérdida de indicadores	



CIB -ESPOL

**TABLA No. 46**

Análisis de Sistemas - MCC														
Paso 5: Funciones / Fallas funcionales														
Paso 5-1: Matriz Componentes - Fallas Funcionales										Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007	
Planta: Planta de Líquidos										ID de la Planta:		2		
Sistema: Osmosis Inversa										ID del Sistema:		9		
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano														
		FALLA FUNCIONAL												
No.	DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE	1.1.1	1.1.2	1.2.1	1.2.2	1.2.3	1.2.4	1.3.1	2.1.1	2.1.2	3.1.1	4.1.1		
1	Prefiltro	x	1.1.1				1.1.1		1.1.1	x				
2	Bomba multietapa	x	1.1.1				1.1.1							
3	Switch de baja presión	x												
4	Válvula de concentrado	x		1.1.1	1.1.1	1.1.1								
5	Válvula del modulo de entrada					x								
6	Válvula de entrada Automática													
7	Membranas semipermeables de osmosis inversa	x	1.1.1	1.1.1	1.1.1	1.1.1	x							
8	Conectores, mangueras y tuberías	x	1.1.1				1.1.1							
9	Bomba dosificadora electrónica		3.1.1	3.1.1		3.1.1					x			
10	Flujometros y manómetros					x	1.2.3						1.2.3	
11	Panel de Control							x					x	

**TABLA No. 47**

Análisis de Sistemas - MCC												
Paso 5-2: Funciones / Fallas funcionales												
Información: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos								Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007	
Planta: Planta de Líquidos										ID de la Planta:	2	
Sistema: Osmosis Inversa										ID del Sistema:	9	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano												
# FF	No. Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	# CF	Causa de Falla	Efecto de falla	Frecuencia de Ocurrencia	Grado de severidad	Oportunidad de detección	Factor de Riesgo	LTA
1.1.1	1	Prefiltro	1.1	Elemento filtrante saturado	1.1.1	Tiempo de vida útil	Baja producción de agua	6	5	3	14	Si
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.1	Fallo de rodamientos	2.1.1	Desgaste	Para equipo y para producción	1	9	8	18	Si
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.2	Desgaste de chaveta y chavetero	2.2.1	Chaveta perdió medida	Para equipo y para producción	3	9	6	18	Si
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.3	Daño de impellers	2.3.1	Sobrepresión	Para equipo y para producción	1	9	8	18	Si
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.4	Daño del sello mecánico	2.4.1	Desgaste	Perdida de Agua	2	4	8	14	Si
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.4	Daño del sello mecánico	2.4.2	Falta de flujo de agua	Perdida de Agua	2	4	8	14	Si
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.5	Impellers con incrustaciones	2.5.1	Falta de dosificación Anticrustante	Baja producción de agua	1	9	9	19	Si
1.1.1	3	Switch de baja presión	3.1	Fallo contactos eléctricos	3.1.1	sulfatación de contactos	Para el equipo	1	3	4	8	No
1.1.1	4	Válvula de concentrado	4.1	Válvula tapada con incrustación de sólidos en el asiento	4.1.1	Sales acumuladas en el interior de la válvula	Parámetros fuera de orden	3	10	8	21	Si

1.1.1	7	Membranas semipermeables de osmosis inversa	7.1	Taponamiento de membranas	7.1.1	Falta de limpieza	Para equipo y para producción	5	9	9	23	Si
1.1.1	7	Membranas semipermeables de osmosis inversa	7.1	Taponamiento de membranas	7.1.2	Falta de dosificación Anticrustante	Para equipo y para producción	5	9	3	17	Si
1.1.1	7	Membranas semipermeables de osmosis inversa	7.3	Daño de O-ring's o guarniciones	7.3.1	Caucho saturado	Para equipo y para producción	3	9	9	21	Si
1.1.1	8	Conectores, mangueras y tuberías	8.1	Fugas de agua por ruptura del elemento	8.1.1	Material saturado	Pérdida de Agua	5	3	2	10	No
1.2.3	5	Válvula del modulo de entrada	5.1	Válvula no controla adecuadamente las presiones	5.1.1	Desgaste en la compuerta	Parámetros fuera de orden	1	4	2	7	No
1.2.3	10	Flujometros y manómetros	10.1	Descalibración	10.1.1	Sobrepresiones	Parámetros fuera de orden	3	2	4	9	No
1.2.4	7	Membranas semipermeables de osmosis inversa	7.4	Las membranas no ejercen la función de filtrado.	7.4.1	Membranas abiertas por tiempo de vida útil	Baja producción de agua	5	9	2	16	Si
1.3.1	11	Panel de Control	11.1	Bomba no arranca	11.1.1	Pérdidas de señales de arranque	Para equipo y para producción	4	7	4	15	Si
2.1.2	1	Prefiltro	1.2	Prefiltro no ejerce su función	1.2.1	Elemento filtrante abierto	Daño de membranas	1	9	8	18	Si
3.1.1	9	Bomba dosificadora electrónica	9.1	Daño de válvulas cheques	9.1.1	Tiempo de vida útil	Daño de membranas	2	8	6	16	Si
3.1.1	9	Bomba dosificadora electrónica	9.1	Daño de Diafragma	9.1.2	Tiempo de vida útil	Daño de membranas	1	9	6	16	Si
4.1.1	11	Panel de Control	11.2	Daño de luces pilotos	11.2.1	Tiempo de vida útil	Falta de indicación de estatus	4	2	4	10	No

**TABLA No. 48**

Análisis de Sistemas - MCC									
Paso 6: análisis del Árbol Lógico (LTA)									
Información: análisis de los modos de falla						Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos						ID de la Planta:			2
Sistema: Osmosis Inversa						ID del Sistema:			9
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano									
# FF	No. Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	Evidente?	Seguridad	Paro?	Categoría	
1.1.1	1	Prefiltro	1.1	Elemento filtrante saturado	si	no	si	B	
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.1	Fallo de rodamientos	no	no	si	D/B	
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.2	Desgaste de chaveta y chavetero	no	no	si	D/B	
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.3	Daño de impellers	no	no	si	D/B	
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.4	Daño del sello mecánico	si	no	no	C	
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.5	Impellers con incrustaciones	no	no	no	D/C	
1.1.1	4	Válvula de concentrado	4.1	Válvula tapada con incrustación de sólidos en el asiento	no	no	si	D/B	
1.1.1	7	Membranas semipermeables de	7.1	Taponamiento de membranas	si	no	si	B	
1.1.1	7	Membranas semipermeables de	7.3	Daño de oring's o guarniciones	no	no	si	D/B	
1.2.4	7	Membranas semipermeables de osmosis inversa	7.4	Las membranas no ejercen la función de filtrado.	si	no	no	C	
1.3.1	11	Panel de Control	11.1	Bomba no arranca	si	no	si	B	
2.1.2	1	Prefiltro	1.2	Prefiltro no ejerce su función	no	no	no	D/C	
3.1.1	9	Bomba dosificadora electrónica	9.1	Daño de válvulas cheques	no	no	no	D/C	
3.1.1	9	Bomba dosificadora electrónica	9.1	Daño de Diafragma	no	no	no	D/C	
4.1.1	11	Panel de Control	11.2	Daño de luces pilotos	si	no	no	C	

TABLA No. 49

Análisis de Sistemas - MCC																	
Paso 7-1: Selección de la Tarea																	
Información: Proceso de Selección y Decisión																	
Rev. No.: 1																	
Fecha: Oct/2007																	
ID de la Planta: 2																	
ID del Sistema: 9																	
Planta: Planta de Líquidos																	
Sistema: Osmosis Inversa																	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, María Lorena Solórzano																	
No. Comp.	# FF	No. Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	# CF	Causa de Falla	1	2	3	4	5	6	7	Tarea candidata	Información efectiva	Decisión selectiva	Frecuencia
1.1.1	1	Prefiltro	1.1	Elemento filtrante saturado	1.1.1	Tiempo de vida útil	SI	SI	NO	SI	NO	SI	-	1. Reemplazar el elemento filtrante mensual (BT) 2. Reemplazar el elemento debido a una caída de presión mayor a 10 PSI (BC) 3. RTF	1. Podría resultar innecesario el cambio 2. Se tendría la mejor opción de costos. 3. Causaría pérdida de producción	2	-
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.1	Fallo de rodamientos	2.1.1	Desgaste	NO	NO	SI	SI	SI	SI	-	1. Inspeccionar periódicamente sonido, vibración y estado de eje. (BI) 2. RTF	1. Desde el punto de vista económico es el más efectivo. 2. Causaría pérdida de producción	1	Diario
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.2	Desgaste de chaveta y chavetero	2.2.1	Chaveta perdió medida	NO	NO	SI	NO	NO	SI	-	1. Modificar diseño 2. RTF	1. Una mejora en el diseño podría eliminar la falla. 2. Causaría pérdida de producción	1	-
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.3	Daño de impellers	2.3.1	Sobrepresión	NO	NO	SI	SI	SI	SI	-	1. Desarmar e Inspeccionar periódicamente el estado de los impellers (BI) 2. RTF	1. Sería la mejor opción en lugar de RTF 2. Causaría pérdida de producción	1	24 meses

1.1.1	4	Válvula de concentrado	4.1	Válvula tapada con incrustación de sólidos en el asiento	4.1.1	Sales acumuladas en el interior de la válvula	NO	-	NO	SI	SI	SI	-	1. Desarmar e Inspeccionar y limpiar periódicamente la válvula.(B1) 2. RTF	1. Seria la mejor opción en lugar de RTF 2. Causaría perdida de producción	1	12 meses
1.1.1	7	Membranas semipermeables de osmosis inversa	7.1	Taponamiento de membranas	7.1.1	Falta de limpieza	SI	SI	SI	SI	NO	SI	-	1. Limpieza total del sistema. (BT) 2. Limpieza total del sistema cuando algún parámetro de presión varia. (BC) 3. RTF	1. Se utiliza la limpieza total para remover las sales acumuladas durante el tiempo de operación 2. Se utiliza para prevenir taponamiento de las membranas 3. Causaría el daño total del equipo.	1,2	45 días
1.1.1	7	Membranas semipermeables de osmosis inversa	7.1	Taponamiento de membranas	7.1.2	Falta de dosificación Anti-incrustante	NO	-	NO	NO	NO	NO	SI	1. Modificar el procedimiento para la compra de este anti-incrustante 2. RTF	1. Imprescindible mejorar el procedimiento de compra 3. Causaría el daño total del equipo.	1	-
1.1.1	7	Membranas semipermeables de osmosis inversa	7.3	Daño de oring's o guarniciones	7.3.1	Caucho saturado	NO	-	NO	SI	NO	NO	NO	1. RTF	1. Es difícil detectar este modo de falla	1	-
1.3.1	11	Panel de Control	11.1	Bomba no arranca	11.1.1	Pérdidas de señales de arranque	NO	-	NO	SI	NO	NO	SI	1. Modificar el diseño eléctrico 2. RTF	1. Seria sencillo modificar el diseño eléctrico de control para tener mas indicadores.	1	-

**TABLA No. 50**

Análisis de Sistemas - MCC																	
Paso 7-2: Selección de la Tarea																	
Información: Lista de Verificación de Correr Hasta que Falle											Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007			
Planta: Planta de Líquidos											la Planta:		2				
Sistema: Osmosis Inversa											el Sistema:		9				
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano																	
# FF	No. Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	Efectividad Marginal	Falla de alto costo	Daño secundario	Conflicto FOE	Conflicto Interno	Conflicto regulatorio	Conflicto de seguro	Oculto	Decisión RTF	Decisión Selectiva	Frecuencia	Comentarios	
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.4	Daño del sello mecánico	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	RTF	-	-	
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.5	Impellers con incrustaciones	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	Inspección y limpieza	12 meses	-	
1.2.4	7	Membranas semipermeables de osmosis inversa	7.4	Las membranas no ejercen la función de filtrado.	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	Cambiar membrana	Cuando se presente	En este modo de fallo ya las membranas serían inutilizables	
2.1.2	1	Prefiltro	1.2	Prefiltro no ejerce su función	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	Cambiar filtro	Cuando se presente	En este modo de fallo el elemento filtrante estaría abierto	
3.1.1	9	Bomba dosificadora electrónica	9.1	Daño de válvulas cheques	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	Inspeccionar válvula	Anual	-	
3.1.1	9	Bomba dosificadora electrónica	9.1	Daño de Diafragma	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	Inspeccionar diafragma	Anual	-	
4.1.1	11	Panel de Control	11.2	Daño de luces pilotos	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	RTF	-	-	

CIB-ESPOL

**TABLA No. 51**

Análisis de Sistemas - MCC										
Paso 7-3: Selección de tareas										
Información: Comparación del RCM vs. Tareas de Mantenimiento Preventivos actuales						Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007	
Planta: Planta de Líquidos								ID de la Planta:	2	
Sistema: Osmosis Inversa								ID del Sistema:	9	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano										
# FF	No. Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla / Locación		Selección RCM Decisión/Categoría		Frecuencia	Descripción de tarea actual	Frecuencia
1.1.1	1	Prefiltro	1.1	Elemento filtrante saturado	7-1	Reemplazar el elemento debido a una caída de presión mayor a 10 PSI (BC)	B	-	Reemplazar el elemento debido a una caída de presión mayor a 10 PSI (BC)	-
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.1	Fallo de rodamientos	7-1	Inspeccionar periódicamente sonido, vibración y estado de eje. (BI)	D/B	Diario	RTF	-
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.2	Desgaste de chaveta y chavetero	7-1	Modificar diseño	D/B	-	RTF	-
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.3	Daño de impellers	7-1	Desarmar e Inspeccionar periódicamente el estado de los impellers (BI)	D/B	24 Meses	RTF	-
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.4	Daño del sello mecánico	7-2	RTF	C	-	RTF	-
1.1.1	2	Bomba multietapa	2.5	Impellers con incrustaciones	7-2	Inspección y limpieza	D/C	12 Meses	RTF	-
1.1.1	4	Válvula de concentrado	4.1	Válvula tapada con incrustación de sólidos en el as	7-1	Desarmar e Inspeccionar y limpiar periódicamente la válvula.(BI)	D/B	12 Meses	RTF	-

1.1.1.7	Membranas semipermeables de osmos 7.1	Membranas semipermeables de osmos 7.1	Taponamiento de membranas	7-1	Limpieza total del sistema cuando algún parámetro de presión varia. (BC)	B	45 días	Limpieza total del sistema cuando algún parámetro de presión varia. (BC)				
1.1.1.7	Membranas semipermeables de osmos 7.1	Membranas semipermeables de osmos 7.1	Taponamiento de membranas	7-1	Modificar el procedimiento para la compra de este anti-incrustante	B	-	RTF				-
1.1.1.7	Membranas semipermeables de osmos 7.3	Membranas semipermeables de osmos 7.3	Daño de oring's o guarniciones	7-1	RTF	D/B	-	RTF				-
1.2.4.7	Membranas semipermeables de osmos 7.4	Membranas semipermeables de osmos 7.4	Las membranas no ejercen la función de filtrado.	7-2	Cambiar membrana	C	Cuando se presente	RTF				-
1.3.1.11	Panel de Control	11.1	Bomba no arranca	7-1	Modificar el diseño eléctrico	B	-	RTF				-
2.1.2.1	Prefiltro	1.2	Prefiltro no ejerce su función	7-2	Cambiar filtro	D/C	Cuando se presente	RTF				-
3.1.1.9	Bomba dosificadora electrónica	9.1	Daño de válvulas cheques	7-2	Inspeccionar válvula	D/C	Anual	RTF				-
3.1.1.9	Bomba dosificadora electrónica	9.1	Daño de Diafragma	7-2	Inspeccionar diafragma	D/C	Anual	RTF				-

TABLA No. 52

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 2: Definición del Limite del Sistema			
Paso 2-1: Apreciación Global del Limite	Rev. No.:	1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos	ID de la Planta:		2
Sistema: Llenadora Arbras	ID del Sistema:		19
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
<b>2.1.1 Componentes importantes incluidos</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Motor principal</li> <li>Estrellas de entrada y salida</li> <li>Sensores ópticos</li> <li>Sensor de nivel</li> <li>Carrusel Rinseadora</li> <li>Válvulas y pinzas de enjuague</li> <li>Carrusel tanque de balance</li> <li>Válvula de entrada</li> <li>Boquillas de llenado</li> <li>Copas sistema cip</li> <li>Carrusel tapadora 1 (Tapa sencilla)</li> <li>Piston roscador tapadora 1</li> <li>Dosificador de tapa 1</li> <li>Carrusel tapadora 2 (Tapa Sport Cap)</li> <li>Piston roscador tapadora 2</li> <li>Dosificador de tapa 2</li> <li>Carrusel tapadora 3 (Tapa corona)</li> <li>Piston roscador tapadora 3</li> <li>Dosificador de tapa 3</li> <li>Panel de control eléctrico</li> <li>Circuito Neumático</li> <li>Transportador y transferencias</li> <li>Kit de recambio</li> </ul>			
<b>2.1.2 Límites Físicos Primarios:</b>			
<b>Empieza con:</b>			
Presión de Aire	60 PSI		
Nivel de agua enjuague	50% del tanque		
Presión mín. de agua enjuague	30 PSI		
Nivel producto en el tanque balance	50-80% del tanque		
Presión entrada producto	45 PSI		
Energía Eléctrica:	230 Volt 32 Amp. 60Hz trifásico		
Voltaje control	24 Vcc		
Botellas a la entrada de la maquina			
Tapas en los dosificadores			
Pulmón acumulador vacío			
<b>Termina con:</b>			
Envases desinfectados			
Producto envasado en un 100%			
Botellas tapadas			
Velocidad de producción 10000 botellas/hora			
<b>Advertencias:</b>			
- Muy importante seguir las recomendaciones de lubricación mencionadas en la Pág.. 47 y 48 del manual de la máquina.			

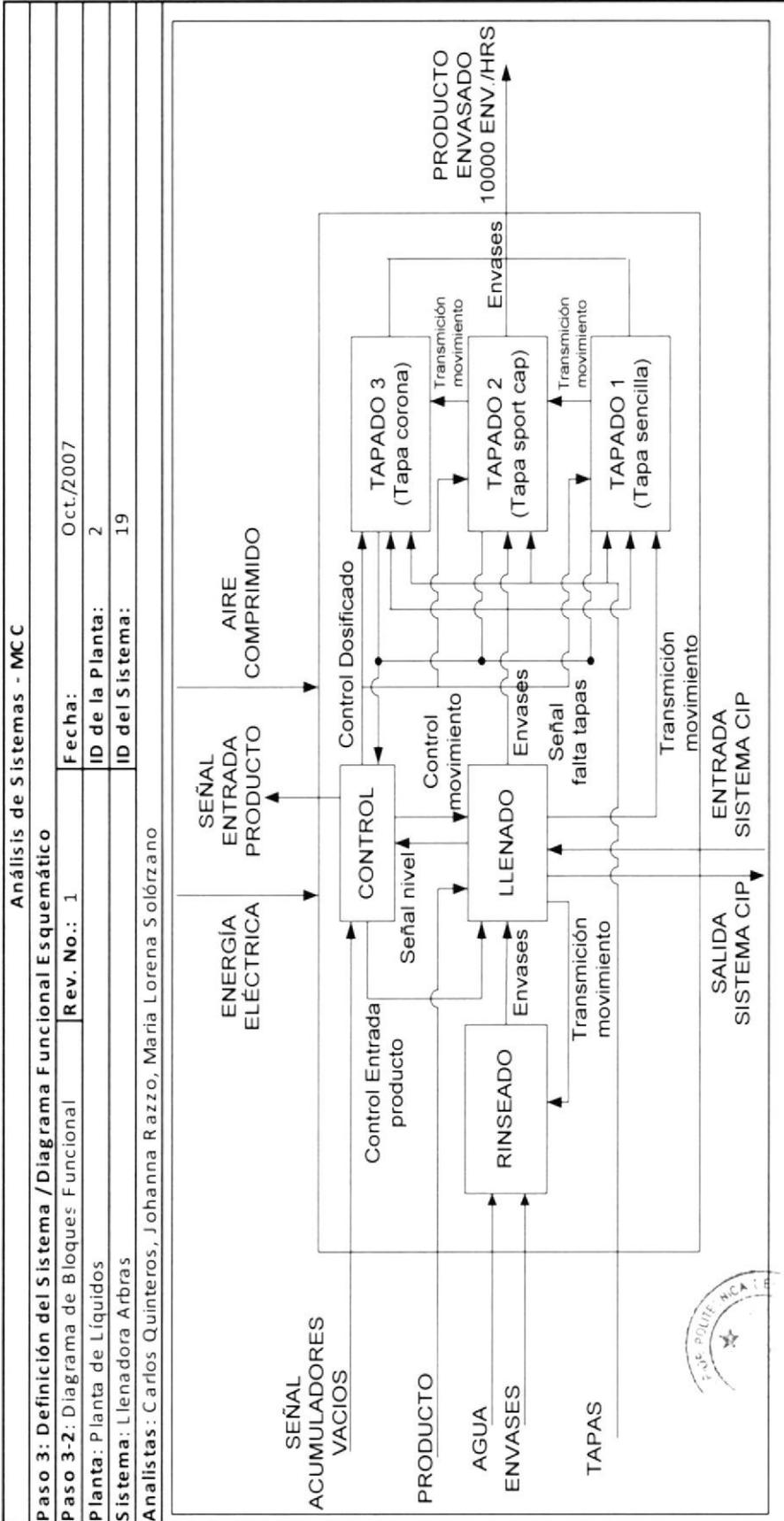
TABLA No. 53

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 2: Definición del Límite del Sistema			
Paso 2-2: Detalles del Límite		Rev. No.:	1
Fecha:		Oct./2007	
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta: 2	
Sistema: Llenadora Arbras		ID del Sistema: 19	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
Tipo	Sistema Limitante	Ubicación de la Interface	Plano de Referencia
Entrada (Aire Comprimido)	Compresor de aire 25 HP	Entrada de Aire comprimido que alimenta al circuito neumático	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0509
Entrada (Energía Eléctrica)	Del servicio EE	Panel de control 230 volt. 32 amp. trifásico	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL
Entrada (Producto)	Pasteurizadora tetrapack	Producto que viene de la pasteurizadora tetrapack e ingresa al tanque de balance de la llenadora.	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0494
Entrada (Agua)	Tanque pulmón de agua 6000 ltrs	Entrada de agua para el rinseado que proviene del tanque pulmón 6000 ltrs	-
Entrada (Envases)	Transportadores	Envases que provienen de transportadores acumuladores de entrada	DIAGRAMA DE FLUJO Y TUBERÍAS ACINDEC
Entrada (Tapas)	Manualmente	El ingreso de tapas a las respectivas tolvas se lo realiza manualmente	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0387
Entrada (Señal eléctrica)	Transportadores de salida y pulmones acumuladores	Señal eléctrica que avisa a la envasadora que no hay acumulación a la salida y puede arrancar.	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL
Entrada (producto CIP)	Sistema CIP	Entrada de producto CIP que entra al sistema de limpieza de la llenadora	DIAGRAMA DE FLUJO Y TUBERÍAS ACINDEC
Salida (Producto envasado)	Transportadores de salida y pulmones acumuladores	Salida de producto envasado y tapado a razón de 10000 env/hrs.	DIAGRAMA DE FLUJO Y TUBERÍAS ACINDEC
Salida (Señal eléctrica)	Pasteurizadora tetrapack	Señal eléctrica que avisa a la pasteurizadora que le envíe producto.	-
Salida (Producto CIP)	Sistema CIP	Salida de producto CIP que retorna al sistema de limpieza de la línea.	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0499

TABLA No. 54

Análisis de Sistemas - MCC			
<b>Paso 3: Definición del Sistema / Diagrama Funcional Esquemático</b>			
<b>Paso 3-1: Descripción Funcional</b>	<b>Rev. No.:</b>	1	<b>Fecha:</b> Oct./2007
<b>Planta:</b> Planta de Líquidos			<b>ID de la Planta:</b> 2
<b>Sistema:</b> Llenadora Arbras			<b>ID del Sistema:</b> 19
<b>Analistas:</b> Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
<b>3.1.1 Descripción Funcional / Parámetros importantes</b>			
<p><b>RINSEADO:</b> Es la etapa inicial del sistema, consta de un carrusel en donde cada envase recibe un chorro de agua con desinfectante permitiendo la eliminación de bacterias.</p> <p><b>LLENADO:</b> Una vez purificados los envases pasan a través de las estrellas y tornillo sin fin al carrusel de llenado donde una boquilla de llenado entra en cada botella, el producto entra en el envase y el aire en su interior pasa a través de la válvula hacia el interior del tanque.</p> <p><b>TAPADO:</b> En esta envasadora se tiene tres tipos de tapado. Tapado sencillo, sport cap, y corona, se puede jugar con cada uno de los formatos gracias a los kit de recambio. En cualquiera de los tres casos la tapa es depositada manualmente en la tolva, que tiene un vibrador para que la tapa pueda ingresar en el dosificador y bajar hasta la botella.</p>			
<b>3.1.2 Características Redundantes</b>			
<p>En cada producción dos tapadoras resultan ser redundantes, ya que se utiliza una a la vez, pero cuando aparece un problema mecánico en cualquiera de estas tapadoras interrumpe la producción normal debido a que todo esta acoplado a un solo motoreductor.</p>			
<b>3.1.3 Características de Protección</b>			
<p>La máquina consta de sus respectivas protecciones eléctricas, y el driver de velocidad se dispara automáticamente cuando hay una sobrecorriente. Además para protección del personal tiene puertas acrílicas para evitar accidentes.</p>			
<b>3.1.4 Características de Control Principales</b>			
<p>La máquina puede trabajar su ingreso de producto en manual o automático, esto podría depender del producto que se quiera manejar. Su control de velocidad lo hace a través de un potenciómetro ubicado en el panel de control. Consta de un sensor óptico que detecta acumulación de producción a la salida y para automáticamente el sistema. Así mismo para la máquina cuando no encuentra tapa en el dosificador de tapas.</p>			

**TABLA No. 55**



CIB-ESPOL

TABLA No. 56

Análisis de Sistemas - MCC					
Paso 3: Descripción del Sistema /Diagrama Funcional Esquemático					
Paso 3-3: Interfaces Entrada/Salida		Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos			ID de la Planta:	2	
Sistema: Llenadora Arbras			ID del Sistema:	19	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, María Lorena Solórzano					
Tipo	Sistema Limitante	Ubicación de la Interface		Plano de Referencia	
<b>3.3.1 Interfaces ENTRADA</b>					
Entrada (Aire Comprimido)	Compresor de aire 25 HP	Entrada de Aire comprimido que alimenta al circuito neumático		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0509	
Entrada (Energía Eléctrica)	Del servicio EE	Panel de control 230 volt. 32 amp. trifásico		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL	
Entrada (Producto)	Pasteurizadora tetrapack	Producto que viene de la pasteurizadora tetrapack e ingresa al tanque de balance de la llenadora.		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0494	
Entrada (Agua)	Tanque pulmón de agua 6000 ltrs	Entrada de agua para el rinseado que proviene del tanque pulmón 6000 ltrs		-	
Entrada (Envases)	Transportadores	Envases que provienen de transportadores acumuladores de entrada		DIAGRAMA DE FLUJO Y TUBERÍAS ACINDEC	
Entrada (Tapas)	Manualmente	El ingreso de tapas a las respectivas tolvas se lo realiza manualmente		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0387	
Entrada (Señal eléctrica)	Transportadores de salida y pulmones acumuladores	Señal eléctrica que avisa a la envasadora que no hay acumulación a la salida y puede arrancar.		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL	
Entrada (producto CIP)	Sistema CIP	Entrada de producto CIP que entra al sistema de limpieza de la llenadora		DIAGRAMA DE FLUJO Y TUBERÍAS ACINDEC	
<b>3.3.2 Interfaces SALIDA</b>					
Salida (Producto envasado)	Transportadores de salida y pulmones	Salida de producto envasado y tapado a razón de 10000 env./hrs.		DIAGRAMA DE FLUJO Y TUBERÍAS ACINDEC	
Salida (Señal eléctrica)	Pasteurizadora tetrapack	Señal eléctrica que avisa a la pasteurizadora que le envíe producto.		-	
Salida (Producto CIP)	Sistema CIP	Salida de producto CIP que retorna al sistema de limpieza de la línea.		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0499	
<b>3.3.3 Interfaces INTERIOR</b>					
Interior (Control válvula producto)	Control / Llenado	Control de apertura de válvula de entrada de producto, que viene desde el panel de control		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL	
Interior (Señal de nivel)	Llenado / control	Señal de nivel que va desde el tanque de balance hasta el control eléctrico		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL	
Interior (Fuerza motor principal)	Control / Llenado	Alimentación del motor principal con la frecuencia desea, que llega desde el control al llenado.		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL	
Interior (Flujo envases)	Rinseado / Llenado	Flujo de envases que llega al llenado desde el rinseado a través del transportador y el kit de mesa.		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0230A	
Interior (Flujo envases)	Llenado / Tapado	Flujo de envases llenos de producto que se dirigen a las tapadoras a través de el transportador y el kit de mesa		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0230A	
Interior (transmisión de movimiento)	Llenado / rinseado-tapado	Transmisión del movimiento de la maquina desde el llenado hacia los diferentes carruseles de rinseado y tapadoras a través de piñonería.		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0493	
Interior (Dosificar tapa)	Control / Tapadoras	Control de dosificar tapa que va desde el panel de control hacia las tapadoras		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL	
Interior (Señal falta tapas)	Quemador / Controlador	Señal eléctrica de que avisa al control cuando los dosificadores se ha quedado sin tapa, dependiendo cual se utilice.		CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL	

TABLA No. 57

Análisis de Sistemas - MCC				
Paso 3: Descripción del Sistema / Diagrama Funcional Esquemático				
Paso 3-4: Listado de Componentes		Rev. No.: 1	Fecha:	Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta:	2	
Sistema: Llenadora Arbras		ID del Sistema:	19	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano				
No.	Descripción del Componente	Tipo	Cant.	Plano de Referencia
1	Motor principal	NA	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL
2	Estrellas de entrada y salida	NA	7	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0275
3	Sensores ópticos	S	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL
4	Sensor de nivel	S	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL
5	Carrusel Rinseadora	NA	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0180
6	Válvulas y pinzas de enjuague	NA	20	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8130.0171
7	Carrusel tanque de balance	NA	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0493
8	Válvula de entrada	NA	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0453
9	Boquillas de llenado	NA	24	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0487
10	Copas sistema cip	NA	24	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0495
11	Carrusel tapadora 1 (Tapa sencilla)	NA	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0482
12	Piston roscador tapadora 1	NA	8	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0061
13	Dosificador de tapa 1	NA	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0389
14	Carrusel tapadora 2 (Tapa Sport Cap)	NA	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0491
15	Piston roscador tapadora 2	NA	8	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0492
16	Dosificador de tapa 2	NA	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0505
17	Carrusel tapadora 3 (Tapa corona)	NA	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8130.0495
18	Piston roscador tapadora 3	NA	3	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8130.0494
19	Dosificador de tapa 3	NA	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8130.0201
20	Panel de control eléctrico	C	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 287.44/03EL
21	Circuito Neumático	NA	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0509
22	Transportador y transferencias	NA	1	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0230A
23	Kit de recambio	NA	4	CATALOGO DE PIEZAS ARBRAS 8440.0500
NA: No Aplica P: Protección S: Status C: Control				

TABLA No. 58

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 3-5: Descripción del Sistema /Diagrama funcional esquemático			
Paso 3-5: Historial del Equipo		Rev. No.: 1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta:	2
Sistema: Llenadora Arbras		ID del Sistema:	19
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
Descripción del Componente	Modo de Falla		Causa de Falla
	Tipo	Fecha	
Boquillas de llenado	Falla oring en silicona de la boquilla de llenado	4/22/2006	Desgaste de rines
		5/2/2006	
		7/3/2006	
		7/25/2006	
		8/3/2006	
		11/14/2006	
		10/2/2006	
		10/5/2006	
		10/12/2006	
		10/20/2006	
		10/23/2006	
		11/8/2006	
		1/22/2007	
1/25/2007			
8/27/2007			
Boquillas de llenado	Fuga de producto en el llenado	6/8/2006	Desgaste de estopas de boquillas de llenado
		6/23/2006	
		7/25/2006	
		8/3/2006	
		8/16/2006	
		8/18/2006	
		10/16/2006	
		11/17/2006	
1/15/2007			
Boquillas de llenado	Fuga de producto en el llenado	10/5/2006	Caucho sanitario en boquilla de llenado defectuoso
		10/20/2006	
		10/25/2006	
Boquillas de llenado	Ruptura de los pico de botella	11/14/2006	Picos de boquillas desalineadas
Boquillas de llenado	Mal centramiento de la botella ( envase se ladea)	9/27/2006	Desajuste en la guía de entrada y soporte de botella.
Copas sistema cip	Fugas en sistema CIP	7/10/2006	Racores en mal estado por tiempo de vida útil
		7/25/2006	
		2/2/2007	
Carrusel tanque de balance	Cabeceo en el tanque de balance de la llenadora	2/20/2006 1/19/2007	Fuga en el rodamiento principal
Carrusel tanque de balance	Tanque de balance no funciona en automatico	8/31/2006	Daño del sensor de nivel
Carrusel tanque de balance	Daño ring en tapa de tanque de balance	3/1/2006	Tiempo de vida útil
Carrusel tanque de balance	Problema con centrado de la botella en la llenadora	3/1/2006	Falta de libertad para centramiento de botella (se manda a hacer ojo chino)
Carrusel tanque de balance	Problema con llenado de la botella. Asiento de botella no sube	10/29/2005	Ruedas seguidoras dañadas
Estrellas de entrada y salida	Fuga en estrellas de entrada y de salida de la llenadora	11/17/2005	Rodamiento en mal estado debido al ingreso de humedad
		2/20/2006	
		3/22/2006	
		6/12/2006	
		6/19/2006	
1/19/2007			

Panel de control eléctrico	Llenadora arranca con velocidad baja o variable	06/05/2006	Potenciómetro defectuoso
		17/01/2007	
		10/10/2007	
Panel de control eléctrico	Llenadora arranca pero no para	04/09/2006	PLC Aberiado (ent # 1)
Panel de control eléctrico	Máquina no arranca	09/05/2006	Fallo electrónico de Driver de velocidad
Sensor de nivel	Tanque de balance no recupera su nivel	25/02/2006	Contactos internos del sensor en mal estado debido a la temperatura
		31/08/2007	
Dosificador de tapa 1	Problema en desinfección de tapas en tapadora 1.	10/08/2006	Tubo uv quemado
Dosificador de tapa 2	Problema en desinfección de tapas en tapadora 2.	08/03/2006	Tubo uv quemado
Dosificador de tapa 2	Tapadora 2 no dosifica la tapa	19/03/2007	Sensor que detecta el paso de la botella dañado
Dosificador de tapa 3	Problema en desinfección de tapas en tapadora	02/06/2006	Tubo uv quemado
		28/09/2006	
Dosificador de tapa 3	Problema en desinfección de tapas en tapadora 3 corona	04/09/2006	Balastro en corto
Piston roscador tapadora 1	Máquina atorada	08/02/2007	Daño en caja de seguidor de leva del piston roscador de la tapadora 1 (rodamiento en mal estado)
Piston roscador tapadora 1	Máquina atorada	09/02/2007	Daño de engranaje intermedio de pistones roscadores tapadoras 1
Piston roscador tapadora 2	Tapa no centrada en la botella (tapadora 2 sport cap)	05/06/2006	Daño de rines que sujetan a topes
Piston roscador tapadora 2	Máquina atorada	02/10/2007	Daño de engranaje intermedio de pistones roscadores tapadoras 2
Piston roscador tapadora 3	Tapadora 3 corona no tapa correctamente y provoca que se rompan botellas	25/07/2006	Disco de asiento de la botella dañados
		16/08/2006	
		24/08/2006	
		05/10/2006	
		08/11/2006	
		03/01/2007	
		15/01/2007	
		22/01/2007	
26/01/2007			
Carrusel tapadora 2 (Tapa Sport Cap)	Tapadora 2 sport cap atorada	17/02/2007	Bujes principales lastimados. Ingreso de humedad a la parte motriz del movimiento de la tapadora.
Carrusel Rinseadora	Bomba sistema de lavado atorada	28/04/2006	Rodamientos en mal estado
Carrusel Rinseadora	Fuga de agua de rinseado	31/10/2005	Daño del sello mecánico del carrusel de rinseado
Transportador y transferencias	Interrupción de transportación de botellas	31/07/2006	Banda table Top rota por trabamiento
		01/08/2007	

TABLA No. 59

Análisis de Sistemas - MCC			
Paso 4: Funciones /Fallas Funcionales			
Información: Descripción de Fallas Funcionales		Rev. No.: 1	Fecha: Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos		ID de la Planta:	2
Sistema: Llenadora Arbras		ID del Sistema:	19
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano			
Función #	FF #	Función /Descripción de la Falla Funcional	
1.1		<b>Desinfección de envases con chorro a presión de 30 PSI</b>	
	1.1.1	El chorro no se activa	
	1.1.2	Problema en el bombeo	
	1.1.3	Pérdida de presión	
2.1		<b>Envasado del producto en forma aséptica</b>	
	2.1.1	Derrame de producto en las boquillas	
	2.1.2	Envase no llena al 100%	
	2.1.3	Derrame de producto debido al mal centramiento de la botella	
3.1		<b>Control de nivel automático en el tanque de balance</b>	
	3.1.1	Llenado del tanque de balance no trabaja en automático	
	3.1.2	Nivel del tanque no recupera rápidamente	
4.1		<b>Movimiento principal de la máquina sincronizado</b>	
	4.1.1	Desincronización del movimiento	
	4.1.2	Paro del movimiento principal de la máquina	
5.1		<b>Desinfección de las tapas con UV</b>	
	5.1.1	Desinfección UV no enciende	
6.1		<b>Dosificación automático de tapas</b>	
	6.1.1	Paro en la dosificación de tapas	
	6.1.2	Baja velocidad de dosificación de tapas	
7.1		<b>Presión de roscado de la tapa adecuada</b>	
	7.1.1	Presión en la tapa elevada	
	7.1.2	Tapa no cierra correctamente	
8.1		<b>Transportación de envases a velocidad de máquina (max 1000/hr)</b>	
	8.1.1	Paro del transportador	
	8.1.2	Reducción de velocidad de transportación	
9.1		<b>Control total del proceso con entradas y salidas eléctricas</b>	
	9.1.1	Control no responde al operador	
	9.1.2	Control no da movimiento a la máquina	
10.1		<b>Mantener una recirculación adecuada de producto de limpieza CIP</b>	
	10.1.1	Fugas en el sistema CIP	

**TABLA No. 60**

Análisis de Sistemas - MCC																									
Paso 5: Funciones / Fallas Funcionales																									
Paso 5-1: Matriz Componentes - Fallas Funcionales																Rev. No.:		1		Fecha:		Oct./2007			
Planta: Planta de Líquidos																ID de la Planta:		2							
Sistema: Llenadora Arbras																ID del Sistema:		19							
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano																									
No.	DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE	FALLA FUNCIONAL																							
		1.1.1	1.1.2	1.1.3	2.1.1	2.1.2	2.1.3	3.1.1	3.1.2	4.1.1	4.1.2	5.1.1	6.1.1	6.1.2	7.1.1	7.1.2	8.1.1	8.1.2	9.1.1	9.1.2	10.1.1				
1	Motor principal																								
2	Estrellas de entrada y salida							x			2.1.3	2.1.3													
3	Sensores ópticos												x							x					
4	Sensor de nivel					x		2.1.2	2.1.2																
5	Carrusel Rinseadora			x																					
6	Válvulas y pinzas de enjuague	x		1.1.1																					
7	Carrusel tanque de balance									x	4.1.1														
8	Válvula de entrada																								
9	Boquillas de llenado				x		x																		
10	Copas sistema cip																				x				
11	Carrusel tapadora 1 (Tapa sencilla)																								
12	Piston roscador tapadora 1									x	4.1.1				x	7.1.1									
13	Dosificador de tapa 1											x	x	6.1.1											
14	Carrusel tapadora 2 (Tapa Sport Cap)									x	4.1.1														
15	Piston roscador tapadora 2									x	4.1.1				x	7.1.1									
16	Dosificador de tapa 2											x	x	6.1.1											
17	Carrusel tapadora 3 (Tapa corona)																								
18	Piston roscador tapadora 3														x	x									
19	Dosificador de tapa 3											x	x	6.1.1											
20	Panel de control eléctrico		x	1.1.2						x	x	x							x	4.1.2					
21	Circuito Neumático												x												
22	Transportador y transferencias																x	x							
23	Kit de recambio																								

TABLA No. 61

Análisis de Sistemas - MCC												
Paso 5: Funciones / Fallas Funcionales												
Paso 5-2: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos								Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007	
Planta: Planta de Líquidos										ID de la Planta:	2	
Sistema: Llenadora Arbras										ID del Sistema:	19	
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano												
# FF	No. Comp.	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	# CF	Causa de Falla	Efecto de falla	Frecuencia de Ocurrencia	Grado de severidad	Oportunidad de detección	Factor de Riesgo	LTA
1.1.1	6	Válvulas y pinzas de enjuague	6.1	Valvula no abre	6.1.1	Suciedad dentro de la válvula.	Envase sale sin desinfectar	3	5	1	9	No
1.1.2	20	Panel de control eléctrico.	20.1	Bomba de rinseadora apagada.	20.1.1	Térmico de la bomba muy sensible.	Paró producción	1	4	1	6	No
1.1.3	5	Carrusel Rinseadora	5.1	Daño del sello mecánico de la bomba de rinseado	5.1.1	Tiempo de vida útil	Pérdida de producto de limpieza y paros continuos	1	4	2	7	No
1.1.3	5	Carrusel Rinseadora	5.2	Daño del sello mecánico principal de la rinseadora.	5.2.1	Tiempo de vida útil	Pérdida de producto de limpieza y paros continuos	1	6	4	11	No
					5.2.2	Sobrepresión	Pérdida de producto de limpieza y paros continuos	1	6	4	11	No
2.1.1	9	Boquillas de llenado	9.1	Fuga de producto en el llenado	9.1.1	Desgaste de rines	Contaminación en el terminado de la botella	9	7	2	18	Si
					9.1.2	Desgaste de estopas de boquillas de llenado	Contaminación en el terminado de la botella	8	8	2	18	Si
					9.1.3	Caucho sanitario en boquilla de llenado defectuoso	Contaminación en el terminado de la botella	4	3	2	9	No



CIB -ESPOL

2.1.2	4	Sensor de nivel	4.1	Tanque de balance no recupera su nivel	4.1.1	Contactos internos del sensor en mal estado debido a la temperatura	Máquina no llena automáticamente	2	5	9	No
2.1.3	2	Estrellas de entrada y salida	2.1	Fuga en estrellas de entrada y de salida de la llenadora	2.1.1	Rodamiento en mal estado debido al ingreso de humedad	Daño de boquillas y rompimiento de las envases	7	6	22	SI
2.1.3	9	Boquillas de llenado	9.2	Mal centramiento de la botella (Envase se ladea)	9.2.1	Desajuste en la guía de entrada y soporte de botella.	Daño de boquillas y rompimiento de las envases	5	3	15	SI
4.1.1	7	Carrusel tanque de balance	7.1	Cabeceo en el tanque de balance de la llenadora	7.1.1	Fuga en el rodamiento principal	Paró o reducción de producción	2	6	18	SI
4.1.1	12	Piston roscador tapadora 1	12.1	Máquina atorada	12.1.1	Daño en caja de seguidor de leva del piston roscador de la tapadora 1 (rodamiento en mal estado)	Paró o reducción de producción	2	8	18	SI
4.1.1	14	Carrusel tapadora 2 (Tapa Sport Cap)	14.1	Tapadora 2 sport cap atorada	14.1.1	Bujes principales las timados. Ingreso de humedad a la parte motriz del movimiento de la tapadora.	Paró o reducción de producción	1	8	19	SI
4.1.1	15	Piston roscador tapadora 2	15.1	Máquina atorada	15.1.1	Daño de engranaje intermedio de pistones roscadores tapadoras 1	Paró o reducción de producción	2	6	16	SI
4.1.1	20	Panel de control eléctrico	20.2	Movimiento con velocidad variable.	20.2.1	Daño de pista del potenciómetro	Causa vaiven en la velocidad de la máquina	3	2	10	No
4.1.2	20	Panel de control eléctrico	20.3	Máquina no arranca	20.3.1	Fallo electrónico de Driver de velocidad	Paró de producción	1	6	17	SI
5.1.1	13	Dosificador de tapa 1	13.1	Problema de desinfección de tapas en tapadora 1.	13.1.1	Tubo uv quemado	Posible contaminación de tapa.	3	3	12	SI
5.1.1	16	Dosificador de tapa 2	16.1	Problema de desinfección de tapas en tapadora 2.	16.1.1	Tubo uv quemado	Posible contaminación de tapa.	3	3	12	SI
5.1.1	19	Dosificador de tapa 3	19.1	Problema de desinfección de tapas en tapadora 3.	19.1.1	Tubo uv quemado	Posible contaminación de tapa.	3	3	12	SI

5.1.1	20	Panel eléctrico	20.4	Problema en desinfección de tapas en tapadora 3.	20.4.1	Balastro en corto	Posible contaminación de tapa.	2	6	4	12	SI
6.1.1	3	Sensores ópticos	3.1	Dosificador no envía tapa	3.1.1	Sensor óptico del paso de botella averiado	Paro de producción	2	4	5	11	No
6.1.1	13	Dosificador de tapa 1	13.2	Problema en velocidad de dosificado de tapa	13.2.1	Mala calibración	Reducción de producción	2	4	3	9	No
6.1.1	16	Dosificador de tapa 2	16.2	Problema en velocidad de dosificado de tapa	16.2.1	Mala calibración	Reducción de producción	2	4	3	9	No
6.1.1	19	Dosificador de tapa 3	19.2	Problema en velocidad de dosificado de tapa	19.2.1	Mala calibración	Reducción de producción	2	4	3	9	No
6.1.1	21	Circuito Neumático	21.1	Dosificador no envía tapa.	21.1.1	Válvulas neumáticas no se activa.	Paro de producción	4	7	5	16	SI
7.1.1	12	Piston tapadora 1 roscador	12.2	Fallo roscado de la tapa	12.2.1	Desajuste en la calibración del roscador	Reducción de producción	2	4	5	11	No
7.1.1	15	Piston tapadora 2 roscador	15.2	Fallo roscado de la tapa	15.2.1	Desajuste en la calibración del roscador	Reducción de producción	2	4	5	11	No
7.1.1	18	Piston tapadora 3 roscador	18.1	Fallo coronado de la tapa	18.1.1	Desajuste en la calibración del coronador	Reducción de producción	4	7	7	18	SI
7.1.2	18	Piston tapadora 3 roscador	18.2	Fallo coronado de la tapa y provoca la ruptura de botellas	18.2.1	Disco de asiento de la botella dañados	Reducción de producción	6	5	3	14	SI
8.1.1	22	Transportador y transferencias	22.1	Interrupción de transportación de botellas	22.1.1	Banda table Top rota por trabamiento	Paro de producción	4	5	2	11	No
8.1.1	22	Transportador y transferencias	22.2	Banda transportadora corre de lado	22.2.1	Soleras de desgaste sueltas	Reducción de producción	4	4	2	10	No
9.1.1	20	Panel eléctrico	20.5	Llenadora arranca pero no para	20.5.1	PLC Averiado (ent # 1)	Pérdida de seguridad de paro de emergencia	1	3	5	9	No
9.1.2	3	Sensores ópticos	3.2	Máquina no arranca	3.2.1	Sensor óptico de presencia de acumulación a la salida averiado por humedad	Paro momentaneo de producción	2	2	5	9	No
10.1.1	10	Copas sistema cip	10.1	Fugas en sistema CIP	10.1.1	Racores en mal estado por tiempo de vida útil	Atenta contra la seguridad del operador en el momento de la limpieza	5	5	3	13	SI

**TABLA No. 62**

Análisis de Sistemas - MCC									
Paso 6: Análisis de Árbol Lógico (LTA)									
Información: Análisis de los Modos de Fallas						Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007
Planta: Planta de Líquidos						ID de la Planta:			2
Sistema: Llenadora Arbras						ID del Sistema:			19
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano									
# FF	No. Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	Evidente?	Seguridad	Paro?	Categoría	
2.1.1	9	Boquillas de llenado	9.1	Fuga de producto en el llenado	SI	NO	NO	C	
2.1.3	2	Estrellas de entrada y salida	2.1	Fuga en estrellas de entrada y de salida de la llenadora	SI	NO	SI	B	
2.1.3	9	Boquillas de llenado	9.2	Mal centramiento de la botella (Envase se ladea)	SI	NO	NO	C	
4.1.1	7	Carrusel tanque de balance	7.1	Cabeceo en el tanque de balance de la llenadora	SI	NO	SI	B	
4.1.1	12	Piston roscador tapadora 1	12.1	Máquina atorada	NO	NO	SI	D/B	
4.1.1	14	Carrusel tapadora 2 (Tapa Sport Cap)	14.1	Tapadora 2 sport cap atorada	NO	NO	SI	D/B	
4.1.1	15	Piston roscador tapadora 2	15.1	Máquina atorada	NO	NO	SI	D/B	
4.1.2	20	Panel de control eléctrico	20.3	Máquina no arranca	NO	NO	SI	D/B	
5.1.1	13	Dosificador de tapa 1	13.1	Problema en desinfección de tapas en	SI	NO	NO	C	
5.1.1	16	Dosificador de tapa 2	16.1	Problema en desinfección de tapas en	SI	NO	NO	C	
5.1.1	19	Dosificador de tapa 3	19.1	Problema en desinfección de tapas en	SI	NO	NO	C	
5.1.1	20	Panel de control eléctrico	20.4	Problema en desinfección de tapas en	SI	NO	NO	C	
6.1.1	21	Circuito Neumático	21.1	Dosificador no envía tapa.	NO	NO	SI	D/B	
7.1.1	18	Piston roscador tapadora 3	18.1	Fallo coronado de la tapa	NO	NO	SI	D/B	
7.1.2	18	Piston roscador tapadora 3	18.2	Fallo coronado de la tapa y provoca la ruptura de botellas	SI	NO	SI	B	
10.1.1	10	Copas sistema cip	10.1	Fugas en sistema CIP	SI	NO	NO	C	

**TABLA No. 63**

Análisis de Sistemas - MCC																	
Paso 7: Selección de la Tarea																	
Paso 7-1: Proceso de Selección y Decisión										Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007				
Planta: Planta de Líquidos										ID de la Planta:	2						
Sistema: Llenadora Arbras										ID del Sistema:	19						
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano																	
# FF	No. Comp.	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	# CF	Causa de Falla	1	2	3	4	5	6	7	Tarea candidata	Información efectiva	Decisión selectiva	Frecuencia
2.1.3	2	Estrellas de entrada y salida	2.1	Fuga en estrellas de entrada y de salida de la llenadora	2.1.1	Rodamiento en mal estado debido al ingreso de humedad	NO	-	SI	NO	-	SI	-	1. Revisión de fuga o cabeceo de las estrellas (BC)	1. La revisión periodica del estado de las estrellas podria evitar que la falla aparezca	1	-
													2. RTF	2. Causaría paro de producción.			
4.1.1	7	Carrusel tanque de balance	7.1	Cabeceo en el tanque de balance de la llenadora	7.1.1	Fuga en el rodamiento principal	NO	-	SI	SI	NO	SI	-	1. Revisión de fuga o cabeceo del carrusel (BC)	1. La revisión periodica del estado del carrusel podria evitar que la falla aparezca	1	Mensual
													2. RTF	2. Causaría pérdida de productividad			
4.1.1	12	Piston roscador tapadora 1	12.1	Máquina atorada	12.1.1	Daño en caja de seguidor de leva del piston roscador de la tapadora 1 (rodamiento en mal estado)	NO	-	NO	SI	SI	SI	-	1. Revisión de estado de Rodamientos en caja de seguidor de leva (BI)	1. La inspección del estado de rodamientos podria ser la mayor decisión en este caso.	1	3 meses
													2. RTF	2. Causaría el paro de producción			

4.1.1	14	Carrusel tapadora 2 (Tapa Sport Cap)	14.1 Tapadora 2 sport cap atorada	14.1.1	Bujes principales lastimados. Ingreso de humedad a la parte motriz del movimiento de la tapadora.	SI NO SI NO SI NO SI -					1. Lubricación de rodamientos y bujes (BT) 2. RTF	1. Recomendado para mantener buenas condiciones de operación. 2. Causaría el paro de producción	1	Semanal
4.1.1	15	Piston roscador tapadora 2	15.1 Máquina atorada	15.1.1	Daño de engranaje intermedio pistones roscadores tapadoras 2	NO - NO SI SI SI -					1. Revisión de estado de Rodamientos en caja de seguidor de leva (BI) 2. RTF	1. La inspección del estado de rodamientos podría ser la mejor decisión en este caso. 2. Causaría el paro de producción	1	3 meses
4.1.2	20	Panel de control eléctrico	20.3 Máquina no arranca	20.3.1	Fallo electrónico de Driver de velocidad	NO - NO SI NO NO SI -					1. Para esta falla se debería modificar el diseño del panel de control para que tenga mas ventilación. 2. RTF	1. Podría ser una buena opción antes de elegir el RTF	1	-
6.1.1	21	Circuito Neumático	21.1 Dosificador no envía tapa.	21.1.1	Válvulas neumáticas no se activa.	NO - NO SI SI SI -					1. Limpieza de electroválvulas (BI) 2. RTF	1. Debido a la humedad del ambiente las válvulas se llenan de óxido o suciedad, sería buena opción limpiarlas periódicamente 2. Causaría el paro de producción	1	semestral
7.1.1	18	Piston roscador tapadora 3	18.1 Fallo coronado de la tapa	18.1.1	Desajuste en la calibración del coronador	NO - SI NO - SI -					1. Cuando se detecte el mínimo desajuste en el tapado volver a calibrar en el siguiente cambio de producción (BC) 2. RTF	1. Volver a recalibrar los coronadores es de vital importancia cuando aparece un desajuste. 2. Causaría pérdida de productividad	1	-
7.1.2	18	Piston roscador tapadora 3	18.2 Fallo coronado de la tapa y provoca la ruptura de botellas	18.2.1	Disco de asiento de la botella dañados	NO - SI NO - SI -					1. Verificar el estado de los discos en cada producción (BC) 2. RTF	1. La verificación continua del estado de los discos evitaría comprometer otras partes. 2. Causaría pérdida de productividad	1	-

TABLA No. 64

Análisis de Sistemas - MCC																	
Paso 7: Selección de la Tarea																	
Paso 7-2: Lista de Verificación de Correr Hasta que Falle														Rev. No.: 1		Fecha: Oct. /2007	
Planta: Planta de Líquidos														ID de la Planta: 2			
Sistema: Llenadora Arbras														ID del Sistema: 19			
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, María Lorena Solórzano																	
# FF	No. Comp	Descripción del Componente	# MF	Modo de Falla	Efectividad Marginal	Falla de alto costo	Daño Secundario	Conflicto FOE	Conflicto Interno	Conflicto Regulatorio	Conflicto de Seguro	Oculto	Decisión RTF	Decisión Selectiva	Frecuencia	Comentarios	
2.1.1	9	Boquillas de llenado	9.1	Fuga de producto en el llenado	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	RTF	-	Se puede correr el riesgo RTF	
2.1.3	9	Boquillas de llenado	9.2	Mal centramiento de la botella (E n vase se ladea)	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	Alineación periódica de los picos de válvula	4 meses	La corrección a tiempo del alineamiento de las válvulas reduciría el efecto de la falla.	
5.1.1	13	Dosificador de tapa 1	13.1	Problema de desinfección de tapas en tapadora 1.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	RTF	-	No afecta a la funcinabilidad de la máquina y se podría utilizar otro método de desinfección	
5.1.1	16	Dosificador de tapa 2	16.1	Problema de desinfección de tapas en tapadora 2.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	RTF	-	No afecta a la funcinabilidad de la máquina y se podría utilizar otro método de desinfección	
5.1.1	19	Dosificador de tapa 3	19.1	Problema de desinfección de tapas en tapadora 3.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	RTF	-	No afecta a la funcinabilidad de la máquina y se podría utilizar otro método de desinfección	
5.1.1	20	Panel de control eléctrico	20.4	Problema de desinfección de tapas en tapadora 3.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	RTF	-	No afecta a la funcinabilidad de la máquina y se podría utilizar otro método de desinfección	
10.1.1	10	Copas sistema cip	10.1	Fugas en sistema CIP	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	RTF	-	No afecta a la funcinabilidad de la máquina y se podría utilizar opción de limpieza	

TABLA No. 65

Análisis de Sistemas - MCC										
Paso 7: Selección de Tareas										
Paso 7-3: Comparación del RCM vs. Tareas de Mantenimiento Preventivos actuales					Rev. No.:	1	Fecha:	Oct./2007		
Planta: Planta de Líquidos					ID de la Planta:					2
Sistema: Llenadora Arbras					ID del Sistema:					19
Analistas: Carlos Quinteros, Johanna Razzo, Maria Lorena Solórzano										
# F.F.	No. Comp.	Descripción del Componente	# M.F.	Modo de Falla / Locación	Selección RCM Decisión/Categoría	Frecuencia	Descripción de tarea actual	Frecuencia		
2.1.1	9	Boquillas de llenado	9.1	Fuga de producto en el llenado	7-2 RTF	C	RTF	-	-	
2.1.3	2	Estrellas de entrada y salida	2.1	Fuga en estrellas de entrada y de salida de la llenadora	7-1 Revisión de fuga o cabeceo de las estrellas (BC)	B	RTF	-	-	
2.1.3	9	Boquillas de llenado	9.2	Mal centramiento de la botella (Envase se ladea)	7-2 Alineación periódica de los picos de válvula	C	RTF	4 meses	-	
4.1.1	7	Carrusel tanque de balance	7.1	Cabeceo en el tanque de balance de la llenadora	7-1 Revisión de fuga o cabeceo del carrusel (BC)	B	RTF	-	-	
4.1.1	12	Piston roscador tapadora 1	12.1	Máquina atorada	7-1 Revisión de estado de Rodamientos en caja de seguidor de leva (BI)	D/B	RTF	3 meses	-	
4.1.1	14	Carrusel tapadora 2 (Tapa Sport Cap)	14.1	Tapadora 2 sport cap atorada	7-1 Lubricación de rodamientos y bujes (BT)	D/B	Lubricación	semanal	Semanal	
4.1.1	15	Piston roscador tapadora 2	15.1	Máquina atorada	7-1 Revisión de estado de Rodamientos en caja de seguidor de leva (BI)	D/B	RTF	3 meses	-	



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Anthony M. Smith / Glenn R. Hinchcliffe, **MCC Gateway to World Class Maintenance**, Elsevier, 2004.
- [2] Karl T. Ulrich / Steven D. Eppinger, **Diseño y Desarrollo de Productos enfoque multidisciplinario**, MC GRAW-HILL 3era. Edición.
- [3] [www. Soporte&CiaLtda\\_testimo.htm](http://www.Soporte&CiaLtda_testimo.htm)
- [4] Uruguay 2007 – Auditorias de mantenimiento – Lourival Tavares.pdf

### *Papers:*

- [5] Duarte H. Juan Carlos, **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad usando métodos de simulación del ciclo de vida.**
- [6] MSc. Jose Bernardo Duran, **Mantenimiento de 4ta. Generación Evolución o Revolución?**
- [7] Altmann Carolina, **¿Cómo mejorar la Confiabilidad de un Sistema Complejo?**
- [8] José Bernardo, **Haciendo que el MCC trabaje para su empresa,**  
The Woodhouse Partnership Limited Inglaterra.
- [9] Información de las 1000 Compañías, PIB de Superintendencia de Compañías.