

“Análisis y Diseño de un modelo experimental de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para el Sector Industrial”

C. Quinteros ¹, J. Razzo ², M. Solórzano ³, Ing. G. Rubio ⁴
Ingeniería Eléctrica Especialización Electrónica Industrial y Automatización
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
09-01-5863
Guayaquil - Ecuador

cquinteros_98@hotmail.com ¹; jrazzo@fiec.espol.edu.ec ²; lsolorza@espol.edu.ec ³; grubio@fiec.espol.edu.ec ⁴

Resumen

El mantenimiento centrado en la confiabilidad en el sector industrial se ha venido aplicando obteniéndose una optimización de los recursos utilizados en el mantenimiento de cada sistema. Actualmente el MCC se está implementando en las áreas donde su aplicación pueda ser realizada. La aplicación del MCC en los equipos de una Industria de Alimentos, específicamente en una Planta de Líquidos, nace en el concepto de confiabilidad de los sistemas, estableciendo cuales serían las posibles causas de fallo y las tareas que se deben establecer para que puedan eliminar esos riesgos o reducirlos a un valor aceptable.

Palabras Claves: *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Disponibilidad, Análisis de Crítica, Análisis del Modo y Efecto de Falla (AMEF), Competitividad.*

Abstract

The Reliability Centered Maintenance in the Industry has come applying being obtained an optimization of the resources used in the maintenance of each system. At the moment the MCC is been implementing in the areas where their application can be carried out. The application of the MCC in the equipments of an Industry of Foods, specifically in a Plant of Liquids, born in the concept of reliability of systems, settling down which they would be the possible causes failure and that tasks that can be reduce those risks could settle down or to reduce them to an acceptable value.

1. Introducción

El mantenimiento actual de las plantas industriales está caracterizado por la realización de tareas que permiten eliminar las causas (o potenciales causas) de fallas en las mismas. Su mayor limitación ha consistido en no responder a la pregunta: ¿Cuándo ejecutar las tareas de mantenimiento para obtener una mejor relación beneficio/costo con respecto al riesgo?

Por lo mencionado anteriormente y porque los costos de mantenimiento es un rubro importante en el sector industrial, ha surgido la necesidad de que el mantenimiento de los activos sea manejado con otros criterios. Actualmente, existen nuevas técnicas que permiten mejorar la confiabilidad y el desempeño de los equipos y consecuentemente, la competitividad de las organizaciones, al asegurarles una operación continua, segura y compatible con el medio ambiente.

Una de estas técnicas es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), que permite enfocar la atención hacia los problemas tanto crónicos como

esporádicos de las plantas industriales; y el presente trabajo, es justamente su aplicación a nivel experimental en una planta de líquidos de la ciudad de Guayaquil.

2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)

El MCC surge a finales de los años sesenta como respuesta al aumento de costos en el sector aeronáutico, demostrando su valía al mejorar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de las aeronaves y al reducir substancialmente los costos de mantenimiento de las mismas.

Los éxitos en el sector aeronáutico, hicieron al MCC apetecible para otros sectores industriales (muy especialmente para aquellos en los que la seguridad y el respeto ambiental era prioritario) y es así como la militar, la petrolera y la de generación eléctrica, la aplicaron.

El MCC se basa en la realización del mantenimiento a aquellos equipos donde las

consecuencias de las fallas son críticas, por lo cual es necesario hacer un estudio exhaustivo de las funciones, fallas, modos de fallas y consecuencias de dichas fallas.

La herramienta MCC proporciona siete preguntas que se deben efectuar, respecto al equipo seleccionado para mantenimiento:

1. Funciones: ¿Cuáles son las funciones y patrones de desempeño del equipo en su contexto operacional actual?
2. Fallas funcionales: ¿De que forma falla el equipo al cumplir sus funciones?
3. Modo de Falla: ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
4. Efectos de Falla: ¿Qué consecuencias genera cada falla?
5. Consecuencias de Falla: ¿En que formas afecta cada falla funcional?
6. Tareas pro-activas y frecuencia: ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla funcional?
7. Tareas por omisión: ¿Qué debería hacerse si no se pueden hallar tareas pro-activas aplicables?

2.1 Herramientas Claves

Las herramientas claves de competitividad para la aplicación del MCC son:

- a) AMEF (Análisis del Modo y Efecto de Fallas): para mejorar la confiabilidad de un activo, el AMEF efectúa un análisis de cómo un ítem puede fallar, enumera los posibles modos de falla, los grados de reacciones adversas que resultan de tales fallas y finalmente indica el procedimiento a seguir para atenuar el efecto de las fallas. Las fallas pueden ser clasificadas por su gravedad en:
 - Muy críticas (catastróficas)
 - Críticas
 - Moderadas
 - Leves
- b) Pareto (regla 80/20): la cual afirma que el 80% de las fallas se originan por el 20% de los elementos. Las fallas observadas por esta regla están determinadas por el alto costo de mantenimiento y/o gran cantidad de tiempo desperdiciado de la planta.

3. Metodología para la aplicación del MCC

La metodología para aplicar el MCC, consiste en un proceso ordenado y lógico de pasos sistemáticamente orientados a identificar las funciones de los equipos, sus fallas funcionales, los modos y causas de fallas dominantes y sus efectos. Estos pasos se mencionan a continuación:

3.1 PASO 1: Selección del Sistema y Recolección de la información

El paso 1 permite definir el sistema, las áreas y los equipos a los que se aplicará la metodología MCC. El sistema puede ser definido a nivel de:

- a) Parte: nivel más bajo al que un equipo puede ser desarmado. Ejemplo: circuitos integrados, rodamientos, sellos; etc.
- b) Componente: Grupo de partes que realiza al menos una función significativa. Ejemplos: tarjetas electrónicas, bombas, turbinas; etc.
- c) Sistema: Grupo de componente que realiza una serie de funciones de una planta. Ejemplos: sistema controlador de velocidad, sistema de tratamiento de agua; etc.
- d) Planta: Grupo de sistemas que trabajando juntos dan como resultado un producto.

Para seleccionar el sistema se sugiere:

- a) Dividir a la planta en sistemas, pudiendo un activo grande o especializado como por ejemplo un generador de diesel o un compresor de aire, ser un sistema.
- b) Aplicar la regla 80/20 para determinar el sistema que produce los mayores costos de mantenimiento y/o paradas en la planta.

La recolección de información debe ser tal que suministre suficientes detalles para entender el sistema completo, sus funciones y el comportamiento del equipo a través de su historial. Algunas fuentes de información lo constituyen los diagramas de bloques, los manuales de equipos, las especificaciones de diseño; etc.

3.2 PASO 2: Definición de los límites del sistema.

El objetivo de este paso es disponer de una lista exacta de componentes y definir sus entradas, salidas y detalles con sistemas adyacentes (especialmente los relacionados a las funciones).

3.3 PASO 3. Descripción del sistema y diagrama de bloque funcional.

Después de la definición de los límites del sistema se identifican y se documentan los detalles que son necesarios para realizar los pasos restantes en una manera técnica, cuidadosa y correcta. Para ello se desarrollan cinco puntos que se enuncian a continuación:

1. Descripción del sistema.
2. Diagrama de bloque funcional.
3. Interfaces de entrada/salida
4. Listado de componentes del sistema.
5. Historial del equipo

3.4 PASO 4: Funciones del sistema y fallas funcionales.

Este punto del proceso comienza definiendo las funciones y posteriormente las fallas funcionales del sistema, con el fin de que el resto del análisis se centre en precautelar el primer principio del MCC “preservar las funciones del sistema” y no el equipo en si.

3.5 PASO 5: Análisis del modo y efecto de falla

El objetivo de este paso es determinar el factor de riesgo de los modos de fallo, para lo cual es necesario:

- a) Seleccionar las fallas funcionales:
 - Listar los componentes
 - Listar las fallas funcionales
 - Encontrar la relación componente falla funcional
 - Identificar aquellos componentes con mayores fallas funcionales
 - Seleccionar 1-2 fallas funcionales (las más importantes)
- b) Realizar el AMEF de cada falla funcional, para lo cual hay que determinar:
 - Modo de falla
 - Causa de falla
 - Efecto de falla
 - Frecuencia de ocurrencia
 - Grado de severidad
 - Oportunidad de detección
 - Factor de riesgo (suma de las ponderaciones de la frecuencia de ocurrencia, grado de severidad y oportunidad de detección).

3.6 PASO 6: Análisis del Árbol de Decisiones

En este punto del proceso se enlistan los modos de fallo que fueron calificados con factor de riesgo alto en el análisis AMEF y su propósito es ubicarlos en las categorías: A, D/A (Se refieren a seguridad y fallas ocultas), B, C y D/B (Se refieren a paro de planta y fallas ocultas). Para este análisis se utilizó la estructura del análisis del árbol lógico mostrado en la figura 1.

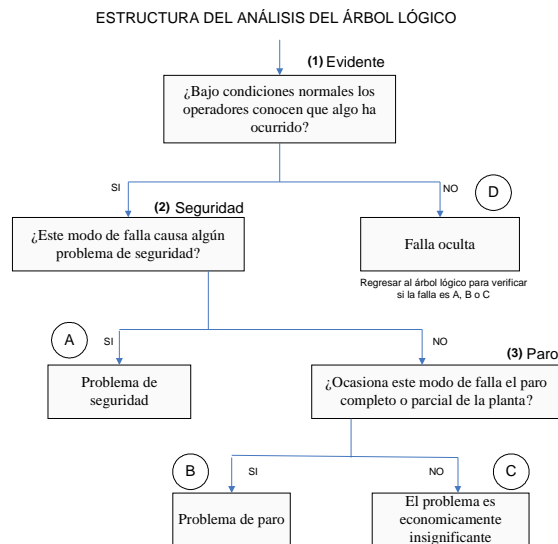


Figura 1. Árbol lógico de decisiones

3.7 PASO 7: Selección de Tareas

Por cada modo de fallo catalogado según el paso 6, se determina la lista de tareas aplicables y posteriormente se selecciona la tarea efectiva. Si no existen tareas aplicables ya sea por criterios técnicos o económicos, se sugiere el uso de “correr hasta que falle”. La excepción a esta regla será un modo de fallo tipo A (relacionado a la seguridad), en el cual las modificaciones al diseño son obligatorias. Finalmente, se realiza una comparación de las actividades que se están realizando actualmente y las que se realizarían según la metodología del MCC, para determinar sus ventajas y obtener de esta manera, la aprobación de la gerencia.

4. Diseño enfocado a una planta de líquidos. Pasos a seguir:

En la actualidad, el plan de mantenimiento para los equipos de la Planta de Líquidos se ha venido realizado de acuerdo a la experiencia de las personas encargadas para ello y en muchas ocasiones utilizando Mantenimiento Correctivo; por lo que un plan de mantenimiento que establezca tareas desde un punto de vista eficaz ,con un periodo de realización que pueda brindar una alta confiabilidad al sistema, se hace necesario, el MCC permite conseguir estos objetivos en base a un análisis de confiabilidad incluido dentro del análisis de modos de falla y sus efectos.

El mantenimiento no solo se puede ver desde el punto de vista técnico o desde el punto de vista económico. El criterio para seleccionar cuándo, dónde y cómo debe realizarse, tiene que ser un juicio que reúna ambos parámetros, ya que la empresa tiene que pagar las labores de mantenimiento y las pérdidas económicas que la falla o ausencia de producción acarrea. Por esto el costo total para la empresa será la

suma del costo de mantenimiento y el costo que tienen las fallas.

Debido a la importancia de sistemas que generan fallas críticas, se debe evitar al máximo las fallas en los mismos, es por eso la necesidad de implantar un plan de mantenimiento que logre aumentar al máximo la confiabilidad y disponibilidad, manteniendo los bajos costos del mantenimiento. Si la cantidad de equipos en una línea de producción es grande la probabilidad de paro imprevisto aumenta, especialmente cuando no son equipos redundantes.

La planta de líquidos por ser un lugar donde es de vital importancia la disponibilidad y la confiabilidad, se convierte en un sitio de potencial aplicación para el MCC. Los pasos a seguir para el análisis de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad son:

4.1 PASO 1: Selección del Sistema y Recolección de la información

Se describe el proceso de la planta de líquidos (Figura 2, anexo 1) a fin de tener una clara visión de las funciones de la línea de producción. 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* se encuentran los equipos que prestan algún tipo de servicio a toda la línea, tal es el caso de:

1. Caldero de 100 HP, que provee de vapor saturado a 100 PSI a la línea de producción;
2. Compresor de aire de 25 HP con su respectivo secador, que suministra aire comprimido seco a 100 PSI para las diferentes partes neumáticas;
3. El Schiller y su respectiva torre de enfriamiento, que permite enviar agua fría a 12 °C, a las diferentes etapas de enfriamiento del jugo;
4. El sistema de flujo laminar, que sirve para dar una presión positiva de aire frío, dentro de la cabina de la llenadora;
5. Y por último, la cámara de frío que se la utiliza para almacenar pulpa de fruta.

El área de la *planta de agua* lo 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 ósmosis inversa, pasa por un proceso de ablandado 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 antes de iniciar cualquier tipo de preparación debe limpiar todos los equipos y tuberías a través del sistema CIP, haciendo uso de las marmitas para calentar el producto CIP. Una vez limpio el sistema la preparación se la realiza precalentando el producto por medio de la marmita y filtrándolo a través del filtro prensa. Luego el jarabe es enfriado y enviado a la etapa de dilución y

posteriormente a pasteurización (donde se eleva a 100°C la temperatura, para luego bajarla hasta la temperatura ambiente).

El *área de envasado*, está compuesto por:

1. Monoblock que consta de rinseado (prelavado de envases con capacidad de 10.000 Bot./Hrs.), llenado y tapado (con tapa normal, tapa sport cap o tapa corona)
2. Sistema de enfriamiento de la botella, utilizado para el caso de envasado en caliente.
3. Sistema de ozonización del agua a ser envasada.

El *área de etiquetado y empaçado* consta de:

1. Sistema de codificación video jet para la colocación de la fecha de producción, lote y fecha de expedición;
2. Sistema de inducción para adherir el foil de aluminio al envase, en el caso de la tapa sport cap;
3. Sistema de etiquetado (lo hace a través de una maquina totalmente automática capaz de etiquetar hasta 200 Bot./min. En el caso de usar manga y capuchón en la botella, se utiliza el túnel de termocontracción).
4. Sistema de túnel termoencogible para formar las pacas.

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

4.1.1 Nivel de sistema

El análisis del proceso será realizado a nivel de sistema. Para esta implementación se ha considerado que cada sistema corresponde a un equipo o máquina, por lo que se tiene 26 sistemas en las 5 áreas.

4.1.2 Selección del sistema

La regla 80/20, determinó cuatro sistemas que serían los más críticos y que por lo tanto estarían dentro del análisis del MCC: equipo de osmosis inversa, caldero, compresor de aire 25 HP y llenadora ARBRAS (Figura No. 3, anexo 2).

4.2 PASO 2: Definición de los límites del sistema.

Aquí se especifican los componentes importantes de los cuatro sistemas y se detallan los valores de parámetros iniciales y finales del proceso de cada sistema. Así también se genera la apreciación inicial de los límites del sistema mediante la determinación de las entradas y salidas que se comparten con los sistemas adyacentes.

4.3 PASO 3. Descripción del sistema y diagrama de bloque funcional.

Para cada uno de los equipos críticos, este paso analiza y describe los sistemas para determinar sus funciones más relevantes, de acuerdo a lo siguiente:

- Primero se desarrolla el diagrama de bloque funcional para cada sistema crítico
- Después se determinan las interfaces interiores que existen en cada sistema
- Luego se determinan los componentes importantes designándolos con un número de referencia.
- Finalmente 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.

4.4 PASO 4: Funciones del sistema y fallas funcionales.

Este fue uno de los pasos que involucró mayor cantidad de tiempo, por el análisis requerido para determinar en forma acertada las funciones y sus fallas funcionales. A cada función y falla funcional se le designó un código a fin de que sea fácil su identificación posterior.

Le corresponde al analista definir la lista completa de funciones del sistema para luego, en base a ella, redefinir las tareas de mantenimiento preventivo que serán orientadas a preservar a la función.

4.5 PASO 5: Análisis del modo y efecto de falla

Este paso se divide en dos: *Paso 5.1.-* Se describió la relación entre fallas funcionales del equipo y los componentes, también se eliminó redundancias en el análisis AMEF, ya que si las causas que originan a una falla funcional son las mismas de otra, no se necesita volver a analizarla. *Paso 5.2.-* Luego se analizó el modo y efecto de fallo, con la participación del personal técnico y de operaciones, estableciéndose los de mayor impacto para cada sistema, por medio del factor de riesgo. Los modos de fallos con factor de riesgo alto son de mayor impacto y pasan al análisis del árbol lógico de decisiones (paso 6).

4.6 PASO 6: Análisis del Árbol de Decisiones

En este paso se continuó filtrando los modos de fallos que son críticos, definiendo su categoría según la estructura del árbol lógico de decisiones.

Los modos de fallo con categoría crítica pasan a un análisis exhaustivo para definir sus tareas (paso 7-1) y los no críticos pasan al análisis de tomar el riesgo de “correr hasta que falle” (paso 7-2).

El propósito de este paso es añadir énfasis y recursos a cada modo de falla, reconociendo todas las funciones, fallas funcionales y modos de fallas que existen en el sistema.

4.7 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 fallo crítico.

En el paso 7-2 se analizaron los modos de fallo que podrían aplicar al riesgo de “correr hasta que falle”.

Finalmente en el paso 7-3 se visualizaron las mejoras al sistema de mantenimiento; al comparar las tareas que existían frente a las resultantes del MCC.

5. Revisión, Verificación y Validación del Diseño Experimental

Una vez finalizados los pasos del análisis del MCC, se procedió con la revisión, verificación y validación del diseño experimental de acuerdo a lo siguiente:

5.1 Revisión:

El mismo diseño va exigiendo con su dinámica las revisiones que sean necesarias en su momento; ya que este exige revisar lo propuesto para ver las posibles mejoras. Deben realizarse revisiones sistemáticas del diseño y desarrollo de acuerdo con lo planificado; con una serie de preguntas. A manera de ejemplo se analiza el sistema del Caldero.

Tabla 1. Revisión del Sistema

Caldero Donlee 100HP		Cumplimiento	¿Fue útil?	¿Puede Mejorarse?	¿Complejo?	Aceptación del Personal	Lista para el siguiente análisis	Necesita una nueva revisión
1	Definición de los Límites 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 RCM con el MP actual	✓	x	✓	x	✓	✓	x

5.2 Verificación:

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 entrada. Este tipo de verificación permite redefinir parámetros, frecuencia y tiempos de mantenimiento en caso que sea necesario.

Tabla 2. Verificación del Sistema

Verificación													
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	Confabilidad	Disponibilidad de equipo	Alivio de servicios de mantenimiento	Mayor % ordenes de trabajo concluidas	Disminución de mano de obra externa
Análisis de criticidad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Definición del Limite del Sistema	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Definición del Sistema / Diagrama funcional esquemático	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Funciones / Fallas funcionales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Análisis de Modos de Falla y sus Efectos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Análisis del Arbol Lógico (LTA)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Selección de la Tarea	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

5.3 Validación:

Se debe realizar la validación del diseño y desarrollo para asegurarse de que el producto resultante es capaz de satisfacer los requisitos para su aplicación especificada o uso previsto.

Tabla 3. Validación del Sistema

Indicadores	1º Semestre 2007		2º 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 = 99,26%		1794,29/(1794,29+5,35) X 100 = 99,70%	
$CONF = \frac{\sum(HCAL - HTMN)}{HCAL} \times 100$	(4344-27:50)/4344 X 100 = 99,36 %		(4416-5,35)/4416 X 100 = 99,87 %	
$CMFT = \frac{CTMN}{FTEP} \times 100$	\$1821,34/ \$2000298,18 = 0,091 %		\$ 803,70/ \$898275,96 X 100 = 0,089%	

6. Conclusiones

Se constató que el MCC es una metodología compleja y poderosa, que permitió experimentalmente, mejorar las actividades de mantenimiento de una planta de líquidos. Compleja debido a que se necesita tener un profundo conocimiento del sistema a analizar; poderosa porque bien manejada y aplicada, los resultados son satisfactorios, principalmente cuando la empresa quiere optimizar los recursos empleados para el mantenimiento.

El MCC responde a la pregunta ¿Cuándo ejecutar las tareas de mantenimiento para obtener una mejor

relación beneficio/costo con respecto al riesgo?, cuando reduce los costos de mantenimiento a corto plazo:

- Al reemplazar tareas basadas en el tiempo por tareas basadas en la condición,
- Al eliminar acciones innecesarias de mantenimiento.

7. Recomendaciones

Concienciar al personal ejecutor de actividades de mantenimiento, 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

Recomendar 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, una herramienta de innovación & competitividad, que cambia radicalmente la teoría del mantenimiento tradicional.

8. Referencias y Bibliografía

Libros y Manuales:

- [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.

Papers:

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

Anexo 1

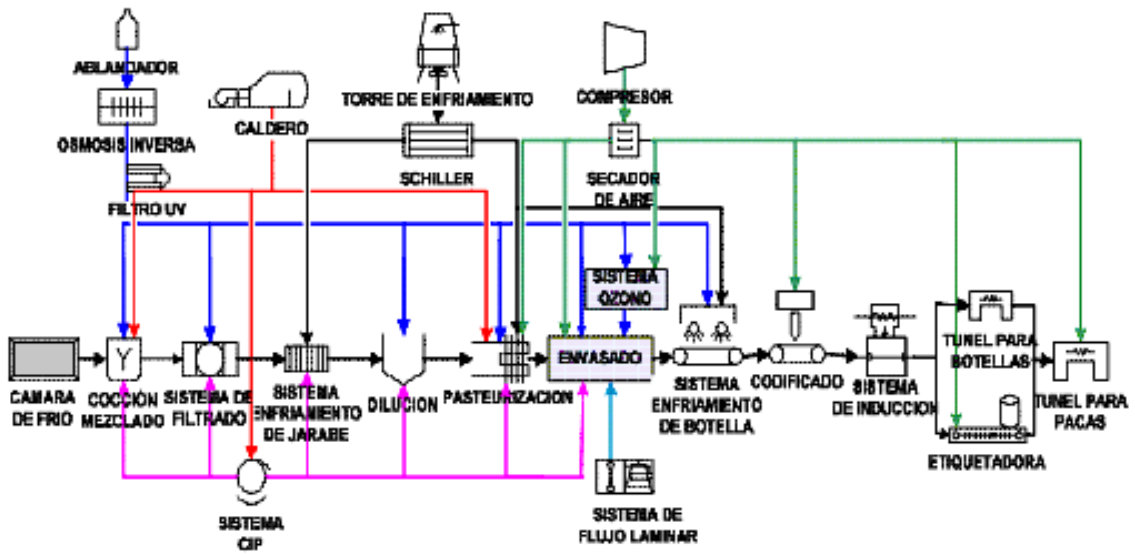


Figura 2. Diagrama del Proceso de la Planta de Líquidos

Anexo 2

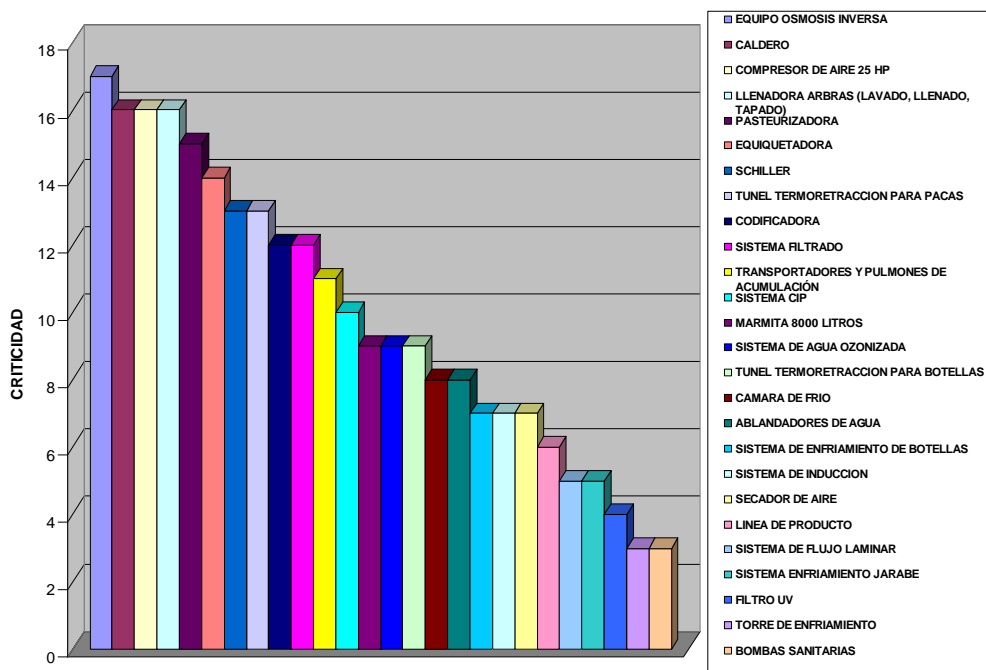


Figura 3.- Diagrama de Pareto para el análisis de Criticidad