



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

“Mejora de la Productividad de un Área de Envasado de  
Productos de Consumo Masivo por medio de la Disminución de  
Averías Aplicando Análisis de Causa Raíz.”

### **EXAMEN COMPLEXIVO**

Previo a la obtención del Título de:

### **INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

**Gabriel Asaad Sánchez Rodríguez**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

2014

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por sus constantes bendiciones. A mi difunto padre, mi madre que le sobrevive, mi hijo y esposa por su infinito apoyo para lograr mis objetivos. Gracias a la empresa por los conocimientos y experiencia adquirida y, en especial, a mi director Ing. Ernesto Martínez por su invaluable ayuda.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, esposa e hijo, a Oswaldo, Aurelio y a todos aquellos que de una u otra manera me apoyaron para culminar esta tan postergada etapa de mi vida.

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

Ing. Jorge W. Duque R.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Ernesto Martínez L.  
DIRECTOR DEL EXAMEN  
COMPLEXIVO

---

Ing. Julián Peña E.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Gabriel Asaad Sánchez Rodríguez

## RESUMEN

Este trabajo se desarrolló en el área de envasado de una empresa transnacional, dedicada a la elaboración de polvo detergente, cuyo liderazgo internacional se fundamenta en la implantación de filosofías de mejora continua, tal como lo determina su estrategia organizacional a nivel mundial, en aras de cumplir con las expectativas cada vez más exigentes de los clientes en cuanto a servicio (cantidad y tiempo de entrega), calidad y precio, lo que se obtiene controlando y mejorando continuamente los costos de fabricación, las condiciones operacionales de los equipos, sus velocidades de producción, los consumos energéticos y la seguridad de las instalaciones y la maquinaria, etc., actividades en las que el departamento de mantenimiento juega un rol preponderante, otorgándole la categoría de “estratégico” en la obtención de estos resultados empresariales.

Si bien al cabo de 3 años de implementación de rutinas de inspecciones periódicas, sistema de órdenes de trabajo y realizar reparaciones mayores (overhaul), que permitieron reducir el 85% las 984 averías inicialmente existentes, esta fábrica experimentaba aun un alto número de averías (147 averías/mes) que impedían el cumplimiento de los planes de producción y ponían en riesgo la continuidad de sus exportaciones, por lo que para cambiar el status-quo, se incorporó al sistema de gestión del mantenimiento

un proceso de mejora continua consistente en analizar las causas raíces de las averías e implementar contramedidas que eviten su recurrencia.

Esta implementación se basó en una serie de procesos de gestión y herramientas metodológicas plasmados en un plan maestro de trabajo que guió la ejecución de las actividades, tales como, desarrollo de materiales de entrenamiento para capacitación del personal involucrado, definición de formatos de registro y análisis de las averías, establecimiento de una base de datos donde se alimenta la información de todos los registros, definición de criterios para escoger las averías que se analizan, e inclusive la adecuación de un espacio físico apropiado para mantener las reuniones diarias de revisión y seguimiento de acciones correctivas y exposición de los resultados, todo esto con el objeto de que una vez realizados los análisis de causa raíz de las averías de mayor impacto, se establecieran contramedidas para corregir sus causas y así evitar su recurrencia o repetitividad, por lo que con la medición de indicadores básicos como el número de averías y el tiempo medio entre fallas, se controló la efectividad del proceso, pues estos a su vez se transformaron en resultados de productividad, tales como capacidad, volumen mensual y costos.

Al final, el lector notará que con la correcta implementación del proceso planteado, es posible reducir otro 75% - 80% de las averías remanentes en

un lapso menor a 3 años, lo que generará tiempo suficiente para que el personal de mantenimiento pueda aprender y aplicar otras técnicas más complejas de análisis de causas como es el caso del “P-M Analysis” para su “total” eliminación, de hecho, tan solo en los primeros 6 meses de implementación ya se alcanzaron valores de 63 averías/mes (disminución del 57%), lo que finalmente se traduce en un incremento de la disponibilidad en 27 horas/mes que permitieron producir 198 toneladas adicionales por mes, equivalente a un incremento de \$23.819 de rentabilidad mensual (aproximadamente \$300.000 por año).



## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	v
ABREVIATURAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
1. GENERALIDADES.....	5
1.1 Planteamiento del Problema.....	5
1.2 Justificación del Tema.....	8
1.3 Objetivo General y Alcance.....	10
1.4 Estructura del Trabajo.....	12
<b>CAPÍTULO 2</b>	
2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 Definiciones Básicas.....	14
2.1.1 Definición de Pérdida/Avería.....	14
2.1.2 Definición de Fenómeno o Problema.....	15
2.1.3 Definición de Causa Raíz.....	18

2.2	Análisis Estructurado de Causa Raíz.....	19
2.2.1	Análisis de “5 Porqués”.....	21
2.2.2	Análisis “Porqué Múltiple”.....	22
2.3	Cinco causas Básicas de las Averías y sus Contramedidas para Reducirlas.....	23
2.4	Indicadores Básicos de Mantenimiento.....	24
2.4.1	Número de Averías.....	25
2.4.2	Tiempo Medio entre Fallas.....	25
2.5	Procesos que Conforman el Ciclo Global del Mantenimiento.....	27
2.6	Ciclo de Mejora Continua del Mantenimiento.....	28

### **CAPÍTULO 3**

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	30
3.1	Establecimiento del Plan Maestro de Trabajo.....	30
3.2	Pasos Previos Requeridos para Implementar Análisis de Averías.....	33
3.3	Implementación del Registro de Averías y su Base de Datos. ....	35
3.4	Definición del Criterio para Determinar Averías a Analizar.....	37
3.5	Revisión Diaria de Averías.....	38
3.6	Casos Reales de Análisis de las Averías Relevantes.....	40
3.7	Implementación de Contramedidas y el Control de su Ejecución.	53

3.8	Cartelera de Averías.....	55
-----	---------------------------	----

## **CAPÍTULO 4**

4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	56
4.1	Comparación de Indicadores Básicos de Mantenimiento antes y después de la Mejora.....	57
4.1.1	Número de Averías.....	57
4.1.2	Tiempo Medio entre Fallas.....	58
4.2	Comparación de la Productividad antes y después de la Mejora.....	59

## **CAPÍTULO 5**

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
5.1	Conclusiones.....	61
5.2	Recomendaciones.....	64

## **APÉNDICES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

TPM	Total Productive Maintenance
JIPM	Japan Institute of Plant Maintenance
5W1H	Herramienta para definir el fenómeno a analizar
WBLA	Why-Because Logical Analysis (análisis Porqué múltiple)
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
SMED	Single Minute Exchange of Die
LUP	Lección de un solo punto
Poka Yoke	Dispositivos a prueba de error
PHVA	Planear, hacer, verificar, actuar

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Línea Típica de Envasado .....	6
Figura 1.2 Principio de Funcionamiento de la Envasadora .....	7
Figura 1.3 Componentes del Sellado Horizontal.....	8
Figura 1.4 Cambio de Enfoque frente a las Averías.....	10
Figura 1.5 Objetivo de Reducción de Averías.....	11
Figura 2.1 Tipos de Pérdidas .....	15
Figura 2.2 Modelo Esfuerzo-Resistencia de las Averías y sus Causas .....	18
Figura 2.3 Ejemplo de Análisis 5-Porqués .....	22
Figura 2.4 Ejemplo-Análisis Porqué Múltiple .....	23
Figura 2.5 Cinco Causas Básicas de las Averías y sus Contramedidas.....	24
Figura 2.6 Ejemplo de Indicador “Número de Averías” .....	25
Figura 2.7 Ejemplo de Cálculo del MTBF .....	26
Figura 2.8 Procesos del Ciclo de Gestión del Mantenimiento.....	27
Figura 2.9 Ciclo Deming del Mantenimiento Modificado por el autor .....	29
Figura 3.1 Plan Maestro para Implementar Análisis de Averías .....	32
Figura 3.2 Pasos Previos para Implementar Análisis de Averías .....	35
Figura 3.3 Formato de Registro de Averías .....	37
Figura 3.4 Criterio para Seleccionar Averías a Analizar .....	39
Figura 3.5 Reunión Diaria de Revisión de Averías .....	40
Figura 3.6 Despliegue para Determinar Averías Mas Repetitivas que serán Analizadas .....	41
Figura 3.7 Descripción del Fenómeno de Daños en las Resistencias del Sellado Horizontal.....	42
Figura 3.8 Análisis de Causa Raíz de Daños en las Resistencias Horizontales de la Envasadora .....	43
Figura 3.9 Mejora en el Diseño de las Resistencias Eléctricas del Sellado Horizontal.....	44
Figura 3.10 Potencial de Reducción de Averías Causadas por las Resistencias .....	45
Figura 3.11 Despliegue para Determinar Demás Averías Repetitivas que serán Analizadas (Enfoque Sistema-Componente) .....	46
Figura 3.12A CASO 2 – Descripción de Fenómeno, Análisis y Contramedidas. ....	48
Figura 3.12B CASO 2 – Contramedida 1, Instalación de Magnehelic .....	49

Figura 3.12C CASO 2 – Contramedida 2, Estándar de Limpieza e Inspección.....	49
Figura 3.13A CASO 3 – Descripción de Fenómeno .....	50
Figura 3.13B CASO 3 – Análisis y Contramedida.....	51
Figura 3.14A CASO 4 – Descripción del Fenómeno.....	52
Figura 3.14B CASO 4 – Análisis de Causa Raíz y Contramedida .....	50
Figura 3.14C CASO 4 – Contramedida .....	53
Figura 3.15 Plan de Acción para Implementar Contramedidas que Evitarán Recurrencia .....	54
Figura 3.16 Cartelera de Análisis de Averías.....	55
Figura 4.1 Número de Averías de Envasado antes de la Mejora.....	57
Figura 4.2 Número de Averías de Envasado después de la Mejora .....	58
Figura 4.3 MTBF Antes.....	59
Figura 4.4 MTBF Después.....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Resumen de Definición del Problema..... 16
Tabla 2	Ejemplos de Definición de Fenómenos..... 17
Tabla 3	Mejora en Indicadores de Productividad..... 60

## INTRODUCCIÓN

A pesar de la dramática disminución del 85% de las averías, obtenida al cabo de casi tres años de implementación de reparaciones mayores, rutinas de mantenimiento basado en tiempo y un sistema efectivo de reporte/resolución de órdenes de trabajo, se sigue suscitando una suficiente cantidad de averías que comprometen el cumplimiento de los planes de producción y, por ende, los despachos a tiempo/completos, que afectan el nivel de servicio de la planta, así como también, se experimenta un alto desgaste físico y emocional que incide en el clima laboral y la credibilidad del departamento, por tal razón y, además motivados por esa búsqueda incesante de la excelencia (traducido en objetivos trascendentales tales como: cero averías, cero defectos y cero accidentes), el autor, en su calidad de gerente de mantenimiento, explicará cómo y cuándo se debe incorporar a la gestión diaria de mantenimiento otro de los procesos que constituyen su ciclo de global, como es el caso del análisis estructurado de causa raíz y así alcanzar el objetivo delegado por la gerencia general en cuanto a alcanzar niveles de máximo 30 averías/mes en un lapso menor a 3 años.

Los profesionales relacionados al área y los estudiantes universitarios que posteriormente se incorporarán al aparato productivo del país, ejerciendo funciones de coordinación o jefatura de mantenimiento, encontrarán aquí un



aporte significativo para el logro de un buen desempeño de sus cargos, sin necesidad de incurrir en inversión adicional de tiempo y dinero por concepto de capacitación, asesorías externas, etc. o en su defecto verse sometidos al desgaste diario y frustrante que representa la enorme cantidad de tiempo y recursos invertidos en el proceso de “prueba y error” sin obtener los resultados deseados, por lo tanto, como respuesta a esta creciente necesidad, se compartirá las mejores prácticas para una correcta implementación de un sistema de reducción continua de averías, conformado por:

- 1.- Entendimiento de la situación y criterios para su aplicabilidad
- 2.- Explicación de conceptos básicos involucrados en el proceso
- 3.- Aplicación práctica de las herramientas metodológicas
- 4.- Comparación de resultados, conclusiones y próximos pasos

En el capítulo 1 se presenta el planteamiento del problema, contextualizándolo en función del tipo de fábrica en el que se desarrolla y en virtud del alto número de averías que impiden el cumplimiento de sus planes de producción, lo que justifica la necesidad de incorporar un nuevo proceso al sistema de gestión actual del mantenimiento, consistente en aprender de las averías por medio de su análisis de causa raíz, el cual exige un cambio cultural en la manera de hacer diariamente este trabajo.

En el capítulo 2 se presenta el marco teórico en el que sustenta la implementación del proceso de análisis causa raíz de las averías, objetivo del presente trabajo, en donde además de exponer las definiciones de los conceptos y términos básicos utilizados, se explican las técnicas y el uso de herramientas metodológicas para acotar el problema y analizarlo. Se mostrará el ciclo global del mantenimiento y cómo lograr su mejora continua, así como se definen los indicadores de desempeño con los que se mide la mejora esperada.

En el capítulo 3 se establece el marco metodológico para la implementación del proceso de análisis de causa raíz de las averías, presentando un plan maestro de trabajo con las escalas de tiempos recomendados, se introduce además el formato para registrar los datos completos de las averías el cual es de suma utilidad para su subsecuente estratificación y análisis, así como la base de datos en la que se deposita toda esta información con el fin de monitorear tendencias y repetitividad.

En el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos en términos de reducción de averías, incremento del tiempo medio entre fallas y la productividad (capacidad, volumen mensual y costos), mejoras que corroboran que el método propuesto entrega los resultados deseados, inclusive en menor tiempo del inicialmente propuesto.

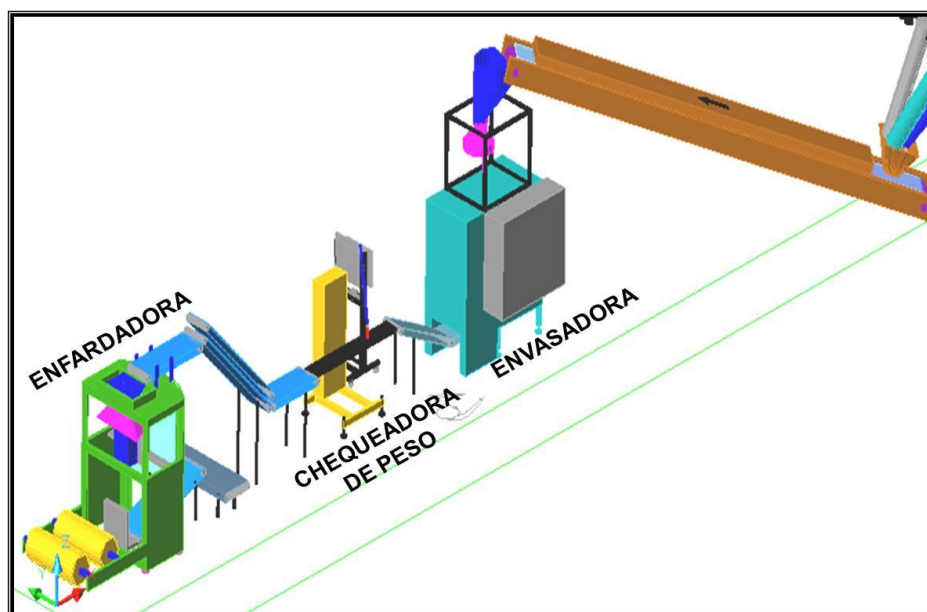
En el capítulo 5 se plantean las conclusiones y recomendaciones respecto a los próximos pasos que deberían darse para robustecer la cultura de mejora continua y búsqueda de la excelencia en la administración del mantenimiento.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Planteamiento del Problema

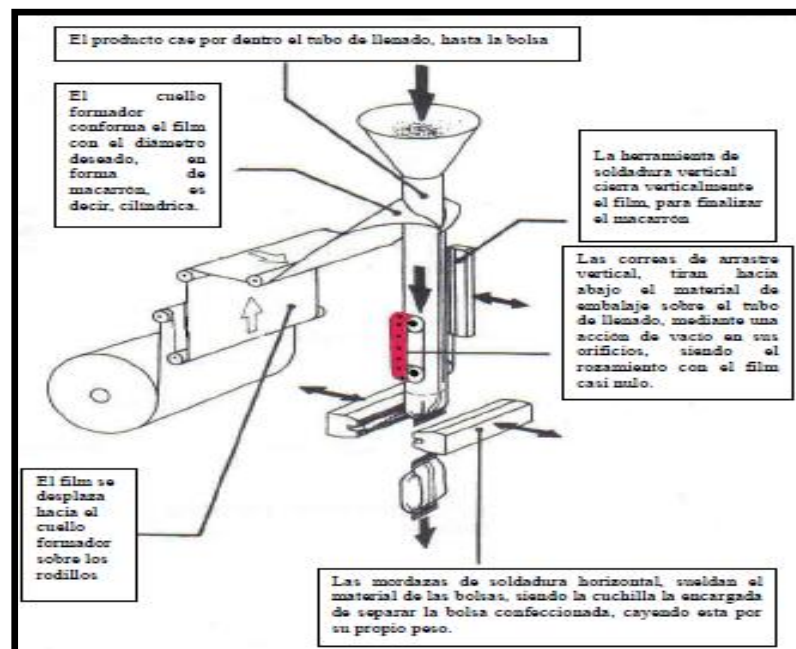
El presente trabajo se desarrolla en el área de envasado de una empresa transnacional de reconocido prestigio, dedicada a la elaboración de productos para el cuidado del hogar que se encuentra conformada por siete líneas de producción de polvo detergente (ver Figura 1.1), cada una de las cuales consta de: envasadora (dosificación volumétrica y empaquetado primario del producto en polvo), chequeador de peso y enfardadora (empaquete secundario de las bolsas producidas por la envasadora).



**FIGURA 1.1: LÍNEA TÍPICA DE ENVASADO [1]**

Si bien los equipos que conforman el área son relativamente nuevos (entre 5 y 3 años de antigüedad), debido su cantidad, configuración, que incluye una gran cantidad de componentes (ver Figuras 1.2 y 1.3) y al uso intensivo al que están sometidas (24 horas/día y 6 días por semana), se experimenta una alta cantidad de averías/día que impiden el cumplimiento de los programas de producción y, por consiguiente, los despachos a tiempo y completos, que afectan el nivel de servicio de la planta, lo que pone en serio riesgo la continuidad de sus exportaciones y el abastecimiento del mercado local debido a la guerra de precios y gran campaña publicitaria desplegada por la competencia, así como también, se sigue

experimentando un alto desgaste físico y emocional con el subsecuente impacto negativo en el clima laboral y la pérdida de credibilidad en cuanto a las capacidades del departamento de mantenimiento.



**FIGURA 1.2: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA ENVASADORA [2]**

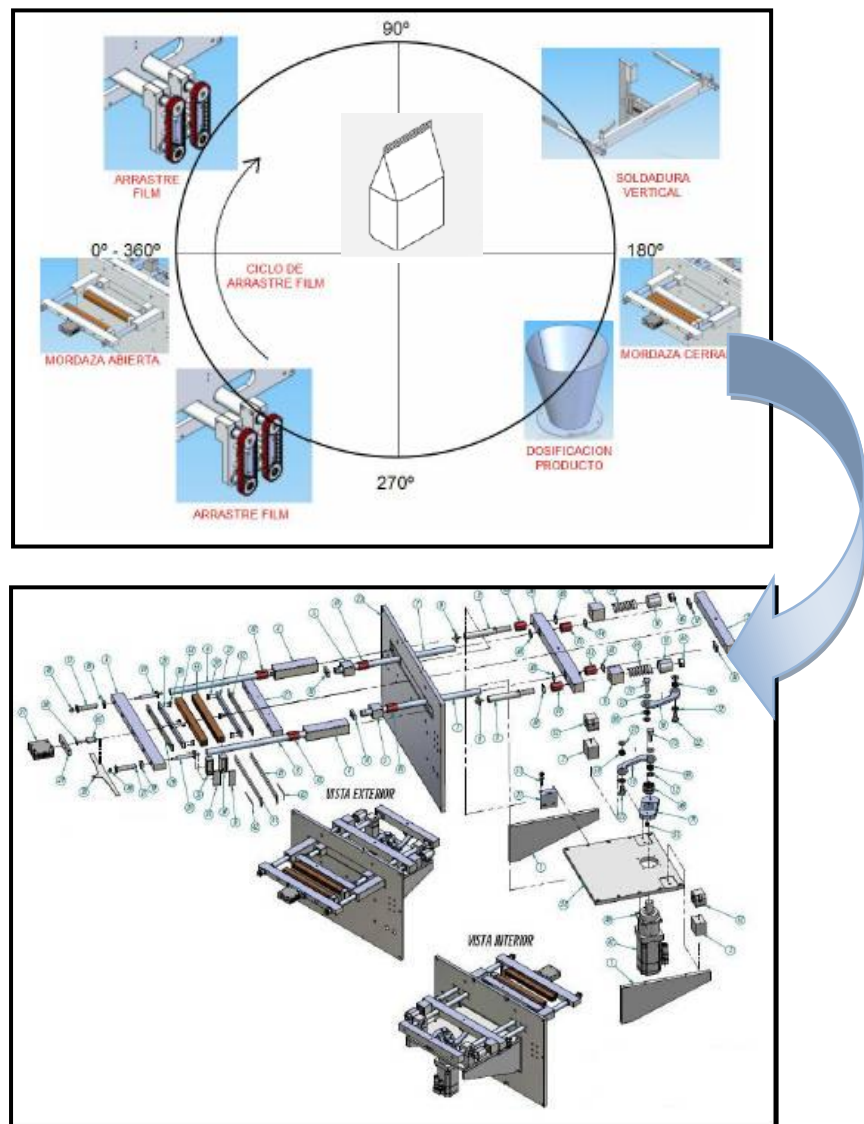


FIGURA 1.3: COMPONENTES DEL SELLADO HORIZONTAL [2]

## 1.2 Justificación del Tema

A pesar que los equipos recibieron mantenimiento profundo anual y que se cuenta con planes de mantenimiento preventivo y un sistema de reporte/ejecución de órdenes de trabajo, resulta

evidente que estas actividades no son suficientes para alcanzar los objetivos organizacionales pues, todavía se experimentan 147 averías/mes (6 averías/día), por lo que, para enfrentar esta apremiante situación, se hace necesario incorporar al sistema de gestión de mantenimiento un cuarto proceso, consistente en registrar y analizar las averías para que una vez determinada su causa raíz se puedan establecer contramedidas que eviten su recurrencia, con lo que se espera disminuir continuamente estos eventos no deseados .

Conforme se expone en la Figura 1.4, este proceso iterativo de análisis estructurado de averías, incorpora a las actividades diarias de mantenimiento un marcado enfoque de mejora continua que inculca un cambio cultural de no saltar a conclusiones apresuradas sin encontrar la causa raíz y de cambiar la mentalidad reactiva del personal (reparar tan pronto se daña) hacia uno tipo proactivo (evitar que sucedan las averías), puesto que su participación en reuniones diarias crea el empoderamiento necesario al tener que conocer y revisar las averías ocurridas, determinar qué averías se analizarán, hacer el análisis per-sé, entendiendo los principios de funcionamiento y modos de falla, determinar las causas y programar la ejecución de acciones correctivas o contramedidas.





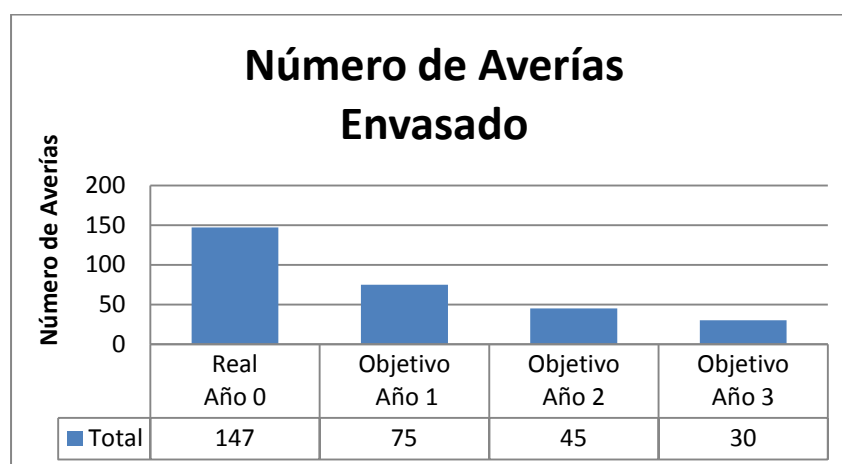
**FIGURA 1.4: CAMBIO DE ENFOQUE FRENTE A LAS AVERÍAS [3]**

En el apartado 2.6 se tratará más ampliamente acerca del rol preponderante que juega este proceso en el ciclo de mejora continua del mantenimiento.

### 1.3 Objetivo General y Alcance

Conforme se expone en la Figura 1.5, y basándose en principios conceptuales que indican que la reducción de las averías se vuelve asintótica con el pasar de los años, empezando con una reducción del 50% anual, el objetivo general consiste en mejorar la productividad de un área de envasado de productos de consumo

masivo por medio de la disminución del 75% al 80% de las averías remanentes en un lapso aproximado de tiempo de 3 años (pasando de 147 a 30 averías/mes, con sus respectivos objetivos anuales), aplicando análisis estructurado de causa raíz. Para ello se expondrán los conceptos, formatos, diagramas de flujo, casos aplicados y mejores prácticas a seguir para ejecutar una correcta y ordenada implementación de estas herramientas metodológicas, explicando cuándo y por qué deben ser utilizadas.



**FIGURA 1.5: OBJETIVO DE REDUCCIÓN DE AVERÍAS**

Al final, el lector podrá concluir que con la notable reducción de averías que se espera obtener en un lapso de tiempo relativamente corto, lo que genera tiempo suficiente para que el personal de mantenimiento pueda aprender y aplicar otras técnicas un poco más

complejas de análisis de causas como es el caso del “P-M Analysis” para su “total” eliminación, así como también podrá implementar y/o mejorar otros procesos complementarios que conforman el ciclo global de mantenimiento, tales como: gestión de repuestos, control de costos, mantenimiento basado en condición, habilidades del personal, etc.

#### **1.4 Estructura del Trabajo**

En el capítulo 2 se presenta el marco teórico donde, además de exponer las definiciones básicas de rigor, se explica las técnicas y el uso de herramientas metodológicas para acotar el problema y analizarlo. Se mostrará el ciclo global del mantenimiento y cómo por medio del análisis de averías se asegura su mejora continua, así como se definen los indicadores de desempeño con los que se mide la mejora esperada.

En el capítulo 3 se establece el plan de trabajo proyectado a 3 años plazo, con escalas de tiempos recomendados para la implementación de cada actividad que compone este proceso, se introduce el formato para registrar los datos completos de las averías que es de suma utilidad para su posterior análisis, así como la base de datos en la que se deposita toda esta información con el fin de monitorear

tendencias y repetitividad. Se definen criterios para escoger qué averías se analizan y cuáles no, pues debido a su alta cantidad es imposible hacerlo al 100%, decisiones que se toman en la reunión diaria en donde además se controla la ejecución de las contramedidas programadas para finalmente exponer los casos más relevantes en una cartelera que sirve para entrenamiento y réplica en otras líneas de envasado.

En el capítulo 4 se analizan los resultados obtenidos luego la implementación del proceso planteado, para ello se realizan comparaciones del antes y el después de los indicadores de productividad y de mantenimiento.

En el capítulo 5 se plantean las conclusiones y recomendaciones respecto a los próximos pasos que deberían darse para robustecer la cultura de mejora continua y búsqueda de la excelencia en la administración del mantenimiento.

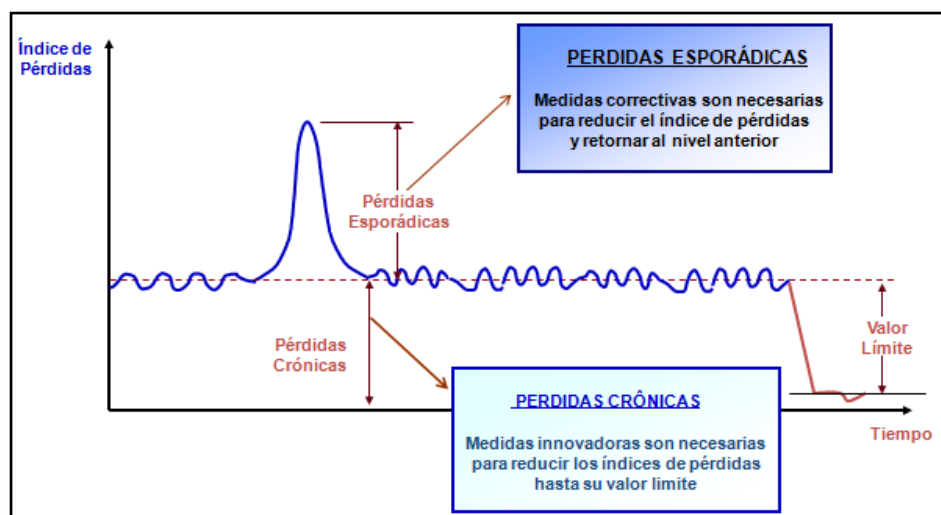
# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Definiciones Básicas

#### 2.1.1 Definición de Pérdida/avería

En el contexto operacional de una industria de procesos, se considera como pérdida a todo fenómeno, evento, situación o tendencia indeseable que ocasiona un desvío entre la condición actual y la condición ideal (problema), provocando pérdida de la eficiencia productiva del equipo o el proceso. Las averías son un tipo particular de pérdida que ocurren por la pérdida de función de los equipos, sea por parada repentina (pérdida esporádica) o disminución de la función específica (pérdida crónica). Para mejor entendimiento se adjunta la Figura 2.1.



**FIGURA 2.1: TIPOS DE PÉRDIDAS [4]**

### 2.1.2 Definición de Fenómeno o Problema

Cuando se aplica el análisis estructurado de causa raíz de una avería, antes que nada, es necesario definir clara y objetivamente el fenómeno o problema a analizar, acotándolo para “apuntar los cañones en la dirección correcta”, pues por ejemplo, aunque una botella esté deformada, no es lo mismo analizar las causas del porqué se aplasta en lugar de porqué se tuerce (ambas son deformaciones pero obedecerían a diferentes causas). Para este fin, la herramienta metodológica más efectiva y ampliamente utilizada es el 5W1H, cuyo origen etimológico y descripción se resume en la Tabla 1.

**TABLA 1**  
**RESUMEN DE DEFINICIÓN DEL PROBLEMA [5]**

<b>What?</b>	<b>¿Qué?</b>	¿Qué es lo que falla? , ¿Qué es lo que observa? ; ¿Qué es lo que está ocurriendo?
<b>When?</b>	<b>¿Cuándo?</b>	¿Cuándo ve que ocurre la avería? No es solamente día y hora, sino cualquier relación temporal o estado del equipo, por ejemplo: ¿la avería se relaciona con alguna una secuencia de las operaciones/productos? ; Tiempo/Turno/Período ; Arranque/Parada/Procesamiento
<b>Where?</b>	<b>¿Dónde?</b>	¿Dónde ocurre la avería? ¿En qué parte o componente ocurre la avería? ; Local/máquina/línea/componente.
<b>Who?</b>	<b>¿Quién?</b>	¿Quién se relaciona con la avería? ; ¿La avería depende de la habilidad del operador o del personal de mantenimiento?
<b>Which?</b>	<b>¿Cuál?</b>	¿De qué modo se desarrolla la tendencia? ; ¿La tendencia es aleatoria o hay un patrón? ; ¿Cuántas veces ocurrió en un determinado período de tiempo?
<b>How?</b>	<b>¿Cómo?</b>	¿Cómo sucede la avería? ; ¿Cómo se dio el desvío entre lo normal y lo anormal? ; ¿Cuál es su modo de falla?

**Shirose-Kimura-Kaneda (1995), "P-M Analysis, An Advanced Step in TPM Implementation", Productivity Press**

Al tratarse de un proceso investigativo conformado por una serie de preguntas, cada respuesta debe basarse en la existencia de datos veraces que comprueben la misma, requiriendo para ello una clara comprensión del principio de funcionamiento del equipo o sistema que ocasiona la pérdida, así como la observación de los hechos reales, sin suposiciones y comprobados con sus propios sentidos, no desde el escritorio, sino en el sitio donde ocurre [6]. Para robustecer la comprensión del principio de funcionamiento se puede recurrir a la elaboración de maquetas, modelos digitales o seccionamiento de la pieza afectada, de este modo todas las

personas que participen en el análisis iniciaran con el mismo nivel de conocimiento con lo que su aporte puede ser mayor [9].

A modo de ejemplo se incluye la tabla 2, en donde se relatan dos fenómenos relacionados al daño de una lámpara de retroproyector, en donde se sugieren las sutiles diferencias que puede existir entre ellas, lo que acota de manera conveniente el problema a analizar. Salta a la vista las diferencias que pueden existir respecto a la manera como fallan, el lugar del daño y el momento en que ocurre.

**TABLA 2**  
**EJEMPLOS DE DEFINICIÓN DE FENÓMENOS [6]**

	<b>Fenómeno # 1</b>	<b>Fenómeno # 2</b>
Qué (What)	Lámpara retro nº 1	Lámpara retro nº 1
Cuándo (When)	Cuándo enciende 5 veces en 6 meses	Durante la operación 2 veces en 6 meses
Dónde (Where)	Borde del filamento de la lámpara	Centro del filamento de la lámpara
Quién (Who)	Independiente de la habilidad	Gradualmente
Cuál (Which)	De repente, repetidamente	De repente, repetidamente
Cómo (how)	Quemado (negro)	Bombilla explotada

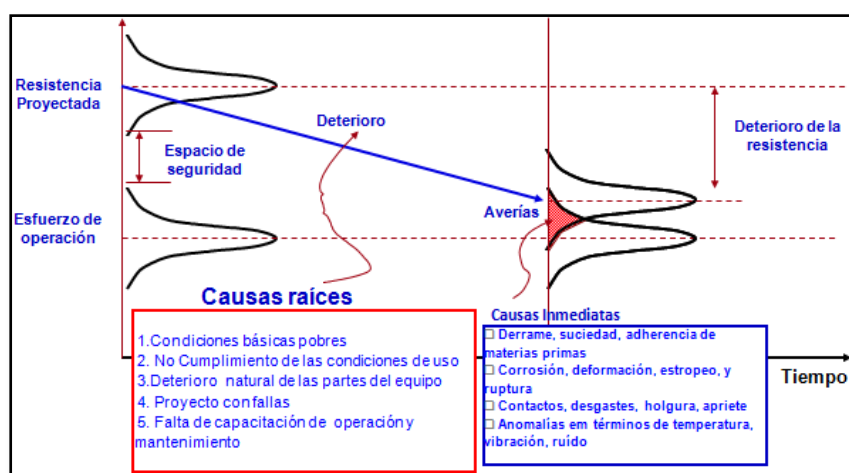
Yassuo Imai (2001), "TPM Facilitator Course", IMC, Sao Paulo-Brazil



### 2.1.3 Definición de Causa Raíz

Conforme se expone en la Figura 2.2, se denomina causa raíz de una avería a la causa básica de tipo sistémica que está estrictamente ligada a la inexistencia o deficiencia de procedimientos, estándares y capacitación o conocimiento, es decir, las causas raíces, están relacionadas con la gestión o actividades del hombre y no con el equipo en per-sé, cumpliéndose siempre la máxima que sentencia: “La máquina no se avería, el hombre avería la máquina” [3].

No debe confundirse las causas raíces o básicas con las causas inmediatas que suelen manifestarse como síntomas del deterioro (ver diferencia en la Figura 2.2).



**FIGURA 2.2: MODELO ESFUERZO-RESISTENCIA DE LAS AVERÍAS Y SUS CAUSAS [7]**

## 2.2 Análisis Estructurado de Causa Raíz

El método convencional de resolución de problemas está basado en un proceso de prueba y error que se traduce en pérdida de energía, voluntad, tiempo y dinero, que además menoscaba la credibilidad del departamento de mantenimiento por no alcanzar los resultados organizacionales que se esperan. Por tal razón se debe recurrir a los métodos estructurados de análisis, los cuales se fundamentan en una observación minuciosa de hechos reales que permite identificar las causas raíces del fenómeno, investigando las relaciones causales entre ellas y los valores o parámetros óptimos, realizando una verificación de cada una de las hipótesis planteadas para confirmarlas o descartarlas en función de las evidencias encontradas para lo que muchas veces se acostumbra y recomienda guardar las piezas cambiadas durante la reparación.

Existen varias herramientas metodológicas de análisis cuya aplicación se escoge de acuerdo al tipo de problema que se desea analizar, siendo las siguientes las más utilizadas:

- Averías/paradas menores: Diagrama de Ishikawa, 5 Porqués, WBLA, FMEA, P-M Analysis.
- Cambios de formato: SMED, Diagrama de Gantt y ruta crítica.

- Defectos de calidad: 5 Porqués, Matriz de calidad y P-M Analysis.

Los expertos determinan que se puede lograr un altísimo porcentaje de reducción de averías con la aplicación de 5 Porqués y Porqué-Múltiple (WBLA), dejando las de tipo “crónico” para el Análisis P-M, ya que en algunos casos, al realizar el análisis de causas sólo se logra reducir cierta cantidad de alguna avería en particular, mas no erradicarla del todo. Esto no necesariamente significa que el análisis esté mal realizado sino que aún existen causas que no han sido completamente identificadas.

La ventaja que ofrece este método, es que se puede ir progresivamente profundizando el entendimiento de los problemas. Por otro lado, si una avería permanece recurriendo, se puede repetir su análisis hasta 3 veces, si todavía así persiste, será necesario incorporar una herramienta más avanzada de análisis tal como el P-M Analysis. Por otro lado, esta herramienta debe ser incorporada una vez que el número de averías se mantenga bajo, pero asintóticamente sin mostrar mejoría.

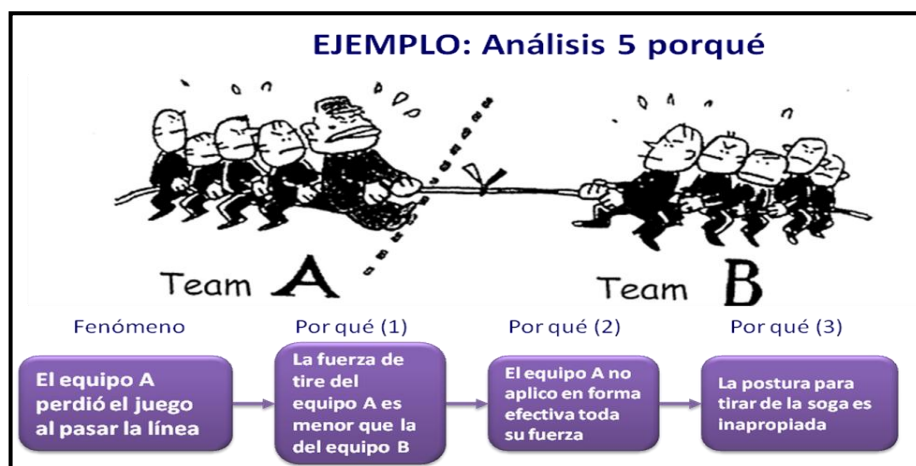
El proceso propuesto de análisis de averías y establecimiento de contramedidas, tiene la particularidad de someter a una constante revisión los planes de mantenimiento preventivo (una de las contramedidas típicas), impidiendo que se queden estáticos en el tiempo o, en el mejor de los casos, se haga solamente una revisión anual [3], [6], [7], [8], [9].

### **2.2.1 Análisis de “5 Porqués”**

Se trata de una de las técnicas más utilizadas y efectivas que realiza la trazabilidad del fenómeno en forma lógica y metodológica, basándose en hechos, en lugar de una mera “tormenta de ideas” o suposiciones. Consiste en preguntar reiterada y consecutivamente “porqué” y enunciar sucesivamente las respuestas comprobadas, hasta llegar a la causa raíz del problema para finalmente proponer acciones correctivas concordantes (contramedidas).

Su punto de vista se basa en analizar qué es lo que debería haber ocurrido pero no ocurrió, es decir, pensar qué condiciones necesarias deben ser satisfechas para que todo trabaje como debe ser y no diferir del óptimo. Si bien el nombre de la técnica es 5 Porqués, no necesariamente deben aplicarse ese número de veces.

La cantidad de rondas de preguntas dependerá de la complejidad del problema a analizar, aunque la experiencia dicta que la mayoría se resuelve con 5, en algunos casos se resolverá con menor o mayor cantidad de preguntas. En la Figura 2.3 se expone un ejemplo sencillo de la aplicación de esta técnica con sólo tres porqués.



**FIGURA 2.3: EJEMPLO DE ANÁLISIS 5 PORQUÉS [8]**

### 2.2.2 Análisis “Porqué múltiple”

Se trata de una técnica utilizada para analizar problemas multicáusicos. Es muy similar al 5 Porqués, la diferencia radica en que ésta enuncia todas las potenciales respuestas para luego investigar cada condición una por una y verificar cuáles se cumplen

y cuáles no. Conforme se aprecia en la Figura 2.4, las condiciones que estén correctas se eliminan de la investigación.

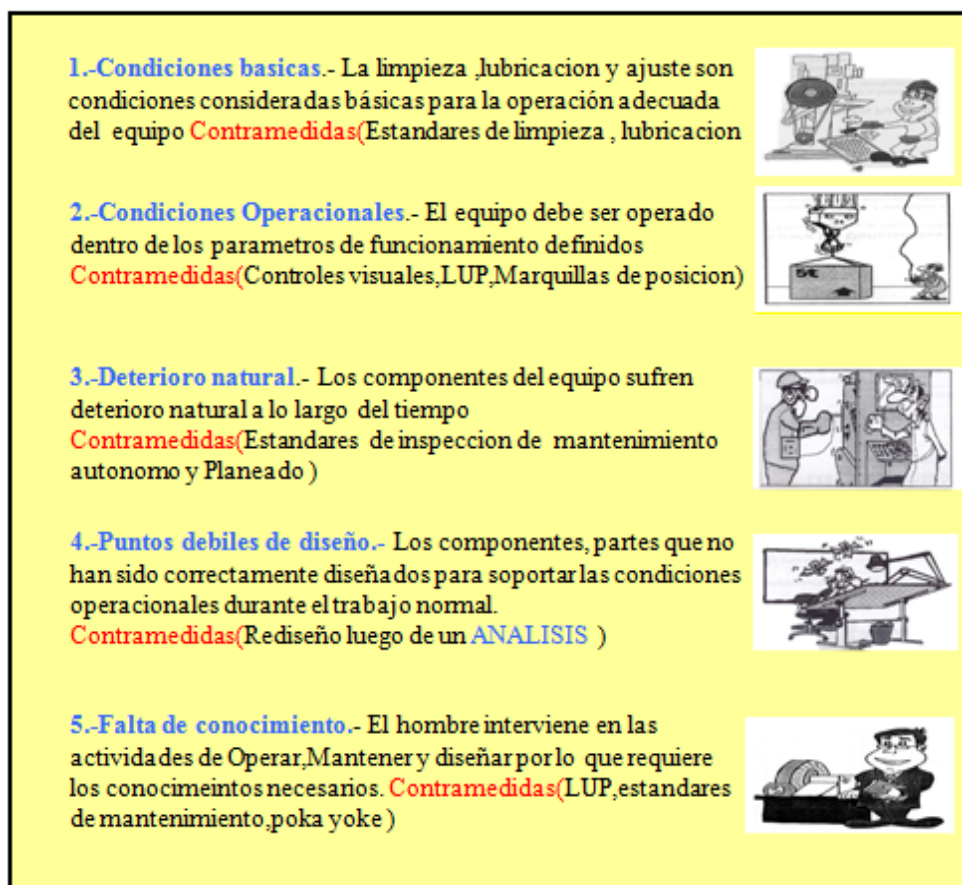
	1º Porqué	2º Porqué	3º Porqué	4º Porqué	5º Porqué
A	Porque la capacidad de la bomba está reducida <input checked="" type="checkbox"/>	Porque la viscosidad del aceite está bajo <input checked="" type="checkbox"/>	Porque la temperatura del aceite hidráulico se eleva <input checked="" type="checkbox"/>	Porque la refrigeración del intercambiador de calor es insuficiente <input checked="" type="checkbox"/>	Porque el volumen de Agua de enfriamiento es insuficiente <input type="checkbox"/>
B	<input type="checkbox"/>	Porque el filtro de succión está obstruido <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Porque la capacidad de la torre de enfriamiento es insuficiente <input type="checkbox"/>
C	<input type="checkbox"/>	Porque la bomba está aspirando aire <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Porque el intercambiador de calor está con incrustaciones <input checked="" type="checkbox"/>
D	<input type="checkbox"/>	Porque el engranaje de la bomba está con desgaste <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Porque el aislamiento térmico del tubo de refrigeración no está ok. <input type="checkbox"/>
E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Porque el tubo de agua de refrigeración está con incrustaciones <input type="checkbox"/>
F	Porque el cilindro hidráulico está con derrame <input checked="" type="checkbox"/>	Porque el anillo "O" Ring está roto <input checked="" type="checkbox"/>	Porque hay mucha impureza en el aceite <input checked="" type="checkbox"/>	Porque no se realiza el cambio hace mucho tiempo <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G	Porque la válvula de descarga está con derrame <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
H	Porque la válvula solenoide está obstruida <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**FIGURA 2.4: EJEMPLO-ANÁLISIS PORQUÉ MÚLTIPLE [6]**

### 2.3 Cinco Causas Básicas de las Averías y sus Contramedidas para Reducirlas

Como se indicó en el apartado 2.1.3 (Definición de causa raíz), existen cinco causas básicas por las cuales ocurren las averías y como es de esperarse, existen una serie de acciones correctivas o contramedidas para evitar su ocurrencia.

Para una mejor representación refiérase a la Figura 2.5, donde se detallan las causas, sus implicaciones y contramedidas aplicables.



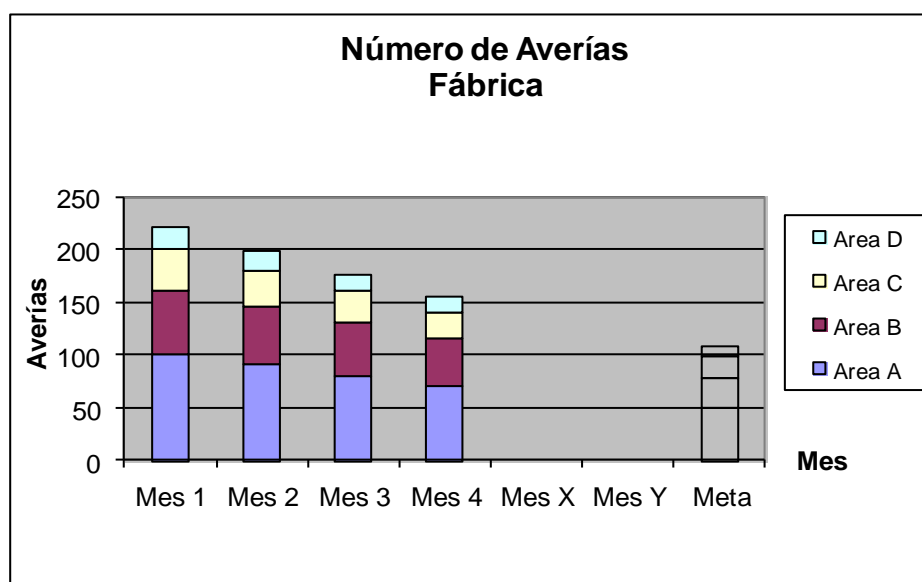
**FIGURA 2.5: CINCO CAUSAS BÁSICAS DE LAS AVERÍAS Y SUS CONTRAMEDIDAS [3]**

## 2.4 Indicadores Básicos de Mantenimiento.

Es muy importante medir los resultados del departamento de mantenimiento pues esto ayudará a los operadores y a los técnicos a visualizar los problemas en los equipos, priorizar actividades y controlar el progreso de la gestión contra un plan de mejora continua establecido como mínimo a 3 años plazo.

### 2.4.1 Número de Averías

Se trata de un indicador muy sencillo, consistente en contabilizar todas las averías ocurridas en la fábrica, en lo posible agruparlas por áreas, líneas, equipos, conforme se aprecia en la Figura 2.6. Para un control efectivo, se recomienda implementar un documento que registre cada uno de los eventos que se suscitan y revisarlos diariamente. En el subcapítulo 3.3 y 3.5 se explicarán el tratamiento y uso que debe dársele a este indicador.



**FIGURA 2.6: EJEMPLO DE INDICADOR “NÚMERO DE AVERÍAS” [3]**



## 2.4.2 Tiempo Medio Entre Fallas

Es un indicador que nos sugiere una idea respecto a que tan frecuentemente están fallando los equipos o dicho de otra manera, cuánto tiempo transcurre en promedio entre una avería y otra. Se lo conoce también como MTBF por sus siglas en inglés (Mean Time Between Failure).

Tal como se indica en el ejemplo de la Figura 2.7, para calcular este indicador, se debe dividir el tiempo operacional (que se planifica producir) de cada línea, equipo o componente, para el número de averías ocurridas. Al igual que el número de averías es un indicador que debe ser graficado para monitorear su tendencia aunque con una frecuencia menor de revisión como por ejemplo semanal o mensual.

**MTBF = TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS**

MTBF = HORAS OPERATIVAS / NÚMERO DE AVERÍAS  
(CALCULADO CON BASE EN LA LÍNEA DE EMBALAJE,  
NO EN EL NÚMERO DE MÁQUINAS)

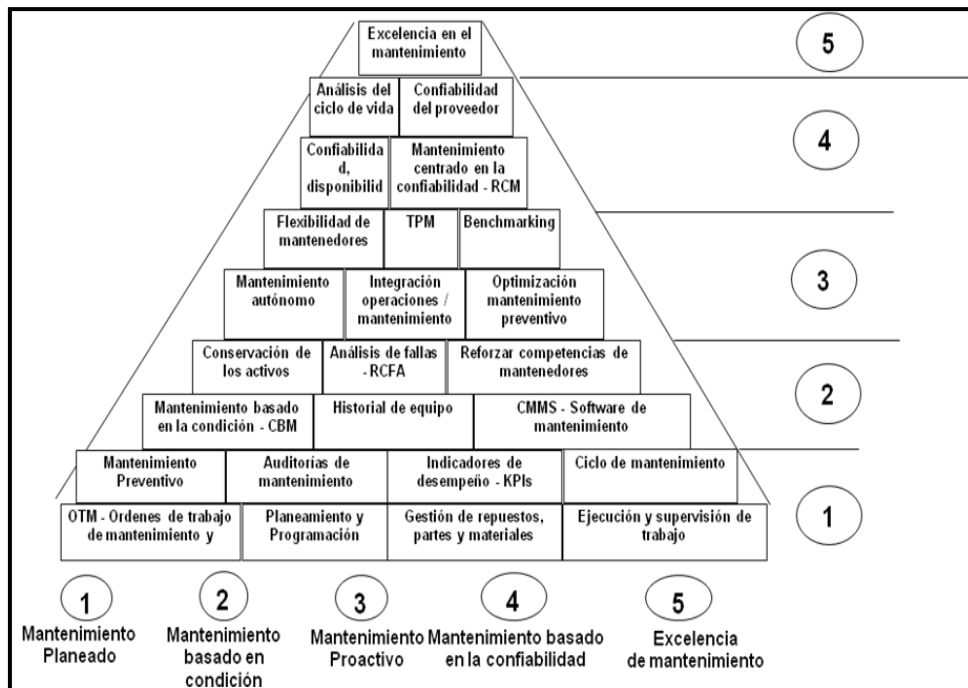
Ej.: -LÍNEA CON 6 MÁQUINAS  
-LÍNEA FUNCIONÓ 500 HORAS OPERATIVAS  
EN EL PERÍODO  
- MÁQUINA 1 PRESENTÓ 3 AVERÍAS  
- MÁQUINA 2 PRESENTÓ 2 AVERÍAS  
- MÁQUINAS 3, 4, 5 Y 6: NINGUNA AVERÍA

- MTBF = 500/5 = 100 HORAS

**FIGURA 2.7: EJEMPLO DE CÁLCULO DEL MTBF [9]**

## 2.5 Procesos que conforman el ciclo global del mantenimiento

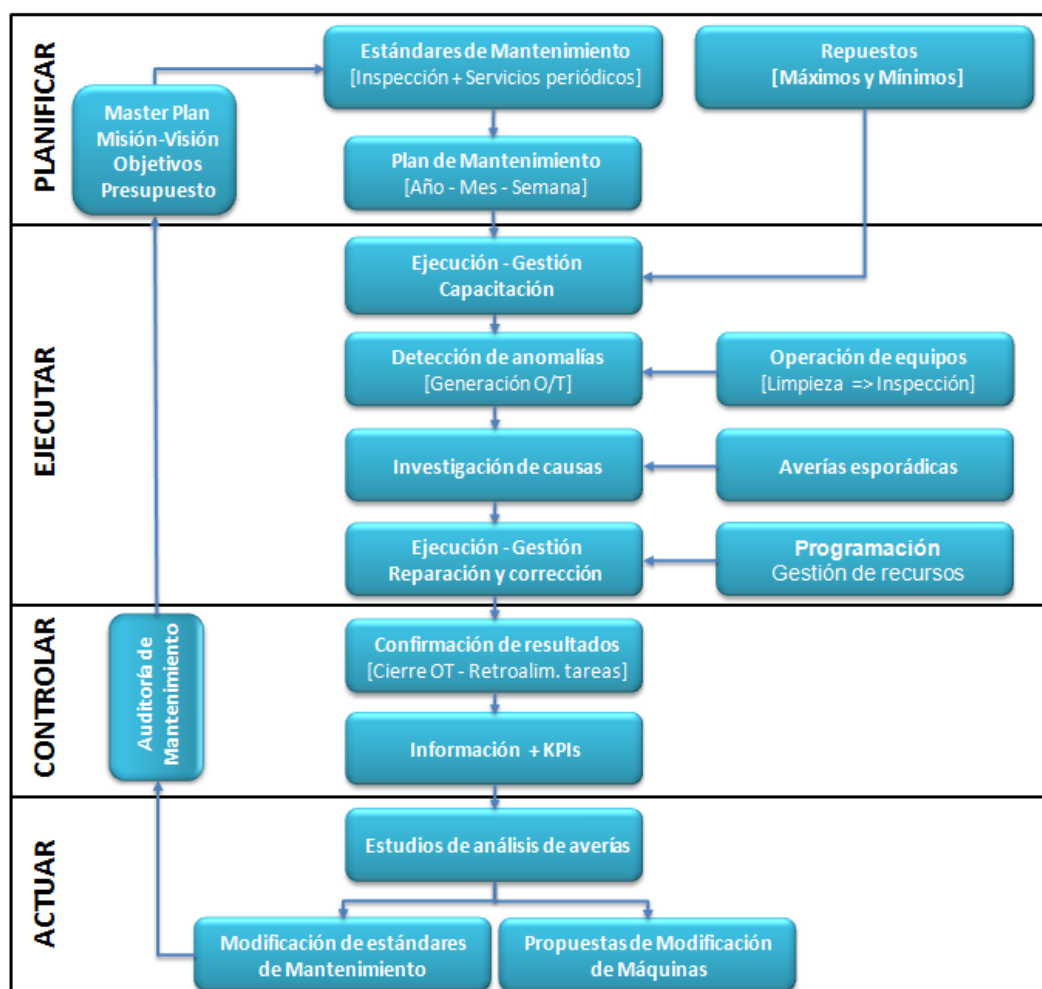
La pirámide que se muestra en la Figura 2.8 representa de manera muy conveniente los procesos que conforman el ciclo global o gestión del mantenimiento, indicando inclusive los niveles por dónde se debe empezar su correcta estructuración. De ésta se puede extraer que el proceso de RCFA (por sus siglas en inglés que significan Análisis de Causa Raíz de Fallas) debe introducirse una vez se hayan cumplido etapas, como por ejemplo, mantenimiento preventivo, órdenes de trabajo, indicadores de desempeño, etc.



**FIGURA 2.8: PROCESOS DEL CICLO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO [10]**

## **2.6 Ciclo de Mejora Continua del Mantenimiento**

El diagrama de flujo que se muestra en la Figura 2.9, a diferencia de la anterior, muestra la inter-relación que existe entre cada uno de los macro procesos, generando el ciclo PHVA de la mejora continua. También expone explícitamente que una vez que suceden las averías, además de corregirlas, se debe realizar verdaderas acciones correctivas (análisis de causas, contramedidas como modificaciones de procedimientos y modificaciones de máquinas) que eviten su repetición, mismas que junto con la evaluación de resultados (indicadores) y el auto diagnóstico de la gestión departamental, conforman el lazo de control que reorienta los objetivos y cierra o reinicia el ciclo o proceso.



**FIGURA 2.9: CICLO DEMING DEL MANTENIMIENTO  
MODIFICADO POR EL AUTOR [11]**

# CAPÍTULO 3

## 3. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Establecimiento del Plan Maestro de Trabajo

La implementación del proceso de análisis de averías consiste básicamente en registrar su ocurrencia, revisar tendencias de repetitividad, analizar-determinar causas, establecer plan de acción para corregir las causas raíces (contramedidas), requiere mantener a todos los miembros del departamento trabajando en la misma dirección, usando el mismo enfoque y monitoreando el progreso, por lo que para ello se establece un plan maestro de trabajo, en donde se describen las actividades, el orden, la escala temporal en que se desarrollan y el objetivo esperado [12], siendo las principales:

- Definir el formato de registro de avería

- Documentar cada ocurrencia
- Definir material de entrenamiento de causa raíz
- Realizar capacitación a todo el personal
- Definir criterio para seleccionar que averías serán analizadas
- Realizar reunión diaria de revisión de averías del día anterior
- Ejecutar el análisis de averías
- Implementar contramedidas
- Elaborar cartelera de averías

Se hace uso de indicadores como el número de averías y el tiempo medio entre fallas para verificar la efectividad de la implementación y la obtención de los beneficios propuestos. En la Figura 3.1 se presenta el plan maestro que se utiliza para este fin.

ACTIVIDAD	ITEM	DESCRIPCION	RESPONSABLE	INDICADOR	BM ANO -2	BM ANO -1	BM ANO 0	META ANO 1	META ANO 2	META ANO 3	ANO 0												ANO 1											
ACTIVIDADES "CERO AVERIAS"	1,1	<b>Establecer formatos y criterios de la implementación</b> - Definir formato de registro de averías. - Establecer criterio de análisis de averías - Definir formato de análisis de averías		Número de Averías/mes	984	429	147	75	45	36	[Gantt chart for Item 1.1: Blue bars from SEM 34 to SEM 37]												[Gantt chart for Item 1.1: Blue bars from MES 1 to MES 12]											
	1,2	<b>Desarrollar materiales de entrenamiento</b> - Definición de fenómeno usando 5WH - Análisis de causa raíz - 5 Contramedidas									[Gantt chart for Item 1.2: Blue bars from SEM 34 to SEM 48]												[Gantt chart for Item 1.2: Blue bars from MES 1 to MES 12]											
	1,3	<b>Realizar entrenamiento</b> - Definición de fenómeno usando 5WH - Análisis de causa raíz 5-PORQUEs - 5 Contramedidas									[Gantt chart for Item 1.3: Blue bars from SEM 34 to SEM 51]												[Gantt chart for Item 1.3: Blue bars from MES 1 to MES 12]											
	1,4	<b>Implementar y ejecutar</b> - Registro de averías - Reunión diaria - Análisis de averías - 5 Contramedidas (planes de acción)									[Gantt chart for Item 1.4: Blue bars from SEM 34 to SEM 51]												[Gantt chart for Item 1.4: Blue bars from MES 1 to MES 12]											

**FIGURA 3.1: PLAN MAESTRO PARA IMPLEMENTAR ANÁLISIS DE AVERÍAS**

### **3.2 Pasos Previos Requeridos para Implementar Análisis de Averías**

Tal como se indicó en el capítulo 1, con un promedio de 984 averías/mes (más de 30 averías/día) el personal de mantenimiento pasa extremadamente ocupado realizando reparaciones emergentes y no dispone de tiempo para analizar metodológicamente las causas raíces que eviten la repetitividad de los fallos, por lo que este proceso se introduce una vez que se obtiene la reducción del 85% de las averías (aprox. 147 averías/mes), resultado que se logra con la ejecución de tres pasos básicos que si bien no forman parte del alcance del presente trabajo, se resume en la Figura 3.1 y se describen a continuación:

- **Reducción de la variación del MTBF e incremento de vida útil:**

Para que el MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) de los equipos y componentes sea más estable, predecible e inclusive incremente, se corrige el deterioro acumulado ejecutando reparaciones mayores, así como se elimina la suciedad acumulada y mejora los puntos débiles visibles, estableciendo contramedidas preliminares o intuitivas para corregir la falta de observación a las condiciones básicas, incumplimiento de las



condiciones operacionales de uso, puntos débiles de diseño (fuerza, precisión, sobrecarga, facilidad para mantener), falta de conocimiento (de formas de operar, de reparar, etc.) [7] y [13]. Sin embargo, esto implica una alta inversión de recursos como tiempo, dinero y mano de obra que en este caso se traduce en 1,5 años y \$650.000 entre repuestos y servicios contratados.

- **Mantenimiento basado en tiempo:**

Una vez que el tiempo medio entre fallas (MTBF) se vuelve predecible, se establece con mayor facilidad las rutinas periódicas de restauración del deterioro, de inspección, de sustitución de piezas, limpieza y lubricación [3].

- **Reporte y resolución de ordenes de trabajo:**

Con el fin de evitar que aquellas anomalías detectadas durante las inspecciones periódicas queden desatendidas y por ende se conviertan en averías imprevistas, se establece un sistema de órdenes de trabajo para administrar su reporte y principalmente se garantice su resolución, sea con recursos internos o gestionando la obtención de recursos externos como repuestos o servicios contratados [3].



**FIGURA 3.2: PASOS PREVIOS PARA IMPLEMENTAR ANÁLISIS DE AVERÍAS**

### 3.3 Implementación del Registro de Averías y su Base de Datos

Para obtener toda la información relevante de cada una de las averías que ocurren en el área de envasado, se establece el formato de registro de averías (Ver Figura 3.2), documento que se llena a mano y que provee la información necesaria para elaborar los indicadores básicos de mantenimiento, tales como número de averías, tiempo perdido por paradas imprevistas, tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparar. Esta información también ayuda a mejorar los estándares de inspección, limpieza y lubricación ya existentes, pues en la revisión diaria que se menciona en el acápite 3.5, es fácil darse cuenta si la avería estuvo relacionada con la ausencia de alguno de estos controles.

Toda la información contenida en los registros de averías se traslada a una base de datos (archivo en Excel) que permite filtrar por diferentes criterios con la finalidad de determinar comportamiento y tendencias de los eventos. En el apéndice 1 se explica cómo llenar cada uno de los campos que posee el registro de averías, mientras en el apéndice 2, a modo de referencia se comparte una base de datos donde depositar toda la información relevante de los registros de averías.

REGISTRO DE AVERIAS			
Línea: _____		Equipo: _____	
Turno: 7a15 <input type="checkbox"/>		15a23 <input type="checkbox"/> 23a7 <input type="checkbox"/>	
Mecánico/Eléctrico/Instrumentista: _____		Fecha: _____ Falla No.: _____	
		Tiempo de parada (min): _____	
		Tiempo de reparación (min): _____	
Operador: _____			
Localización de la avería:			
Equipo	Sistema	Subsistema	Componente
Indicar pieza/componete que falló:			
Descripción de la avería:			
Causa:		Acción tomada:	
		Requirió cambio de pieza: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
		Descripción:	
¿Había una orden de trabajo indicando este problema?		Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
¿Los estándares de limpieza identificaban este problema?		Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
¿Los estándares de inspección identificaban este problema?		Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
¿Los estándares de lubricación identificaban este problema?		Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
¿Con cuál sistema está relacionada esta avería?			
Transmisión	Sellado	Lubricación	Neumático
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hidráulico	Eléctrico	Sujeción	Otros
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Cuál de éstas 5 medidas para alcanzar Cero Averías está relacionada?			
<input type="checkbox"/> Condiciones Básicas (Deterioro forzado)		<input type="checkbox"/> Fuera de condiciones de operación	
<input type="checkbox"/> Deterioro Natural		<input type="checkbox"/> Partes de puntos débiles	
		<input type="checkbox"/> Conocimiento	
¿Qué notó el operador antes del breakdown?			
<input type="checkbox"/> 01 - Vibración		<input type="checkbox"/> 05 - Olor a quemado	
<input type="checkbox"/> 02 - Ruido		<input type="checkbox"/> 06 - Hogura - juego	
<input type="checkbox"/> 03 - Recalentamiento		<input type="checkbox"/> 07 - Otros _____	
Observaciones			

FIGURA 3.3: FORMATO DE REGISTRO DE AVERÍAS [3]

### 3.4 Definición del Criterio para Determinar Averías a Analizar

A pesar de la implementación de los 3 pasos previos que se mencionan en el apartado 3.2, se hace imposible analizar el 100%

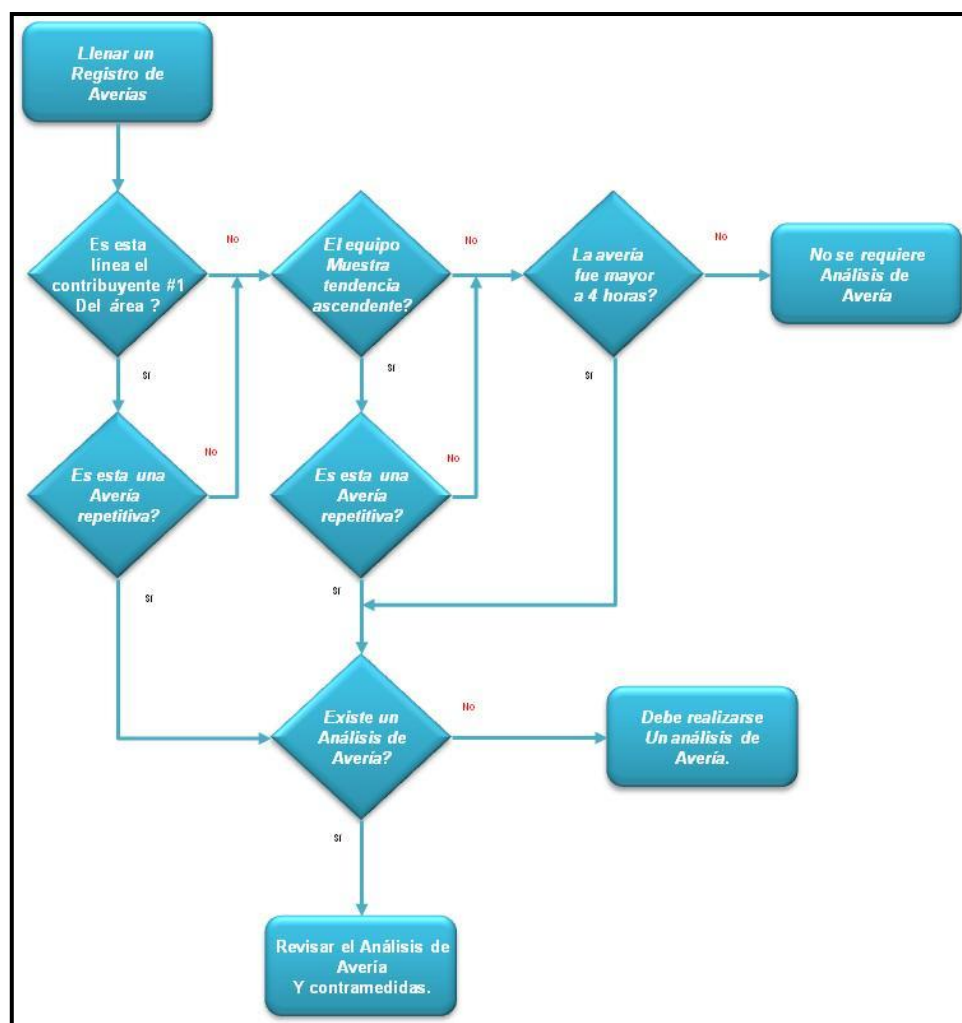
de las 147 averías/mes que todavía ocurren, por tal razón para hacer un uso racional de los recursos, se establece analizar solamente las averías de mayor impacto en las operaciones, es decir, aquellas que cumplan con ciertos criterios de repetitividad y tiempo de duración, el mismo que se reajusta una vez se alcanzan los resultados deseados y se pasa a analizar el 100% de las averías ocurridas.

En el diagrama de flujo de la Figura 3.4 se detallan los criterios con los que diariamente se seleccionan las averías que se analizan. La avería mas repetitiva del mes es analizada desde el principio de la implementación del proceso. Esta se extrae con facilidad de la base de datos creada para este fin.

### **3.5 Revisión Diaria de Averías**

Para iniciar y mantener la implementación del proceso de análisis de averías se establece una reunión diaria con duración no mayor a 15-20 minutos en donde se revisan todos los registros de las averías ocurridas el día anterior. En esta reunión se determina qué contramedidas preliminares deben ser ejecutadas, así como también, soportándose en el flujograma de la Figura 3.4, se determina qué averías serán analizadas y quiénes realizarán esta

labor.



**FIGURA 3.4: CRITERIO PARA SELECCIONAR AVERÍAS A ANALIZAR [3]**

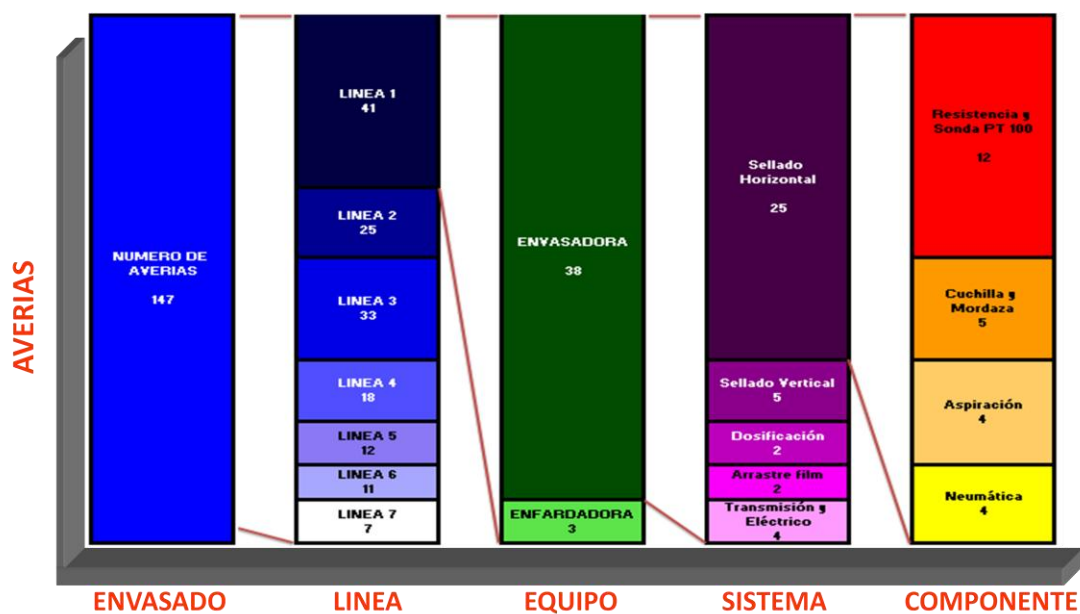
Con esta reunión se logra ir cambiando el enfoque reactivo (tipo bombero) del personal de mantenimiento hacia un enfoque proactivo orientado a prevenir la ocurrencia de las averías.



**FIGURA 3.5: REUNIÓN DIARIA DE REVISIÓN DE AVERÍAS**

### **3.6 Casos Reales de Análisis de las Averías Relevantes**

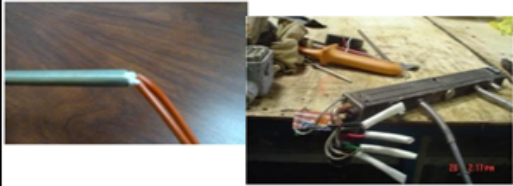
Como punto de partida, en la Figura 3.6 se expone el resultado del análisis estadístico extraído de la base de datos alimentada por todos y cada uno de los registros de las averías ocurridas hasta la fecha, de la que se concluye que los daños de las resistencias del sellador horizontal de la envasadora de la línea 1 es la avería más repetitiva del mes y, por lo tanto, se analiza sus causas (enfoque por línea-componente).

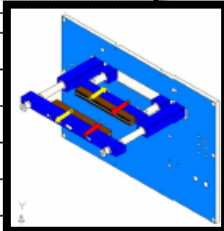


**FIGURA 3.6: DESPLIEGUE PARA DETERMINAR AVERÍAS MÁS REPETITIVAS QUE SERÁN ANALIZADAS**

Como segundo paso, en la Figura 3.7 se expone la descripción completa del fenómeno que ocasiona estas averías repetitivas en las resistencias, para lo que se utiliza la herramienta metodológica 5W1H cuyo uso se explica ampliamente en el capítulo 2.

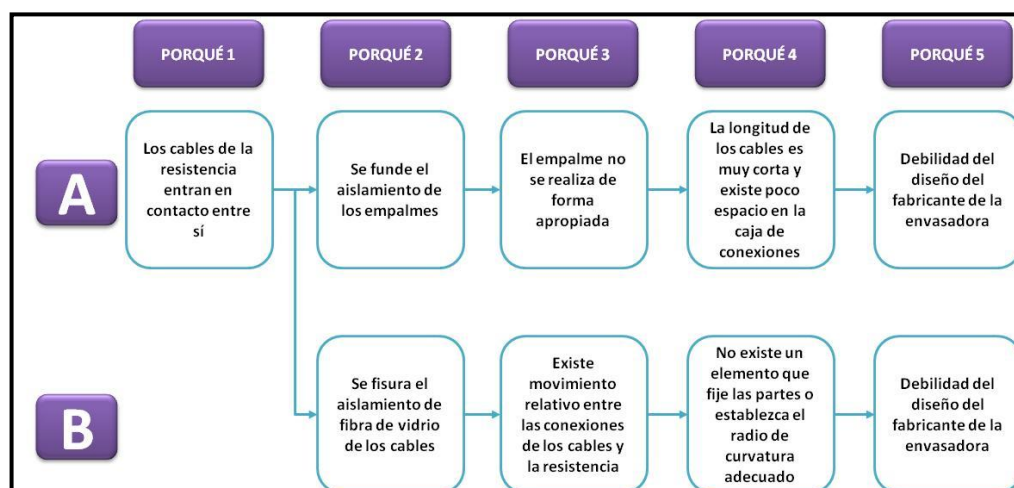


<b>ANALISIS DE AVERIA</b>	
<b>Esquema de Componente</b>	
	Número de análisis: ..... Fecha de la Avería: ..... Departamento: <b>Mantenimiento</b> Línea: <b>L1</b> Máquina: <b>Envasadora</b> Participante: <b>F. Alarcon</b> <b>F. Campana</b> Fecha de análisis: .....
<b>5 W y 1 H</b>	
<b>Qué (What)</b>	Parada por falta de sellado
<b>Cuándo (When)</b>	Durante la producción normal
<b>Dónde (Where)</b>	Sellador horizontal de la envasadora E1
<b>Quién (Who)</b>	No depende de la habilidad del operador
<b>Cuál (Which)</b>	Cambio de 12 resistencias en 1 mes
<b>Cómo (How)</b>	Cortocircuito de la resistencia
<i>Descripción del Fenómeno</i>	Cortocircuito de la resistencia que ocasiona parada por falta de sellado horizontal de la envasadora E1, evento que ocurre 12 veces/mes durante la producción normal y que no depende de la habilidad del operador



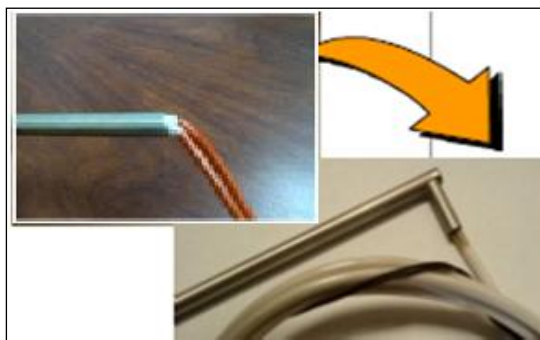
**FIGURA 3.7: DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO DE DAÑOS EN LAS RESISTENCIAS DEL SELLADO HORIZONTAL**

Como tercer paso, en la Figura 3.8 se expone el análisis de causa raíz que comienza preguntándose porqué ocurre el fenómeno planteado, es decir, ¿Porqué se produce el cortocircuito de la resistencia que ocasiona parada por falta de sellado horizontal, etc.? Lo que genera una sucesiva serie de preguntas-respuestas (causas inmediatas) lo que da como resultado final, que existe una debilidad en el diseño de fabricación de las resistencias (causa raíz).



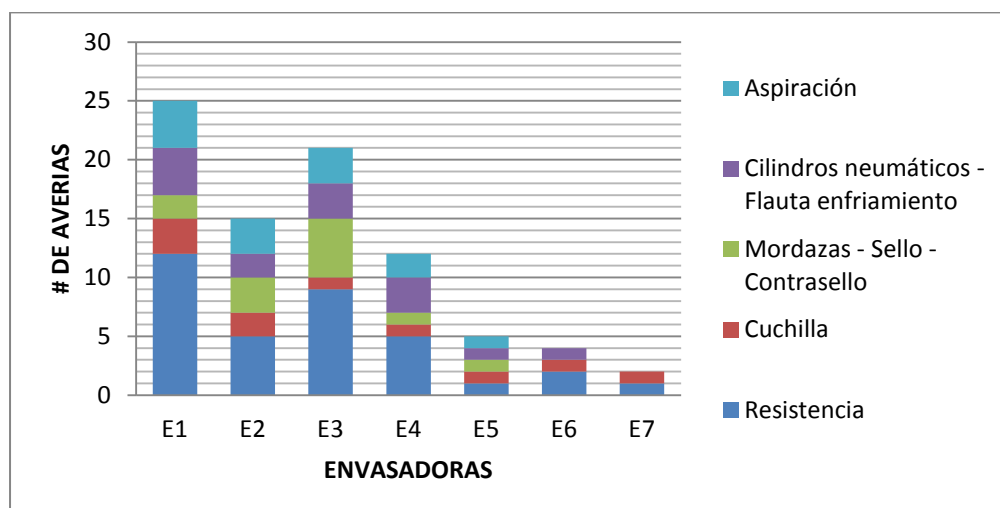
**FIGURA 3.8: ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ DE DAÑOS EN LAS RESISTENCIAS HORIZONTALES DE LA ENVASADORA**

Finalmente, una vez identificada la causa raíz (debilidad de diseño de la resistencia), se establecen las contramedidas que en este caso deben resolver los problemas que introducen tanto los cables cortos de la resistencia como el movimiento relativo de las partes, es decir, la flexión a la que está constantemente expuesto el cable en cada acción de sellado (promedio de 30 ciclos/minuto). Esto se vuelve posible debido a las consultas realizadas al fabricante de la máquina así como proveedores locales y extranjeros de resistencias, teniendo que recurrir a la importación directa del elemento que se muestra en la Figura 3.9, el cual dispone de acometida larga y salida de los cables en ángulo recto.



**FIGURA 3.9: MEJORA EN EL DISEÑO DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS DEL SELLADO HORIZONTAL**

Es necesario anotar que la solución definitiva a esta avería no solo ayuda a disminuir los 12 fallos de la envasadora de la línea 1 relacionados al diseño de la resistencia, sino también los 19 fallos restantes de las líneas 2, 3 y 4 ya que esta mejora se replica en estas máquinas de similar tecnología o partes constitutivas del sellador horizontal. La Figura 3.10 muestra este potencial de reducción para dichas líneas de envasado (las demás poseen selladores por niquelinas).

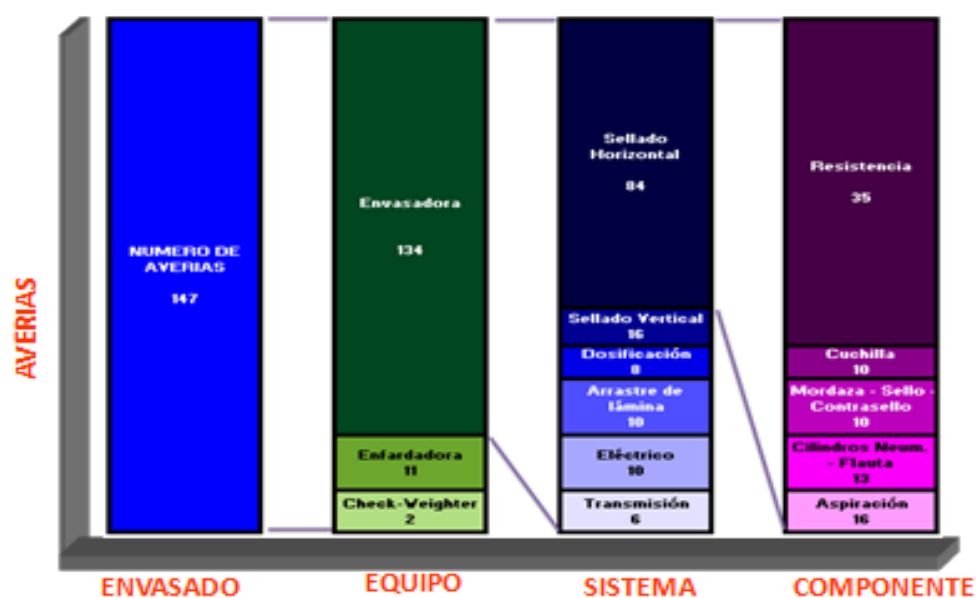


**FIGURA 3.10: POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE AVERÍAS CAUSADAS POR LAS RESISTENCIAS**

Como se indicó en los capítulos previos, esta metodología se repite mensualmente para analizar las averías más repetitivas, lo que sumado al análisis diario de las averías escogidas según criterio de repetitividad y duración, promueve la reducción constante de las averías y, en consecuencia, la mejora continua de los resultados, cuyo estatus final se expone en el capítulo 4. Sin embargo, antes de esto, para un mejor entendimiento del proceso y el uso de las herramientas metodológicas, en las Figuras 3.12, 3.13 y 3.14 se resume el resultado del análisis de los siguientes casos representativos: falta de continuidad del sellado horizontal, daños de elementos neumáticos y deformación de guías de los selladores,

cuya necesidad de abordarlos se sustenta en las estadísticas mostradas en la Figura 3.11 (enfoque por sistema-componente).

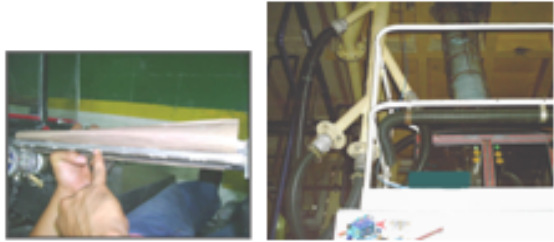
En el apéndice 3 se comparte a modo de ejemplo otro caso completo de definición del problema y análisis de causa raíz.



**FIGURA 3.11: DESPLIEGUE PARA DETERMINAR DEMAS AVERÍAS REPETITIVAS QUE SERÁN ANALIZADAS (ENFOQUE SISTEMA-COMPONENTE)**

**CASO 2:**

**Falta de continuidad en el sellado que ocasiona salida de polvo detergente de la funda en por el sellado horizontal, evento que ocurre 4 veces/mes durante la producción normal y que no depende de la habilidad del operador**

<b>ANÁLISIS DE AVERIA</b>	
<b>Esquema de Componente</b>	
	Número de análisis: ..... Fecha de la Avaria: ..... Departamento: <b>Mantenimiento</b> Línea: <b>L1</b> Máquina: <b>Envasadora</b> Participantes: <b>P. Ferreira</b> <b>A. Andrade</b> ..... Fecha de análisis: .....
<b>5 W y 1 H</b>	
<b>Qué (What)</b>	Polvo detergente sale de la funda
<b>Cuándo(When)</b>	Durante la producción normal
<b>Dónde (Where)</b>	Sellado horizontal de la envasadora E1
<b>Quién (Who)</b>	No depende de la habilidad del operador
<b>Cuál (Which)</b>	4 veces en 1 mes
<b>Cómo ( How )</b>	Falta de continuidad en el sellado
<b>Descripción del Fenómeno</b>	Falta de continuidad en el sellado que ocasiona salida de polvo detergente de la funda en por el sellado horizontal, evento que ocurre 4 veces/mes durante la producción normal y que no depende de la habilidad del operador
<b>5 Por qué?</b>	
<b>Porqué 1</b>	Presencia excesiva de finos (partículas de polvo detergente) en el sello
<b>Porqué 2</b>	Decantación de las partículas finas de polvo en la cabina
<b>Porqué 3</b>	Velocidad de captación es insuficiente
<b>Porqué 4</b>	No hay suficiente caudal de aspiración
<b>Porqué 5</b>	Taponamiento del ramal del sistema de aspiración
<b>Contramedidas.</b>	
<b>Incluir la limpieza de los ramales de aspiración en el estándar de limpieza quincenal que realizan los operadores</b>	
<b>Instalar indicador de vacío (Magnehelic) similar al de los filtros de aspiración</b>	
<b>Instalar acoples rápidos en las mangueras para agilizar limpieza</b>	

**FIGURA 3.12A: CASO 2 - DESCRIPCIÓN DE FENÓMENO, ANÁLISIS Y CONTRAMEDIDAS**



**FIGURA 3.12B: CASO 2 – CONTRAMEDIDA 1, INSTALACIÓN DE MAGNEHELIC**

ESTÁNDAR DE INSPECCIÓN								
Item	Punto	Criterio	Señala	Evidencia de Seguridad	Contramedida	Frecuencia	Tiempo	
SISTEMA DE SELLADO HORIZONTAL	PIBSP - 44	Inspección y limpieza de bloque fundición. V.Dos.	No debe estar sucio ni presentar desgaste en superficie de apoyo del cuerpo.			Si no está limpio / Si presenta desgaste o sellera ajustar	Semanal	15'
	PIBSP - 45	Inspección y limpieza de bloque de fijación	No debe estar sucio ni presentar desgaste en superficie concauda de fijación.			Si no está limpio / Si presenta desgaste o sellera ajustar	Semanal	15'
	PIBSP - 46	Inspección y limpieza de placas que se conectan	No debe estar sucio ni presentar desgaste en puntos de distribución por radiación.			Si no está limpio / Si presenta desgaste cambiar	Real	15'
	PIBSP - 47	Inspección y limpieza de ejes para selladores	No debe estar sucio ni presentar desgaste en puntos de apoyo.			Si no está limpio / Si presenta desgaste cambiar	Semanal	15'
	PIBSP - 48	Inspección y limpieza de sellador neumático	No debe estar sucio ni presentar desgaste en la fibra, superficie, terminal, núcleo y conducto.			Si presenta desgaste, conexión y drenaje separarlo cambiar	Semanal	15'
	PIBSP - 49	Inspección y limpieza del sellador neumático conector de anillo	No debe estar sucio ni presentar desgaste en anillo y conducto.			Si presenta desgaste, conexión y drenaje separarlo cambiar	Real	15'
	PIBSP - 50	Inspección y limpieza de eje que se conecta	No debe estar sucio ni presentar desgaste en superficie.			Si no está limpio / Si presenta desgaste cambiar	Quincenal	15'
	PIINSP - 51	Inspección de magnehelic y limpieza de ramal de aspiración	Debe trabajar entre 6-3 pulg. de agua. No debe estar sucio o taponado con polvos finos			Si esta sucia limpiar	Quincenal	10'

**FIGURA 3.12C: CASO 2 – CONTRAMEDIDA 2, ESTANDAR DE LIMPIEZA E INSPECCIÓN**



**CASO 3:**

**Cilindro neumático no acciona correctamente lo que ocasiona sellado defectuoso en el sellador vertical de la envasadora 1, evento que ocurre 4 veces/mes durante la producción normal y que no depende de la habilidad del operador**

<b>ANALISIS DE AVERIA</b>	
<b>Esquema de Componente</b>	
	Número de análisis: ..... Fecha de la Avería: ..... Departamento: <b>Mantenimiento</b> Área: <b>L1</b> Máquina: <b>Envasadora</b> Participantes: <b>S. Banilla</b> <b>C. Mancaya</b> Fecha de análisis: .....
<b>5 W y 1 H</b>	
<b>Qué (What)</b>	Sellado defectuoso
<b>Cuándo(When)</b>	Durante la producción normal
<b>Dónde (Where)</b>	Sellador vertical de la envasadora E1
<b>Quién (Who)</b>	No depende de la habilidad del operador
<b>Cuál (Which)</b>	8 veces en 1 mes
<b>Cómo (How)</b>	Cilindro neumático no acciona correctamente
<b>Descripción del Fenómeno</b>	Cilindro neumático no acciona correctamente lo que ocasiona sellado defectuoso en el sellador vertical de la envasadora 1, evento que ocurre 2 veces/mes durante la producción normal y que no depende de la habilidad del operador

**FIGURA 3.13A: CASO 3 - DESCRIPCIÓN DE FENÓMENO**

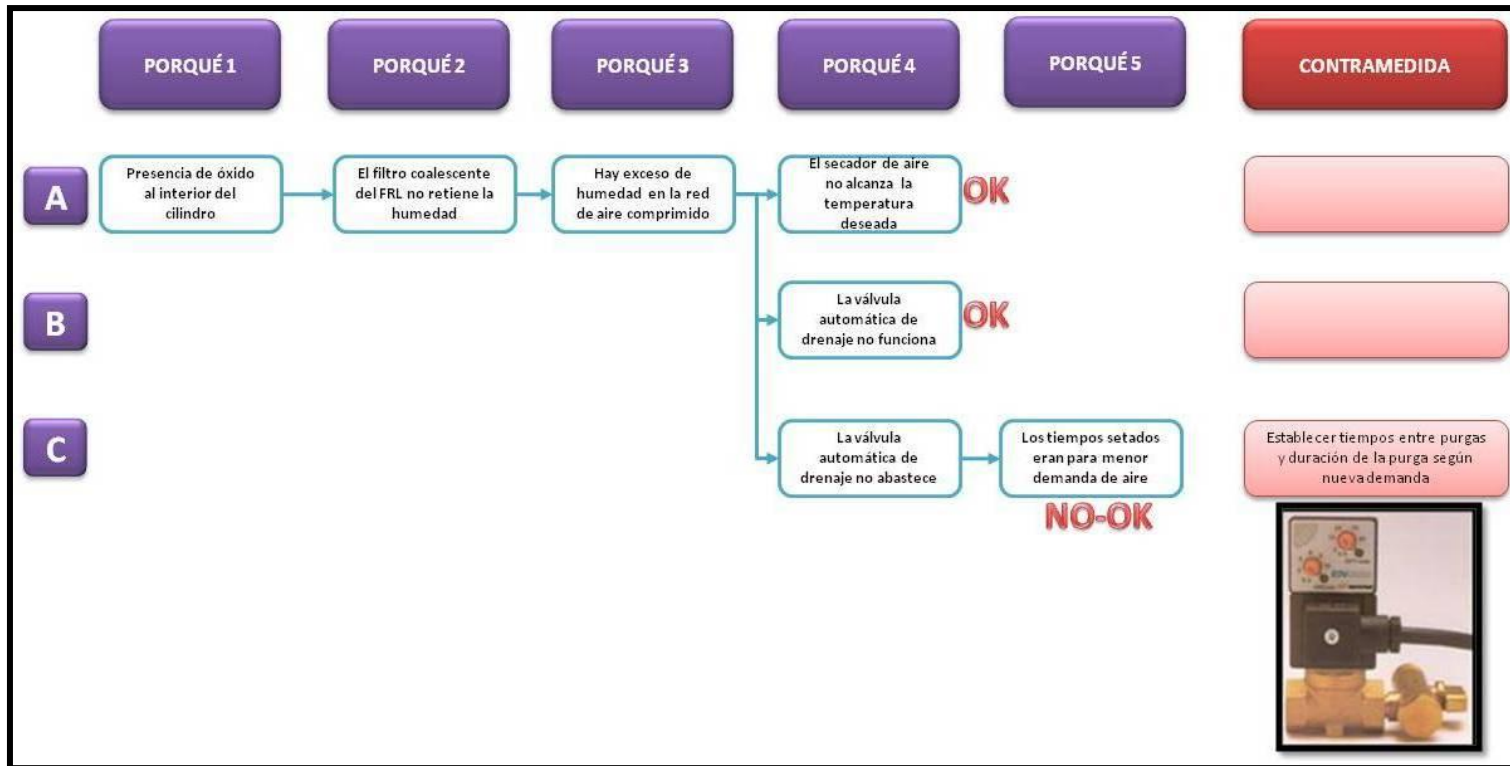
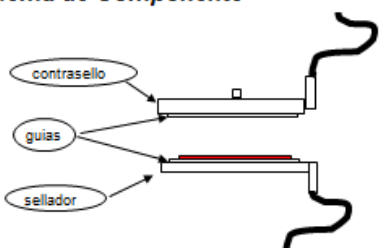
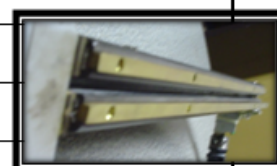


FIGURA 3.13B: CASO 3 – ANÁLISIS Y CONTRAMEDIDA

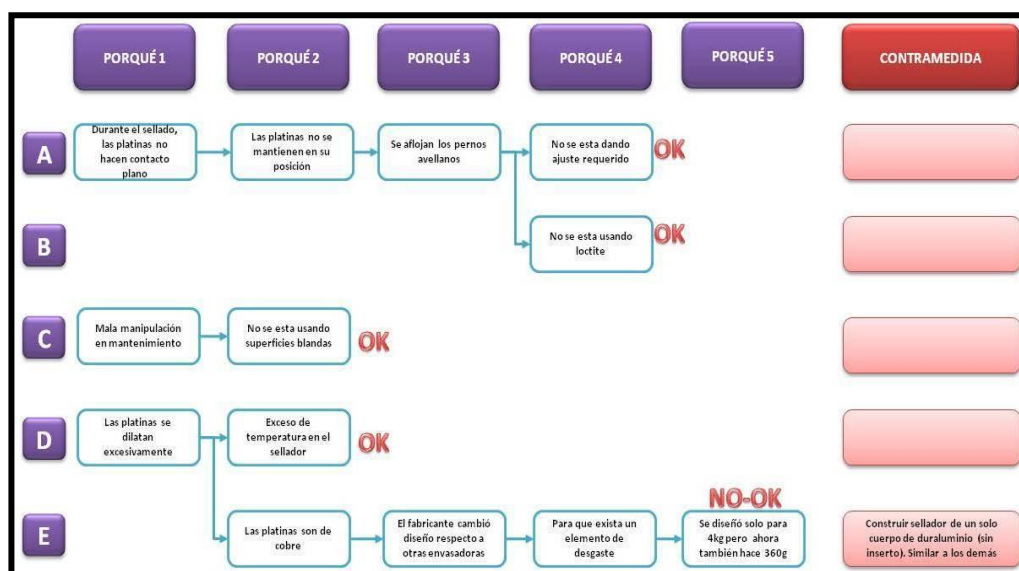
**CASO 4:**

**Deformación de las guías del sellador horizontal de la envasadora 3 que ocasiona fuga de polvo en la parte superior del sobre durante la producción normal de las presentaciones de 2 y 4kg, fenómeno que no depende de la habilidad del operador.**

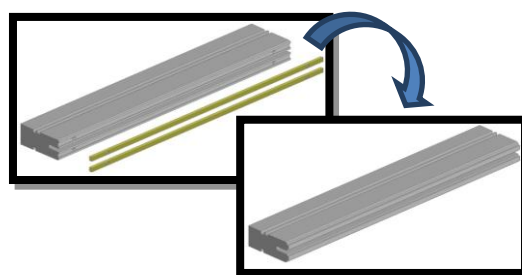
<b>ANALISIS DE AVERIA</b>	
<p><b>Esquema de Componente</b></p> 	
<p>Número .....  Fecha de Breakdown .....  Departamento <b>Envasado</b> .....  Linea .....  Máquina .....  Participantes .....</p> <p>Fecha de analisis. ....</p>	
<b>5 W y 1 H</b>	
<b>Qué (What)</b>	Fuga de polvo en la parte superior del sobre
<b>Cuándo(When)</b>	Durante la produccion normal
<b>Dónde (Where)</b>	Sellador horizontal de la envasadora 3
<b>Quién (Who)</b>	No depende de la habilidad del operador
<b>Cuál (Which)</b>	cambio de x platinas en un mes
<b>Cómo ( How )</b>	Deformacion de las guias
<b>Descripción del Fenómeno</b>	Deformación de las guías del sellador horizontal de la envasadora 3 que ocasiona fuga de polvo en la parte superior del sobre durante la producción normal de las presentaciones de 2 y 4kg, fenómeno que no depende de la habilidad del operador



**FIGURA 3.14A: CASO 4 - DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO**



**FIGURA 3.14B: CASO 4 - ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ Y CONTRAMEDIDA**



**FIGURA 3.14C: CASO 4 - CONTRAMEDIDA**

### 3.7 Implementación de Contramedidas y el Control de su Ejecución

Una vez identificada la causa raíz es necesario establecer las acciones o contramedidas definitivas que evitan la recurrencia de dicha avería. Estas son listadas en un formato de plan de acción

para establecer qué, quién y cuándo se ejecutan estas actividades y así facilitar el seguimiento y control de su ejecución.

Para el primer caso expuesto relacionado al daño de las resistencias del sellador horizontal de envasadora de la línea 1, la contramedida a implementar consiste en rediseñar la resistencia. En la Figura 3.15 se muestra el plan de acción y las contramedidas respectivas para evitar su repetitividad.

ITEM	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	FECHA
1	Exponer el caso al fabricante de la envasadora para que recomiende otros modelos de resistencias (cable largo, salida a 90G)	G. Sánchez	MES 2
2	Solicitar al proveedor local otros productos con las características requeridas	F. Alarcón	MES 2
3	Solicitar a otros proveedores locales presenten su portafolio de productos	F. Alarcón	MES 2
4	Contactar proveedores en el exterior	G. Sánchez	MES 2

**FIGURA 3.15: PLAN DE ACCIÓN PARA IMPLEMENTAR CONTRAMEDIDAS QUE EVITARÁN RECURRENCIA**

### 3.8 Cartelera de Averías

Para dejar un registro apropiado del análisis de la avería mensual más recurrente y que a la vez sirva como herramienta de enseñanza, se elabora una cartelera que contiene la información descrita en la Figura 3.16.

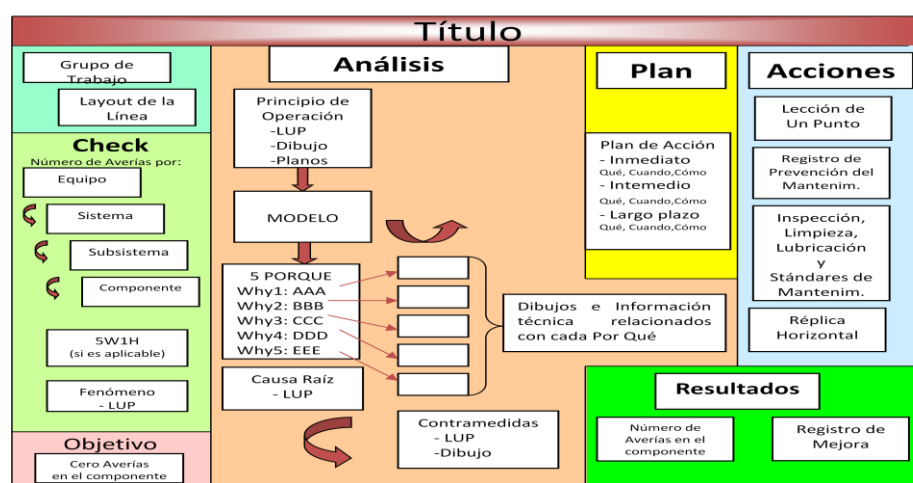


FIGURA 3.16: CARTELERA DE ANÁLISIS DE AVERÍAS [3]

# CAPÍTULO 4

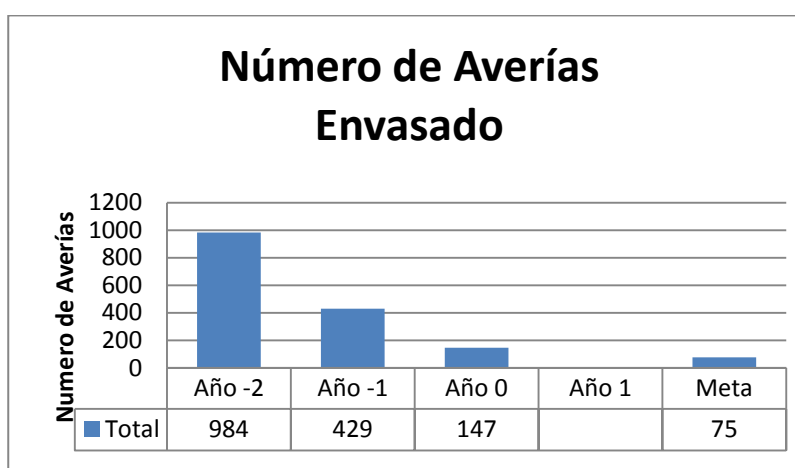
## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las industrias de este medio, la ocurrencia de un altísimo número de averías es, desafortunadamente, más común de lo que muchos profesionales podrían suponer. En lo que respecta a este caso de interés, basta con imaginar que en un inicio (antes de las 3 etapas mencionadas en la Figura 3.2), ocurrían 984 averías en un mes, ¡lo que significa que aproximadamente cada media hora se tenía un “incendio” por apagar! ( $MTBF=0.6$ Horas). A pesar que con la implementación de las 3 etapas previas a este caso de estudio, el número de averías se redujo a 147 averías/mes (mejora del 85%), seguía siendo imposible cumplir los planes de producción cuando esto representaba que cada 4 horas se dañaba algún equipo y su reparación en promedio tomaba 53 minutos.

## 4.1 Comparación de Indicadores Básicos de Mantenimiento antes y después de la Mejora

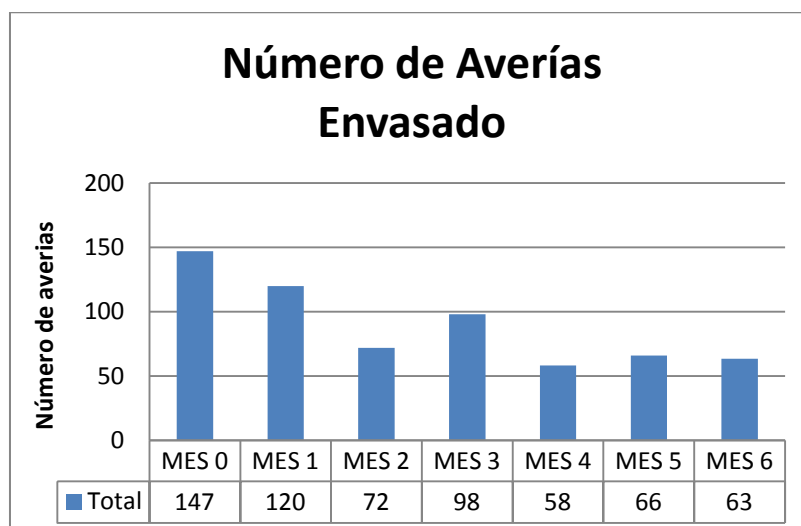
### 4.1.1 Número de averías

Por medio del análisis metodológico y eliminación de la causa raíz de las averías, estas disminuyen progresivamente conforme se atacan diaria y mensualmente a las mas repetitivas, tal es así, que en las Figuras 4.1 y 4.2, se puede notar que luego de iniciar con 147 averías/mes, en tan solo 6 meses de implementación ya se ha alcanzado una reducción del 57% del número de averías, llegando a indicadores de 63 averías/mes, superando inclusive la meta planteada de llegar a 75 averías/mes (reducir aproximadamente el 50%).



**FIGURA 4.1: NÚMERO DE AVERIAS DE ENVASADO ANTES DE LA MEJORA**

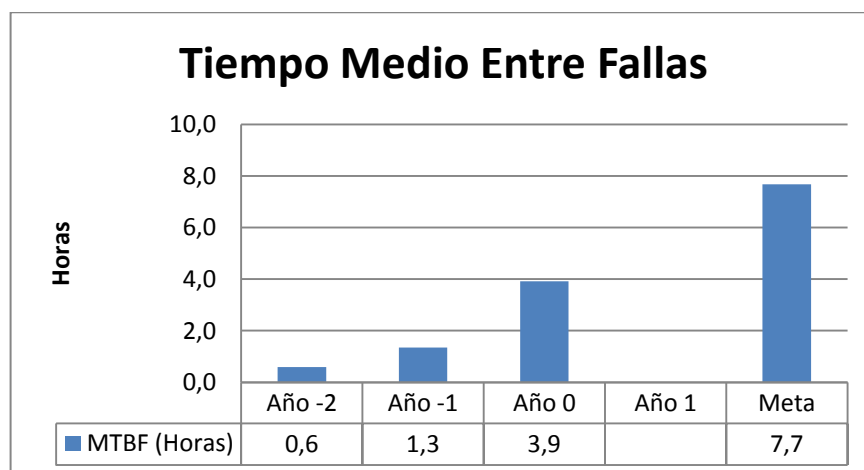




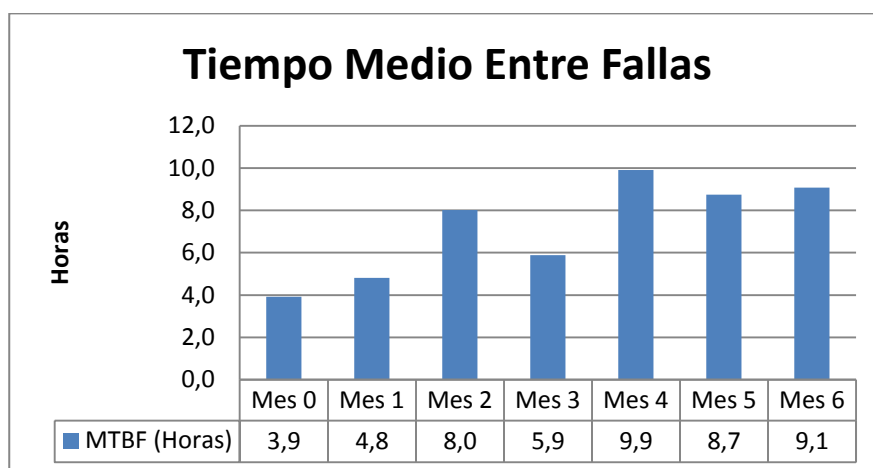
**FIGURA 4.2: NÚMERO DE AVERÍAS DE ENVASADO  
DESPUÉS DE LA MEJORA**

#### 4.1.2 Tiempo Medio entre Fallas

En las Figuras 4.3 y 4.4 se expone la evolución satisfactoria del MTBF pasando de 3.9 Horas a 9.1 Horas, lo que significa un 133% de incremento, pues se trata de un indicador que tiene una relación inversamente proporcional a la cantidad de averías. Esto quiere decir que los equipos se mantienen mayor cantidad de tiempo produciendo sin paradas imprevistas.



**FIGURA 4.3: MTBF ANTES**



**FIGURA 4.4: MTBF DESPUÉS**

## 4.2 Comparación de la Productividad antes y después de la Mejora

La disminución progresiva de las averías produce una subsecuente disminución de los tiempos perdidos así como un

incremento del tiempo medio entre fallos, lo que a su vez mantiene a los equipos produciendo más tiempo ininterrumpidamente y, como consecuencia, incrementa la capacidad promedio y volúmenes mensuales de producción con su respectivo beneficio en costos.

Tal como se aprecia en la tabla 3, en algo más de seis meses se obtiene una reducción del 57% de las averías, lo que equivale a un incremento de 5 puntos porcentuales de la eficiencia global (pasando de 65% a 70%), lo que a su vez se traduce en una disponibilidad adicional de 27 horas/mes y 198 Toneladas producidas (23.819 USD/Mes!).

**TABLA 3**

**MEJORA EN INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD**

Indicadores de productividad	Unidad	ANTES			DESPUES
		Año -2	Año -1	Año 0	Año 1
Eficiencia global (afectada solo por averias)	( % )	55.00%	62.00%	65.30%	70.00%
Capacidad promedio	( Tm/h )	4.03	4.55	4.79	5.13
Capacidad mensual de produccion	( Tm/mes )	2.323	2.618	2.758	2.956
Perdida de eficiencia por averias	( % )	16.50%	9.50%	6.20%	1.50%
Tiempos perdidos por averias	( Horas/mes )	95.04	54.72	35.712	8.64

MEJORAS EN LA PRODUCTIVIDAD		ANTES			DESPUES
Indicadores de productividad	Unidad	Año -2	Año -1	Año 0	Año 1
Mejora en eficiencia	( % )		7%	3%	5%
Mejora en tiempos perdidos	( Horas/mes )		40	19	27
Mejora en volumen producido	( Tm/mes )		296	139	198
Mejora en costos	( USD/mes )		\$ 35,475	\$ 16,724	\$ 23,819

# **CAPÍTULO 5**

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

1. El objetivo principal de las empresas privadas dedicadas a la fabricación y venta de bienes, es hacer dinero. Desde un punto de vista técnico, para tener productos que vender, es necesario que los procesos (equipos) cumplan los planes de fabricación en términos de tiempo, cantidad y variedad de producto. Esto es posible sólo si el departamento de mantenimiento es capaz de garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, es decir, que estén listos para ser utilizados cuando se los requiera y que cuando se los esté utilizando no interrumpan la producción debido a la ocurrencia de averías.

2. La mejora continua de la productividad no se puede lograr solamente con reparaciones mayores, rutinas preventivas y órdenes de trabajo (3 etapas previas a este caso de estudio mostradas en la Figura 3.2), sino que para ello, se vuelve imperioso incorporar otro proceso al sistema de gestión, consistente en aprender de las averías remanentes, es decir, estudiar sus tendencias, analizar sus causas, establecer medidas correctivas que no se limiten a reparar, sino a evitar que vuelvan a ocurrir, etc.
  
3. El punto de partida de este método se basa fuertemente en el hecho de registrar todas y cada una de las averías con la mayor cantidad de información que podamos recabar desde que ésta ocurre, para ello es mandatorio definir y utilizar un formato dedicado exclusivamente para este fin y no confundirlo con otros tipos de reportes que suelen existir.
  
4. La efectividad del método planteado no deja margen alguno de dudas, no sólo por la reducción del 57% de las averías logrado apenas en 6 meses, sino que en la actualidad se puede comprobar que luego de 5 años de continuidad (a partir de mi desvinculación de dicha empresa) se han

alcanzado niveles tan óptimos como apenas 3 a 4 averías por mes.

5. La reducción del 57% de las averías, equivale a un incremento de 5 puntos porcentuales de la eficiencia global (pasando de 65% a 70%), lo que a su vez se traduce en una disponibilidad adicional de 27 horas/mes y 198 Toneladas producidas.
6. Para el cálculo de la mejora en costos se asume un precio de venta al público aproximado de \$800/Tm y una rentabilidad neta del 15%, cifras que inclusive se podrían catalogar como conservadoras, lo que significa que debido a esta mejora la compañía registra una rentabilidad adicional de aprox. \$24.000/mes (\$286.000/año), equivalente al 80% del presupuesto anual de mantenimiento.
7. Otras de las características de este proceso propuesto es que se requiere que el personal de mantenimiento capacite constantemente a los operadores a medida que se identifica su participación en la ocurrencia de la avería (forma de operar, capacidades de los equipos, condiciones básicas de

limpieza y ajuste, etc.), sin embargo, esto requiere desarrollar un sistema organizado que registre el contenido de la capacitación y su ejecución. Las LUP (Lecciones de un solo punto) son una herramienta muy recomendada para este fin.

## **5.2 Recomendaciones**

1. Debido a que este proceso planteado conlleva realizar en paralelo actividades operativas del día a día y combinarlas con su implementación, si no se dispone de suficiente recurso humano, se recomienda iniciar en un área piloto que servirá de modelo para mostrar su efectividad y desarrollar la experiencia necesaria. Esta área debería ser la que presente mayor cantidad de averías y con el transcurrir del tiempo, el proceso planteado debe extender su aplicación a la totalidad de la fábrica.
2. Una manera efectiva de promover este cambio cultural de analizar metodológicamente las causas, es que la alta dirección exija este enfoque a todos los responsables de área, es decir, que los defectos de calidad, los accidentes e

incidentes y todo tipo de pérdidas sean analizados con estas herramientas.

3. Ya que la implementación de este proceso requiere una elevada inversión de tiempo en capacitación del personal de mantenimiento, es importante evitar una alta rotación de personal que ponga en riesgo la calidad o efectividad del proceso.
4. Para garantizar la robusta implementación de este proceso, podría ser más efectivo que el director del departamento de mantenimiento asigne a un mando medio como líder o padrino para que conduzca la operatividad diaria de su implementación, el cual deberá estar plenamente preparado en la metodología y uso de herramientas propuestas.
5. Si el lector requiriera acompañamiento o asesoría externa en la aplicación de estas herramientas, podría recurrir a instituciones privadas sean nacionales o extranjeras dedicadas a la enseñanza y asesoría de TPM, MCM, Seis Sigma y otras filosofías de mejora continua.



6. Para incentivar la implementación y obtención de resultados, se podría establecer un sistema de remuneración variable, no solo para el nivel gerencial (ya existente), sino extenderlo para los demás niveles de la organización.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Book for JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance) Excellence Award** (2007), Dpto. De Proyectos de la Planta
- [2] **IRTA Group** (2012), "**Manual de Envasadora Vixo**", Castellón-España
- [3] **Pedro Carpes** (2004), "**Planned Maintenance Seminar: Proposed Approach to Implement Effective Maintenance Pillar**", Manufacturing Excellence Team, Vinhedo-Brazil
- [4] **Nakajima Seiichi** (1993), "**Introducción al TPM** ", **Productivity Press**, <http://www.ceroaverias.com/queesaveria.pdf>
- [5] **Shirose-Kimura-Kaneda** (1995), "**P-M Analysis, an Advanced Step in TPM Implementation**", Productivity Press
- [6] **Yassuo Imai** (2001), "**TPM Facilitator Course**", IMC, Sao Paulo-Brazil
- [7] **Kunio Shirose** (2002), "**TPM New Implementation Program in Fabrication and Assembly Industries**", Japan Institute of Plant Maintenance
- [8] **L. Escalante** (2011), "**Herramientas de Análisis y Resolución de Problemas**", Oficina de Manufactura Clase Mundial, Guayaquil-Ecuador
- [9] **Masahiro Ishibashi** (2004), "**TPM Instructor Course**", MET-Japan Institute of Plant Maintenance, Sao Paulo-Brazil

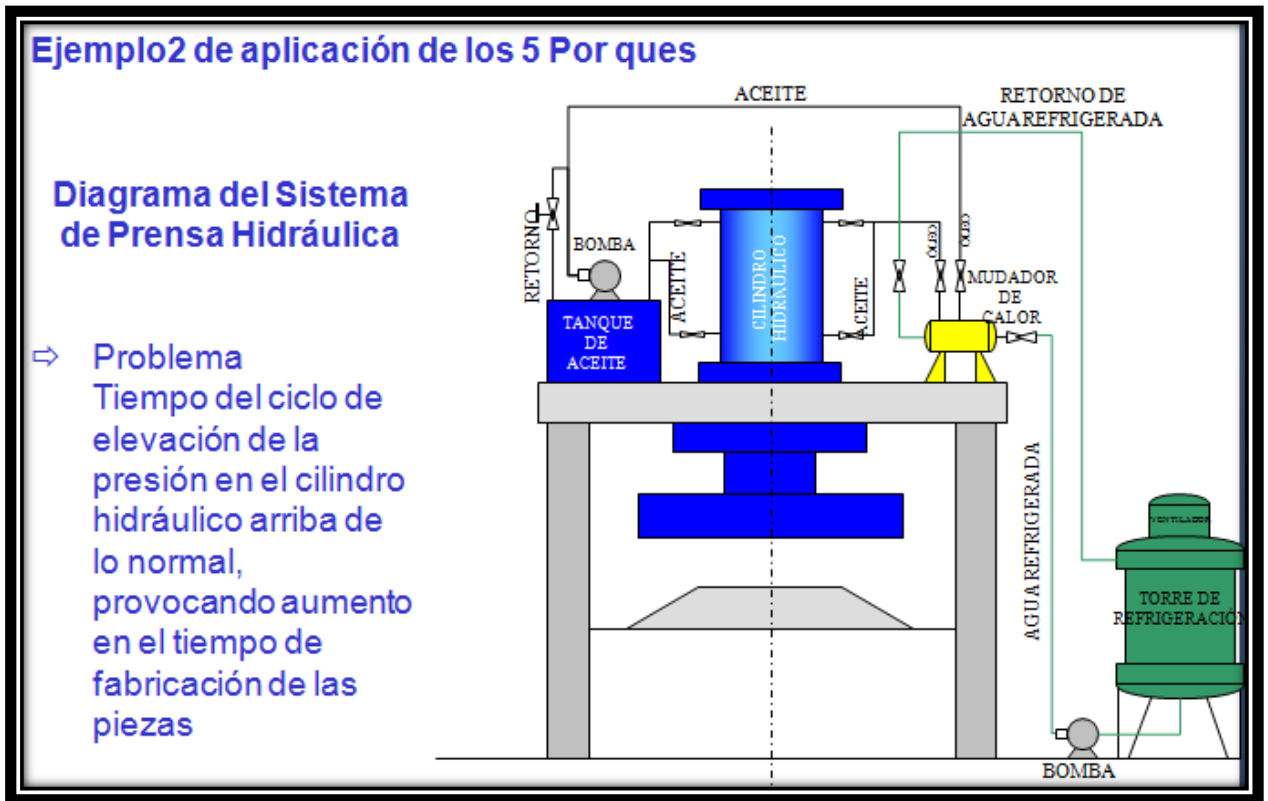
- [10] <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/102860-El-mantenimiento-como-parte-de-la-estrategia-corporativa.html>
- [11] <http://www.ceroaverias.com/centroTPM/guiarapidatpm/ciclodemindPHVA2.htm> (Junio-2014)
- [12] **Richard Y. Chang** (1999), "**El Dominio del Management para el Cambio**", Ediciones Granica
- [13] **Tokutaro Suzuki** (1994), "**TPM in Process Industries**", Productivity Press



APENDICE 2: BASE DE DATOS DE AVERIAS

#	Descripción de la avería	Descripción de la Causa	Corrección (Inmediata)	Cambio de pieza	Planta	Área	Equipo	Sistema	Subsistema	Componente que falló	Rotura	Turno	Día	Mes	Año	Tiempo de parada (min)	Tiempo de Reparación (Min)	Operador	Técnico	Eléctrico Electrónico Mecánico	Módos de falla relacionado	Relación con las 5 Consecuencias	Situación que noto el operador	Requiere Ayuda	Responsable del Análisis
1	En producción normal se produce una chispa en el cajetín de conexiones de selladora horizontal y salta el breaker de la resistencia y para la máquina	Calentamiento del cable de la resistencia tiene desgaste hace tierra con el cajetín	Se revisa y ajusta cables de resistencia, se asala	NO	Polvos	Envasado	Envasadora # 4	Sellado	Sellador Horizontal	Resistencia	NO	23.07	6	Enero		30	25	C. Vera	K. Jumbo	Eléctrico	Desgaste	Condiciones Básicas	Recalentamiento	NO	
2	No está sellando horizontalmente	Conector de enchufe está roto	Se corta conector y se hace empalme	NO	Polvos	Envasado	Envasadora # 2	Sellado	Sellador Horizontal	Conexión	NO	7:15	8	Enero		30	10	E. Rugel	J. Revelo	Eléctrico	Rotura de Cable	Condiciones Básicas	No calienta	NO	
3	La temperatura del sellador horizontal no calienta	Breakers del sellador disparado	Se reactiva el breaker	NO	Polvos	Envasado	Envasadora # 2	Sellado	Sellador Horizontal	Breaker	NO	23.07	10	Enero		30	10	H. Velasco	J. Revelo	Eléctrico	Otros	Condiciones operacionales	No calienta el sellador	NO	
4	No está calentando el sellador horizontal	Resistencia abierta	Se cambio resistencia	SI	Polvos	Envasado	Envasadora # 1	Sellado	Sellador Horizontal	Resistencia	SI	23.07	11	Enero		40	30	H. Velasco	J. Revelo	Eléctrico		Puntos Débiles de Diseño	No calienta	SI	Fredy Sevilla
5	Existe variación de temperatura	PT 100 dañada ( Abierta)	Cambio de PT 100	SI	Polvos	Envasado	Envasadora # 1	Sellado	Sellador Horizontal	PT 100	SI	7:15	12	Enero		180	40	F. Vargas	A. Barco	Eléctrico	Falso contacto	Deterioro Natural	Variación de Temperatura	NO	
6	Máquina para porque se rompió pemo guía del sellador horizontal	La temperatura hizo recalentar el pemo y se fatigó y se partió	Se retiró pemo roto y se colocó uno nuevo	SI	Polvos	Envasado	Envasadora # 1	Sellado	Sellador Horizontal		SI	23.07	12	Enero		70	40	F. Pluas	W. Cruz	Mecánico	Rotura	Deterioro Natural	Holgura - Juego	SI	William Cruz
7	El sellador se sube y se baja la temperatura	Conexión sulfatada y termocupla con conexión partida	Cambio de termocupla	SI	Polvos	Envasado	Envasadora # 3	Sellado	Sellador Horizontal	Conexión	SI	23.07	12	Enero		30	20	S. Zavala	J. Revelo	Eléctrico	Rotura de Cable	Condiciones Básicas	NO sella	SI	Kleber Jumbo
8	En producción normal no hay sellado horizontal	Daño de regulador de potencia	Se cambia regulador de potencia	SI	Polvos	Envasado	Envasadora # 1	Sellado	Sellador Horizontal	Regulador de Potencia	NO	15:23	14	Enero		30	30	F. Pluas	K. Jumbo	Eléctrico	Daño en equipo electrónico	Puntos Débiles de Diseño	Mal Sellado	SI	Kleber Jumbo
9	Máquina para porque no acciona uno de los acojinados (ad derecho de la máquina)	Se encontró corrosión en el vástago del cilindro	Se cambió el cilindro	SI	Polvos	Envasado	Envasadora # 2	Sellado	Sellador Horizontal	Cilindro-acojinado	NO	15:23	15	Enero		180	30	J. Chavale	I. León	Mecánico	Corrosión	Condiciones Básicas	No acciona	SI	B. Delgado
10	Para el equipo por falla en el sellado horizontal (No sella)	Base del sellador horizontal con desgaste	Se coloca anillos para compensar el desgaste del sellador y anillos en las guías del cilindro	NO	Polvos	Envasado	Envasadora # 1	Sellado	Sellador Horizontal	Pines Gulas	NO	7:15	16	Enero		90	40	T. Vargas	B. Delgado	Mecánico	Desgaste	Deterioro Natural	No sella la funda	NO	
11	En producción normal la resistencia del sellador vertical abre y baja la temperatura lo que produce falla de sellado a los sobres y alama de temperatura baja	Resistencia abierta	Se cambia o reemplaza barra de soldadura y resistencia de 500 W 230 V PT 100 temperatura	SI	Polvos	Envasado	Envasadora # 4	Sellado	Sellador Vertical	Resistencia PT 100	SI	7:15	19	Enero		120	40	T. Vargas	F. Sevilla	Eléctrico	Rotura	Deterioro Natural	No calienta	SI	Sevilla / Jumbo
12	En producción normal máquina para por falla en temperatura de sellador vertical , se observa falla en la pantalla	Sensor de temperatura PT 100 en mal estado	Se reemplaza sensor PT 100	SI	Polvos	Envasado	Envasadora # 3	Sellado	Sellador Vertical	Sensor PT 100	NO	15:23	22	Enero		80	30	Carvajal	K. Jumbo	Eléctrico	Otros	Deterioro Natural	No sella	NO	
13	La máquina para por alarma de baja temperatura del sellador horizontal	Cable de alimentación abierto	Se corta la parte afectada y se vuelve a conectar	NO	Polvos	Envasado	Envasadora # 2	Sellado	Sellador Horizontal	Sellador - Cuchilla	NO	7:15	24	Enero		40	20	W. Carvajal	F. Sevilla	Eléctrico	Avería	Deterioro Natural	No sella	NO	
14	En producción normal para la enfardadora EPA 30 porque no habia sellado vertical ni perforación de los fundones a pesar de que valvula si se acciona.	Suciedad en la electroválvula y las líneas de entrada y salida	Se realiza inspección , limpieza de valvula y líneas de aire	NO	Polvos	Envasado	Enfardadora # 5	Sellado	Sellador Horizontal	Electroválvula	NO	23.07	25	Enero		25	25	M. Zea	K. Jumbo - W. Cruz	Mecánico	Taponamiento	Condiciones Básicas	No sella bien la valvula	NO	
15	En producción normal máquina para porque el cilindro neumático del sellador vertical no vuelve a su posición normal	Servovalvula sucia y con poca lubricación	Se retira servovalvula y se coloca una nueva que se retira de la bodega	SI	Polvos	Envasado	Envasadora # 3	Sellado	Sellador Vertical	Servovalvula	NO	23.07	27	Enero		50	40	C. Vera	K. Jumbo	Eléctrico	Otros	Condiciones Básicas	Cilindro no trabaja bien	NO	
16	La temperatura del sellador varía constantemente provocando que la máquina para/que	Sensor PT 100 dañado	Cambio de sensor	SI	Polvos	Envasado	Envasadora # 4	Sellado	Sellador Horizontal	Sensor PT 100	SI	15:23	27	Enero		60	10	W. Carvajal	F. Sevilla	Eléctrico	Rotura	Deterioro Natural	No controla temperatura	NO	
17	Máquina para por alarma en temperatura en la zona del sellador horizontal de cuchilla	Cable abierto en un terminal que alimenta a la resistencia	Se corta el cable y se vuelve a conectar	NO	Polvos	Envasado	Envasadora # 3	Sellado	Sellador Horizontal	Cable	SI	7:15	27	Enero		47	30	W. Carvajal	F. Sevilla	Eléctrico	Rotura	Deterioro Natural	Alarma en la pantalla	NO	
18	AL empezar el turno el operador arranca y enseguida aparece alarma de temperatura (temperatura alta) y máquina para	El cable conductor (acometida) del sellador se encuentra abierto o haciendo contacto falso	Se corta acometida y se vuelve a conectar	NO	Polvos	Envasado	Envasadora # 3	Sellado	Sellador Horizontal	Cable (acometida) Conductor	SI	23.07	28	Enero		60	50	C. Vera	K. Jumbo	Eléctrico	Rotura	Deterioro Natural	Alarma en la pantalla	NO	
19	AL empezar el turno el operador arranca y enseguida aparece alarma de temperatura (temperatura alta) y máquina para, después de cierto tiempo vuelve a aparecer la misma falla , se decide arreglar la acometida	El cable conductor (acometida) del sellador se encuentra abierto o haciendo contacto falso	Se corta acometida y se vuelve a conectar	NO	Polvos	Envasado	Envasadora # 4	Sellado	Sellador Horizontal	Cable (acometida) Conductor	SI	23.07	28	Enero		60	50	C. Vera	K. Jumbo	Eléctrico	Rotura	Deterioro Natural	Alarma en la pantalla	NO	
20	En producción normal la máquina para porque temperatura mostrada en display es muy bajo o muy alto	Termocupla PT 100 deteriorada	Se reemplaza termocupla PT 100	SI	Polvos	Envasado	Envasadora #1	Sellado	Sellador Vertical	Termocupla	NO	23.07	31	Enero		20	25	Velazco	K. Jumbo	Eléctrico	Avería	Deterioro Natural	Variación de Temperatura	NO	

## APÉNDICE 3: EJEMPLO COMPLEMENTARIO DE ANÁLISIS DE AVERÍA



	1º Porqué	2º Porqué	3º Porqué	4º Porqué	5º Porqué
A	Porque la capacidad de la bomba está reducida ✓	Porque la viscosidad del aceite está bajo ✓	Porque la temperatura del aceite hidráulico se eleva ✓	Porque la refrigeración del intercambiador de calor es insuficiente ✓	Porque el volumen de Agua de enfriamiento es insuficiente ✗
B		Porque el filtro de succión está obstruido ✗			Porque la capacidad de la torre de enfriamiento es insuficiente ✗
C		Porque la bomba Está aspirando aire ✗			Porque el intercambiador De calor está con incrustaciones ✓
D		Porque el engranaje de la bomba está con desgaste ✗			Porque el aislamiento térmico del tubo de refrigeración no está ok. ✗
E					Porque el tubo de agua de refrigeración está con incrustaciones ✗
F	Porque el cilindro hidráulico está con derrame ✓	Porque el anillo "O" Ring está roto ✓	Porque hay mucha impureza en el aceite ✓	Porque no se realiza el cambio hace mucho tiempo ✓	
G	Porque la válvula de descarga está con derrame ✗				
H	Porque la válvula solenoide está obstruida ✗				