

**PROPUESTA DE UN MODELO DE ANÁLISIS PARA LA REDUCCIÓN DE
PÉRDIDAS ASOCIADAS AL MANTENIMIENTO DE LA LÍNEA PILOTO DE LA
COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES FÁBRICA BOGOTÁ**

**CARLOS ALBERTO ARDILA HERRERA
CHRISTIAN EDUARDO LOPEZ DANDERINO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2014**

**PROPUESTA DE UN MODELO DE ANÁLISIS PARA LA REDUCCIÓN DE
PÉRDIDAS ASOCIADAS AL MANTENIMIENTO DE LA LÍNEA PILOTO DE LA
COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES FÁBRICA BOGOTÁ**

**CARLOS ALBERTO ARDILA HERRERA
CHRISTIAN EDUARDO LOPEZ DANDERINO**

**Monografía de Grado para optar el título de
“Especialista en Gerencia de Mantenimiento”**

**Director
GUSTAVO ENRIQUE CONTRERAS MARTINEZ
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2014**

DEDICATORIA

A mi familia que me acompañó y a la Compañía que me apoyo en el Cumplimiento de esta meta.

Christian E. López D.

A mi madre Rosita por su fe, su apoyo y ejemplo de lucha constante y paciente por superar sus quebrantos de salud.

A mi padre Félix por su esfuerzo y constancia.

A mis hermanos y hermana por todo su apoyo y ayuda en los momentos difíciles siempre han estado al lado de mis padres y el mío de forma incondicional.

A mis amigos.

Carlos A. Ardila.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento primeramente a Dios por permitirme culminar este proceso, especialmente también a la Compañía Nacional de Chocolates y sus excelentes colaboradores por el apoyo incondicional brindado en el cumplimiento de ese objetivo, a mi familia, compañeros y amigos por su acompañamiento en el desarrollo de esta especialización.

Christian Eduardo López Danderino

Quiero agradecer a Dios por haberme proporcionado los medios para iniciar y culminar esta especialización, a mis padres por enseñarme a ser constante, a mis hermanos por su apoyo y consejos.

Carlos Alberto Ardila H.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-----------|
| INTRODUCCION | 19 |
| 1. COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES PLANTA BOGOTA | 22 |
| 1.1 HISTORIA | 22 |
| 1.2 UBICACIÓN | 26 |
| 1.3 ORGANIZACIÓN | 27 |
| 1.3.1 ORGANIGRAMA | 27 |
| 1.4 PROCESO PRODUCTIVO..... | 29 |
| 1.4.1 LÍNEA DE PROCESO..... | 29 |
| 1.5 PROCESO DE MANTENIMIENTO | 31 |
| 1.5.1 ORGANIGRAMA DEL ÁREA..... | 31 |
| 1.5.2 DESCRIPCIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO..... | 32 |
| 1.6 TPM EN LA COMPAÑÍA | 32 |
| 1.6.1 IMPLEMENTACIÓN..... | 32 |
| 1.6.2 ESTADO ACTUAL..... | 35 |
| 2. GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO..... | 36 |
| 2.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO | 36 |
| 2.1.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO | 36 |
| 2.1.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO..... | 36 |
| 2.1.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO..... | 36 |
| 2.2 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)..... | 37 |
| 2.2.1 DEFINICIÓN..... | 37 |
| 2.2.2 LAS SEIS GRANDES PÉRDIDAS DE LOS EQUIPOS..... | 37 |
| 2.2.3 PILARES DEL TPM..... | 38 |
| 2.2.4 OBJETIVOS DEL TPM..... | 39 |
| 2.2.5 CARACTERÍSTICAS DEL TPM..... | 39 |
| 2.2.6 PASOS PARA LA IMPLANTACIÓN DEL TPM..... | 40 |
| 3. EVALUACION DE CRITICIDAD DE EQUIPOS PARA LA LINEA PILOTO..... | 41 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1 LINEA PILOTO | 41 |
| 3.2 EQUIPOS REPRESENTATIVOS DE LA LÍNEA PILOTO | 42 |
| 3.2.1 MEZCLADOR..... | 42 |
| 3.2.2 ATEMPERADORA..... | 42 |
| 3.2.3 DOSIFICADORA..... | 43 |
| 3.2.4 MESA VIBRADORA..... | 44 |
| 3.2.5 CAVA DE ENFRIAMIENTO..... | 45 |
| 3.2.6 DESMOLDEADERO..... | 46 |
| 3.2.7 DETECTOR DE METALES..... | 47 |
| 3.2.8 ENVOLVEDORA..... | 48 |
| 3.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA PILOTO..... | 49 |
| 3.4 DETERMINACIÓN DE LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA PILOTO | 51 |
| 3.4.1 CRITERIOS DE EVALUACIÓN..... | 52 |
| 3.4.2 LOS TRESEQUIPOS MÁS CRÍTICOS DE LA LÍNEA PILOTO..... | 56 |
| | |
| 4. DETERMINACIÓN DE LAS PERDIDAS ASOCIADAS A MANTENIMIENTO .. | 59 |
| | |
| 4.1 CONCEPTO DE PÉRDIDA | 59 |
| 4.2 LAS PÉRDIDAS DEL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS CRITICOS DE LA LÍNEA PILOTO | 61 |
| 4.2.1 ÁRBOL DE LAS TRES GRANDES PÉRDIDAS DE MANTENIMIENTO | 61 |
| 4.2.1.1 Paso 1. Definición de las posibles pérdidas | 62 |
| 4.2.1.2 Paso 2. Recolección de datos entre 6 y 12 meses..... | 64 |
| 4.2.1.3 Paso 3. Definición de las pérdidas y del nivel ideal para cada pérdida..... | 66 |
| 4.2.1.4 Paso 4. Identificación de los GAP's..... | 69 |
| | |
| 5. MODELOS DE ANÁLISIS DE PÉRDIDAS..... | 72 |
| | |
| 5.1 ANALISIS P-M..... | 75 |
| 5.1.1 PÉRDIDAS ESPORÁDICAS..... | 76 |
| 5.1.2 PÉRDIDAS CRÓNICAS..... | 76 |
| 5.1.3 PASOS DE LA METODOLOGÍA P-M..... | 78 |
| 5.1.3.1 Paso 1. Clarificar el fenómeno..... | 79 |
| 5.1.3.2 Paso 2. Realizar análisis Físico..... | 80 |
| 5.1.3.3 Paso 3. Identificar las condiciones constituyentes..... | 81 |
| 5.1.3.4 Paso 4. Estudiarlas 4MS para encontrar factores causales..... | 82 |
| 5.1.3.5 Paso 5. Establecer condiciones óptimas..... | 82 |
| 5.1.3.6 Paso 6. Investigar anomalías..... | 82 |
| 5.1.3.7 Paso 7. Determinar las anomalías a tratar..... | 83 |
| 5.1.3.8 Paso 8. Proponer y hacer mejoras..... | 83 |
| 5.2 ANALISIS DE CAUSA RAIZ – RCA..... | 84 |
| 5.2.1 TIPOS DE CAUSA RAÍZ..... | 85 |
| 5.2.1.1 Causa raíz física..... | 85 |
| 5.2.1.2 Causa raíz humana..... | 85 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.1.2Causa raíz latente..... | 85 |
| 5.2.2 METODOLOGÍA DEL RCA. | 85 |
| 5.2.2.1 Fase 1. Análisis del problema..... | 86 |
| 5.2.2.2 Fase 2. Consideración de todas las causas posibles de la falla. | 88 |
| 5.2.2.3 Fase 3. Análisis y validación de evidencias para identificar la causa raíz. | 88 |
| 5.2.2.4 Fase 4. Consideración de todas las posibles soluciones a la causa raíz. | 90 |
| 5.2.2.5 Fase5. Selección de la mejor solución..... | 90 |
| 5.2.2.6 Fase 6. Implementación de la solución y seguimiento. | 91 |
| 5.3 METODO CAPDO | 91 |
| 5.3.1 VERIFICAR O “CHEQUEAR”. | 92 |
| 5.3.2 ANALIZAR. | 93 |
| 5.3.2.1 Diagrama causa-efecto. | 93 |
| 5.3.2.2 Método ¿Porqué? ¿Porqué?..... | 95 |
| 5.3.3 PLANIFICAR..... | 97 |
| 5.3.4 HACER. | 98 |
| 5.4 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y SU CRITICIDAD FMECA | 100 |
| 5.4.1 OBJETIVOS DE LA TÉCNICA FMECA. | 101 |
| 5.4.2 PROCEDIMIENTO FMECA. | 101 |
| 5.4.2.1 Estructura del sistema..... | 103 |
| 5.4.2.2 Determinación del modo de falla. | 104 |
| 5.4.2.3 Causas de falla..... | 104 |
| 5.4.2.4 Efectos de falla. | 104 |
| 5.4.2.5 Clasificación de severidad. | 105 |
| 5.4.2.6 Frecuencia o probabilidad de aparición..... | 105 |
| 5.4.2.7 Análisis de criticidad. | 106 |
| 5.4.2.8 Rata del modo de falla y determinación del número de criticidad. | 107 |
| 5.4.2.9 Matriz de criticidad. | 108 |
| 5.4.2.10 Evaluación de la aceptabilidad del riesgo..... | 109 |
| 5.4.2.10 Informe de análisis FMECA. | 109 |
| 5.5 COMPARACION ENTRE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE PÉRDIDAS..... | 110 |
| | |
| 6. MODELO DE ANÁLISIS ORIENTADO A LA DISMINUCIÓN DE LAS TRES GRANDES PÉRDIDAS DE MANTENIMIENTO | 113 |
| | |
| 6.1 PASOS DEL MODELO PROPUESTO | 113 |
| 6.1.1 PASO 1. COMPRENDER LA SITUACIÓN. | 115 |
| 6.1.2 PASO 2. GARANTIZAR CONDICIONES DE OPERACIÓN..... | 116 |
| 6.1.3 PASO 3. RESTABLECER HABILIDADES HUMANAS. | 117 |
| 6.1.4 PASO 4. REALIZAR ANÁLISIS DE PROBLEMAS. | 118 |
| 6.1.5 PASO 5. REALIZAR CICLO CAPDO. | 120 |
| 6.2 PROPUESTA DE FORMATO DE SEGUIMIENTO DE LAS ETAPAS..... | 121 |
| 6.3 TABLERO DE GESTIÓN Y RESULTADOS DEL MODELO PROPUESTO..... | 123 |
| 6.4 APLICACIÓN DEL MODELO PLANTEADO EN UNA PERDIDA IMPORTANTE DE UN EQUIPO CRITICO DE LA LINEA PILOTO..... | 124 |

| | |
|--|------------|
| 6.4.1 DESARROLLO DEL CASO..... | 124 |
| 6.4.1.1 Paso 1. Comprender la situación. | 125 |
| 6.4.1.2 Paso 2. Garantizar Condiciones de Operación..... | 130 |
| 6.4.1.3 Paso 3. Restablecer habilidades humanas..... | 131 |
| 6.4.1.4 Paso 4. Realizar análisis de problemas. | 136 |
| CONCLUSIONES | 142 |
| BIBLIOGRAFIA | 143 |
| ANEXOS..... | 145 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Ubicacion Cia. Nacional de Chocolate..... | 26 |
| Figura 2. Organigrama CNCH..... | 28 |
| Figura 3. Flujo de proceso de elaboración de chocolate..... | 29 |
| Figura 4. Organigrama de mantenimiento | 31 |
| Figura 5. Fotografía Mezclador | 43 |
| Figura 6. Fotografía Atemperadora..... | 43 |
| Figura 7. Fotografía pesadora..... | 44 |
| Figura 8. Fotografía mesa vibradora..... | 45 |
| Figura 9. Mesa vibradora | 45 |
| Figura 10. Fotografías Cava de Enfriamiento | 46 |
| Figura 11. Fotografía Desmoldeadero | 47 |
| Figura 12. Fotografía Desmoldeadero | 47 |
| Figura 13. Detector de metales..... | 48 |
| Figura 14. Fotografía Envolvedora..... | 49 |
| Figura 15. Ejemplo de información de equipos en sistema de información | 50 |
| Figura 16. Ejemplo de información de equipos en sistema de información | 50 |
| Figura 17. Matriz de criticidad de los equipos | 55 |
| Figura 18. Mapa de equipos de la línea piloto según su criticidad..... | 56 |
| Figura 19. Fotografía de equipo crítico: Mezclador..... | 57 |
| Figura 20. Fotografía de equipo crítico: Compresor de amoníaco | 58 |
| Figura 21. Fotografía de equipo crítico: Cava de enfriamiento | 58 |
| Figura 22. Explicación gráfica de pérdida | 60 |
| Figura 23. Comparación entre condición real y condición ideal..... | 60 |
| Figura 24. Pasos del árbol de pérdidas | 61 |
| Figura 25. Identificación del GAP de la pérdida..... | 69 |

| | |
|---|-----|
| Figura 26. Esquema del árbol de pérdidas de mantenimiento | 71 |
| Figura 27. Secuencia del análisis P-M..... | 75 |
| Figura 28. Pérdidas crónicas y esporádicas | 76 |
| Figura 29. Pasos para el análisis físico..... | 80 |
| Figura 30. Árbol Lógico de Fallas | 89 |
| Figura 31. Etapas del ciclo CAPDo..... | 92 |
| Figura 32. Diagrama Causa-Efecto..... | 95 |
| Figura 33. Esquema método ¿Por qué? ¿Por qué? | 97 |
| Figura 34. Tablero CAPDo..... | 99 |
| Figura 35. Procedimiento de análisis FMECA..... | 102 |
| Figura 36. Esquema del modelo de análisis | 114 |
| Figura 37. Formato de seguimiento de la aplicación del modelo | 122 |
| Figura 38. Modelo de presentación del tablero | 123 |
| Figura 39. Imágenes del principio de funcionamiento de la cava..... | 127 |
| Figura 40. Espina de pescado. 4M's | 129 |
| Figura 41. Formato diligenciado del análisis | 133 |
| Figura 42. 5W+1H..... | 136 |
| Figura 43. Fenómeno..... | 137 |
| Figura 44. Por qué? Por qué?- Planes de acción | 137 |
| Figura 45. Por que? Por qué?. Mano de obra..... | 138 |
| Figura 46. Por qué? Por qué?- Mano de obra (Continuación) | 139 |
| Figura 47. Fotografías del tablero del modelo | 141 |

LISTA DE CUADROS

| | pág. |
|--|-------------|
| Cuadro 1. Lista de pilares TPM..... | 33 |
| Cuadro 2. Doce pasos para implantación del TPM propuesto por Nakajima | 40 |
| Cuadro 3. Lista de equipos de la línea piloto | 51 |
| Cuadro 4. Evaluación de criticidad de la línea piloto..... | 53 |
| Cuadro 5. Relación de los tres equipos más críticos de la línea Piloto | 57 |
| Cuadro 6. GAP's identificados en cada una de las pérdidas | 70 |
| Cuadro 7. Preguntas 5W + 1 H..... | 79 |
| Cuadro 8. Condiciones constituyentes..... | 81 |
| Cuadro 9. Interrogantes para caracterizar el problema..... | 87 |
| Cuadro 10. Ejemplo de definición de fenómeno | 93 |
| Cuadro 11. Matriz de criticidad | 109 |
| Cuadro 12. Aceptabilidad del riesgo | 109 |
| Cuadro 13. Comparación de métodos de análisis de pérdidas..... | 111 |
| Cuadro 14. Cronograma de Actividades. | 125 |
| Cuadro 15. Histórico de averías 2013 línea piloto | 128 |
| Cuadro 16. Histórico de averías Enero 2014 | 132 |
| Cuadro 17. Histórico de averías línea piloto Febrero 2014..... | 140 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|---|-------------|
| Anexo A. Indicador del plan de mantenimiento..... | 145 |
| Anexo B. Indicador de pequeñas mejoras | 146 |
| Anexo C. Indicador de Averías | 147 |
| Anexo D. Indicador de MTBF..... | 148 |
| Anexo E. Indicador de MTTR..... | 149 |
| Anexo F. Indicador de solución de Avisos | 150 |

GLOSARIO

ANÁLISIS CUALITATIVO: Análisis que se realiza partiendo de los eventos que ocurren durante la recopilación de la información, valiéndose de la observación

ANÁLISIS CUANTITATIVO: Análisis que se realiza partiendo de información cuantificable y medible.

DISPONIBILIDAD: Porcentaje de tiempo en el cual un equipo está disponible para cumplir las funciones para la cual fue diseñado durante un intervalo de tiempo definido.

FALLA: Es la pérdida de la capacidad funcional de un sistema, equipo, máquina o componente, en un instante de tiempo dado.

FENÓMENO: Es la apariencia o manifestación de una falla, y que es perceptible por nuestros sentidos.

GEMBA: Término japonés que significa “el lugar mismo”, es un concepto que nos indica que los problemas se deben analizar verificando la realidad desde la cual se producen los datos.

JUST IN TIME: Justo a tiempo, es un sistema de origen Japonés para la organización de la producción que consiste en fabricar los productos que se necesitan, en las cantidades que se necesitan y para el momento en que se necesitan, con el objeto de aumentar la productividad, reducir el costo de la gestión y acciones innecesarias en almacenes.

KAIZEN: Término Japonés que significa “cambio a mejor” o “mejora”, es la búsqueda de mejoramiento continuo con base a pequeños cambios.

MODO DE FALLA: Es la manera observada de la falla, es la forma en que se hace evidente.

MTBF (Tiempo medio entre fallas): Promedio de tiempo que transcurre entre la ocurrencia de fallas en un equipo o sistema. Equivale a la suma del tiempo operativo de la máquina dividido entre el número total de fallas. Aplica únicamente a sistemas reparables.

MTTR (Tiempo medio para reparar): Es el tiempo promedio para reparar un equipo a una condición específica. Equivale al tiempo total gastado desarrollando todas las reparaciones de mantenimiento correctivo, dividido por el número total de esas reparaciones

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA DE UN MODELO DE ANÁLISIS PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS ASOCIADAS AL MANTENIMIENTO DE LA LÍNEA PILOTO DE LA COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES FÁBRICA BOGOTÁ.

AUTORES: CHRISTIAN EDUARDO LOPEZ DANDERINO
CARLOSALBERTO ARDILA HERRERA

PALABRAS CLAVES: TPM, ANALISIS DE PERDIDAS, MANTENIMIENTO PLANEADO, CAUSA RAÍZ, CAPDO

DESCRIPCIÓN:

Esta investigación busca brindar una metodología de apoyo para la evaluación, detección, análisis y eliminación de las pérdidas más importantes en el área de mantenimiento, aplicado a la línea piloto de la compañía nacional de chocolates; dentro de este proceso se identificarán los equipos más críticos de dicha línea con base en el estudio de las variables de impacto más determinantes en la planta, y se planteará un modelo para lograr atacar directamente las causas raíces de dichas pérdidas, pero disminuyendo la utilización ineficaz de recursos, personal y tiempo, dando la opción de solucionar problemas por medio del análisis desde diferentes frentes de trabajo, que ayudarán a que la gestión de mantenimiento sea oportuna y eficiente en la eliminación de estas pérdidas en las máquinas y los procesos.

Este modelo podrá aplicarse a otros procesos de la compañía, para eliminar pérdidas en producción, calidad, administración, entre otras; ya que brindará una serie de herramientas y pasos que permitirán estandarizar procesos y documentar lecciones aprendidas durante la detección y eliminación de los problemas.

Finalmente el alcance del modelo propuesto permite entre otras cosas, tener una documentación clara y oportuna del proceso de análisis, que permitirá en el futuro disminuir el riesgo de la recurrencia de las pérdidas o problemas detectados, a través del seguimiento y la ejecución de los planes de acción establecidos, por medio de formatos y documentos de fácil consulta dentro de un marco metodológico establecido.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en gerencia de mantenimiento,
Director Gustavo Enrique Contreras Martínez

ABSTRACT

TITLE: PROPOSAL OF A ANALYSIS MODEL FOR REDUCING LOSSES ASSOCIATED WITH THE MAINTENANCE OF THE TEST LINE OF THE COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES BOGOTA PLANT.

AUTHORS: CHRISTIAN EDUARDO LOPEZ DANDERINO
CARLOSALBERTO ARDILA HERRERA

KEYWORDS: TPM, ANALISIS DE PERDIDAS, MANTENIMIENTO PLANEADO, CAUSA RAÍZ, CAPDo

DESCRIPTION:

This research pursue to provide a methodology to support the identification, appraisal, analysis and elimination of the main waste in the maintenance area applied to the test line at “Compañía Nacional de Chocolates”, into this process are identified the most critical machines of that line based on the study of high-impact variables that are crucial in the warehouse, and suggest a model to deal directly and achieve the reason of such waste, reducing the low use of resources, workforce and time, giving the option to solve problems through analysis work on several fronts, which will help maintenance on time and efficient to eliminate the wastes in machines and processes.

This model may be applied to other processes of the company, to eliminate wastes in areas as production, quality control, management, among other things; this would provide a different tools and steps that will standardize processes and document all the learned lessons during the detection and elimination of problems.

Finally, the importance of the proposed model allow to have a clear and timely guidance material of the analysis process, which in the future event will reduce the risk of recurrence of wastes or the identified problems, through monitoring the implementation of plans of action ready established, by formats and documents easily enquiry within a methodological framework.

* Monograph grade

** Faculty of Engineering Physics-Mechanical, Maintenance Management Specialization.

Director Gustavo Enrique Contreras Martinez

INTRODUCCION

En el mundo de hoy las organizaciones se ven exigidas a ser cada día más competitivas en todos sus procesos para mantenerse en el mercado, es por esta razón que las empresas dentro de los retos más importantes que tienen está el poder identificar las oportunidades de mejora con el objeto de ser más productivos y competitivos, con base en esto se hace necesario pensar en mecanismos que permitan apoyar esta labor; para lo cual esta investigación pretende proponer un método para analizar las perdidas asociadas principalmente a mantenimiento, estableciendo equipos de trabajo, identificando causas raíces, generando alternativas de solución, fomentado la mejora continua y facilitando el seguimiento de acciones a mediano y largo plazo, que permita disminuir dichas pérdidas de una manera efectiva.

La Compañía Nacional de Chocolates fábrica Bogotá cuenta actualmente con nueve líneas de producción masiva de chocolates de mesa, esta planta está en proceso de implementación del sistema de mantenimiento basado en la metodología TPM, por medio del cual se ha logrado cumplir con las metas de producción establecidas trabajando sobre una línea piloto.

Sin embargo, dentro del proceso de mejora continua que se ha trazado la compañía se hace necesario buscar mecanismos para identificar y disminuir las perdidas asociadas a las labores de mantenimiento de los equipos críticos de dicha línea piloto tales como el mezclador, las moldeadoras, las cavas de enfriamiento y las empacadoras, los cuales representan un valor importante en la cadena productiva dado que sus pérdidas de operación o ineficiencia afectan significativamente el cumplimiento de los planes de producción.

Las pérdidas en la compañía principalmente se manifiestan con altos tiempos de reparación, modos de falla recurrentes, bajo índice de cumplimiento de los planes de mantenimiento, altos costos de reparación (afectación del presupuesto), deterioro acelerado de los equipos (menor vida útil), entre otros; todo esto como resultado de la incorrecta aplicación de un modelo de análisis que permita identificar causas raíces acertadas y planes de acción eficaces, pues los métodos aplicados hoy día son pobremente ejecutados debido a que demandan mucho tiempo y recursos.

Por todas las razones anteriormente expuestas se plantea aplicar esta investigación a la realidad de la planta en la ciudad de Bogotá, la cual cuenta con un proceso productivo apropiado para establecer como base en el desarrollo de este proyecto, teniendo en cuenta que se involucraran maquinas críticas con pérdidas reales, las cuales se pretenden disminuir como resultado del modelo de análisis que se pretende proponer.

Dentro del desarrollo de este trabajo, se investigarán metodologías de análisis de pérdidas muy estructuradas y ampliamente aplicadas en la solución de problemas de diversos tipos de empresas, lo cual permitirá sugerir o generar un modelo que ayudará a atacar problemas críticos, con la mayor eficiencia en cuanto al uso del tiempo y recursos, en cualquier área dado que aunque está basada en las pérdidas asociadas al mantenimiento podrá aplicarse en los procesos de otras áreas de la compañía.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo de análisis con el fin de disminuir las pérdidas asociadas al mantenimiento de los 3 equipos más críticos de la línea piloto con base en los conceptos y herramientas TPM, de la mano con el proceso de implementación de dicha metodología en la Compañía Nacional de Chocolates.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los 3 equipos más críticos de la línea piloto de la planta evaluando frecuencia de fallas, importancia para la operación, costos de mantenimiento, impacto en calidad y seguridad.
- Definir las 3 pérdidas más importantes asociadas al mantenimiento de dichos equipos críticos de la línea piloto con base en la evaluación de los tiempos de averías, tiempos de esperas, tiempos de reparación y el cumplimiento del plan de mantenimiento.
- Comparar 3 herramientas de análisis existentes orientadas a la disminución de pérdidas en mantenimiento.
- Plantear un método de análisis acorde a las necesidades de la planta.
- Aplicar un piloto del modelo planteado en un caso particular de un equipo crítico seleccionado

1. COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES PLANTA BOGOTA

La Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. fundada el 12 de Abril de 1920 en Antioquia, es una empresa dedicada a la producción masiva de alimentos tales como el chocolate de mesa, café tostado, golosinas de chocolate, modificadores de leche, cereales, repostería, chocolate dietético, chocolate instantáneo, entre otros.

Actualmente hace parte del Grupo Nutresa, el cual cuenta con la participación más importante en el mercado de productos alimenticios en el país, gracias la presencia masiva de sus negocios de Chocolates, Helados, Pastas, Café y Carnes entre otros. Con plantas al interior y fuera del país, que lo hacen un grupo exportador muy importante.

1.1 HISTORIA

La compañía comienza el 12 de abril de 1920 en Medellín, Colombia, como la Compañía de Chocolates Cruz Roja, hoy Compañía Nacional de Chocolates S.A. Durante los siguientes años logro consolidarse, mejorando procesos de producción y renovando nuestras fábricas ubicadas en Cali, Bogotá y Medellín e instalando una nueva en Bucaramanga.(1930-1935) Fue un periodo interesante, porque incursiono con nuevos productos y generaciónde fuertes campañas de mercadeo y distribución para atender a los diferentes públicos. Posicionó las marcas Corona, Diana y Tesalia. Adicionalmente, comenzó la fabricación de café tostado y molido con la marca Bandera en Cali.

(1935-1940) Se consolida en el mercado, con la adquisición de las empresas de chocolates Chaves y Equitativa, Santa Fe y Tequendama, tres de los principales competidores de la época. Por otro lado, genero intensas campañas para promover el consumo del chocolate, a pesar de las dificultades de abastecimiento

de materia prima proveniente de Brasil, Suráfrica y Costa Rica.(1940-1950) Pablo Emilio Echeverri ingresó a la compañía, como el primer técnico de origen colombiano que prestó sus servicios a la empresa. Realizó una importante labor de renovación del equipo industrial y mantuvo la filosofía de desarrollo de productos de acuerdo con el gusto del consumidor colombiano.

(1950-1955) Tuvo diferentes limitaciones de materia prima, lo que impidió aumentar la producción para atender al mercado nacional. A pesar de estas dificultades, el chocolate se consolidó como la bebida por excelencia de las clases trabajadoras urbanas y rurales. (1955-1960) Logro un propósito importante: reducir la dependencia del cacao importado y generó fuentes de empleo e ingreso para los campesinos; de este modo, puso en práctica un programa de largo plazo para el fomento del cultivo de cacao.(1960-1970) Siguió creciendo: al mercado colombiano ingresaron el café soluble Colcafé y la chocolatina Jet, la primera golosina de chocolate fabricada industrialmente en el país. Para incentivar su consumo, creo varias colecciones de cromos o estampas; pero el Álbum de Historia Natural alcanzó la mayor aceptación del público desde entonces.

(1970-1980) Gracias al programa de fomento del cultivo de cacao, el abastecimiento nacional del producto aumentó para esta década. Apareció en el mercado la chocolatina Jumbo Jet con maní y Chocolisto, la bebida en polvo de chocolate para mezclar con leche. (1980-1985) Lanzo nuevos productos al mercado: Wafer Jet, Combi Jet, Triki Jet, Coco Jet y Deli Jet (las primeras golosinas nacionales basadas en núcleos cubiertos con chocolate).(1985 -1990) Ingresó Chocolyne, el primer chocolate dietético sin azúcar. Así mismo, experimento una gran renovación con los chocolates Diana y Tesalia saborizados con clavos y canela.(1990-1995) Estableció importantes convenios con empresas extranjeras que permitieron la llegada de sus productos a los mercados internacionales. Tiempo más tarde, al cumplir 75 años de existencia, le otorgaron la Orden de Boyacá en el grado Cruz de Plata.

(1995-2000) Adquirió un importante porcentaje de las acciones de Productos Alimenticios Doria, líder en la industria de pastas alimenticias en Colombia. Adicionalmente, sacó al mercado el Chocolate Nacional, primer chocolate instantáneo de Colombia, la chocolatina recubierta Gol, los confites de chocolate Tropsi, Cruji Explosivos, Golochips con vitaminas y Granola con avena. (2000-2002) Se asoció con Compañía de Galletas Noel para establecer la empresa Novaventa S.A., dedicada a implementar nuevos canales de venta orientados al consumidor final. Así mismo, creó la sociedad matriz Inversiones Nacional de Chocolates S.A. cuyo objeto social es la administración de portafolios de inversiones. (2002-2004) Con el ideal de mejorar todos los días, la actividad industrial y financiera de la entonces Compañía Nacional de Chocolates se dividió: de esta forma la CNCH cambió su razón social a INCH y se dedicó únicamente a la administración del portafolio de inversiones. Adicionalmente, se generó una nueva CNCH dedicada a la actividad industrial de productos con base en cacao.

(2004-2006) En junio de 2004 se constituyó Compañía Nacional de Chocolates de Costa Rica, dedicada a la fabricación de chocolates, una importante plataforma para el desarrollo del Negocio en la región.

Cuenta con una empresa fortalecida, que ha progresado en el tiempo. La evolución trae consigo el desarrollo de retos importantes: pasar de tener tres compañías a contar con treinta y cuatro, se logró consolidar un mercado internacional que cuenta actualmente con once Cordialsas en países como México, Puerto Rico, Guatemala y El Salvador, etc. En marzo de 2006 Inversiones Nacional de Chocolates cambia su denominación por la de Grupo Nacional de Chocolates S.A. del cual hace parte Compañía Nacional de Chocolates, y continúa con su etapa de crecimiento realizando importantes inversiones en Colombia y en la región estratégica de la mano de empresas líderes y con importante valor de marca.

Para la Compañía, el 2006 se caracterizó por un gran dinamismo, que permitió crecer significativamente en las categorías y ganar participación de mercado. Ganó, por cuarto año consecutivo, el primer lugar en la encuesta de servicio a clientes, frente a las principales industrias de alimentos y bebidas del país.(2007) La Compañía formalizó la adquisición de los activos de la empresa peruana GoodFoods S.A. y sus filiales, complementando la operación en materia de marcas, productos, distribución y manufactura para el Negocio de Chocolates.(2009 - 2010) En marzo de 2009, Grupo Nacional de Chocolates concluyó los trámites de adquisición de Nutresa S.A. de C.V., empresa que se integró al negocio de Chocolates.

De esta manera, hoy la Compañía cuenta con plataformas de producción propias en México, Costa Rica, Perú y Colombia, y la red de distribución Cordialsa que opera en Colombia, Ecuador, Venezuela, Puerto Rico y Estados Unidos.En 2009 recibió el reconocimiento como el segundo mejor clima organizacional en Colombia, en la categoría de empresas con más de 100 empleados, otorgado por el Centro de Investigación en Comportamiento Organizacional, CINCEL.También, fue elegido como Ganador de Ganadores a nivel nacional del Premio Excelencia Suratep, en la categoría "Mejor Gestión en Salud Ocupacional".En 2009, también la Fábrica de Bogotá recibió, por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente, el reconocimiento por la participación de la Compañía en el Programa de Excelencia Ambiental Distrital, PREAD IX Convocatoria, alcanzando el máximo nivel Élite, generando Desarrollo Sostenible, por segundo año consecutivo.Así mismo, la Fábrica Rionegro fue exaltada por Cornare como Gran Líder Progresista, por tercer año consecutivo, siendo el más alto reconocimiento que se entrega a empresas con desempeño y gestión social y ambiental destacables.

1.2 UBICACIÓN

La Compañía Nacional de Chocolates cuenta con plantas en países como Colombia, Mexico, Costa Rica y Perú. En el país la empresa opera con una fábrica en la ciudad de Rionegro donde se producen todas las golosinas de chocolate, cereales, dulcería, modificadores de leche y confites en general; y en Medellín se establece la sede administrativa principal en la cual se concentra el direccionamiento estratégico de la compañía.

En Bogotá cuenta con un planta en la zona industrial, en la que se producen todos las referencias del chocolates de mesa, con azúcar, amargo y dietético en sus diferentes presentaciones.

Figura 1. UbicacionCia. Nacional de Chocolate



Fuente: Cía Nacional de Chocolates. Intranet. En línea: 15 enero 2014.

1.3 ORGANIZACIÓN

La misión de la compañía es la creciente generación de valor brindando calidad de vida al consumidor y superando las expectativas del cliente con marcas conocidas y apreciadas, innovación efectiva, servicio superior y una excelente distribución nacional e internacional.

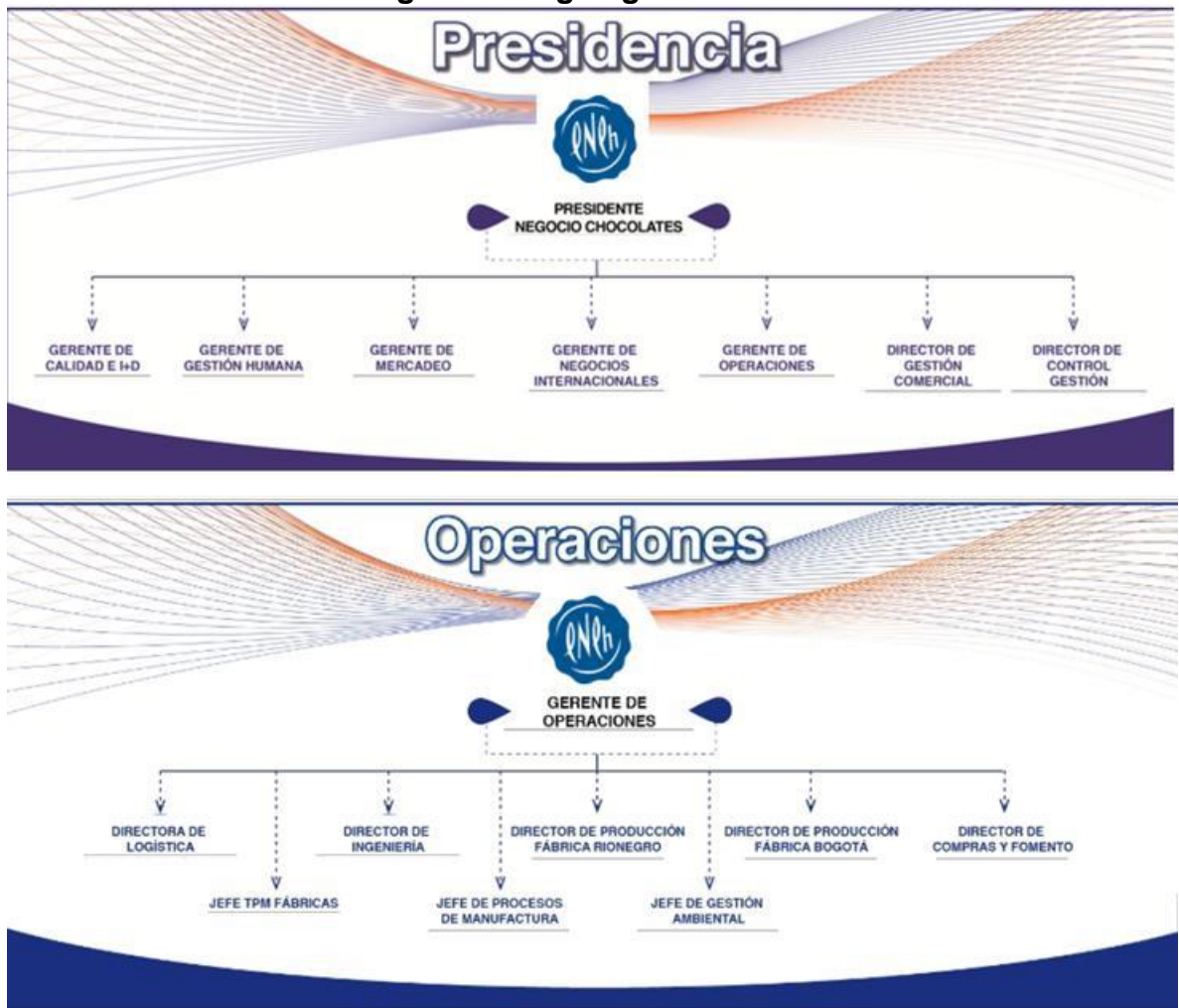
Cuenta con una visión multilatinamericana en la que lograra que el negocio de chocolates alcance su meta de ventas, proporcionando calidad de vida al consumidor con productos que satisfagan sus aspiraciones de bienestar, nutrición y placer. Todo el marco de los valores corporativos tales como la colaboración, confianza, innovación, orientación al consumidor y cliente, pasión y compromiso.

La compañía cuenta con una política de calidad integrada con la cual se compromete para ser excelentes en la aplicación y buen desarrollo de la calidad, la gestión ambiental, la seguridad de alimentos, la seguridad y salud ocupacional, la gestión del riesgo, la responsabilidad social empresarial, la empresa familiarmente responsable; la cual se alinea con la legislación vigente aplicable para la actividad productiva y comercial que desarrolla.

1.3.1 Organigrama. La fábrica de Bogotá se establece desde 1974, como una planta de producción ubicada en la Zona Industrial del Distrito Capital, en donde se elaboran los chocolates de mesa que ofrece la Compañía. Marcas como Corona, Diana, Cruz y Tesalía, salen directamente de Bogotá a la mesa de los consumidores. Esta Fábrica cuenta, dentro de sus instalaciones, con todos los procesos relevantes asociados a la cadena de valor: recepción de materias primas, proceso productivo de chocolates de mesa y el CEDI (Centro de Distribución).

Lo anterior, facilita la actualización, realización y coordinación de programas de interés general asociados al direccionamiento estratégico, sistemas de gestión de calidad y ambiental, lanzamiento de nuevos productos y otros eventos que facilitan la integración del personal y la vivencia de las distintas actividades realizadas por la Compañía. La siguiente figura ilustra el organigrama actual de la compañía:

Figura 2. Organigrama CNCH



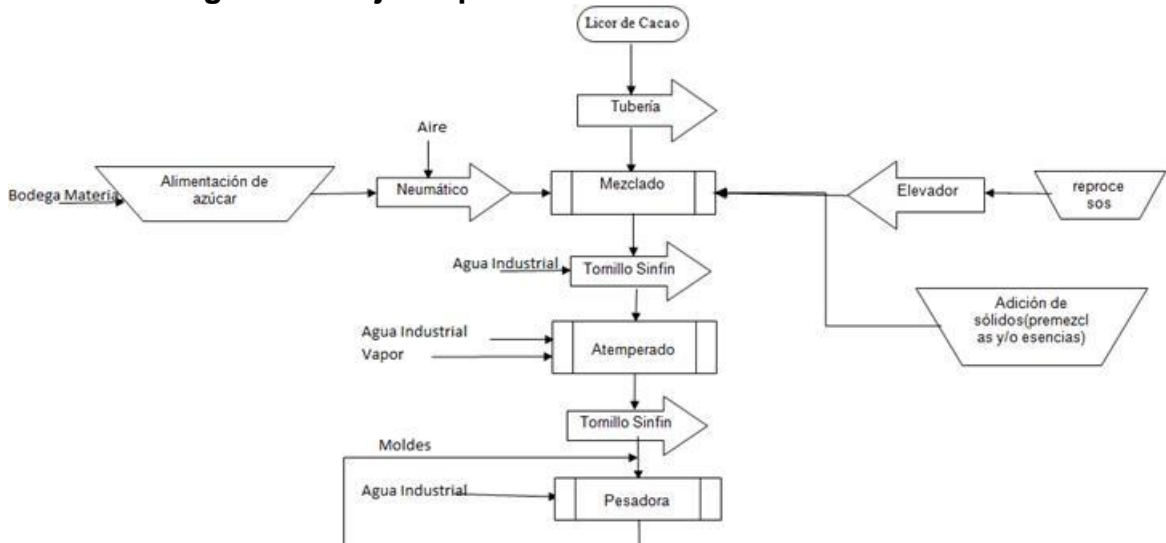
Fuente :Cía Nacional de Chocolates. Intranet. En línea: 15 enero 2014.

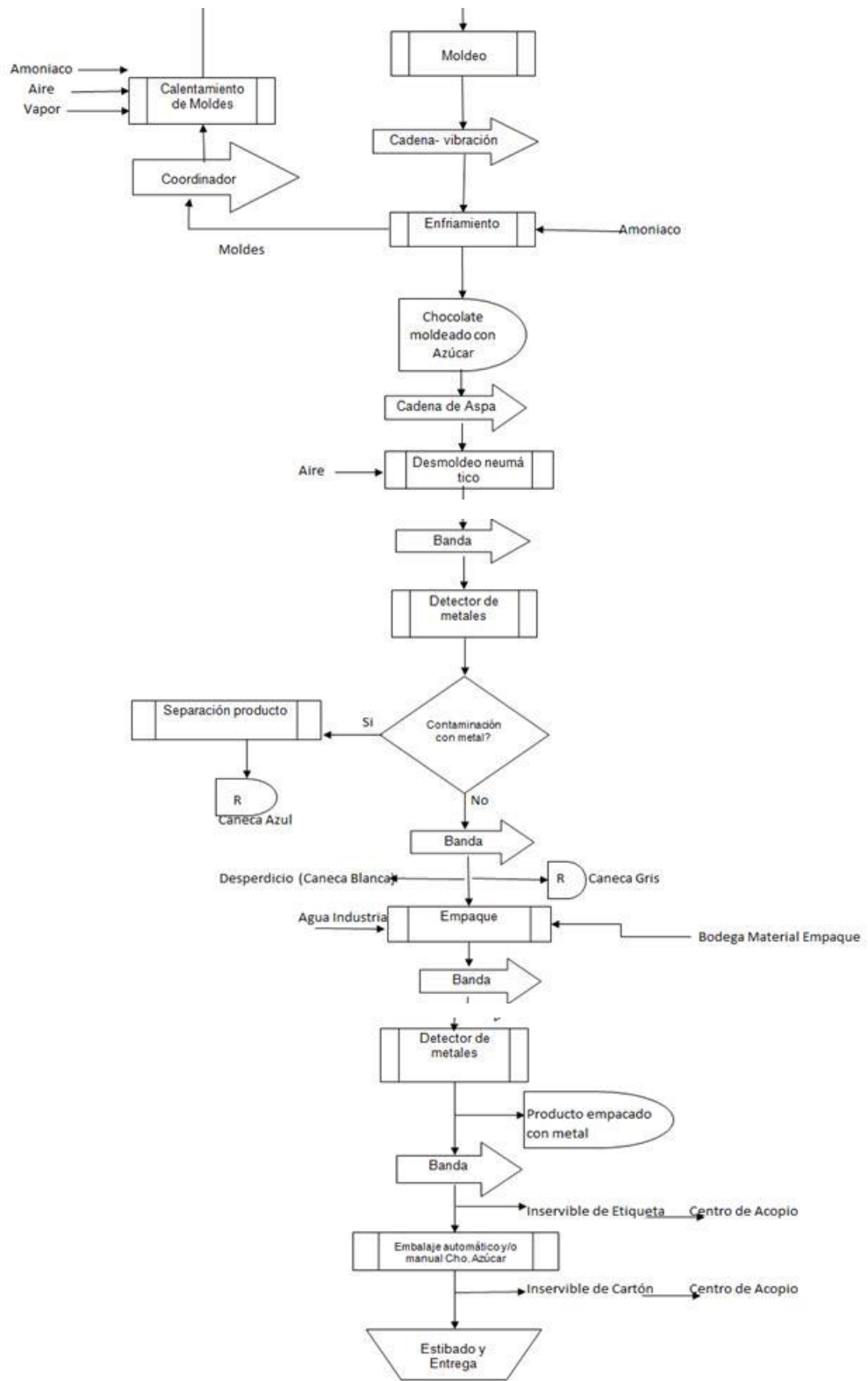
1.4 PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo del chocolate de mesa se basa en la transformación del cacao en conjunto con el azúcar y otros ingredientes, en un producto alimenticio y con diferentes presentaciones y referencias, dentro de las cuales se cuenta con productos de 500 grms, 250 grms, pastillados de 36 y 25 grms; tanto chocolate con azúcar como chocolate amargo, sin olvidar el chocolate dietético, todo fabricado en la planta de la ciudad de Bogotá.

1.4.1 Línea de proceso. Este proceso da inicio con la materia prima: el Licor de cacao en estado líquido, el cual es mezclado con azúcar y otros componentes; en chocolate de mesa en barras para el consumo masivo. El proceso cuenta específicamente con estación de mezclado, atemperado, moldeo, enfriamiento, desmoldeo y empaque, con todos los controles requeridos para garantizar la calidad del producto, de la siguiente manera:

Figura 3. Flujo de proceso de elaboración de chocolate





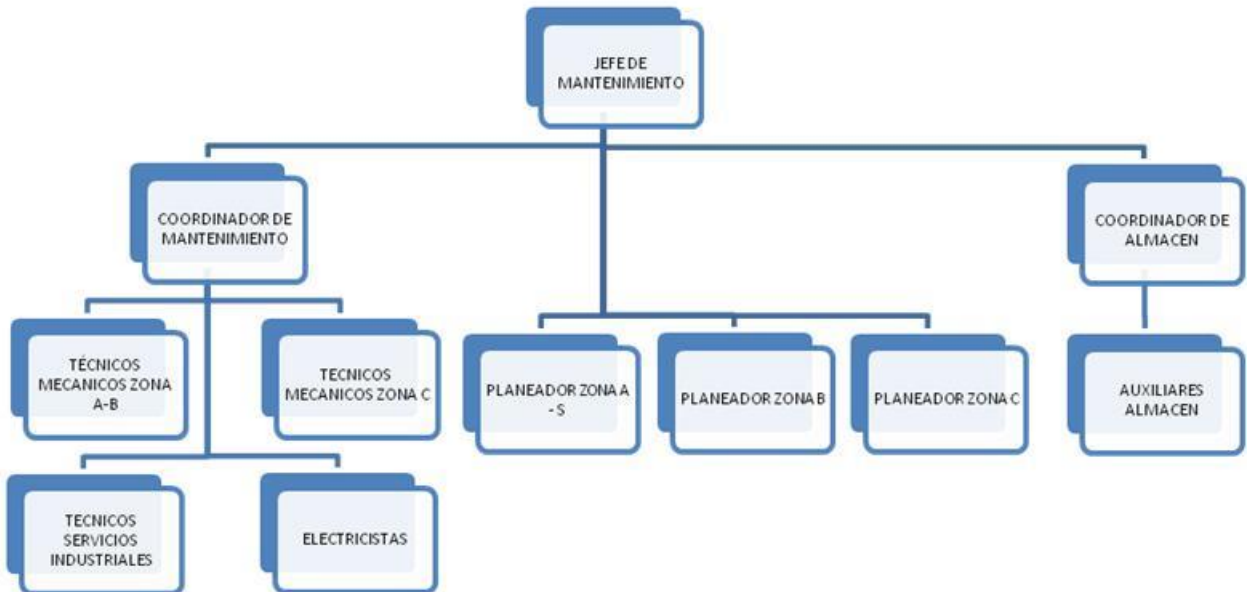
Fuente.Cía Nacional de Chocolates. Flujos de Proceso HACCP. Gestión de Calidad.

1.5 PROCESO DE MANTENIMIENTO

La compañía cuenta con un proceso de mantenimiento orientado al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la compañía, trabajando por lograr la más alta confiabilidad y mantenibilidad de los equipos, apoyado en la metodología TPM. El direccionamiento del mantenimiento se establece con base en el conocimiento y la experiencia de ingenieros de diferentes disciplinas los cuales hacen parte desde la Gerencia de Operaciones, Jefes, coordinadores y personal técnico, de un grupo especializado en lograr que la compañía tenga garantizado el correcto funcionamiento de sus equipos al menor costo posible y con la mayor eficiencia.

1.5.1 Organigrama del Área. El área de mantenimiento es dirigida por un jefe de mantenimiento, a quien le reportan el coordinador de mantenimiento, el coordinador del almacén y los planeadores de zona, en el siguiente nivel están los técnicos y auxiliares del almacén, tal como lo ilustra la siguiente figura:

Figura 4. Organigrama de mantenimiento



Fuente. Autores

1.5.2 Descripción de la gestión de mantenimiento. El equipo de mantenimiento de la fábrica trabaja de acuerdo a la criticidad de los equipos, en la aplicación del mantenimiento correctivo y preventivo, enfocado en la mejora continua y en el crecimiento y desarrollo técnico de sus mecánicos y operadores. Igualmente, se realizan actividades predictivas con el fin de disminuir riesgos de falla en equipos clase A.

La compañía para su proceso de mantenimiento cuenta con un sistema de información apoyado en SAP, por medio del cual se lleva a cabo todo el proceso del área, desde la generación de planes de mantenimiento, reporte de averías, avisos, liquidación de órdenes, manejo del almacén y tiempos de ejecución, entre otras, que hacen de este departamento, un sector vital para el proceso productivo de la compañía y un aporte importante en la generación de valor para los productos elaborados.

1.6 TPM EN LA COMPAÑÍA

1.6.1 Implementación. TPM para la compañía es una filosofía y una cultura para trabajar, significa Administración Productiva Total y es una metodología de gestión que busca optimizar los procesos de la Compañía y el activo empresarial a través de la disminución de pérdidas. Es un modelo administrativo o filosofía gerencial con foco hacia la eliminación de pérdidas, orientado a la optimización de la productividad con el apoyo de todas las áreas y colaboradores de la Compañía.

El modelo de gestión de la empresa de basa en identificar y eliminar pérdidas de los procesos productivos y administrativos, para maximizar el uso de los activos empresariales, reducir tiempos de respuesta, para satisfacción del cliente y fortalecer el posicionamiento en el mercado, desarrollar conocimientos y habilidades en las personas para mejorar sus competencias, y para el aprovechamiento total de los recursos existentes y generar mayor rentabilidad; es

decir, busca las “Cero Pérdidas”, cero accidentes, cero reclamos calidad, cero averías. En la planta de chocolates, se trabaja en el cumplimiento de los siguientes indicadores llamados “PQCDSM”:

P: Productividad: Aumento en la efectividad de los procesos.

Q: Calidad: Productos sin defectos.

C:Costo. Reducción de los costos




D: Entrega o Servicio. Cumplimiento y mejora constante en los niveles de servicio

S: Seguridad. Eliminación de accidentes y contaminación

M: Motivación. Trabajo con alegría y entusiasmo

En la búsqueda de los objetivos de TPM en la Compañía se establecen 8 pilares que garantizan el éxito de la implementación de la metodología y alcanzar sus objetivos:

Cuadro 1. Lista de pilares TPM

| | |
|---|---|
|  | <p>Mejoras Enfocadas (ME) Maximiza la eficiencia de los procesos a través de la eliminación de pérdidas.</p> |
|  | <p>Mantenimiento Planeado (MP) Asegura la confiabilidad de los equipos al mejor costo para lograr Cero Fallas.</p> |
|  | <p>Gestión Temprana / Control Inicial (GT / CI) Establecer un proceso de desarrollo de nuevos productos y/o procesos y/o inclusión de nuevos equipos, que asegure un inicio de actividades dentro de los plazos y costos pactados.</p> |

| | |
|---|--|
|  | <p><i>Eficiencia Administrativa (EA)</i> Optimiza los procesos administrativos.</p> |
|  | <p><i>Gestión Ambiental (GA)</i> Logra obtener ambientes de trabajo y procesos con Cero Contaminación</p> |
|  | <p><i>Mantenimiento Autónomo (MA)</i> Empodera a los colaboradores de su máquina y su lugar de trabajo.</p> |
|  | <p><i>Mantenimiento de la Calidad (MQ)</i> Asegura la calidad de los productos, logrando Cero Defectos.</p> |
|  | <p><i>Educación y Entrenamiento (EE)</i> Liderar los procesos formativos y de entrenamiento para la eliminación de las brechas.</p> |
|  | <p><i>Seguridad y Salud Ocupacional (SHE)</i> Logra obtener ambientes de trabajo y procesos con Cero Accidentes.</p> |

Fuente.Cía Nacional de Chocolates. Intranet. En línea: 15 enero 2014

1.6.2 Estado actual. Actualmente, la compañía en la fábrica Bogotá, se encuentra en el tercer paso de la implementación de Mantenimiento Autónomo, en el cual se establecen los estándares provisorios de operación de los equipos y se realizan los entrenamientos y desarrollo de habilidades del operador, para lograr que vigile y controle los puntos críticos de los equipos.

Mantenimiento Planeado se encuentra certificado en paso uno de MP “Identificación de los equipos y el sistema de mantenimiento”, y actualmente trabaja en la certificación del paso 2 el cual se focaliza en la eliminación del deterioro forzado de los equipos, apoyado en la eliminación de lugares de difícil acceso y fuentes de contaminación del proceso productivo. Igualmente, presta el apoyo en las labores del pilar de Mantenimiento Autónomo, en la elaboración de manuales y presentaciones para los entrenamientos de los operadores y su desarrollo como operadores autónomos.

La compañía comprometida con la mejora continua tiene establecido un completo programa de motivación y estimulación a la innovación, la cual la hace ir un paso adelante en la solución de problemas y en la eliminación de las pérdidas, el cual es el objetivo principal de la metodología.

2. GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO

2.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

2.1.1 Mantenimiento Correctivo Este tipo de mantenimiento consiste en corregir los daños que se presentan en los equipos mediante la eliminación de sus causas una vez se realiza el análisis y la investigación de los problemas. El mantenimiento correctivo puede ser imprevisto cuando se presentan daños que se originan por mal uso o abuso de los equipos de producción, ocasionando órdenes urgentes de trabajo¹.

2.1.2 Mantenimiento Preventivo. Es el mantenimiento que se realiza a los equipos en forma planificada y programada, con base en inspecciones periódicas y establecidas de acuerdo a la naturaleza de cada máquina, con el objetivo de descubrir posibles defectos que pueden ocasionar paradas no planeadas de los equipos o daños graves que afecten la vida útil de los mismos.

2.1.3 Mantenimiento Predictivo. Se realiza mediante la utilización de indicadores y/o registradores, empleados para medir los parámetros fundamentales de funcionamiento estándar de las máquinas. Los aparatos de control utilizados pueden ser vibrómetros, tacómetros, manómetros, voltímetros, termógrafos, analizadores de gases, etc.

El mantenimiento va encaminado hacia la predicción, porque muchas máquinas se están construyendo con diferentes tipos de sensores, que envían señales a indicadores y registradores, los cuales van conectados a microprocesadores, para monitorear y controlar el estado del equipo.

¹ RUEDA, Gustavo. Administración del mantenimiento. Primera Edición.

2.2 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM).

2.2.1 Definición. El mantenimiento Productivo Total, es un sistema de gestión totalizante del mantenimiento permanente que está transformando la faz de la producción moderna. Es la última estrategia de alta efectividad que combina la práctica del Mantenimiento Preventivo con los conceptos de Calidad Total y Justo a Tiempo, involucrando y comprometiendo a todo el personal de la empresa, en las actividades del mantenimiento. Está dirigido a mantener los equipos en perfectas condiciones de trabajo durante toda su vida para alcanzar los más altos niveles de productividad².

El TPM es un sistema, creado por el JapanInstitute of PlantMaintenance (JIPM) con el objetivo de eliminar las seis grandes pérdidas de los equipos, logrando la obtención de una mayor productividad en las plantas de producción, para obtener producción “Just in Time”.

2.2.2 Las seis grandes pérdidas de los equipos. Las seis grandes pérdidas que se describen a continuación, se hallan relacionadas directa o indirectamente con los equipos dando lugar a reducciones en la eficiencia del sistema productivo, son estas:

1. Fallas en el equipo: Son las averías o paros no programados en los equipos.
2. Puesta a punto y ajustes: Se producen cuando se ajusta el equipo para producir un nuevo producto y como consecuencia del cambio aparecen tiempos muertos de ajuste y productos defectuosos.
3. Tiempos de ocio y paros menores: Se producen cuando ocurre una falla temporal o cuando la máquina está inactiva. Estos paros temporales

²ARCINIEGAS, Carlos A. Documento de trabajo, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento. Mantenimiento Productivo Total. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica. p 3.

difieren de las fallas en que son paradas cortas que se solucionan fácilmente moviendo piezas que obstaculizan la marcha del equipo o haciendo ajustes rápidos del mismo.

4. Reducción de velocidad: Hacen referencia a la diferencia entre la velocidad de diseño del equipo y la velocidad real del mismo.
5. Defectos del proceso: Son los defectos de calidad y la repetición de trabajos causados por el mal funcionamiento del equipo.
6. Pérdidas de arranque: Son pérdidas de rendimiento que se ocasionan desde el inicio de la producción hasta la estabilización del equipo.

2.2.3 Pilares del TPM. El TPM consta de 8 pilares básicos los cuales deben ser implementados paso a paso y en su totalidad, son estos:

1. **Mejoras enfocadas (Kaizen):** Se concentra en la eliminación de las pérdidas para lograr la máxima eficacia global de los equipos y procesos de la empresa. Este trabajo se desarrolla a través del trabajo en equipos interdisciplinarios que lideran el mejoramiento continuo y la eliminación de pérdidas.
2. **Mantenimiento autónomo:** Está enfocado en involucrar al operario en actividades de mantenimiento que incluyen inspección, lubricación, limpieza, intervenciones menores, cambio de herramientas, analizando y solucionando problemas del equipo y tomando acciones que conduzcan a mantener el equipo en las mejores condiciones de funcionamiento.
3. **Mantenimiento planeado:** Consiste en un conjunto de actividades programadas con el objetivo de llevar progresivamente los equipos a cero averías, cero defectos, cero desperdicios, cero accidentes y cero contaminaciones.
4. **Control inicial:** Es el diseño de equipos con óptima ingeniería, altamente confiables, fáciles de operar y mantener.

5. **Mantenimiento de la calidad:** Tiene como propósito establecer las condiciones de los equipos en donde se alcance el “cero defectos”.
6. **Educación y entrenamiento:** Busca a través de programas integrados de formación y lecciones de un punto, el desarrollo de las habilidades y competencias de las personas para lograr así altos niveles de desempeño.
7. **TPM administrativo:** Su objetivo es reducir las pérdidas que se producen en los procesos administrativos.
8. **Seguridad y medio ambiente:** Crea un sistema integral de seguridad y de protección al medio ambiente, para lograr cero accidentes y prevenir riesgos que podrían afectar la integridad de las personas y generar efectos negativos al medio ambiente.

2.2.4 Objetivos del TPM. Los principales objetivos que una empresa busca al implementar el TPM son:

- Lograr que los equipos disminuyan las averías y toda clase de pérdidas mejorando la confiabilidad para aumentar la utilización de la capacidad productiva instalada.
- Fortalecer el trabajo en equipo, el TPM busca que cada persona pueda aportar lo mejor de sí, con el propósito de hacer el sitio de trabajo un entorno seguro, productivo, creativo y en donde trabajar sea grato.
- Aumentar la capacidad competitiva desde las operaciones de la empresa, gracias a su aporte a la mejora de la efectividad de los sistemas productivos, reducción de costos operativos y la conservación del conocimiento del proceso.

2.2.5 Características del TPM. Las características más significativas del TPM son:

1. Acciones de mantenimiento en todas las etapas del ciclo de vida del equipo.
2. Participación amplia de todas las personas de la organización.
3. Es observado como una estrategia global de la empresa, en lugar de verlo como un sistema para mantener equipos.

4. Es orientado a la mejora de la efectividad global de las operaciones, en lugar de prestar atención en mantener los equipos funcionando.
5. Procesos de mantenimiento fundamentados en la utilización profunda del conocimiento que el personal posee sobre los procesos.

2.2.6 Pasos para la implantación del TPM. La Asociación Japonesa de Mantenimiento recomienda un total de doce pasos agrupados en un total de tres fases como lo muestra la siguiente tabla:

Cuadro 2. Doce pasos para implantación del TPM propuesto por Nakajima

| FASE | PASOS |
|------------------------|---|
| IMPLANTACIÓN | Divulgación de la alta dirección Lanzamiento de la campaña educativa Creación de equipos y promoción Establecer políticas y metas Formulación del Plan Maestro |
| IMPLEMENTACIÓN | Lanzamiento del TPM Mejorar eficiencia de las máquinas Programa de Mantenimiento Autónomo para operadores Programa de mantenimiento para el departamento de mantenimiento Dirigir entrenamiento para mejorar la operación de mantenimiento Desarrollo de un programa de gestión de equipos fases iniciales |
| ESTANDARIZACIÓN | Implantación perfecta del TPM, seguimiento y contemplación de metas más elevadas |

Fuente. NAKAJIMA, Seiichi; Implantación del MPT. Instituto Japonés para el Mantenimiento de Plantas. Ed. Español, Madrid. 1991. p. 185.

3. EVALUACION DE CRITICIDAD DE EQUIPOS PARA LA LINEA PILOTO

Con el objetivo de lograr el propósito de esta investigación, se hace necesario detallar la descripción de las líneas y máquinas objeto de estudio, y el desarrollo de la misma con base en la metodología propuesta y el desarrollo de los objetivos establecidos.

3.1 LINEA PILOTO

El proceso productivo de la compañía se lleva a cabo en nueve líneas de producción, las cuales permiten obtener productos de diferentes referencias tales como Chocolate con azúcar, Chocolate sin azúcar y Chocolate dietético o con vitaminas en sus diferentes presentaciones. Se destinan actualmente 5 líneas de producción para la elaboración de chocolate con azúcar, 2 líneas para chocolate sin azúcar, y 2 líneas mixtas que se programan de acuerdo a la demanda de producción.

Para la implementación de TPM se establece según la metodología, la selección de un equipo o una línea piloto con el fin de desarrollar en ella, como su nombre lo indica, el piloto de la ejecución de todos los programas, estrategias y métodos que permitirán obtener los objetivos de la filosofía TPM, así como permitir el aprendizaje de todas las lecciones propias de la metodología, con el fin de realizar la réplica de la implementación a las demás líneas de una manera transversal disminuyendo las pérdidas de tiempo y recursos con base en los casos de éxito de la piloto.

Se define para este proyecto como piloto, las líneas de producción número 3 y 4, por medio de las cuales se produce chocolate con azúcar en las presentaciones de 500 gramos y 250 gramos. Esta línea consta de una serie de equipos de

producción en línea, con los cuales se realiza en su orden, la mezcla del chocolate, el atemperado, la dosificación y moldeo, el enfriamiento, el desmoldeo y el empaque.

3.2 EQUIPOS REPRESENTATIVOS DE LA LÍNEA PILOTO

La línea piloto para su funcionamiento cuenta con equipos principales para la elaboración del producto, los cuales se describen a continuación:

3.2.1 Mezclador. En el proceso de elaboración del chocolate, el mezclador cumple una función muy importante ya que es la máquina que hace posible obtener la pasta de chocolate con base en la remoción homogénea de los ingredientes de la receta que se está produciendo. Su principio de funcionamiento se basa en dos cámaras separadas, cada una con camisas de enfriamiento y calentamiento, en las cuales se realiza: en la primera de ellas la recepción de los ingredientes y la mezclada durante el tiempo determinado, y en la segunda que funciona como un pulmón o una cámara de paso, para ir alimentando la pasta de acuerdo al pedido de las líneas. El paso entre cámaras se da por medio de una compuerta neumática que es gobernada de acuerdo al tiempo de mezcla y al nivel de cada recámara. Este equipo es común para las dos líneas de producción (Línea piloto). Se muestra una fotografía del equipo en la figura 5.

3.2.2 Atemperadora. Posterior a la mezclada, la pasta de chocolate es transportada hacia la Atemperadora, la cual está compuesta por un sistema de tuberías encamisadas y un sistema de transporte de pasta, por medio del cual se va “atemperando” o dando la temperatura adecuada al producto para ser dosificado según la receta. A medida que el chocolate va avanzando, realiza un intercambio de calor con las camisas de enfriamiento o calentamiento de la máquina, hasta obtener el valor requerido, después de lo cual se direcciona la pasta hacia la siguiente etapa del proceso: la dosificación. Ver figura 6.

Figura 5. Fotografía Mezclador



Fuente. Autores

Figura 6. Fotografía Atemperadora



Fuente. Autores

3.2.3 Dosificadora. Una vez atemperada la pasta de chocolate, ésta ingresa a la dosificadora, la cual es una máquina que recibe el producto por medio de una tolva con agitación para dosificarlo sobre los moldes de una manera controlada y

secuencial, garantizando por medio de un complejo juego de mecanismos el peso adecuado y la cantidad de dosificaciones establecidas, facilitando el balance de la línea y el cumplimiento de la velocidad nominal de la misma, ya que esta máquina es el eje central y quien determina en gran medida la eficiencia del flujo productivo.

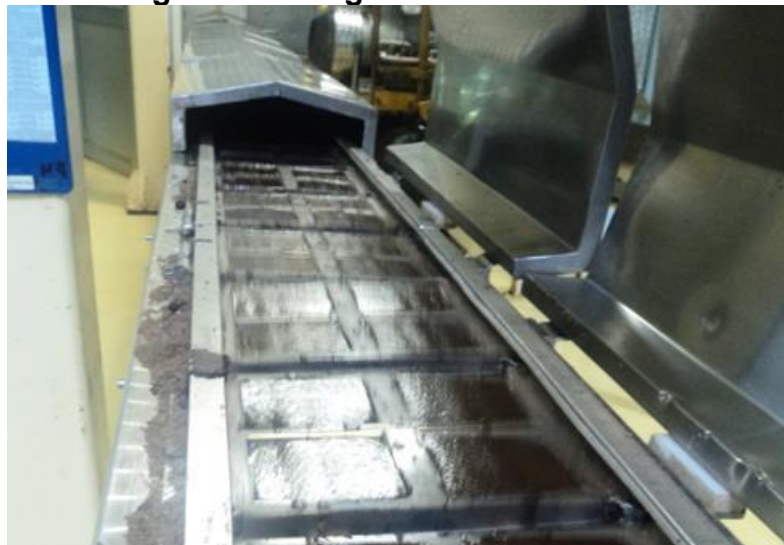
Figura 7. Fotografía pesadora



Fuente. Autores

3.2.4 Mesa vibradora. Los moldes con producto, luego de salir de la etapa de dosificación, ingresan a una mesa constituida por una serie de amortiguadores y motovibradores, los cuales a medida que va avanzando el sistema de moldes, facilitan el correcto llenado de las cavidades de los moldes. Este proceso lleva alrededor de 3 minutos para cada unidad de producto. De esta manera, el chocolate termina su etapa de moldeo y se dispone a ingresar al proceso de enfriamiento por medio de las cavas.

Figura 8. Fotografía mesa vibradora



Fuente. Autores

Figura 9. Mesa vibradora



Fuente. Autores

3.2.5 Cava de enfriamiento. El sistema de enfriamiento se lleva a cabo por medio de la cava, esta funciona con un ciclo de amoniaco, el cual transfiere el frio por medio de un evaporador al interior de la misma. Este frio posteriormente es

transmitido a los moldes con chocolate, por medio de un flujo de aire frío impulsado por ventiladores que producen una corriente circular o cíclica. El sistema de amoníaco consta de un compresor, un sistema de expansión, un evaporador y un condensador. El compresor de amoníaco es considerado como un equipo importante en la línea ya que permite el funcionamiento de todo el sistema de enfriamiento. Igualmente, la cava mueve los moldes en su interior por medio de un sistema mecánico de transporte por medio de cadenas y piñones, los cuales reciben el producto a la entrada, lo llevan durante todo el ciclo de enfriamiento y posteriormente lo entregan a la siguiente etapa del proceso. En esta fase el chocolate pasa de su estado pastoso a un estado sólido, con las condiciones óptimas para dar el siguiente paso: el desmoldeo.

Figura 10. Fotografías Cava de Enfriamiento



Fuente. Autores

3.2.6 Desmoldeadero. El desmoldeadero es un equipo constituido por un sistema de bandas de transporte y un sistema de ventosas de succión por vacío. En esta etapa el chocolate es separado del molde por medio de las ventosas de succión, las cuales son acercadas al producto por un brazo neumático; allí son atrapadas

cada una de las barras como consecuencia del vacío, luego son desplazadas para ponerlas sobre una banda de transporte que las llevara a la siguiente etapa, para ser inspeccionadas y clasificadas según la presencia de metal que pueda tener.

Figura 11. Fotografía Desmoldeadero



Fuente. Autores

Figura 12. Fotografía Desmoldeadero

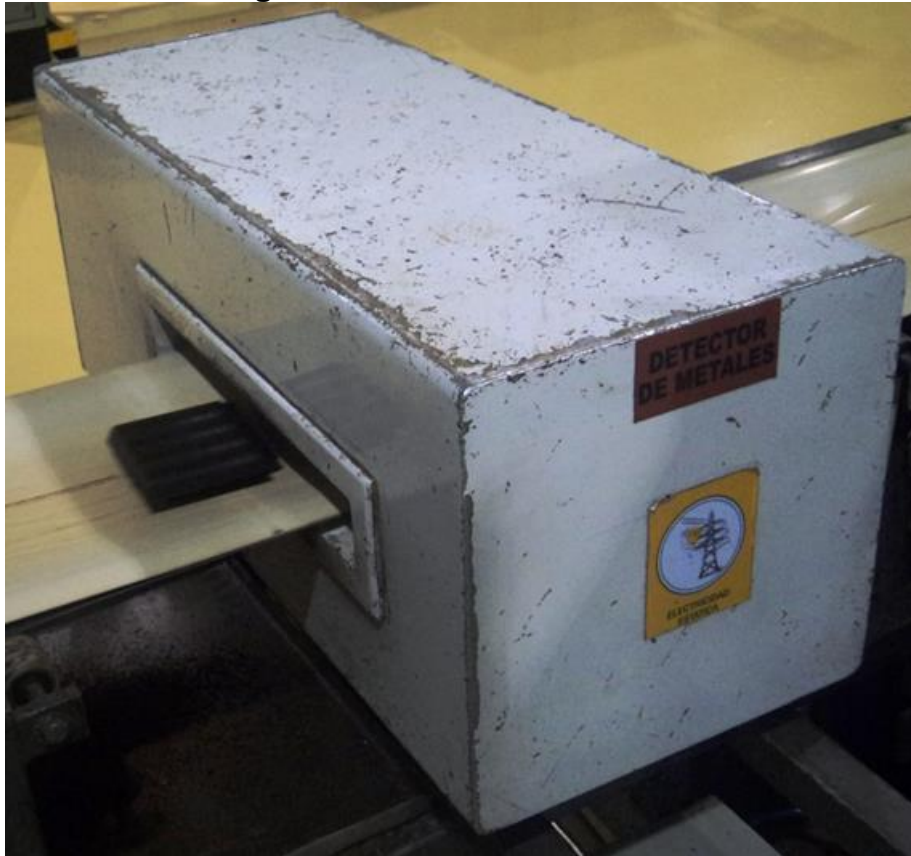


Fuente. Autores

3.2.7 Detector de Metales. El detector de metales es un equipo que funciona utilizando la variación de un campo magnético generado al interior del mismo, el cual identifica la posible presencia de metal en cada una de las barras. Posteriormente, en caso de identificar presencia de metal, un sistema de expulsión neumático se encarga de sacar de la línea de producción aquella barra que no

cumpla. Este producto posteriormente es reprocesado para eliminar el metal existente. Este proceso se realiza en línea a medida que el producto avanza en dirección hacia la envolvedora.

Figura 13. Detector de metales



Fuente. Autores

3.2.8 Envolvedora. En la parte final del proceso, se encuentra la envolvedora. Este equipo es el encargado de suministrar a la barra de chocolate la presentación final, dándole su identificación y su trazabilidad. Su funcionamiento consta de una serie de bandas y cadenas que llevan el producto hacia un mecanismo de mordazas y discos de corte y sellado, los cuales dan a cada producto un empaque individual; esta envoltura es alimentada por medio de rollos o bobinas que la contienen y la tienen lista para hacer parte del producto terminado. Tanto la alimentación del producto como de la envoltura, se realizan en paralelo para lograr

un proceso de empaque en línea a la velocidad nominal de toda la línea. Este equipo es común para las dos líneas de producción (Línea piloto).

Figura 14. Fotografía Envolvedora



Fuente. Autores

3.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA PILOTO.

En la medida en que se identifiquen adecuadamente los equipos que intervienen en la línea piloto, se podrá aplicar de una mejor manera la metodología para la implementación de TPM y de los métodos de análisis; así como la identificación de las pérdidas asociadas a cada uno de ellos.

Actualmente se cuenta con SAP, un sistema de información que permite identificar los equipos de la línea piloto el cual facilita tener la información de cada uno de ellos a la mano y de manera inmediata.

Figura 15. Ejemplo de información de equipos en sistema de información

The screenshot shows the SAP 'Visualizar equipo : Datos generales' (View Equipment: General Data) screen. The main data fields are as follows:

| | | | |
|--------------|---------------------------------|----------------|------------------|
| Equipo | 10018904 | Tipo | Z Máquinas ola 4 |
| Denominación | DOSIFICADORA 10018904 CAVEMIL 4 | | |
| Status | AEQS | | 0020 |
| Válido de | 13.07.2009 | Fin de validez | 31.12.9999 |

Below the main data, there are several sections:

- Datos generales:**
 - Clase: CN_DOSIFICADOR_VOL DOSIFICADORA VOLUMETRICA
 - Tp.objeto: 10065 DOSIFICADOR
 - Peso: 0,000
 - Tamaño/Dimens.: 1.20X0.80X2.07
 - N° inventario: BC001-46
 - PstaEnServDesde: [empty]
- Datos de aprovisionamiento:**
 - Valor adquis.: 0,00
 - Fecha adquis.: [empty]
- Datos de fabricación:**
 - Fabricante: CARLE_MONTANA
 - País productor: IT
 - Denomin.tipo: [empty]
 - Año/Mes const.: [empty] / [empty]
 - N°Pieza fabric.: [empty]
 - Fabr. N°-serie: [empty]

Fuente. Autores

Figura 16. Ejemplo de información de equipos en sistema de información

The screenshot shows the SAP 'Visualizar equipo : Estructura' (View Equipment: Structure) screen. The main data fields are as follows:

| | | | |
|--------------|---------------------------------|----------------|------------------|
| Equipo | 10018904 | Tipo | Z Máquinas ola 4 |
| Denominación | DOSIFICADORA 10018904 CAVEMIL 4 | | |
| Status | AEQS | | 0020 |
| Válido de | 13.07.2009 | Fin de validez | 31.12.9999 |

Below the main data, there are several sections:

- Estructuración:**
 - Ubic.técn.: CN15-Z0NC-CAVE
 - Denominación: CAVEMILES
 - Equipo superior: 10008516
 - Denominación: CAVEMIL 4
 - Posición: [empty]
 - N°Identif.técn.: [empty]
 - Tipo de montaje: [empty]

Fuente. Autores

Con base en lo anterior, se identifican y se listan la totalidad de los equipos de la línea piloto de la siguiente manera:

Cuadro 3. Lista de equipos de la línea piloto

| Código | Descripción | Cantidad |
|---------------|-----------------------------------|-----------------|
| BB004-02 | MEZCLADOR DE AZUCAR No 2 | 1 |
| BC001-03 | ATEMPERADORA CAVEMIL 3 | 1 |
| BC001-04 | ATEMPERADORA CAVEMIL 4 | 1 |
| BC001-45 | PESADORA DE AZUCAR CAVEMIL 3 | 1 |
| BC001-04 | PESADORA DE AZUCAR CAVEMIL 4 | 1 |
| BC001-81 | MESA VIBRADORA CAVEMIL 3 | 1 |
| BC001-82 | MESA VIBRADORA CAVEMIL 4 | 1 |
| BC001-15 | CAVA CAVEMIL No 3 | 1 |
| BC001-16 | CAVA CAVEMIL No 4 | 1 |
| BC001-39 | DESMOLDEADOR CAVEMIL No 3 | 1 |
| BC001-40 | DESMOLDEADOR CAVEMIL No 4 | 1 |
| BC001-27 | COMPRESOR MYCOM SERIE 18895 | 1 |
| BC001-28 | COMPRESOR MYCOM SERIE 18926 | 1 |
| BC-003-39 | DETECTOR DE METALES CAVEMIL No 3 | 1 |
| BC-004-39 | DETECTOR DE METALES CAVEMIL No 4 | 1 |
| BC001-87 | MESA COORDINADORA CAVEMIL No 3 | 1 |
| BC001-88 | MESA COORDINADORA CAVEMIL No 4 | 1 |
| BC001-09 | CALENTADOR DE MOLDES CAVEMIL No 3 | 1 |
| BC001-10 | CALENTADOR DE MOLDES CAVEMIL No 4 | 1 |
| BD00-01-02 | ENVOLVEDORA TEVOPHARM No 1 | 1 |
| BD001-19 | MAQUINA EMBALAJE 500 GR | 1 |
| BD001-27 | IMPRESORA VIDEOJET DATAFLEX No 1 | 1 |

Fuente. Autores

3.4 DETERMINACIÓN DE LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA PILOTO

En el proceso productivo se hace necesario identificar los niveles de importancia o criticidad de cada uno de los equipos o maquinas que lo componen. Esto con el fin de otorgar prioridades en la gestión de su mantenimiento, y poder definir que tipo de estrategia se usará para garantizar que cada uno de ellos tenga la disponibilidad esperada para la planta, sin sacrificar costos o recurso.

Igualmente, con el objeto de identificar las pérdidas más determinantes de la línea, es apropiado conocer cuáles máquinas por su importancia en el proceso, su impacto ambiental o costos de mantenimiento entre otros factores, se convierten en vitales o críticos.

3.4.1 Criterios de evaluación. La evaluación de criticidad se realiza de acuerdo a la clasificación de los siguientes criterios según corresponda:

Frecuencia de falla. Se refiere al número de fallas que puede presentar el equipo en un año, de acuerdo al historial de la máquina o a la proyección estimada.

- 2 o más fallas al año = 4
- Entre 1 y 2 fallas al año = 3
- Entre 0.5 y 1 falla al año = 2
- Menos de 0.5 fallas al año = 1

Impacto Operacional. Califica el impacto que tiene sobre el proceso una falla de la máquina, ya sea por paradas, pérdidas, reprocesos, entre otros.

- Pérdida de la funcionalidad de toda la línea = 10
- Parada de la máquina y sistemas siguientes en la línea = 7
- Impacto en la calidad o inventario = 4
- No genera impacto significativo sobre producción = 1

Flexibilidad operacional. En este criterio se evalúa la capacidad de respaldo o repuesto del componente o máquina con el fin de evitar la pérdida de producción.

- No existe opción de producción y no hay repuesto = 4
- Hay opción de repuesto compartido o en el almacén = 2
- Función de repuesto disponible = 1

Costo Mantenimiento. Evalúa el costo en que se incurre por motivo de la ejecución del mantenimiento de la máquina.

- Mayor o igual a \$2'000.000 = 2
- Inferior a \$2'000.000 = 1

Impacto en Seguridad, Ambiente e Higiene. SAH. Se mide en este ítem el impacto que generan las fallas de este equipo tanto a la parte ambiental, como la de seguridad e higiene del personal y de las instalaciones.

- Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación de entes externos a la compañía. = 8
- Afecta el ambiente y las instalaciones = 7
- Afecta las instalaciones causando daños severos = 5
- Provoca daños menores en ambiente y seguridad = 3
- No provoca ningún tipo de daño a personas, ambiente o instalaciones = 1

Posteriormente se calcula la consecuencia de acuerdo a la siguiente fórmula:

Consecuencia = ((Impacto Operacional x Flexibilidad)+Costo/Mtto+Imp.SAH)

Cuadro 4. Evaluación de criticidad de la línea piloto

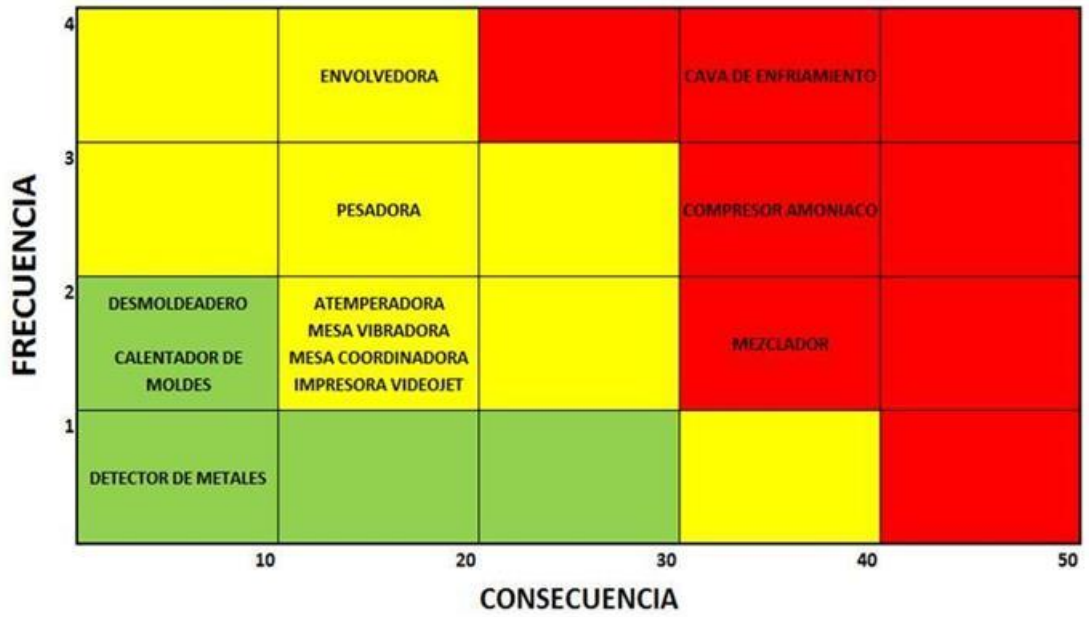
| Descripción | CRITERIO | | | | | CONSEC. | CRITICIDAD TOTAL | POND |
|------------------------------|------------|-----------|--------------|------------|-------------|---------|------------------|------|
| | FRECUENCIA | IMP. OPER | FLEXIB. OPER | COSTO MTTO | IMPACTO SAH | | | |
| MEZCLADOR DE AZUCAR No 2 | 2 | 7 | 4 | 2 | 3 | 33 | 66 | A |
| ATEMPERADORA CAVEMIL 3 | 2 | 7 | 2 | 1 | 3 | 18 | 36 | B |
| ATEMPERADORA CAVEMIL 4 | 2 | 7 | 2 | 1 | 3 | 18 | 36 | B |
| PESADORA DE AZUCAR CAVEMIL 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 3 | 12 | 36 | B |
| PESADORA DE AZUCAR CAVEMIL 4 | 3 | 4 | 2 | 1 | 3 | 12 | 36 | B |
| MESA VIBRADORA CAVEMIL 3 | 2 | 4 | 2 | 1 | 3 | 12 | 24 | B |
| MESA VIBRADORA CAVEMIL 4 | 2 | 4 | 2 | 1 | 3 | 12 | 24 | B |
| CAVA CAVEMIL No 3 | 4 | 7 | 4 | 2 | 3 | 33 | 132 | A |

| | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|----|-----|---|
| CAVA CAVEMIL No 4 | 4 | 7 | 4 | 2 | 3 | 33 | 132 | A |
| DESMOLDEA DOR CAVEMIL No 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 7 | 14 | C |
| DESMOLDEA DOR CAVEMIL No 4 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 7 | 14 | C |
| COMPRESO R MYCOM SERIE 18895 | 3 | 7 | 4 | 2 | 8 | 38 | 114 | A |
| COMPRESO R MYCOM SERIE 18926 | 3 | 7 | 4 | 2 | 8 | 38 | 114 | A |
| DETECTOR DE METALES CAVEMIL No 3 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 6 | 6 | C |
| DETECTOR DE METALES CAVEMIL No 4 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 6 | 6 | C |
| MESA COORDINAD ORA CAVEMIL No 3 | 2 | 7 | 2 | 1 | 3 | 18 | 36 | B |
| MESA COORDINAD ORA CAVEMIL No 4 | 2 | 7 | 2 | 1 | 3 | 18 | 36 | B |
| CALENTADO R DE MOLDES CAVEMIL No 3 | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 | 6 | 12 | C |
| CALENTADO R DE MOLDES CAVEMIL No 4 | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 | 6 | 12 | C |
| ENVOLVEDO RA TEVOPHARM No 1 | 4 | 7 | 2 | 2 | 3 | 19 | 76 | B |
| DETECTOR DE METALES PACK No 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 6 | 6 | C |
| IMPRESORA VIDEOJET DATAFLEX No 1 | 2 | 4 | 2 | 1 | 3 | 12 | 24 | B |

Fuente. Autores

Con base en este análisis de criticidad, se establece la matriz de criticidad de la manera como lo ilustra la figura 17.

Figura 17. Matriz de criticidad de los equipos

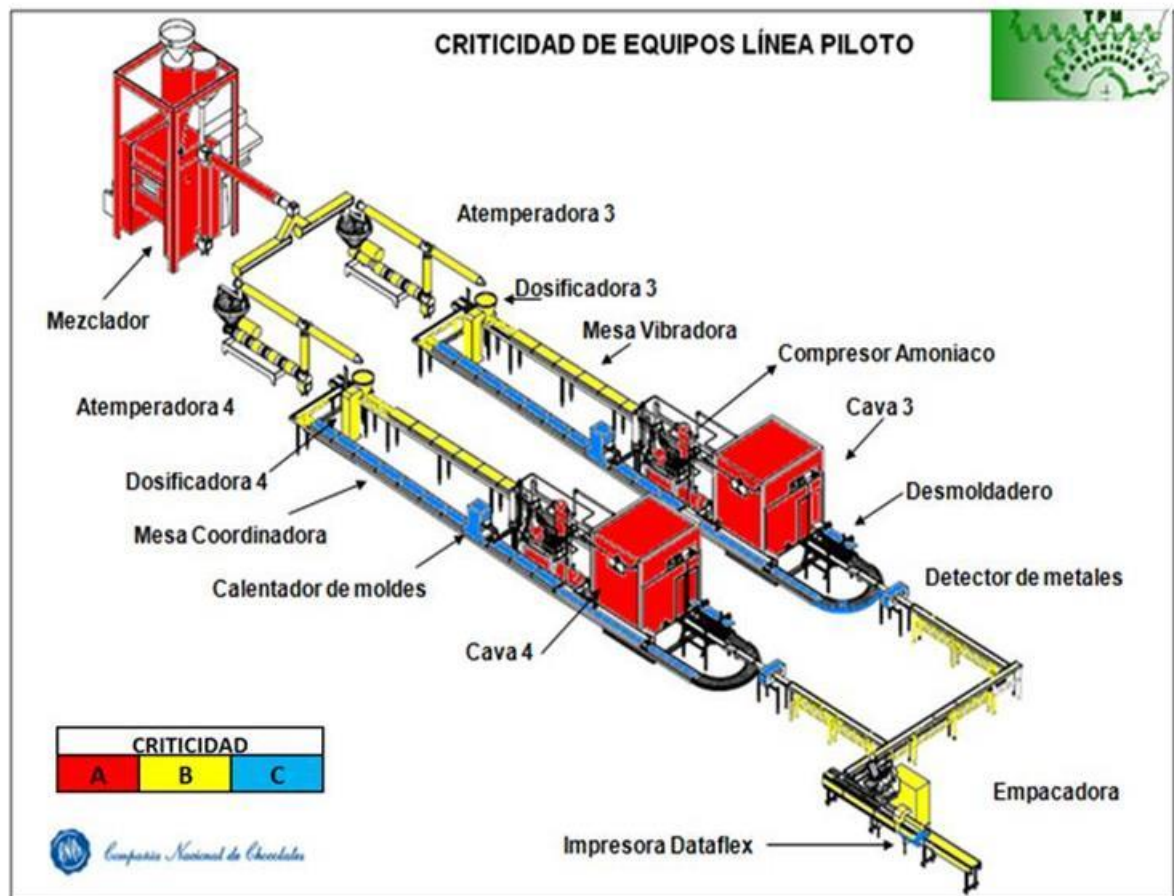


| CRITICIDAD | | |
|---------------------------|-------------------|------------------|
| A | B | C |
| 5 EQUIPOS | 10 EQUIPOS | 7 EQUIPOS |
| TOTAL EQUIPOS = 22 | | |

Fuente. Autores

En la figura 18 se presenta un esquema de la disposición de los equipos de la línea piloto de acuerdo a su ubicación y criticidad.

Figura 18. Mapa de equipos de la línea piloto según su criticidad



Fuente. Autores

3.4.2 Los tresequipos más críticos de la línea piloto. Como resultado de la evaluación realizada a la criticidad de los equipos de la línea piloto de la Cía Nacional de Chocolates, se obtiene que los tres equipos más críticos son:

Cuadro 5. Relación de los tres equipos más críticos de la línea Piloto

| Descripción | CRITERIO | | | | | CONSEC. | CRITICIDAD TOTAL | POND |
|--------------------------|------------|-----------|---------------|-----------|-------------|---------|------------------|------|
| | FRECUENCIA | IMP. OPER | FLEXI B. OPER | COSTO MTO | IMPACTO SAH | | | |
| MEZCLADOR DE AZUCAR No 2 | 2 | 7 | 4 | 2 | 3 | 33 | 66 | A |
| CAVA CAVEMIL No 3 y 4 | 4 | 7 | 4 | 2 | 3 | 33 | 132 | A |
| COMPRESOR MYCOM 3 y 4 | 3 | 7 | 4 | 2 | 8 | 38 | 114 | A |

Fuente. Autores

Figura 19. Fotografía de equipo crítico: Mezclador



Fuente. Autores

Figura 20. Fotografía de equipo crítico: Compresor de amoniaco



Fuente. Autores

Figura 21. Fotografía de equipo crítico: Cava de enfriamiento



Fuente. Autores

De acuerdo a lo anterior, se procede a identificar las pérdidas más importantes que afectan la operación y disponibilidad de estos equipos.

4. DETERMINACIÓN DE LAS PERDIDAS ASOCIADAS A MANTENIMIENTO

Con el fin de identificar las pérdidas asociadas a mantenimiento y a los equipos más críticos, es necesario determinar primeramente el concepto de “pérdida” y asociar desde la metodología TPM los puntos importantes que la caracterizan y los medios por los cuales se pueden priorizar. Para esto, es oportuno apoyarse en la gestión del pilar de Mejoras Enfocadas, el cual tiene por meta consolidar una cultura de mejoramiento en la organización para contribuir al incremento de la rentabilidad y afianzar su competitividad en el mercado, maximizando la eficiencia del sistema productivo, en este caso, aplicado a la gestión de mantenimiento, a través de la identificación y eliminación de pérdidas en toda el área.

La aplicación de lo anterior permite obtener adicional a la eliminación de radical de las pérdidas crónicas, mejorar el conocimiento de los procesos mediante el análisis y la solución de problemas, involucrando a todo el personal en las acciones de mejoraS individuales y grupales.

4.1 CONCEPTO DE PÉRDIDA

Pérdida es la diferencia entre la condición *real* la condición *ideal* de un proceso o un sistema. Es todo aquello que no agrega valor o aquello que es susceptible de mejorar. Una pérdida es una oportunidad de mejoramiento que existe con el fin de lograr la condición ideal de un proceso ya sea productivo o administrativo.

Las pérdidas al ser identificada como unas condiciones que no agrega valor, se pueden enmarcar en situaciones tales como aquellos costos necesarios, bajas velocidades, actividades innecesarias, retrabajos o en defectos de calidad, entre otras.

Figura 22. Explicación gráfica de pérdida



Fuente. TOKUTARO, Suzuki. TPM en industrias de proceso. 1992.

Profundizando en la situación en la que el proceso no se encuentra en su condición ideal, se pueden identificar o estratificar las condiciones del mismo, dado que puede presentarse que la condición real de dicho proceso puede ser una condición suficiente o una condición necesaria; es decir, el proceso fuera de su condición ideal, siempre tendrá pérdida y oportunidad.

Figura 23. Comparación entre condición real y condición ideal



Fuente. TOKUTARO, Suzuki. TPM en industrias de proceso. 1992

4.2 LAS PÉRDIDAS DEL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS CRITICOS DE LA LÍNEA PILOTO

De acuerdo a la metodología TPM y con base en las herramientas que tiene el pilar de Mejoras Enfocadas, se decide hacer uso de un concepto llamado *EL Árbol de Pérdidas*, el cual permite establecer y estratificar las pérdidas de un proceso, en este caso, el proceso de mantenimiento de las máquinas de la línea piloto de la Compañía Nacional de Chocolates.

4.2.1 Árbol de las tres grandes pérdidas de Mantenimiento. El árbol de pérdidas es una herramienta que permite entre otras características, visualizar las perdidas, identificar las mayores oportunidades de mejora, definir prioridades con base en datos y evidencias y seguir el resultado de la eliminación de las pérdidas encontradas.

Con el fin de elaborar el árbol de las tres pérdidas más importantes asociadas al mantenimiento de la línea piloto de la Cía Nacional de chocolates, se llevan a cabo los siguientes pasos:

Figura 24. Pasos del árbol de pérdidas



Fuente. Autores.

4.2.1.1 Paso 1. Definición de las posibles pérdidas. Orientado con la metodología, se definen las posibles pérdidas asociadas al mantenimiento de la siguiente manera, teniendo en cuenta las que intervienen proporcionalmente con la gestión del proceso del departamento, en lo que tiene que ver directamente con los equipos y máquinas. Estas son las posibles pérdidas que se pueden presentar, y de las cuales se tomarán las tres de mayor impacto para su análisis.

Pérdidas que se programan.

Mantenimiento Programado: Es el tiempo que se dedica a la reparación de equipos luego de determinar anomalías en su funcionamiento. Generalmente son tiempos que se dejan de invertir en la ejecución de mantenimientos preventivos del mismo o de otros equipos. Afecta la disponibilidad del personal para realizar labores preventivas o inspecciones programadas. Generalmente se mide en minutos o en porcentaje de eventos.

Ensayos. Es el tiempo que se utiliza para realizar ensayos de las mejoras o rediseños de la máquina o sus partes. Involucra tiempo de preparación, desarrollo del ensayo, puesta a punto. Generalmente se mide en minutos.

Aseos. Aseos programados para realizarse durante el proceso de mantenimiento. Generalmente se mide en minutos.

Pérdidas que afectan la disponibilidad.

Tiempos de Averías. Es el tiempo que se requiere para recuperar la función básica de la máquina, que requiere reparación y/o cambio de piezas. El tiempo de paro por avería comprende desde el momento en que la máquina pierde su función hasta que vuelve a recuperarla por completo, cumpliendo con las especificaciones de calidad. Generalmente se mide en minutos.

Alistamientos. Es el tiempo que transcurre entre el final de la producción de una referencia hasta el inicio satisfactorio de la nueva referencia. Incluye

los ajustes y limpieza necesarios para la operación normal dentro de una misma referencia. Se debe incluir cambios de formatos y cambios de referencia. Generalmente se mide en minutos.

Arranques. Es el tiempo que transcurre desde el comienzo del turno de trabajo hasta que sale el primer producto que cumple con todos los estándares, luego de un paro prolongado o de un paro que afecta las condiciones normales de operación o “puesta a punto”. La diferencia entre arranque y alistamiento es que el arranque se da después de que el equipo estuvo detenido por un lapso prolongado de tiempo (un fin de semana o un turno) y el alistamiento es estrictamente por un cambio de referencia o formato. Generalmente se mide en minutos.

Cambio de elementos. Es el tiempo de paro de la máquina ocasionado por el desgaste o consumo normal de los elementos necesarios para llevar a cabo la producción: Bobinas, Cuchillas, Filtros, etc. Generalmente se mide en minutos.

Pérdidas que afectan el desempeño.

Pequeñas paradas. Son paros que detienen temporalmente el funcionamiento del equipo y permiten recuperarlo por medio de acciones simples como retirar una pieza anormal y un reinicio. No requiere cambio de partes ni reparaciones, y se resuelven en 5 minutos o menos.

Tiempo de Esperas. Es el tiempo que se demora la ejecución de los mantenimientos programados o preventivos, ya sea por falta de disponibilidad de las máquinas por parte de producción. Se mide en horas o días.

Tiempo de Reparación. Es el tiempo adicional que se demora la culminación de los mantenimientos correctivos o programados, por falta de disponibilidad de personal adecuado, repuestos o consumibles. Se mide en horas o días.

Cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo. Son las condiciones que intervienen en la ejecución oportuna del plan de mantenimiento preventivo y que afectan su cumplimiento en un tiempo establecido. Se mide en porcentaje de cumplimiento.

4.2.1.2 Paso 2. Recolección de datos entre 6 y 12 meses. Con el objetivo de identificar la importancia de las pérdidas definidas, se analizan las tendencias o comportamientos de los indicadores de gestión del área de mantenimiento que se relacionan directamente con las pérdidas descritas en el paso anterior, específicamente de los equipos de la línea piloto, que se ven afectados dichas pérdidas asociadas. Este análisis se basa en el comportamiento registrado durante el año 2013.

Cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo. Este indicador refleja el porcentaje de cumplimiento de la ejecución de los planes de mantenimiento de la línea piloto, tomando como referencia el número de órdenes de inspecciones, de preventivos y de calibraciones ejecutadas y notificadas, en relación con el total de las generadas. La gráfica del comportamiento de este indicador en el año 2013 se encuentra en el anexo A.

Generación de pequeñas mejoras. Las pequeñas mejoras son todas aquellas ideas que después de ser evaluadas por el comité interdisciplinario de TPM, se aprueban para ser ejecutadas, algunas de las cuales tienen que ver con rediseños o adecuación de piezas nuevas o modificadas. Con el fin de hacer seguimiento a estas implementaciones, se registra el número de mejoras ejecutadas en la línea piloto mensualmente. La gráfica del comportamiento de este indicador en el año 2013 se encuentra en el anexo B.

Averías de la línea piloto. Durante el año se lleva el indicador del número de averías presentadas, y se establece una meta con base en los entregables definidos de acuerdo al avance que se requiera en la implementación de la metodología TPM. Cabe denotar que las averías son todo aquel paro de maquina superior a 5 minutos. La gráfica del comportamiento de averías en el año 2013 se encuentra en el anexo C.

MTBF. Tiempo medio entre fallas. Este indicador muestra en promedio el tiempo que demora una maquina en fallar, después de haber sido reparada por una avería o mantenimiento programado. Generalmente se ve afectada por el número de averías de los equipos medidos y por el tiempo invertido en los mantenimientos preventivo y correctivos; todo sobre la base de los tiempos disponibles que en planta de producción se establecen. La gráfica del comportamiento del MTBF en el año 2013 se encuentra en el anexo D.

$$\text{MTBF} = (\text{T. Disponible} - \text{T. Mtto Preventivo} - \text{T. Averías}) / \text{Nro. De Averías}$$

MTTR. Tiempo medio de reparaciones. El tiempo invertido en cada reparación por averías o fallos, se denomina tiempo medio de reparaciones o MTTR; y se mide en los equipos de la línea piloto. Es el tiempo transcurrido entre el instante en que el equipo entro en falla y paró su operación, y el momento en que se pone a disposición nuevamente para la producción. La gráfica del comportamiento de MTTR en el año 2013 se encuentra en el anexo E.

$$\text{MTTR} = \text{Tiempo de Averías} / \text{Numero de Averías.}$$

Solución de avisos de mantenimiento o tarjetas rojas. En el momento en que se presenta una anomalía en alguna máquina de la línea piloto, se reporta por la persona que la identifica, señalando fecha, ubicación y descripción de dicha

anormalidad. Este reporte llega al área de mantenimiento y es gestionada programando su solución ya sea con una orden preventiva o con una orden de reparación. El objetivo es lograr la solución de todas las tarjetas rojas, pero teniendo en cuenta que existen situaciones que pueden condicionar la solución de dichos avisos, como por ejemplo la disponibilidad de la maquina por parte de producción para ser intervenida, se maneja una meta de cumplimiento anual del 95%. La gráfica del comportamiento de este indicador en el año 2013 se encuentra en el anexo F.

4.2.1.3 Paso 3. Definición de las pérdidas y del nivel ideal para cada pérdida.

Con base en la recolección de los datos encontrados durante el año 2013 en la línea piloto, se establecen los siguientes análisis:

En el cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo, se evidencia que al final del periodo no se logró alcanzar la meta, y en el transcurso de los meses, se presenta una grafica muy variable tipo “serrucho”, lo cual permite ver que posiblemente el mantenimiento preventivo no esta siendo lo suficientemente efectivo, y probablemente que el volumen de ordenes preventivas puede estar sobrepasando en algunos casos la capacidad de respuesta de los recursos disponibles en el area. Por lo anterior, la falta de cumplimiento del plan de preventivos se consideraría una perdida importante en el proceso de mantenimiento de la línea.

Por otro lado, la generación de pequeñas mejoras durante el año en la línea piloto, no es tan significativa, ya que se evidencia un promedio de 3 mejoras al mes al final del periodo, y teniendo en cuenta que hasta el octavo mes este promedio no supero las dos mejoras generadas, se puede concluir que la gestión del mantenimiento de la líneas no se vió afectada de manera determinante por tiempos invertidos en pruebas o ensayos por adecuaciones o implementacion de nuevas piezas o diseños a las maquinas.

En el caso de las averías de la línea piloto, se evidencia una tendencia muy lineal y una resistencia muy marcada a la disminución del número durante el período medido, especialmente hasta el mes de Agosto. Así mismo, teniendo en cuenta que el objetivo según la metodología TPM es tener cero averías, se puede deducir que el comportamiento no se muestra muy dado a la baja, y que se pone en riesgo el logro de dicho objetivo. Por lo anterior, esta recurrencia de averías y baja tendencia a la baja, se considera una pérdida importante para la gestión del área.

El MTBF o Tiempo Medio Entre Fallas, al ser directamente afectado por el número de averías, presenta un comportamiento muy similar, en el que en la mayor parte del período medido, tuvo un comportamiento muy estable y con poca tendencia al aumento. Sin embargo, a diferencia del anterior, este indicador siempre estuvo cumpliendo muy por encima de la meta establecida, lo cual puede significar que dicho objetivo pudo ser poco retador. En definitiva, el tiempo medio entre fallas no presentó un comportamiento por fuera de lo esperado, por lo que no se consideraría una pérdida determinante del proceso.

Caso contrario, el MTTR o Tiempo Medio de Reparaciones, solo en 5 de los 12 meses medidos estuvo cumpliendo la meta, la cual era de máximo 42 minutos. Su tendencia aunque tuvo un comportamiento lineal en su mayoría, no dejó ver la reducción esperada, y esto traduce en la realidad de la línea, en que los equipos están siendo intervenidos de una manera ineficiente con respecto a lo esperado. De esta manera, este indicador muestra que estos tiempos de reparaciones son una pérdida importante en la gestión del mantenimiento de la línea piloto.

Finalmente, el indicador de solución de avisos de mantenimiento o de Tarjetas Rojas, muestra que estuvo muy cerca de cumplir la meta de un 95% de cumplimiento. Sin embargo, la tendencia es muy variable y deja ver meses en los que el cumplimiento fue muy pobre. A pesar de lo anterior, y de acuerdo con la definición de este indicador, se evidencia que la generación de avisos es muy

elevada, lo que permite asegurar que el proceso de inspección de los equipos es efectiva y que se están detectando las anomalías que están presentando durante la operación de forma oportuna. Igualmente, al final del periodo se logró atender más del 94% de estas anomalías, por lo que se puede establecer que este indicador no representa una pérdida importante para el proceso. Cabe destacar, que el seguimiento de éste es muy importante para la detección oportuna de las condiciones de las máquinas en su operación.

Como conclusión, se definen como las tres grandes pérdidas o las más importantes en el proceso de mantenimiento de la línea piloto de la Cía Nacional de Chocolates las siguientes:

- Cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo.
- Recurrencia de averías.
- Tiempos medios de reparación.

Nivel ideal para cada pérdida = Meta. Las metas se definen para cada pérdida de acuerdo al comportamiento que han tenido durante el periodo analizado. Estas metas deben ser alcanzables, desafiantes, específicas, realistas y acotadas en el tiempo. Según lo anterior, se definen las metas para las tres pérdidas así:

Cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo. Aunque en todo sistema de mantenimiento se debe asegurar que las rutinas de inspecciones, preventivos y calibraciones se cumplan preferiblemente en su totalidad, es claro que siempre está sujeto a la disponibilidad de la máquina y de recursos, por lo que se define que el nivel ideal para esta pérdida es:

META = 97 % de Cumplimiento

Recurrencia de averías. Teniendo en cuenta que el número de averías que presenta la línea piloto afecta transversalmente otros indicadores como los

tiempos entre fallas, y proyectando su comportamiento de acuerdo con el objetivo que plantea la metodología TPM que es tener cero averías en el periodo estipulado, se define:

META = 5 Averías promedio mes al final del periodo.

Tiempos de reparación. El MTTR es medido especialmente en minutos, con el fin de evidenciar las variaciones de una forma mas detallada, y con el objetivo de asegurar una mayor disponibilidad de los equipos en planta en relación con la meta establecida para el numero de averías, se establece:

META = 35 Minutos en promedio por reparación al final del periodo.

4.2.1.4 Paso 4. Identificación de los GAP's. El GAP es la diferencia entre la condición real (actual) y la condición ideal (meta) de la perdida. Se relaciona también con la oportunidad latente para lograr la condición ideal del proceso.

Figura 25. Identificación del GAP de la pérdida



Fuente. Autores

Es necesario identificar ese GAP de cada una de las perdidas, para poder conocer donde se debe trabajar y poder atacar el problema.

Cuadro 6. GAP's identificados en cada una de las pérdidas

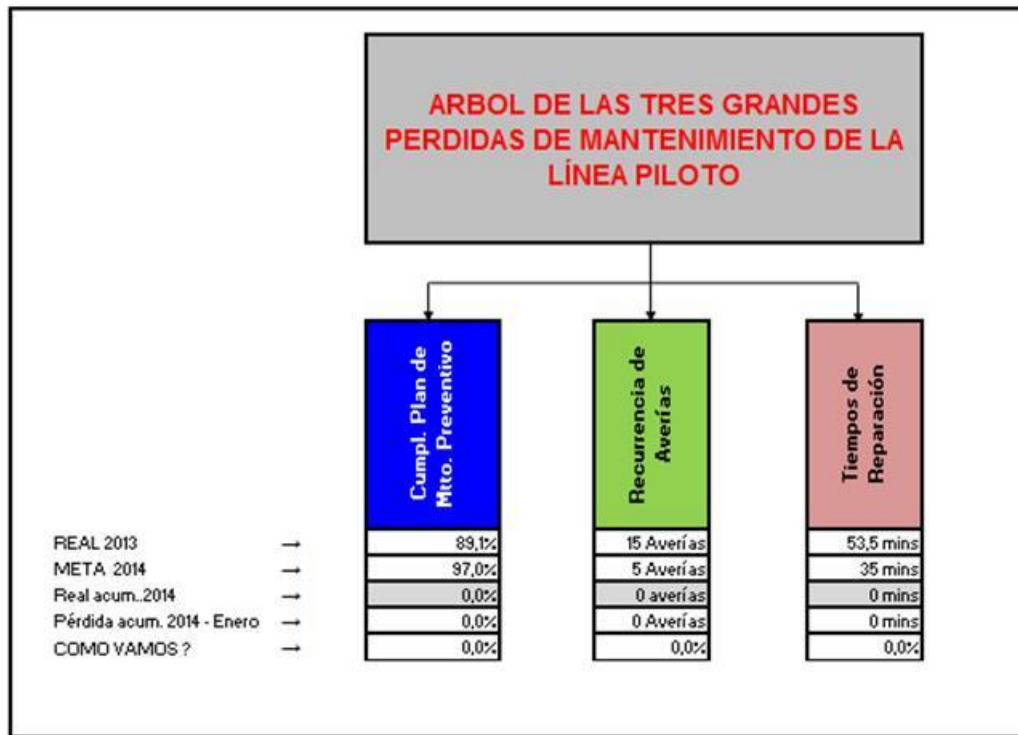
| PÉRDIDA | CONDICIÓN REAL | CONDICIÓN IDEAL | GAP |
|---|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| <i>Cumpl. Plan de Mantto. Preventivo</i> | 89,1 % | 97% | 7,9% |
| <i>Recurrencia de Averías</i> | 15 Averías promedio mes | 5 Averías promedio mes | 10 Averías promedio mes |
| <i>Tiempos de Reparación</i> | 53,5 Minutos promedio mes | 35 Minutos promedio mes | 18,5 Minutos promedio mes |

Fuente. Autores

4.2.1.5 Paso 5. Construcción del árbol de pérdidas de mantenimiento. La construcción del árbol de pérdidas de mantenimiento se genera con el fin de establecer la estratificación de las tres grandes pérdidas definidas, así mismo permitir realizar seguimiento para identificar y documentar la reducción de las mismas.

Inicialmente se toman los valores definidos durante el análisis de los datos, es decir, se parte de los resultados del periodo año 2013 y posteriormente se ingresan los datos correspondientes a los meses siguientes de acuerdo al avance que se vaya obteniendo, como resultado de los análisis y acciones tomadas con base en la metodología propuesta para tal fin.

Figura 26. Esquema del árbol de pérdidas de mantenimiento



Fuente. Autores

5. MODELOS DE ANÁLISIS DE PÉRDIDAS

A través del tiempo se ha hecho necesario establecer estrategias para acercar los resultados obtenidos a los planeados en mantenimiento, para asegurar la mejora continua dentro del proceso y para involucrar a todos los implicados en dicha mejora. Desde el punto de vista anterior, se puede definir el análisis de pérdidas como un conjunto de actividades aplicadas sistemáticamente enfocadas en encontrar la causa raíz de un problema y así establecer planes de acción para su eliminación.

En algunas ocasiones no es posible la eliminación de la causa raíz del problema, por tal razón el análisis de pérdidas nos debe conducir a disminuir la frecuencia de la aparición de la pérdida, a anticiparnos a su aparición para controlar sus consecuencias o nos llevará a convivir con dicha pérdida pero de forma controlada. El análisis de pérdidas se ha mostrado como una estrategia eficaz para mejorar los resultados de los procesos. En mantenimiento son varias las razones que conllevan a justificar el análisis de pérdidas:

- Evitar la tendencia a convivir con los problemas.
- Evitar la tendencia a simplificar los problemas.
- Evitar la tendencia a centrarse en el problema del día.

Tendencia a convivir con los problemas. En algunas situaciones, ante la presencia de pequeños problemas quien los sufre termina conviviendo con ellos y considerándolos como una situación normal. Ante esta situación, se debe analizar con cuales situaciones se pueden admitir como normales y cuáles serán inadmisibles.

De ésta forma se tomarán las acciones necesarias para analizar y eliminar las situaciones inadmisibles. El análisis de pérdidas requiere, en este sentido,

establecer los criterios de máximo riesgo admitido.

Tendencia a simplificar los problemas. Con alguna frecuencia, los problemas suelen ser múltiples e interrelacionados, en dicha situación se debería realizar un análisis para poder separar los distintos elementos del problema, para asignar prioridades y en definitiva, establecer un plan de acción para evitarlos.

Con frecuencia la escasez de recursos o la falta de método, lleva a simplificar el análisis y nos lleva a tomar medidas de nula o escasa efectividad. Esto sucede cuando detenemos el análisis en la causa física y no se profundiza hasta llegar a la causa latente que nos permitiría eliminar no solamente éste problema sino otros que dependen de la misma causa. El análisis de pérdidas permitirá aprovechar excelentes oportunidades de mejoras de todo tipo.

Tendencia a centrarse en el día a día. La presión del día a día nos lleva a olvidarnos del pasado, de los problemas que se nos han presentado, de las acciones planteadas para eliminarlos y de hacer seguimiento con respecto a su efectividad, hasta que nuevamente el problema vuelve a aparecer convirtiéndose esto en un círculo vicioso que nos lleva a convivir con este. El análisis de pérdidas, nos conduce implementar y adquirir una cultura de mantenimiento basado en la prevención.

Antes de iniciar el análisis de averías hay que delimitar el alcance del mismo lo cual se logra definiendo los límites del sistema.

El sistema es un conjunto de elementos discretos llamados generalmente componentes, interconectados o en interacción, cuya misión es realizar una ó varias funciones, en unas condiciones predeterminadas.

El análisis de pérdidas debe incluir una fase en que se defina el sistema, sus funciones y las condiciones de su funcionamiento. El fallo de un sistema se define como la pérdida de aptitud para cumplir una determinada función, por tal razón se pueden clasificar las fallas teniendo en cuenta distintos criterios:

- Según la forma como se manifiesta el fallo: Evidente, progresivo, súbito, oculto.
- Según su magnitud: Total o parcial
- Según su manifestación y magnitud: Cataléptico o por degradación.
- Según el momento de aparición: Infantil o precoz, aleatorio o de tasa de fallos constante, o por desgaste o envejecimiento.
- Según sus efectos: Menor, significativo, crítico, catastrófico
- Según sus causas: Primario si su causa está en el mismo sistema, secundario si su causa está en otro sistema y múltiple si el sistema falla tras el fallo de su elemento de protección.

La metodología para análisis y solución de problemas, es muy variada y suele ser adoptada y adaptada por cada empresa en función de sus necesidades. El análisis debe centrarse primero en el Problema, segundo en la Causa y tercero en la Solución.

Las condiciones que debe reunir el método de análisis para garantizar su eficacia son:

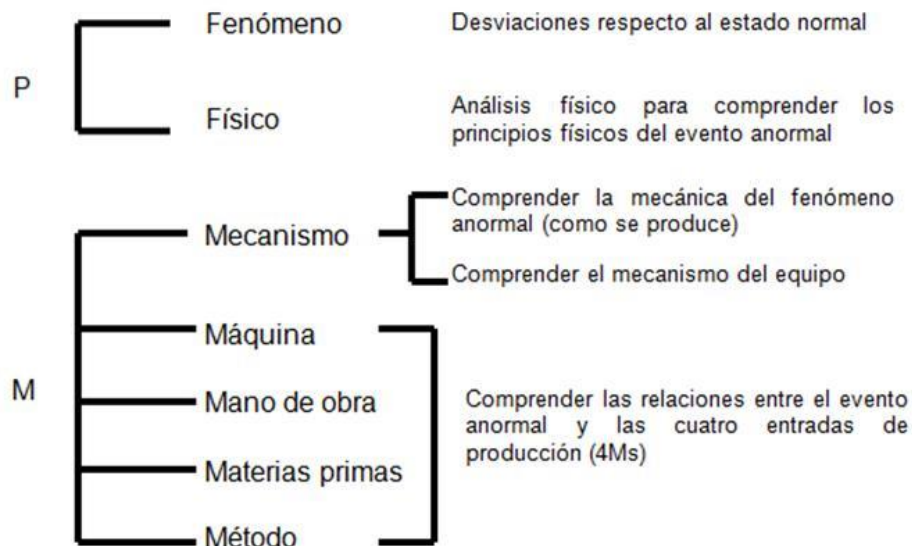
- Estar bien estructurada, de forma que se desarrolle según un orden lógico.
- Ser rígida, de manera que no dé opción a pasar por alto ninguna etapa fundamental.
- Ser completa, es decir, que cada etapa sea imprescindible por sí misma y como punto de partida para la siguiente.

5.1 ANALISIS P-M

El análisis P-M es un modo de pensar diferente sobre los problemas y el contexto en el que ocurren. La letra P se refiere a fenómeno (phenomenom) y la letra M hace referencia a mecanismo (mechanism) y a las 4Ms de manufactura (mano de obra, máquina, materiales y método).

El análisis P-M analiza físicamente las pérdidas crónicas de acuerdo a los principios inherentes y a las leyes naturales que las gobiernan. El principio básico del análisis P-M es comprender en primer lugar en términos físicos precisos lo que sucede cuando una máquina produce piezas o materiales defectuosos o cuando se avería y como ocurre esto, solo haciendo lo anterior se pueden identificar y tratar todas las causas y eliminar las pérdidas crónicas. Los equipos de mejora usan el análisis P-M como se ilustra en la siguiente secuencia:

Figura 27. Secuencia del análisis P-M

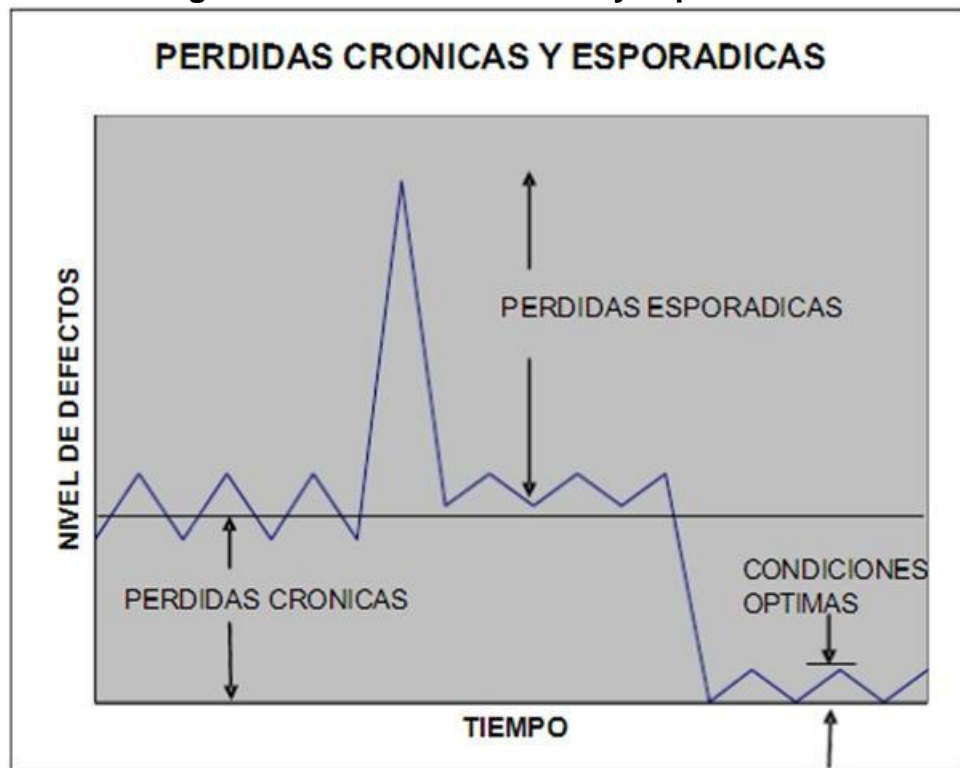


Fuente.FLOREZ DOMINGUEZ, Bardo Eugenio. Tesis Análisis P-M Metodología para reducir Paros de Maquina y Perdidas Crónicas.Instituto Tecnológico de Chihuahua. Chihuahua, 2008.p.37.

5.1.1 Pérdidas esporádicas. Son desviaciones súbitas, a menudo importantes con respecto a la norma, regularmente son el resultado de una sola causa que es relativamente fácil de identificar.

5.1.2 Pérdidas crónicas. Son el producto de relaciones causa-efecto complejas. Puede ser difícil encontrar sus causas, porque generalmente las pérdidas crónicas no tienen solo una causa, de modo que se torna complejo identificar sus causas y clarificar sus efectos, esto hace también difícil diseñar medidas efectivas. Estas pérdidas indican desviaciones más pequeñas y frecuentes que las pérdidas esporádicas que gradualmente llegan a aceptarse como normales.

Figura 28. Pérdidas crónicas y esporádicas



Fuente.NAKAJIMA, Seiichi; Introducción al TPM. ProductivityPress. 1993.

En casi todos los casos, las medidas correctoras pueden aportar una mejora temporal, pero la situación empeora de nuevo con el tiempo. La eliminación total de tales pérdidas se torna en un gran desafío, uno que los enfoques convencionales nunca pueden superar, razón por lo cual se necesitan nuevas herramientas conceptuales.

Para lograr una reducción de defectos son esenciales los siguientes cinco conceptos:

- Considerar todos los defectos causales
- Investigar profundamente todos los defectos causales y la existencia de anomalías.
- Corregir todas las anomalías
- Corregir las anomalías simultáneamente
- Repetir el proceso si los resultados son insatisfactorios

De igual manera para conseguir los mejores resultados se deben considerar las siguientes directrices:

- El equipo de análisis P-M debe incluir por lo menos cuatro miembros: preferiblemente un operario, un supervisor, un técnico de mantenimiento y un ingeniero de mantenimiento, este equipo lo define cada organización.
- Dar importancia a los dibujos de las máquinas o croquis del sistema o equipo.
- Realizar una lista de todos los factores causales, sin importar la magnitud o impacto aparente
- Si los valores estándar para un factor causal no están definidos, se deben usar valores provisionales y establecer los estándares definitivos después de revisar los resultados

- Agrupar las anomalías que se hayan identificado y corregirlas en conjunto
- Restaurar a fondo las condiciones originales, libres de defectos.
- Preguntarse continuamente ¿Por qué? Sobre cada anomalía y encontrar causas potenciales entre todas las 4Ms, incluyendo la conducta humana.
- Cuando los resultados de un análisis P-M no sean buenos, puede que se hayan omitido algunos factores o los valores estándar son poco exigentes, de todas formas se hace necesario aplicar el análisis P-M nuevamente.
- Incluir factores variables o semi-variables en la lista de chequeo del mantenimiento preventivo para asegurar una correcta gestión de las condiciones.
- Comprobar el proceso para confirmar que las decisiones se han llevado a cabo como se había previsto.
- El análisis P-M es una manera de pensar sobre las cosas, todas las personas de la empresa desde los técnicos hasta los directivos deberán conocerlo más a fondo.

5.1.3 Pasos de la metodología P-M. La metodología P-M se basa en ocho pasos los cuales son los siguientes:

1. Clarificar el fenómeno
2. Realizar un análisis físico
3. Definir las condiciones constitutivas del fenómeno
4. Estudiar las 4MS para encontrar factores causales
5. Establecer las condiciones óptimas
6. Investigar los factores causales de anomalías
7. Determinar las anomalías a tratar
8. Proponer y hacer mejoras

5.1.3.1 Paso 1. Clarificar el fenómeno. Significa utilizar las habilidades de observación para apreciar los hechos que permitan emitir conceptos correctos, para lograr esto se debe observar el fenómeno en vivo en la planta.

Se deben establecer metas de cero ocurrencias del defecto crónico que se está analizando. La definición del fenómeno consiste en entenderlo acertadamente y clasificarlo por tipo o patrón enfocado en lo que consiste, es vital para este proceso:

- Eliminar las nociones preconcebidas
- Clasificar y estratificar los fenómenos en detalle aplicando 5W+1H
- Realizar una comparación de lo normal con lo anormal para establecer todas las diferencias significativas

Como se menciona anteriormente para clasificar los resultados de la observación se utiliza el sistema de preguntas 5W + 1H veamos en que consiste:

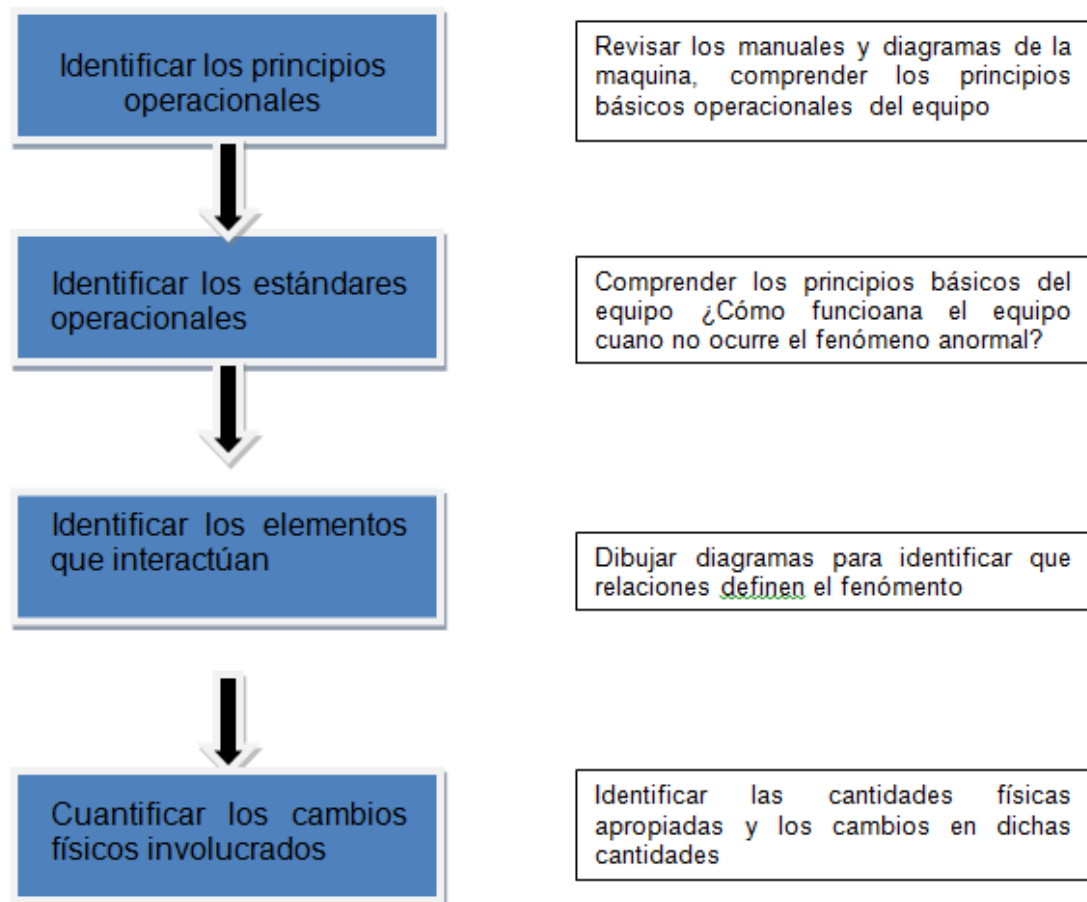
Cuadro 7. Preguntas 5W + 1 H

| | |
|----------------|---|
| Quién? (Who) | ¿Hay alguna variación entre las diferentes personas involucradas en el proceso? ¿Depende de la habilidad de la persona? |
| Qué? (What) | ¿Hay diferencias entre las materias primas de producción? ¿En qué producto se observó el problema? |
| Dónde? (Where) | ¿Hay variaciones debidas a equipos o componentes? ¿En dónde se evidenció el problema? |
| Cuando? (When) | ¿Cuándo se observa el problema? ¿Hay alguna variación relacionada con el tiempo o periodo? |
| Cuál? (Which) | ¿Cuál es la tendencia o patrón que tiene el problema? ¿Hay tendencias asociadas al paso del tiempo? |
| Cómo? (How) | ¿Hay variaciones en las circunstancias de la ocurrencia del problema? ¿Con que frecuencia ocurre? |

Fuente.FLOREZ DOMINGUEZ, Bardo Eugenio. Tesis Análisis P-M Metodología para reducir Paros de Maquina y Perdidas Crónicas.Instituto Tecnológico de Chihuahua. Chihuahua, 2008. p. 47

5.1.3.2 Paso 2. Realizar análisis Físico. En este paso se explica apropiadamente el fenómeno clasificado desde un punto de vista físico, sin evaluar los factores basados en la experiencia o en la intuición. Veamos los pasos a seguir para realizar el análisis físico del fenómeno:

Figura 29. Pasos para el análisis físico



Fuente. Autores

Cuando falla el análisis físico, hay que devolverse y revisar la estratificación del fenómeno para ver si fue correcta, posiblemente ha ocurrido que dos o más fenómenos se han vinculado en uno solo.

5.1.3.3 Paso 3. Identificar las condiciones constituyentes. Este paso consiste en revisar todas las condiciones que dan origen a la ocurrencia del fenómeno físico analizado en el paso anterior. Las condiciones constituyentes deben estar en una de las 4M de entradas de producción.

Cuadro 8. Condiciones constituyentes

| | |
|---------------------|--|
| Máquina | Cuando cualquier parte de la máquina funcione mal se deben buscar vínculos con el fenómeno anormal y las condiciones que producen dicho fenómeno |
| Método | Buscar vínculos con el fenómeno físico defectuoso cuando los estándares designados sean inadecuados o demasiado amplios. |
| Mano de obra | Buscar vínculos con el fenómeno anormal cuando el personal no cumplió los estándares. |
| Materiales | Buscar vínculos con el fenómeno anormal material o si piezas de procesos anteriores son de calidad deficiente |

Fuente.FLOREZ DOMINGUEZ, Bardo Eugenio. Tesis Análisis P-M Metodología para reducir Paros de Maquina y Perdidas Crónicas.Instituto Tecnológico de Chihuahua. Chihuahua, 2008.p. 55.

Al identificar las condiciones constituyentes se deberían seguir los siguientes pasos:

1. Identificar los mecanismos del equipo.
2. Entender cómo funcionan juntos los mecanismos.
3. Considerar la relación causa-efecto entre los mecanismos y el fenómeno anormal.
4. Identificar las condiciones constituyentes del equipo.
5. Identificar las condiciones constituyentes relacionadas con estándares y personas encargadas de cumplirlas.
6. Identificar las condiciones constituyentes relacionadas con la calidad del proceso anterior.

5.1.3.4 Paso 4. Estudiar las 4MS para encontrar factores causales. Identifique las relaciones causa-efecto entre las condiciones constituyentes y elementos específicos de las 4Ms, es decir, la condición constituyente es ahora el efecto y se revisan los elementos 4M para buscar las causas potenciales.

En este paso se concluye la fase inicial del análisis P-M, la cual comienza con el fenómeno y se avanza lógicamente hasta la identificación de todos los factores causales.

5.1.3.5 Paso 5. Establecer condiciones óptimas. Se inicia revisando los estándares y los criterios establecidos para controlar el proceso de producción, si no existen criterios convenientes para evaluar la precisión del equipo, se desarrollan y establecen otros criterios nuevos que reflejen los principios operacionales, la mecánica de la generación de defectos y disfunciones, la estructura y función del equipo y la calidad del producto.

5.1.3.6 Paso 6. Investigar anomalías. En este paso se hace lo siguiente:

1. Se determinan los modos adecuados y fiables para medir el desfase entre la condición de los factores causales identificados en los pasos 3 y 4 y sus valores óptimos confirmados en el paso 5.
2. Se establece el modo más eficiente de investigar físicamente todos los factores en la máquina.
3. Se miden los resultados y se comparan con los estándares óptimos para determinar qué factores contienen anomalías y son por consiguiente causas del fenómeno.

De ser necesario, se incorporará en la investigación a personas calificadas para que ayuden a seleccionar los métodos más apropiados y a realizar un tipo determinado de medición, todo esto para evitar errores. Para agilizar este paso, se puede medir el estado de todos los elementos listados como condiciones

constituyentes, revisar y medir las 4M primarias y secundarias solamente para las condiciones constituyentes cuyos valores medios sean diferentes a los valores estándar.

5.1.3.7 Paso 7. Determinar las anomalías a tratar. Una vez determinados los factores causales e investigado sus condiciones, se puede decidir cuáles desviaciones de condiciones se consideran anomalías y se tratarán. Las siguientes son útiles:

1. Investigar profundamente todos los factores
2. Comparar las condiciones anormales con los estándares corrientes o provisionales
3. Pensar en términos de condiciones óptimas, no solo en condiciones necesarias.
4. Clasificar como anormal cualquier hecho en el límite entre lo normal y anormal.
5. Asegurarse que se incluyen los factores causales asociados con cada condición clasificada como anormal.

5.1.3.8 Paso 8. Proponer y hacer mejoras. En este paso los equipos proponen y realizan todas las mejoras y correcciones requeridas para cada anomalía, planificando y ejecutando medidas preventivas apropiadas. Se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Recomendar que la restauración se realiza antes del reemplazo o modificación del diseño.
2. Luego de realizar la restauración, se deben planear mejoras que mejoren problemas estructurales del equipo, actualicen tecnologías obsoletas y eviten repeticiones.
3. Confirmar la precisión de los resultados, para tal efecto, deben surgir las siguientes preguntas: ¿se ha dejado por fuera algún factor? ¿son correctos los valores estándar?

4. Estandarizar las mejoras y establecer medidas preventivas para evitar repetición de los problemas.

5.2 ANALISIS DE CAUSA RAIZ – RCA

Este método utiliza la lógica sistemática para identificar las causas que originan las fallas, permitiendo identificar la mejor solución para corregir la(s) causa(s) identificada(s) y realizar su seguimiento.

Este método se basa en el árbol lógico de fallas, la deducción y verificación de los hechos para encontrar el origen real de una falla. Este método permite aprender de las fallas y eliminar sus causas, en lugar de corregir sus síntomas. Este proceso consume tiempo y recursos, por tal razón se deben clasificar cuales problemas requieren realizar este proceso de análisis, basados en las consecuencias que pueda generar la pérdida o falla realizándolo a aquellos problemas o pérdidas más graves, que involucren la integridad de las personas, las inversiones o infraestructura, el medio ambiente, la reputación de la empresa o la combinación de varias o de todas las anteriores.

El RCA en principio es un método reactivo de detección de problemas y su solución, porque se aplica después de que un evento ha ocurrido, pero al ganar experiencia el equipo se convierte en un método proactivo porque es capaz de prever la posibilidad ocurrencia de un evento.

El equipo de trabajo es conformado por personas que deben tener conocimientos relacionados con los problemas a analizar y son dirigidos por un especialista quien debe tener entrenamiento específico en esta metodología. El resto del equipo lo conforma un grupo multifuncional que varía entre un problema y otro. El equipo de RCA debería estar conformado por:

- El especialista que dirige el proceso.

- Un operador familiarizado con el proceso operativo.
- Un técnico de mantenimiento en equipos mecánicos, eléctricos o de instrumentación.
- Un supervisor de planta.
- Un ingeniero de acuerdo al caso en estudio.

El especialista no debe estar a cargo del proceso en donde se esté realizando el análisis RCA, pero si debe estar familiarizado con el evento que se está analizando y debe ser experto en análisis de fallas.

5.2.1 Tipos de causa raíz. La causa raíz es el origen del cual procede el efecto o problema visible. Existen tres tipos de causa raíz: Física, Humana y Latente.

5.2.1.1 Causa raíz física. Es el origen tangible de la falla, cuando se halla una causa raíz física lo que se ha identificado es el componente que falló al responder a la pregunta ¿Por qué está fallando el sistema, subsistema o ítem mantenible?

5.2.1.2 Causa raíz humana. Es producto de errores humanos motivados por sus inapropiadas intervenciones. Nacen por la ausencia de decisiones acertadas, que pueden ser por convicción u omisión. Nunca utiliza nombres individuales o grupales cuando se especifica la causa.

5.2.1.2 Causa raíz latente. Son causas que existen pero no son evidentes, son aquellas debilidades no detectables relacionadas con la organización o con equipos defectuosos o por causa de información errada o incompleta o por falta de comunicación.

5.2.2 Metodología del RCA. Cuando se aplica esta metodología se debe entender de forma clara el funcionamiento del sistema y se deben conocer muy bien sus

componentes e interrelaciones, porque se hace necesario incluirlos en el estudio ya que cualquiera de estos puede generar una falla.

Para la aplicación de esta metodología se destacan seis fases:

1. Análisis del problema.
2. Consideración de todas las causas posibles de falla.
3. Análisis y validación de evidencias para identificar la causa raíz.
4. Consideración de todas las posibles soluciones a la causa raíz.
5. Selección de la mejor solución
6. Implementación de la solución y seguimiento.

5.2.2.1 Fase 1. Análisis del problema. En esta fase se obtiene de aquellas personas que estuvieron presentes en el incidente toda la información de las circunstancias que llevaron al mismo; así mismo se deben categorizar las fallas definiendo si son esporádicas o crónicas.

La primera etapa de esta fase consiste en identificar clara y rigurosamente el problema, lo cual algunas veces no es tan evidente, ayudará el tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Revisar la historia del incidente.
- Determinar que inicio cada problema.
- Agrupar los resultados dentro de problemas tipo o áreas de problemas.
- Priorizar los problemas de acuerdo a su impacto.
- Establecer el problema fijándose en como está funcionando y cuál sería el estándar de funcionamiento.
- Formarse un cuadro general de la situación.
- Identificar elementos cuyo estado y funcionamiento puedan producir los errores que presenta el equipo, observarlos y describir su estado.

La segunda etapa de esta fase, consiste en la caracterización del problema para lo cual se anexa un cuadro que puede servir a la vez como formulario que contiene los interrogantes que nos llevarán a realizar una acertada caracterización.

Cuadro 9. Interrogantes para caracterizar el problema

| No. | PREGUNTA A FORMULAR | COMENTARIO |
|-----|--|---|
| 1. | ¿Afecta o afectará a los objetivos estratégicos de la organización? | Si afecta a los objetivos estratégicos de la organización, es primordial que se resuelva. Indique cuáles objetivos afecta o afectará. Inicialmente se recolecta información, registros históricos de la organización sobre el problema a tratar y se analiza la información. Replantee la lista sobre priorización de problemas hecha en la definición del problema según la respuesta a esta pregunta. |
| 2. | ¿A quién afecta o afectará? | Indique a quién o quienes afecta o afectará el problema. Hablar con la gente de la organización y contarles el problema, dejar registro de lo que estas personas nos dicen sobre el grado de incidencia del problema detectado en su sitio de trabajo u operación, observar y concluir. |
| 3. | ¿Cuál es el problema específico? | Después de localizar a que personal de la organización afecta el problema detectado, pregúnteles cual es el problema en su sitio de trabajo u operación. El equipo RCA debe observar cual es el problema, comparar respuestas y concluir. |
| 4. | ¿Cuándo ocurre u ocurrirá? | Pregunte al personal involucrado en qué momento ocurre u ocurrirá el problema, tome registro de esta respuesta. Después el equipo RCA debe observar en qué momento ocurre, comparar sus respuestas con las del personal involucrado y concluir en qué momento se presenta el problema. |
| 5. | ¿Dónde ocurre u ocurrirá? | Indique donde ocurre u ocurrirá el problema. Se encuesta al personal involucrado y se les pregunta: ¿Dónde ellos operan se presenta la causa del problema?, o ¿Dónde están es un efecto?, ¿Dónde ocurre el problema?, ¿De dónde viene la falla? Se toma registro de lo que responden, se observa, se da una conclusión a la pregunta y se define de donde viene la falla. |
| 6. | ¿Con qué frecuencia ocurre u ocurrirá? | Preguntar que tantas veces aparece el problema, concluir si este es esporádico o crónico e identificar su frecuencia de aparición para localizar qué efectos tienen más ocurrencia para atacarlos. |
| 7. | ¿Cuál es o será la magnitud del impacto del problema? | Indique cual es o será la magnitud del impacto del problema. |
| 8. | ¿La solución del problema está dentro del alcance de influencia y capacidad del grupo? | Indique si la solución del problema está dentro del alcance de influencia del grupo de trabajo, si la respuesta es sí continúe con el análisis, pero si la respuesta es no entonces redefina el grupo de trabajo y vincule el personal necesario (a juicio del grupo RCA) y continúe con el análisis. |

5.2.2.2 Fase 2. Consideración de todas las causas posibles de la falla. Para considerar todas las causas posibles se siguen las siguientes estrategias:

La Metodología de las 5P. Es un medio de ayudar a recolectar los datos necesarios para aplicar un RCA.

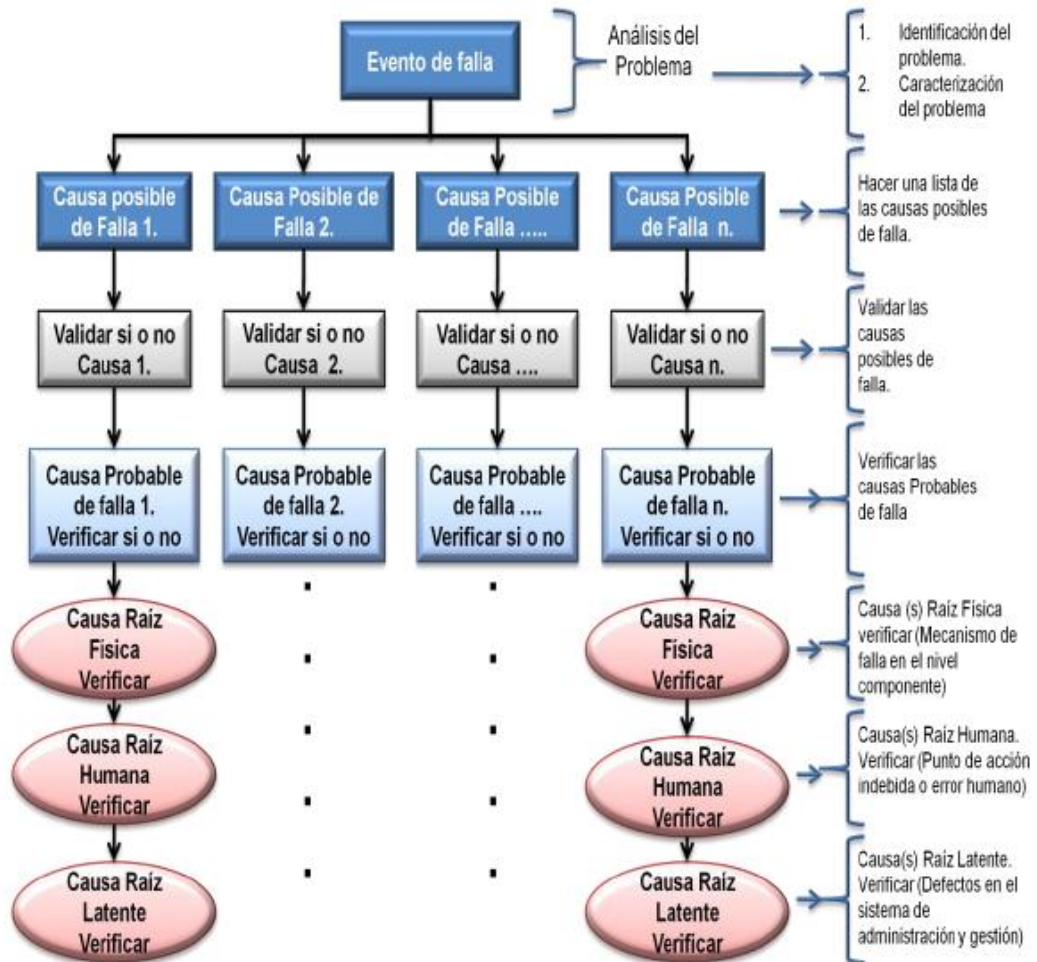
- Partes: Equipo o componente que falló.
- Posición: Ubicación física del equipo o componente que falló.
- Personal: Entrevistas al personal involucrado en la falla, incluye mantenimiento, operaciones, administración, calidad, etc.
- Papel: Historial de fallas, los reportes escritos relacionados con la falla, reportes de mtto, etc.
- Paradigmas: Frases comunes del personal de operaciones para evitar o desviar investigaciones o desarrollar alguna actividad de mejora.

El análisis de los modos de falla o causas posibles del evento de falla. Con esta estrategia se busca determinar todas las causas posibles del problema, para lo cual se pueden realizar las siguientes preguntas:

- ¿Por qué sucedió esto?
- ¿Qué pudo haber causado que esto sucediera?

5.2.2.3 Fase 3. Análisis y validación de evidencias para identificar la causa raíz. Para identificar las causas raíces se ejecuta el árbol lógico de fallas, como lo muestra la figura 30.

Figura 30. Árbol Lógico de Fallas



Fuente.MONCADA DELGADO, Davian; ARENAS RODRIGUEZ, Edder; QUIÑONES VELASQUEZ, Jeder; SARMIENTO GONZALEZ, Juan Alexander. Seminario de Investigación en Metodologías de Análisis de Fallas. Universidad Industrial de Santander. 2009. p 166

Los pasos para desarrollar un árbol lógico de fallas en la aplicación de un RCA son:

1. Describir el evento de la falla, el cual consiste en la declaración del evento, la razón por la cual se está analizando el problema.
2. Describir los modos o causas posibles de falla: Se incluyen los modos potenciales y los que históricamente han ocurrido.
3. Validar si la causa es posible.

4. Se genera una lista con las causas posibles de fallas que cumplen con la información del problema y se proceden a verificar.
5. Determinar y verificar la causa raíz física.
6. Determinar y verificar la causa raíz humana.
7. Determinar y verificar la causa raíz latente.

5.2.2.4 Fase 4. Consideración de todas las posibles soluciones a la causa raíz. Se generan varias soluciones al problema con el fin de garantizar que se está analizando ampliamente la solución al problema que se está analizando, para lo cual se hace un planteamiento de la solución que debe estar enfocado en la causa del problema y debe contener el sujeto o el objeto, la acción y el resultado deseado.

Se debe efectuar también una selección de criterios para definir los factores específicos que deben ser satisfechos por la solución teniendo en cuenta los requerimientos mínimos a cumplir y los deseables. Para considerar las posibles soluciones a la causa raíz deben plantearse las siguientes preguntas: ¿Qué se busca alcanzar con la solución? ¿Qué debe evitar la solución? ¿Qué debe mantener la solución? ¿Qué se lograría alcanzar con una solución ideal? ¿Qué evitaría una solución ideal? ¿Qué mantendría una solución ideal?.

5.2.2.5 Fase5. Selección de la mejor solución. Este proceso involucra definir que es lo que se quiere alcanzar, especificar los mínimos requisitos de la solución, evaluar y comparar los resultados y entender los riesgos y beneficios que implica cada solución. Unas recomendaciones que facilitarán tomar una decisión son:

- Comparar los beneficios de cada alternativa con los criterios de selección, se desecharán las alternativas que no cumplan con los requisitos mínimos.
- Tomar dos o tres alternativas con la mayor calificación y mediante una matriz de riesgo evaluar el riesgo asociado con la implementación.

- Usar la calificación y la matriz de riesgo para seleccionar la alternativa mejor balanceada.

Una vez tomada la decisión se deben comunicar los resultados documentándolos y las recomendaciones asociadas, la realización de un informe formal ayudará a obtener el compromiso de la gerencia para resolver las fallas centrándose en la causa raíz determinadas en la investigación. Debe hacerse una comparación entre los costos de la implementación de las soluciones con los costos de las fallas. Para lograr el apoyo masivo de la organización hacia el proceso RCA, es necesario que participe tanta gente como sea posible y que sean reconocidas sus contribuciones.

5.2.2.6 Fase 6. Implementación de la solución y seguimiento. Analizar la implantación y hacer seguimiento hacen parte de la responsabilidad que tiene el facilitador del sistema. Una implementación disciplinada, documentada y una evaluación de las soluciones recomendadas son la base de un proceso de aprendizaje continuo y de mejoramiento. El seguimiento de la solución permite controlar su avance en la implementación y evaluar su efectividad.

5.3 METODO CAPD

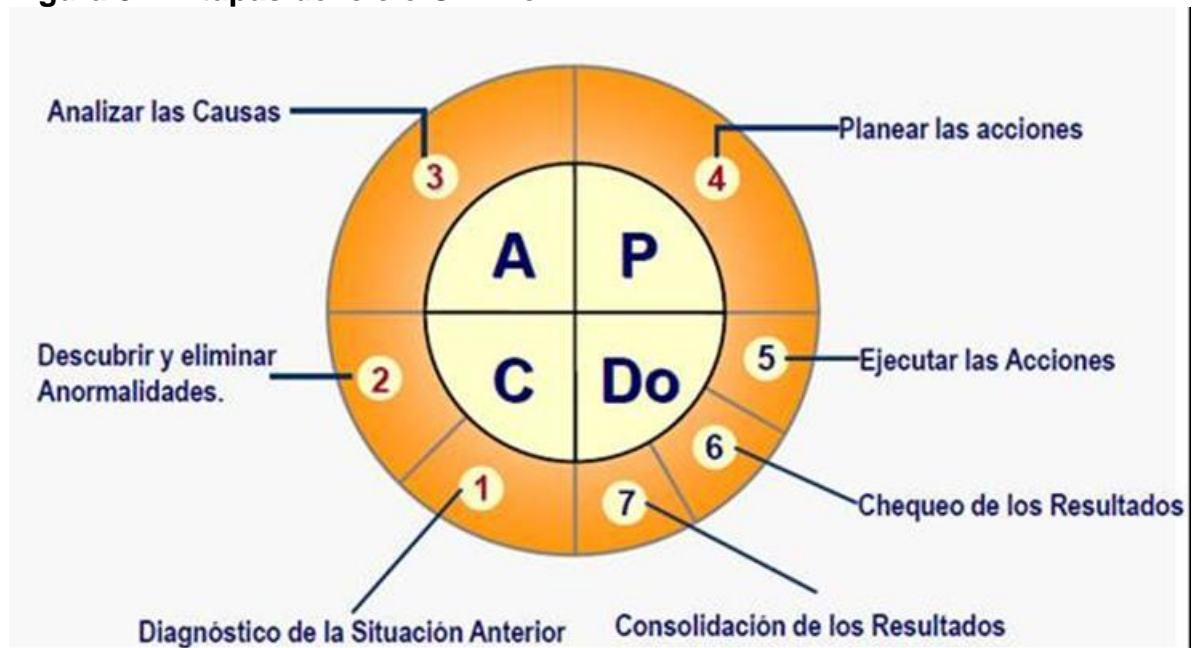
Años atrás Edward Deming propuso un ciclo de mejora continua también conocido como ciclo PHVA que se basa en la aplicación de cuatro pasos:

- Planear (Plan)
- Hacer (Do)
- Verificar (Check)
- Actuar (Act)

El TPM ha utilizado también desde tiempo atrás una versión modificada del Ciclo Deming, para aplicarla en su objetivo de mejora continua y eliminación de

pérdidas. La modificación que se ha realizado al ciclo PHVA consiste en empezar por la Verificación en vez establecer el inicio por la fase de Planificación, esto supone que no se está diseñando sino que se busca la mejora, corregir y optimizar un proceso que ya está en marcha, el ciclo modificado se denomina comúnmente CAPDo y consiste en aplicar la siguiente secuencia de trabajo:

Figura 31. Etapas del ciclo CAPDo



Fuente. Aguilar, Mauricio. Memorias Materia TPM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bogotá 2014. UIS. Escuela de Ingeniería Mecánica. Diapositiva 211.

5.3.1 Verificar o “Chequear”. En esta etapa se reúnen los datos relativos al problema, para conocer el estado de la situación actual y tener una idea clara del desvío o “gap” con relación a la condición ideal o planificada. No se trata de extraer conclusiones adecuadas sino de relevar los datos asociados al problema.

El objetivo principal de esta primera etapa es clarificar el fenómeno, el cual es definido como la combinación de hechos que llevan a la ocurrencia de un problema. Para identificar el fenómeno se deben observar los hechos con los propios ojos, no se debe suponer nada.

El fenómeno se define con la frase compuesta formada por las respuestas del análisis 5W+1H. Suponiendo un problema en el sistema de frenado de una bicicleta, veamos como se construye una definición del fenómeno para este caso:

Cuadro 10. Ejemplo de definición de fenómeno

| | |
|----------|--|
| ¿Qué? | La bicicleta no frena bien |
| ¿Cuándo? | Cuando se accionan los frenos delanteros. |
| ¿Dónde? | En el mecanismo de la rueda delantera. |
| ¿Quién? | No depende de la habilidad de la persona |
| ¿Cuál? | Especialmente en pendientes y alta velocidad |
| ¿Cómo? | La bicicleta disminuye de velocidad muy lentamente |

“La bicicleta no frena bien pues disminuye muy lentamente la velocidad cuando se acciona el mecanismo de la rueda delantera especialmente en pendientes y a alta velocidad y no depende de la habilidad de la persona”

Fuente. Aguilar, Mauricio. Memorias Materia TPM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bogota 2014. UIS. Escuela de Ingeniería Mecánica. Diapositiva 220.

5.3.2 Analizar. El objetivo de este paso es analizar el fenómeno para encontrar las causas raíz que originaron la ocurrencia del problema. Una vez se dispone de la mayor cantidad de datos posibles, se puede proceder a su análisis, por eso se deben entender las razones del desvío es decir porque ocurrió el problema. No se trata de quedarse en el síntoma, se debe averiguar que fue lo que lo produjo. Algunas de las técnicas que se pueden utilizar para encontrar las causas raíz son el diagrama causa-efecto (espina de pescado) o el porqueporque.

5.3.2.1 Diagrama causa-efecto. Es conocido también como el diagrama de espina de pescado por la forma que tiene o bien con el nombre de Ishikawa por su creador, quien lo creó con la intención de obtener un gráfico de fácil interpretación que expusiera las relaciones entre un efecto y las causas que lo producen de

manera que se pudieran visualizar todas las causas que contribuyen a un efecto hasta el nivel que se desee, aunque en la mayoría de los casos la intención es llegar hasta las causas raíz.

Con el objetivo de realizar acertadamente un diagrama Causa-efecto, a continuación se indican los pasos a seguir:

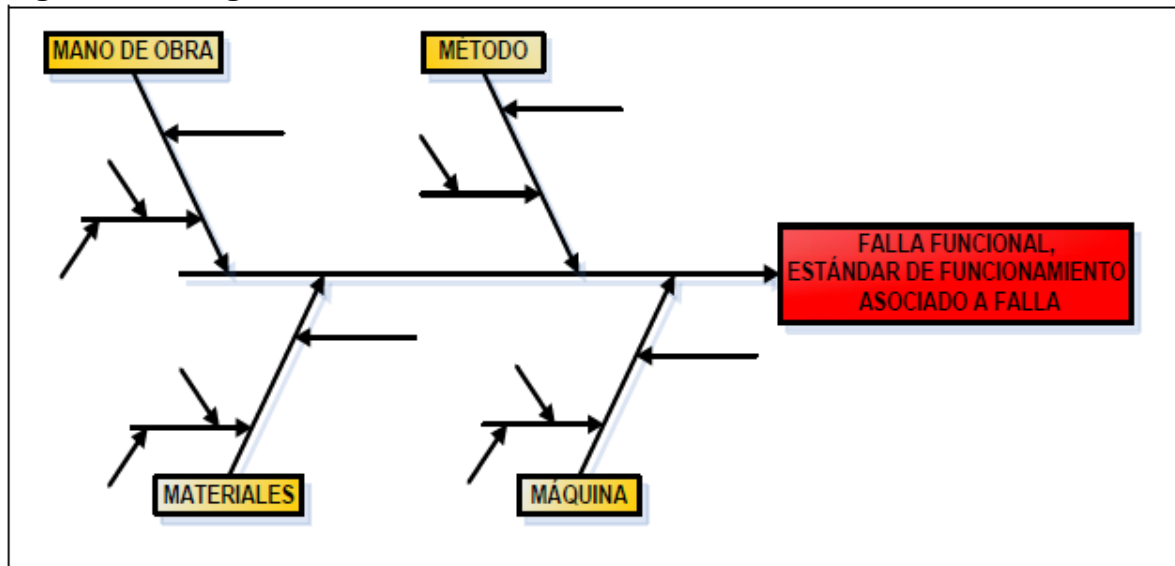
1. Definir claramente el efecto cuyas causas van a identificarse y ponerlo por escrito.
2. Dibujar una flecha horizontal larga y colocar en la punta el efecto definido en el paso anterior.
3. Identificar las categorías que consideremos apropiadas para el problema, se pueden tomar como base las cuatro principales (4Ms) y de ahí partir para la creación de nuevas categorías.
4. Mediante una lluvia de ideas, escribir también los factores secundarios, terciarios, etc.
5. Como ayuda para determinar las posibles causas, se pueden responder las preguntas ¿Quién? ¿Qué? ¿Dónde? ¿Cuándo? ¿Cómo? ¿Cuánto?
6. Analizar y seleccionar las causas reales.
7. Probar la validez de la secuencia causal, es decir, empezar desde la causa raíz y seguir el razonamiento hasta el efecto investigado y comprobar que tiene sentido lógico.

Se puede apreciar en la figura 32 la representación de un diagrama causa efecto. Una de las fallas más comunes en el desarrollo de este diagrama es tomar como reales las causas que aparecen, sin contrastarlas con información del problema que se está analizando.

El diagrama causa-efecto es una herramienta útil para el análisis de causas, pero no sustituye a la comprobación de las mismas con datos reales, es por esto que

se recomienda no comenzar la construcción de este diagrama hasta no haber analizado datos reales del problema

Figura 32. Diagrama Causa-Efecto



Fuente. MONCADA DELGADO, Davian; ARENAS RODRIGUEZ, Edder; QUIÑONES VELASQUEZ, Jeder; SARMIENTO GONZALEZ, Juan Alexander. Seminario de Investigación en Metodologías de Análisis de Fallas. Universidad Industrial de Santander. 2009. p 242.

Algunas de las ventajas que nos brinda la aplicación de este método son:

1. Al utilizar un enfoque estructurado, permite que el grupo se concentre en el contenido del problema, no en la historia, ni en los distintos intereses personales de los integrantes del grupo.
2. Estimula la participación de los miembros del grupo de trabajo, permitiendo así aprovechar mejor el conocimiento que cada uno de ellos tiene sobre el proceso.
3. Incrementa el grado de conocimiento sobre el proceso.
4. Es útil para aplicarse en problemas reales o potenciales, y para identificar oportunidades de mejora.

5.3.2.2 Método ¿Porqué? ¿Porqué?. Esta técnica es conocida con nombres como "Know-why", "conocer-porque", "porqué, porqué, porqué" o "cinco porqué".

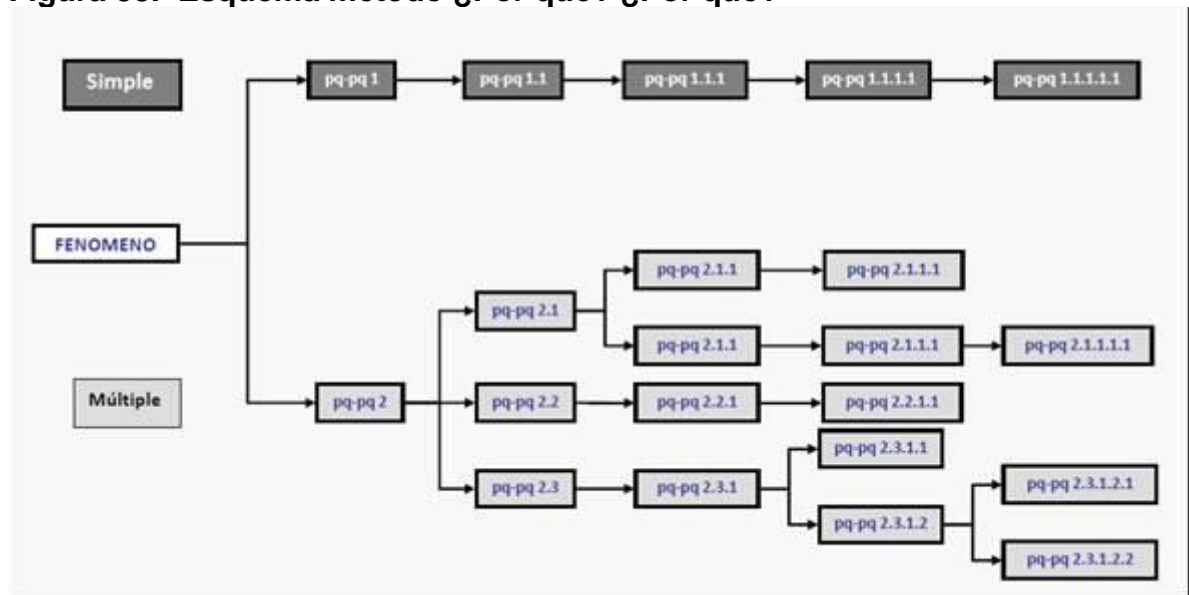
Es una técnica sistemática de preguntas utilizada durante la etapa de análisis de problemas para encontrar las causas posibles de un problema.

Es útil cuando se tienen problemas crónicos, que generan paradas cortas pero frecuentes en una línea de producción, también cuando existen muchas causas que hacen que el problema se torne confuso, en casos de alto deterioro de los equipos y se puede utilizar como herramienta para encontrar causas en otras metodologías para el análisis de fallas como RCA, P-M, Causa – Efecto y CAPDo.

Los pasos para su utilización son:

1. Se enuncia el problema de forma clara y objetiva.
2. Este paso consiste en encontrar las relaciones causa-efecto del problema, lo cual se realiza respondiendo a la pregunta ¿Por qué?, el primer ¿Por qué? Se relaciona con el problema que se quiere resolver, cada respuesta se valida entre el grupo de trabajo, ya sea por inspección, medición, observación directa, pruebas o preguntando a personas familiarizadas con el problema.
3. Continuar preguntando ¿Por qué? a cada una de las causas identificadas y validadas anteriormente, al preguntar el ¿Por qué? se convierte la causa en efecto y las respuestas son sus causas, se continúa así hasta encontrar la causa raíz del problema, se puede desarrollar un árbol lógico como el que se muestra en la figura 33. Este ejercicio reta a los miembros del equipo a buscar a fondo y no conformarse con causas ya probadas y ciertas. Una vez sea difícil al equipo responder al ¿Por qué?, la causa probable ha sido identificada.
4. Existirán casos donde se podrá ir más allá de las cinco veces preguntando ¿Por qué? para encontrar las causas principales.
5. Durante el proceso tener mucho cuidado de no empezar a preguntar ¿quién?. Recordar que el equipo debe siempre estar interesado en el proceso y no en las personas involucradas
6. Se escriben las causas principales.

Figura 33. Esquema método ¿Por qué? ¿Por qué?



Fuente. Aguilar, Mauricio. Memorias Materia TPM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bogota 2014. UIS. Escuela de Ingeniería Mecánica. Diapositiva 233.

Se debe tener en cuenta que las causas raíces deben relacionarse con al menos un modo de falla:

- Restablecer condiciones básicas.
- Falta de condiciones de funcionamiento/operación.
- Deterioro forzado.
- Puntos débiles de diseño.
- Error humano/falta de capacitación.

5.3.3 Planificar. Encontrada la causa raíz, se debe planear la implantación de las soluciones con responsabilidades y plazos, para esto se debe:

- Elaborar un plan para implantar las acciones
- Establecer actividades que permitan describir los recursos necesarios para realizar la ejecución.
- Definir de forma específica las fechas a corto, mediano y largo plazo.

5.3.4 Hacer. En este paso se ponen en práctica las acciones planteadas, las cuales no son acciones inmediatas al estímulo que las generó, sino el resultado de reflexiones hechas por el grupo de los directamente involucrados y que tienen como objetivo solucionar definitivamente el problema.

Para ejecutar eficazmente este paso se debe hacer un seguimiento diario al avance de las acciones planteadas en relación a lo planeado, aclarar los motivos de cambios a todos los involucrados y comprobar la implantación de cada mejora.

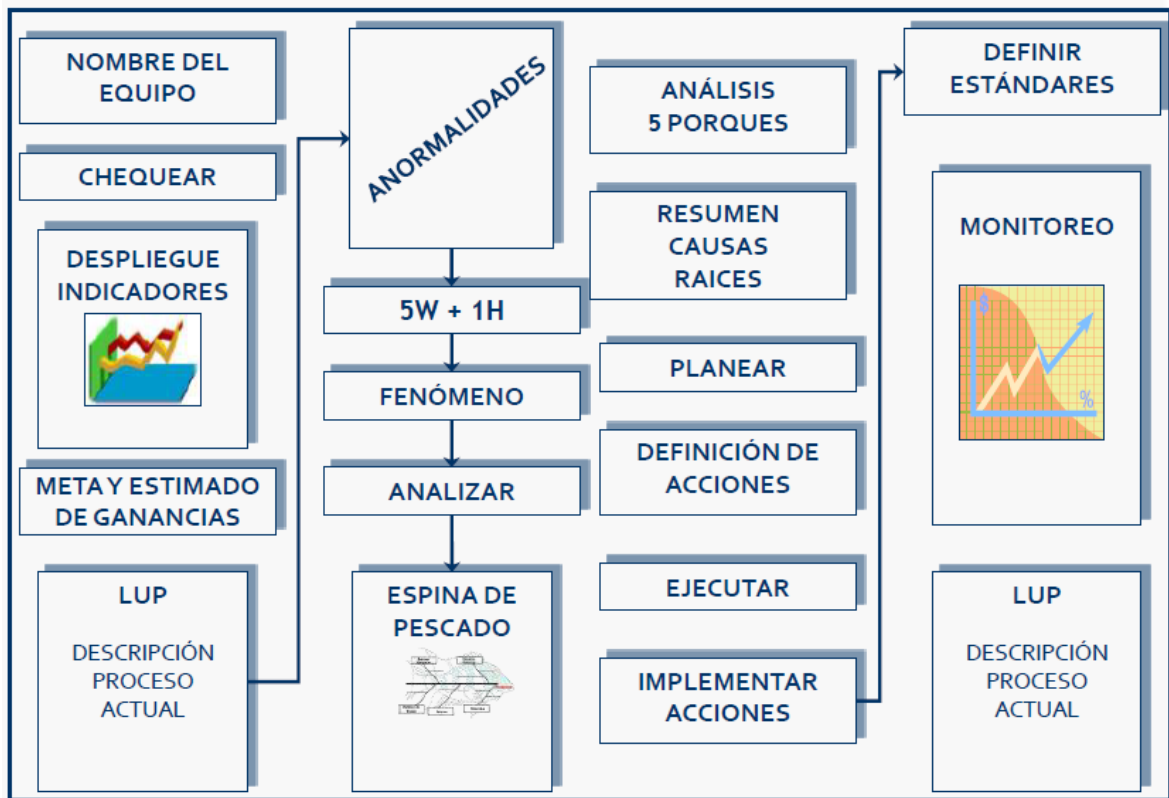
Finalmente en este paso se debe hacer una consolidación de los resultados a través de:

- Aplicar medidas para asegurar la efectividad de los resultados a medida que pasa el tiempo.
- Establecer estándares e incluir puntos clave en rutinas de inspección y chequeo.
- Hacer retroalimentación para que sea útil en próximos proyectos.
- Elaborar LUP (lección de un punto) para cada mejora implementada.
- Divulgar el proyecto a la compañía.

El ciclo CAPDo refuerza el concepto de iniciar el análisis partiendo de la realidad concreta que nos interesa mejorar (maquinaria, equipo de trabajo o la empresa misma), lo que los japoneses denominan GEMBA. Sólo de esta forma es posible crear acciones que respondan eficazmente y sean una verdadera solución.

El CAPDo se trabaja mediante tableros en donde se plasma el desarrollo de este método, tal como lo muestra la figura 34.

Figura 34. Tablero CAPDo



Fuente. Aguilar, Mauricio. Memorias Materia TPM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bogota 2014. UIS. Escuela de Ingeniería Mecánica. Diapositiva 252.

Para realizar un CAPDo acertadamente tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Escoger el CAPDo teniendo en cuenta que es una herramienta para resolver problemas de los cuales no se conoce su causa.
2. Seleccionar un líder que acompañe el proceso.
3. Seguir la metodología paso a paso.
4. Definir muy claramente el fenómeno.
5. Si las causas se detectan rápidamente, entonces esta son anomalías.
6. Analizar y confirmar los avances en la planta.
7. Utilizar el tablero como guía para las reuniones.
8. Involucrar las personas directamente relacionadas con el proceso a analizar.

9. Evaluar el avance a través de indicadores y metas.
10. Cerrar el CAPDo cuando se garantice que el problema no volverá a repetirse por medio de estándares y LUPS.

La mejor forma de capitalizar el esfuerzo es tomarse el tiempo para hacer un aprendizaje organizacional y mostrar a través de capacitaciones y entrenamiento en el lugar de trabajo las soluciones aplicadas y la situación del antes y después con el objetivo didáctico de expandir el conocimiento a través de la organización.

5.4 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y SU CRITICIDAD FMECA

Por sus siglas en inglés; Failure, Modes, Effects and Criticality Analysis, FMECA Análisis de Modos de Falla, Efectos y su Criticidad es una herramienta metódica avanzada para identificar y analizar todos los modos potenciales y reales de falla de las diferentes partes de un sistema, los efectos que estas fallas pueden tener sobre el sistema, y las acciones correctivas, preventivas, modificativas capaces de eliminar y/o controlar las consecuencias de éstas sobre el sistema³. Todo lo anterior como resultado de dos procesos principales: El FMEA o análisis cualitativo de modos y efectos de falla y el Análisis cualitativo o cuantitativo de Criticidad (CA).

El FMECA fue una de las primeras técnicas para análisis de fallas, desarrollada durante la segunda guerra mundial para evaluar la confiabilidad y para determinar el efecto de los modos de falla de equipos y sistemas durante la guerra. En la actualidad es la metodología más ampliamente utilizada para el análisis de confiabilidad en diferentes empresas tanto para procesos como para diseño, ya sea para la etapa conceptual de este o durante su desarrollo.

³MORA GUTIERREZ, Alberto; Mantenimiento Estratégico Para Empresas Industriales o de Servicios. 2007. AMG, Colombia

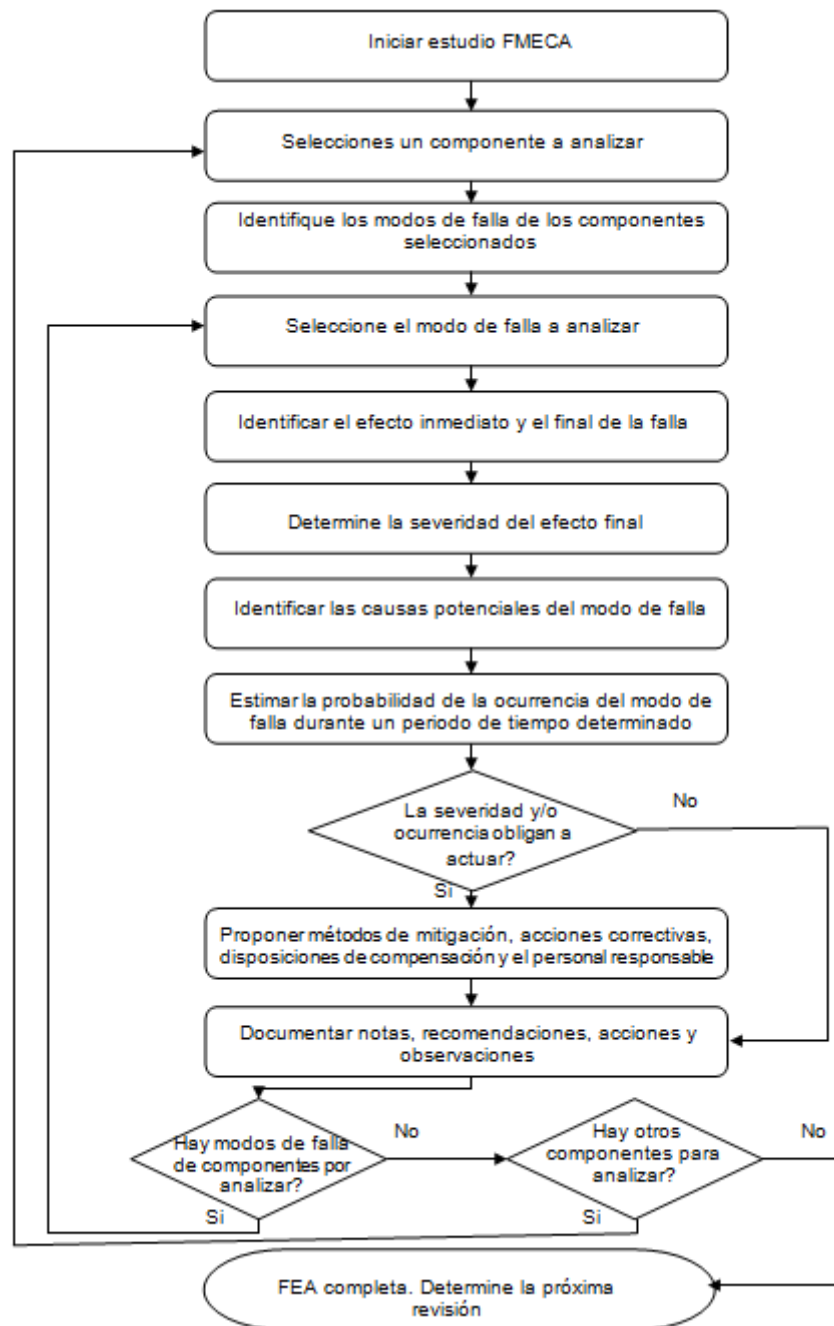
5.4.1 Objetivos de la técnica FMECA. Los objetivos que se busca al aplicar éste análisis son los siguientes:

- Identificar y evaluar todos los efectos no deseados dentro de los límites definidos del sistema analizado y la secuencia de acontecimientos provocados por cada modo de falla o pérdida identificada, cualquiera que sea la causa en los niveles de jerarquía del sistema.
- Determinar la importancia de cada modo de fallo con respecto al buen funcionamiento o el rendimiento y su impacto sobre la seguridad o confiabilidad del proceso.
- Una clasificación de los modos de fallo identificados de acuerdo con sus características incluida la facilidad de detección, la capacidad de diagnóstico, capacidad de ensayo, compensación y disposiciones para operación.
- Asegurar que no se malgaste el tiempo y esfuerzo tratando de buscar síntomas, en lugar de causas.
- Desarrollo del plan de mejora del diseño para la mitigación de los modos de fallo.

5.4.2 Procedimiento FMECA. Para realizar el análisis es necesario hacer un desglose de los elementos del sistema, posterior a ello un diagrama estructural del funcionamiento del mismo y de identificación de todos los datos necesarios para realizar el análisis FMECA.

También es muy importante tener claro el concepto de modo de falla, pues un equipo puede tener varios modos de falla o un modo de falla puede involucrar varios equipos. En la figura 35 se ilustra el procedimiento de análisis FMECA.

Figura 35. Procedimiento de análisis FMECA



Fuente. CARREÑO FIGUEROA, Humberto; MERIÑO AMADOR, Dairo. Modelo para el mejoramiento del programa de mantenimiento preventivo basado en un análisis de criticidad de los modos de fallo y sus efectos FMECA del gasoducto Ballena-Barrancabermeja. Universidad Industrial de Santander. 2011. p 39.

5.4.2.1 Estructura del sistema. Es importante determinar el nivel de detalle que se utilizará para el análisis lo cual a su vez depende de los resultados deseados y de la disponibilidad de información de diseño. La selección del nivel del sistema apropiado es influenciado por la experiencia previa. Es necesario incluir los siguientes elementos en la información sobre la estructura del sistema:

- Elementos del sistema diferentes con sus características, desempeño, papel y funciones.
- Conexiones lógicas entre elementos.
- Nivel de redundancia y naturaleza de las redundancias.
- Posición e importancia del sistema dentro de la instalación completa.
- Entradas y salidas del sistema.
- Cambios en la estructura del sistema para modos de operación variables.

También se debería especificar el estado de las diferentes condiciones de operación del sistema, al igual que todos los cambios en la configuración o posición del sistema y sus componentes durante las diferentes fases de operación. Se deben definir el desempeño mínimo del sistema, niveles mínimos de seguridad y disponibilidad para que los criterios de éxito y/o fallo se puedan entender claramente.

Como ayuda para el análisis se pueden hacer representaciones simbólicas de la estructura y operación del sistema se acostumbra a hacer diagramas de bloques, los cuales deberían contener la siguiente información:

- Desglose del sistema en subsistemas principales, incluidas las relaciones funcionales.
- Todas las entradas y salidas marcadas apropiadamente y los números de identificación con los cuales se referencia cada subsistema.
- Todas las redundancias, trayectorias de señales alternativas y otros elementos que brinden protección contra fallos del sistema.

5.4.2.2 Determinación del modo de falla. Deberá llevarse a cabo la evaluación de todos los elementos cerca a los límites inferiores del sistema y de los objetivos del análisis, para identificar todos los modos de fallo potenciales, de esta forma es posible llevar a cabo una investigación para identificar todas las posibles causas de falla y sus efectos sobre la función del sistema y subsistemas.

5.4.2.3 Causas de falla. Las causas más probables de cada modo de falla potencial se deberían identificar y describir. La identificación y descripción de las causas de falla se deberían hacer con base en los efectos de las fallas y su severidad, entre más severos los efectos de los modos de falla, con mayor precisión se deberían identificar y describir las causas de las fallas y del mismo modo se prestará más atención en las acciones recomendadas.

Las causas de las fallas se pueden determinar del análisis de fallas en campo o por medio de fallos en las unidades de ensayo, si se aplica el método en la etapa de diseño de un nuevo producto, las causas de las fallas se pueden establecer con la participación de expertos.

5.4.2.4 Efectos de falla. El efecto de falla es la consecuencia de un modo de falla y puede ser causado por uno o más modos de falla, de uno o más componentes.

Para cada modo de fallo el analista debería determinar la forma en la que se detecta el fallo y el medio por el cual el usuario o el técnico de mantenimiento se entera de este.

En la etapa de diseño la detección con FMECA evalúa que tan probable, cómo y dónde se identificará la eficiencia del diseño ya sea mediante revisión, análisis, simulación, ensayos, etc., pero para un proceso la detección con FMECA considera qué tan posible y dónde puede ser identificada una deficiencia en el proceso y con que probabilidad.

En esta evaluación de los efectos de falla también deberían incluirse los siguientes puntos:

- Elementos redundantes que permiten la operación continua si alguno de los elementos falla.
- Medios de operación alternativos.
- Elementos de monitoreo o alarma.
- Cualquier otro medio que la falla permita la operación eficaz o límite.

5.4.2.5 Clasificación de severidad. La severidad es la evaluación de la consecuencia del efecto del modo de falla sobre la operación del componente. La clasificación de los efectos de severidad depende de la aplicación del FMECA y se determina teniendo en cuenta los siguientes factores:

- La naturaleza del sistema en relación con los posibles efectos producidos por el fallo sobre los usuarios o el ambiente.
- El desempeño funcional del sistema o proceso.
- Requisitos contractuales impuestos por el cliente.
- Requisitos de seguridad o ambientales que exija el gobierno o la industria.
- Requisitos implícitos en una garantía.

5.4.2.6 Frecuencia o probabilidad de aparición. Se debe determinar la frecuencia o la probabilidad de aparición de cada modo de fallo con el fin de evaluar el efecto o la criticidad de este. La probabilidad de que ocurran modos de fallo para el diseño se puede estimar con base en:

- Información sobre el ensayo de durabilidad de los componentes.
- Bases de datos disponibles que contengan los porcentajes de la falla.
- Datos de fallo en campo.
- Información de fallas para elementos similares o para la clase de componente en análisis.

5.4.2.7 Análisis de criticidad. El objetivo del análisis de criticidad es cuantificar la magnitud de cada efecto de falla, para ayudar a tomar decisiones, de manera que combinando la criticidad con la severidad se puede establecer la prioridad para tomar la acción que nos llevará a mitigar o a minimizar el efecto de determinadas fallas.

Un método para determinar cuantitativamente la criticidad es el número de prioridad de riesgo, el cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R=S \times P$$

En donde:

S es un numero adimensional que representa la severidad, es decir la estimación de que tanto los efectos de la falla afectan al sistema o usuario.

P es un numero adimensional que indica la probabilidad de ocurrencia del modo de fallo durante un periodo de tiempo predeterminado o establecido. Cuando es inferior a 0,2 puede ser sustituido por el número de criticidad que se utiliza en ciertos métodos cuantitativos.

En algunas aplicaciones de FMECA, también se utiliza un tercer factor el cual es el nivel de detección de fallas en el sistema (D), el cuál es un número adimensional que entra a formar parte del número de prioridad del riesgo.

$$RPN= S \times P \times D$$

D es una estimación de la facilidad de identificar y eliminar la falla antes de que se produzca o de afectar al cliente. Este número es inversamente proporcional a los números S y P porque cuanto mayor sea el numero D es menos probable la

detección; por consiguiente la menor probabilidad de detección producirá un mayor RPN.

Los modos de fallo se ordenan de acuerdo a su RPN siendo esta la manera más precisa de jerarquizar la fallas, si hay dos fallas con el mismo valor de RPN, se trabaja primero en el modo de falla que tenga el número de severidad mayor.

5.4.2.8 Rata del modo de falla y determinación del número de criticidad. La rata del modo de fallo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda_i = \lambda_j \times \alpha_i \times \beta_i$$

en donde:

λ_i Estima la tasa de fallo para un modo de fallo i considerado constante.

λ_j Representa la tasa de fallo del componente j.

α_i Es la razón del modo de fallo i, es la probabilidad de que el elemento tenga el modo de fallo i.

β_i Es la probabilidad condicional del efecto de la falla dado el modo de falla i.

Las falencias de este enfoque es el asumir la tasa de falla constante y que muchos de los factores son solo predicciones o solo suposiciones, esto sucede cuando los componentes del sistema no pueden tener una tasa de falla asociada, sólo la probabilidad calculada del fallo para la aplicación específica, su duración y los esfuerzos asociados tales como componentes y sistemas mecánicos.

En algunas aplicaciones se usa el número de criticidad del modo de fallo C_i en lugar de la tasa de fallo, este número establece una relación entre la frecuencia de fallo condicional y el tiempo de operación, lo que permite una evaluación más real de un riesgo de falla durante el período predeterminado de uso del producto.

$$C_i = \lambda_i \times t_j$$

$$C_i = \lambda_j \times \alpha_i \times \beta_i \times t_j$$

En donde

t_j indica el tiempo de operación del componente durante todo el tiempo predeterminado por el FMECA, para lo cual se evalúa el tiempo de la actividad.

El número de criticidad para el componente que tiene m modos de fallo sería:

$$C_i = \sum_{j=1}^m (\lambda_j \times \alpha_i \times \beta_i \times t_j)$$

Se puede observar que el número de criticidad no está relacionado con el término Criticidad, es un valor calculado para algunos tipos de FMECA para indicar que existe una relación de la consecuencia de un modo de falla y su probabilidad de ocurrencia, es decir en este caso el número de criticidad es una medida de riesgo, no una medida de la probabilidad de ocurrencia.

Para determinar la probabilidad de ocurrencia P_i , del modo de falla en un tiempo t_i , a partir de la criticidad calculada sería:

$$P_i = 1 - e^{-C_i}$$

En el caso de tasas de falla o frecuencias de falla variables, la probabilidad de su ocurrencia, se debe calcular en vez de la criticidad, que se basa en la suposición de una tasa de fallo constante.

5.4.2.9 Matriz de criticidad. La criticidad se puede evaluar en un matriz de criticidad, pero se debe tener en cuenta que debido a que no existe una definición estandarizada para la criticidad, la debe definir el analista y aceptarla la dirección del proyecto y es por esta razón que las definiciones varían entre diferentes sectores de aplicación.

Cuadro 11. Matriz de criticidad

| | | | | | |
|---|---|-------------|----|-----|-------------|
| Posibilidad- Probabilidad de ocurrencia | 5 | | | | Riesgo alto |
| | 4 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 1 | Riesgo bajo | | | |
| | | I | II | III | IV |
| | | Severidad | | | |

Fuente.ZARATE FRAGA, Marta. AnálisisRams. Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior. 2012. p. 39.

5.4.2.10 Evaluación de la aceptabilidad del riesgo. Cuando se requiere para el análisis una matriz de criticidad, esta se puede obtener a partir de las severidades asignadas y de las frecuencias de los sucesos. La aceptabilidad del riesgo se define de forma subjetiva y es tomada en base a criterios profesionales y financieros y varía en los diferentes tipos de industria. El cuadro siguiente presenta algunos ejemplos de clases de aceptabilidad del riesgo y una matriz de criticidad modificada.

Cuadro 12. Aceptabilidad del riesgo

| Frecuencia de ocurrencia del efecto de la falla | Niveles de severidad | | | |
|---|----------------------|----------------|-------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | Insignificante | Marginal | Crítica | Catastrófica |
| 5- Frecuente | Indeseable | Intolerable | Intolerable | Intolerable |
| 4- Probable | Tolerable | Indeseable | Intolerable | Intolerable |
| 3- Ocasional | Tolerable | Indeseable | Indeseable | Intolerable |
| 2- Remota | Insignificante | Tolerable | Indeseable | Indeseable |
| 1- Improbable | Insignificante | Insignificante | Tolerable | Tolerable |

Fuente.ZARATE FRAGA, Marta. AnálisisRams. Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior. 2012. p. 39.

5.4.2.10 Informe de análisis FMECA. El informe debería incluir un resumen y un registro detallado del análisis y los diagramas funcionales o de bloque, que definan

la estructura del sistema, así como una lista de los dibujos en que se basa el FMECA.

También se debería elaborar un listado que contenga los efectos de fallo en un sistema específico, el cual puede necesitarse para determinar la probabilidad de fallo del sistema.

5.5 COMPARACION ENTRE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE PÉRDIDAS

De los métodos de análisis de fallas investigados, se hará la comparación entre los métodos CAPDo, RCA y P-M, los cuales son los más utilizados para el análisis de pérdidas en los procesos de todo tipo de empresas industriales, el método FMECA aunque se aplica para analizar fallas en procesos de producción se ha empleado con mayor frecuencia para realizar el análisis en la fase de diseño de máquinas y productos para prevenir fallas durante su vida útil.

Como se ilustra en el siguiente cuadro, los tres métodos de análisis de fallas son métodos cualitativos, empleados para la solución de pérdidas crónicas en mantenimiento, siendo los análisis P-M y el CAPDo los que más se utilizan dentro del TPM.

Cuadro 13. Comparación de métodos de análisis de pérdidas

| | METODOS DE ANALISIS | | |
|--------------------------|---|--|--|
| | P-M | RCA | CAPDo |
| Tipo de análisis | Cualitativo | Cualitativo | Cualitativo |
| Usos | Se utiliza para la eliminación de pérdidas crónicas, es un método extenso, es usado en TPM. | De los tres es el método más difundido, es utilizado en pérdidas crónicas. | Se utiliza para la eliminación de pérdidas crónicas, es un método extenso, es usado en TPM. |
| Grupos de trabajo | Conformado por lo menos por cuatro miembros: *Un operario *Un supervisor *Un técnico de mantenimiento *Un ingeniero de fabricación | Equipo conformado por: *El especialista que dirige el proceso. *Un operador familiarizado con el proceso operativo. *Un técnico de mantenimiento en equipos mecánicos, eléctricos o de instrumentación. *Un supervisor de planta. *Un ingeniero de acuerdo al caso en estudio. | Conformado por: * Un especialista que conozca la metodología * Un líder que dirige el grupo. * Un especialista que conozca el proceso. * Un técnico de mantenimiento. *Un operador del proceso a analizar. |
| Pasos | Consta de ocho pasos: 1. Clarificar el fenómeno 2. Realizar un análisis físico 3. Definir las condiciones constitutivas del fenómeno 4. Estudiar las 4MS para encontrar factores causales 5. Establecer las condiciones óptimas 6. Investigar los factores causales de anomalías 7. Determinar las anomalías a tratar 8. Proponer y hacer mejoras | Consta de seis pasos: 1. Análisis del problema 2. Consideración de todas las causas posibles de falla 3. Análisis y validación de evidencias para identificar la causa raíz. 4. Consideración de todas las posibles soluciones a la causa raíz. 5. Selección de la mejor solución 6. Implementación de la solución y seguimiento | Consta de cuatro pasos: 1. Chequear (reunir datos y clarificar el fenómeno). 2. Analizar para encontrar la causa raíz. 3. Planificar la implantación de soluciones. 4. Hacer o realizar las soluciones planteadas. |

Fuente. Los autores.

En cuanto a la conformación de los grupos de trabajo, los tres métodos requieren grupos multidisciplinarios, en donde se involucren personas de mantenimiento, producción y que al menos haya un operador que tenga relación con el proceso al cual se le está desarrollando el análisis, pero en las metodologías RCA y CAPDo, sugieren que en los equipos también haya un especialista que conozca la metodología.

Los análisis P-M y CAPDo hacen especial referencia en comprender profundamente el fenómeno al iniciar la aplicación de las metodologías, proponen hacer diagramas y planos para ver la interrelación de sus componentes

y si se requiere, también analizar su entorno. Una vez entendido el fenómeno los métodos conducen a establecer sus causas y finalmente a plantear y ejecutar las soluciones; mientras que el análisis RCA, inicia haciendo un análisis de problema, basándose en la investigación de los hechos o consultando la historia del equipo o la falla, sin recurrir al uso de diagramas o bosquejos, los pasos siguientes son similares a los usados en los métodos P-M y CAPDo, descubriendo las causas raíz, lanzando las propuestas de ejecución y realizándolas.

Los tres métodos coinciden en que buscan encontrar las causas raíz de los problemas para eliminarlas y evitar su ocurrencia, en vez de simplemente tratar los síntomas evidentes de inmediato, pero son metodologías largas que demandan bastante tiempo y es por esta razón que deberían aplicarse a problemas crónicos o recurrentes.

6. MODELO DE ANÁLISIS ORIENTADO A LA DISMINUCIÓN DE LAS TRES GRANDES PÉRDIDAS DE MANTENIMIENTO

Teniendo en cuenta las organizaciones actuales en las que cada vez con más frecuencia la disponibilidad de recursos y tiempos están sujetos a ser evaluados y llevados a la optimización, se propone con base en la revisión previa de las metodologías más importantes y utilizadas en la detección, análisis y eliminación de problemas tanto administrativos como operativos; un modelo de análisis, orientado principalmente a disminuir las pérdidas detectadas que están asociadas directamente al mantenimiento, y más directamente, a las pérdidas que afectan los 3 equipos más críticos la línea piloto de la compañía, apoyado igualmente con el proceso de implementación de la metodología TPM en la empresa.

Este modelo se contruye principalmente buscando satisfacer 4 necesidades presentes en las plantas, que resultan de la limitación de tiempo o de la poca disponibilidad del recurso humano que se pueda presentar por las labores del día a día de las fabricas para llevar a cabo estudios o metodologías complejas.

- Facilidad en el desarrollo de la metodología
- Orden lógico por medio de un flujo establecido
- Herramientas efectivas para la detección y solución
- Parametros de seguimiento efectivo para evitar recurrencias

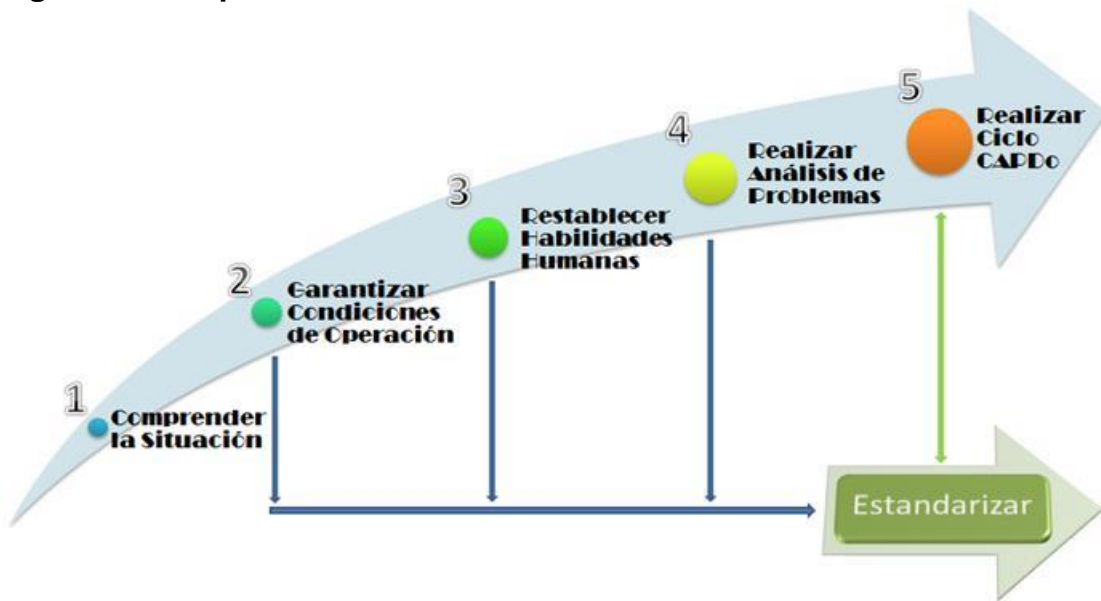
El modelo propuesto busca adicionalmente agilizar el proceso de detección de problemas, formulación de soluciones y seguimientos efectivos.

6.1 PASOS DEL MODELO PROPUESTO

Para el desarrollo del modelo y con el fin de dar un orden lógico al método de análisis, se establecen los siguientes pasos apoyados en las herramientas del

TPM, con los cuales se busca cumplir tres objetivos principales que buscan optimizar el proceso: 1. Determinar del problema o pérdida con la mayor precisión y acertividad posible; 2. Formular planes de acción más efectivos para la eliminación de dichos problemas; y 3. Facilitar el seguimiento de las acciones para garantizar la eliminación de recurrencias.

Figura 36. Esquema del modelo de análisis



Fuente. Autores.

Descripción del funcionamiento del modelo. El modelo establece su funcionamiento de acuerdo a la aplicación de 5 pasos, al final de los cuales se espera obtener la resolución definitiva del problema o pérdida analizada. Sin embargo, deja la posibilidad de encontrar dicha solución sin necesidad de realizar todo el proceso, es decir, de acuerdo al tipo de pérdida que se este analizando, se podrá lograr eliminarla inclusive desde el segundo paso del proceso, lo que resulta en una reducción en la inversión de tiempo y recursos humanos en análisis extensos que pueden solucionarse con mayor rapidez y con efectividad.

Adicionalmente, el modelo propone un paso transversal llamado “Estandarizar”, el cuál permite documentar las mejoras o soluciones encontradas para la eliminación de la pérdida, asegurando un correcto seguimiento de la efectividad de las mismas, y facilitando la retroalimentación al proceso para evitar la recurrencia de dichos problemas o prevenir que ocurran situaciones de la misma índole en procesos o máquinas similares.

Con el fin de entender la aplicación de este modelo, se describen los pasos de la siguiente manera:

6.1.1 Paso 1. Comprender la situación. En este paso básicamente se propone establecer con detalle toda la información necesaria que permita conocer el proceso, y de esta manera tener la tranquilidad de un análisis efectivo. Para ello se requieren establecer los siguientes:

Recursos a utilizar. Dentro de los recursos que se requieren para llevar a cabo el método de análisis, se requiere definir un equipo de trabajo interdisciplinario que permita cubrir el proceso con personas que conozcan todas las áreas involucradas. De la misma manera, es oportuno establecer un cronograma para definir tiempos y finalmente coordinar los lugares adecuados para llevar a cabo las reuniones.

Detallar la situación. El correcto análisis de las pérdidas o problemas depende principalmente de conocer exactamente los detalles de la situación que se está enfrentando, para esto, se definen:

- Principio de funcionamiento del proceso, sistema o máquina.
- Definir por qué es un problema o cuál es la pérdida que se va a analizar.
- Definir la pérdida, recolectar los datos históricos que permitan evidenciar la pérdida, así como las variables que intervienen.
- Definir la meta o condición ideal a la que se espera llegar con el análisis.

Espina de pescado. Con el fin de establecer los puntos que afectan el problema, se definen desde las 4 M's + 1 T los aspectos con referencia a la Maquina, Mano de Obra, Método, Material y Tiempo. Allí se establecen igualmente las variables que afectan sobre el problema.

6.1.2 Paso 2. Garantizar Condiciones de Operación. El objetivo de este paso es identificar y restablecer las condiciones básicas de operación que se han perdido en la *máquina*, en el *método* o en el *materia*l. Estas condiciones pueden haberse identificado al determinarse la espina de pescado. Así mismo, se requiere ir personalmente al lugar del proceso o equipo para revisar los componentes y variables relacionadas en el principio de funcionamiento revisado en el paso 1.

Si en dicha revisión, se evalúan condiciones básicas de Maquina, se deberán tener en cuenta los aspectos relacionados con:

- Limpieza: Estado de suciedad existente
- Inspección: Medir variables identificadas
- Lubricación: Verificar si hay exceso o falta
- Ajuste: Validar si hace falta ajuste en algún componente.

Poserior a esta revisión propuesta, se motiva a realizar reportes acerca de las anomalías detectadas, ya sean avisos o tarjetas rojas.

Seguimiento. Como resultado de la verificación de las condiciones de operación, y del reporte realizado, se establecen las acciones correctivas de acuerdo a los hallazgos. Posteriormente, se evalúa el comportamiento de la pérdida que se está analizando y se determina si ésta puede considerarse eliminada.

Estandarización. En el evento en que como consecuencia de la ejecución de las acciones definidas, se logre la eliminación de la pérdida, se recomienda revisar si es necesario estandarizar alguna actividad para asegurar que en futuro no se

repita el mismo problema. Siendo así, se cerraría en este paso el metodo de análisis y se continua con los seguimientos; de lo contrario se continua con el paso 3 del metodo propuesto.

6.1.3 Paso 3. Restablecer habilidades humanas. En la medida en la perdida analizada siga presente, y no se haya logrado eliminar en el paso anterior, se procede entonces a llevar a cabo la aplicación del paso 3. Este paso se relaciona directamente con el comporamiento o entrenamiento de las personas, y permite establecer si el problema se asocia a las habilidades o conocimientos del personal, ya sea de producción o de mantenimiento. Para esto, se lleva a cabo una evaluación y restauración de habilidades o comportamientos inexistentes u olvidados que permitan eliminar la perdida.

Con el objetivo de restablecer dichas habilidades o comportamientos, apoyados en la metodología TPM, se propone la utilización de las siguientes herramientas de apoyo:

- Realizar Lecciones de Un Punto (LUP's): Estas lecciones se elaboran directamente por el personal involucrado en el problema y se duplican a los demas miembros del equipo, permitiendo una adecuada transfrencia de habilidad centralizada en el punto exacto a tratar. Se recomienda cuando el tema se limita a un punto especifico de la maquina o proceso.
- Capacitaciones: En caso de evidenciarse una oportunidad mayor en el desarrollo de una habilidad o comportamiento, se propone realizar una capacitación o entrenaminento más estructurado, permitiendo abarcar la totalidad de los temas que involucren el problema o la perdida.
- Revisar procedimientos o estandares: Permite identificar falencias en los procedimientos, las cuales pueden llevar al personal a alimentar la perdida por falta de conocimiento. Su corrección oportuna y la duplicación de dichas mejoras, permitiran atacar el problema.

Seguimiento. Posterior a la aplicación de alguna o varias de las herramientas descritas, se propone realizar un seguimiento a la pérdida para validar su eliminación. Si se observa que el problema se ha solucionado, se da por terminado el proceso de análisis, en caso contrario, se continúa con el paso número 4.

Estandarización. De la misma manera que el paso anterior, se propone estandarizar los procedimientos o entrenamientos revisados o establecidos, con el fin de asegurar que en el futuro, esta pérdida no se vuelva a presentar por motivo de ausencia de conocimiento o falta de desarrollo de alguna habilidad sobre el personal.

6.1.4 Paso 4. Realizar análisis de problemas. Este paso se deberá llevar a cabo en caso de que la pérdida o problema no se haya podido eliminar en alguno de los pasos anteriores. Apoyado en la metodología TPM, y en vista de que el problema no se haya solucionado luego de restaurar las condiciones básicas del proceso o máquina, y de restablecer habilidades o conocimientos del personal, se procede a aplicar la herramienta llamada Análisis de Problema o Análisis de Pérdida como normalmente se conoce.

Con este análisis, se busca profundizar un poco más en las causas raíces del problema, y encontrar las soluciones más inmediatas para la eliminación del mismo. De esta manera, este paso se debe llevar a cabo de acuerdo a las siguientes etapas:

- Identificar el fenómeno del problema resolviendo las preguntas del 5W+1H.
What (Qué)? Qué hace evidente el problema que se observa.
Where (Dónde)? Se define el sitio físico donde se ve el efecto del problema.
When (Cuándo)? Instante en el que se observa el problema. Puede diferir del tiempo, describir la relación con otros eventos o hechos.

Which (Cuál)? Definir si existe una tendencia del problema o un patrón de comportamiento.

How (Cómo)? La diferencia entre el estado real y el ideal. Fenómeno físico que hace posible el problema.

Who (Quién)? Sin involucrar directamente personas, se define si depende o no de la intervención humana el hecho de que ocurra el problema.

Fenomeno: Es la respuesta final, resultado de combinar los hechos analizados con las preguntas anteriores y que lleven a la ocurrencia del problema. Generalmente se contruye utilizando los enunciados de las respuestas definidas a las preguntas anteriores.

- Realizar análisis de Por qué? – Porque!. Apoyandose en la espina de pescado establecida en los pasos anteriores del modelo de análisis propuesto, se deberá preguntar desde las 4M's el por qué la situación no corresponde al estado ideal, hasta encontrar las causas raices de la perdida o problema.
- Plantear acciones. En la medida en que se van encontrando las causas raices del problema, se formulan las acciones correctivas, preventivas o de mejoramiento que permitan la eliminación de la pérdida.

Seguimiento. En el proceso de la ejecución de las acciones establecidas de acuerdo al análisis realizado en este paso, se deberán plantear fechas de seguimiento para verificar la efectividad de dichas acciones, y asegurar que la perdida realmente esta siendo atacada o que fue definitivamente eliminada. En caso de que estos planes de acción hayan sido efectivos, se podrá dar por cerrado el proceso de análisis de acuerdo a la metodología propuesta. Si por el contrario, las acciones no tienen la efectividad esperada, deberá darse inicio al paso 5 de este proceso, en el cuál se profundizara aún mas en la perdida, y allí se considerará que es un problema de gran embergadura, que generalmente se relaciona con las llamadas *perdidas* crónica, las cuales para su eliminación, normalmente deberán tenerse análisis detallados y planes de acción

multidisciplinarios. Allí se involucrarán personas inclusive de la administración o dirección de la compañía, ya que pueden ser pérdidas de alto impacto para la organización.

Estandarización. De la misma manera que en los pasos anteriores, si se eliminó la pérdida al término del paso 4 de la metodología propuesta, se recomienda generar estándares que aseguren la no recurrencia. En este paso especialmente, la actualización de estándares existentes o la creación de nuevos, generalmente se proponen dentro de los planes de acción establecidos luego de analizar y encontrar las causas raíces, ya que se relacionan directamente con el Método al revisar la pérdida desde las 4 M's.

6.1.5 Paso 5. Realizar ciclo CAPDo. Como se estudio en el capítulo 5, el ciclo CAPDo, es una herramienta utilizada para buscar sistemáticamente la solución de las causas raíces que originan el problema. Se deberá invertir como máximo un periodo de tres meses para su desarrollo y consta de las siguientes etapas:

- C (Chequear) = Chequear e identificar el fenómeno con el 5W + 1H, establecer las inconveniencias y disposiciones de la pérdida. 18 días. 20% del ciclo.
- A (Analizar) = Realizar análisis de Causa-Efecto, Por qué? Porque!, Causa Raíz, relacionar las causas raíces con las 5 medidas para cero fallas (Restablecer condiciones básicas –LILA–, Restaurar el deterioro, Operación correcta, Puntos débiles de diseño, Entrenamiento). 22 días. 25% del ciclo.
- P (Planear) = Formulación del plan de acción. Cronograma de ejecución. 5 días. 5% del ciclo.
- Do (Ejecutar) = Ejecutar el plan de acción. 27 días. 30% del ciclo.
 - Realizar seguimiento a los resultados. 9 días. 10%
 - Consolidar los resultados y determinar efectividad del ciclo. 9 días. 10% del ciclo.

Para la realización de este ciclo CAPDo, se debe generar un tablero de gestión y seguimiento en el que se evidencie el equipo de trabajo, la visualización de la pérdida a analizar, el cronograma o plan de trabajo, los objetivos o metas del ciclo.

Igualmente se plasmaran los detalles de lo encontrado en la etapa de CHEQUEAR (Análisis del GAP, metas y objetivos, Principios de funcionamiento, mejoras rápidas, 5W+1H, Fenómeno). Para el ANALIZAR, se documenta el análisis realizado del Por qué? Porque!, causas raices, contramedidas, establecer las 5 medidas para cero fallas. Así mismo, en el PLANEAR se mostrará el cronograma de las acciones, con los responsables y fechas de seguimiento. Y finalmente, el EJECUTAR, en el cual se evidencian las contramedidas implementadas – Antes y Después –, el registro de las mejoras: seguimiento en el tiempo, el control visual establecido, el “chequear” de los resultados obtenidos (Monitoreo: comparación del GAP, impacto en la pérdida analizada y en los indicadores PQCDMS).

Seguimiento. Es importante tener presente realizar el seguimiento adecuado a las acciones tomadas y al problema definido, para garantizar que se lograron las metas esperadas y por ende la eliminación de la pérdida. De esta manera se puede dar por cerrado el metodo de análisis propuesto.

Estandarizar. En este paso la estandarización sigue siendo una característica importante en la eliminación de la recurrencia del problema. Posterior al ciclo CAPDo, normalmente se generan nuevos estandares o procedimientos que permitan lograr este objetivo.

6.2 PROPUESTA DE FORMATO DE SEGUIMIENTO DE LAS ETAPAS

Para facilitar la aplicación del modelo, se propone utilizar este formato, diseñado para documentar el desarrollo de las 3 primeras etapas, en las cuales se espera lograr eliminar la mayoría de las pérdidas. En caso de requerirse los 2 pasos

adicionales, se deja a libre conveniencia el uso de formatos o recursos para documentarlos.

Figura 37. Formato de seguimiento de la aplicación del modelo

| FORMATO DE SEGUIMIENTO | | | |
|---|---------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Fecha: | | Indicadores | |
| Tema: | | P <input type="checkbox"/> | Q <input type="checkbox"/> |
| Equipo de Trabajo: | | C <input type="checkbox"/> | S <input type="checkbox"/> |
| Equipo o proceso analizado: | | M <input type="checkbox"/> | D <input type="checkbox"/> |
| | | Amb <input type="checkbox"/> | |
| 1. COMPRENDER LA SITUACIÓN | | | |
| A. Cronograma | | | |
| B. Descripción del problema: (Qué, Cuándo, Donde, Cómo, Quien) | | | |
| C. Principio de Funcionamiento | | | |
| D. Recolección Datos Históricos | | | |
| E. Definición de Meta: | | | |
| E. Elaboración de espina de pescado | | | |
| Máquina | | Mano de Obra | |
| - | | - | |
| Método | | Material | |
| - | | - | |
| | | Tiempo: | |
| | | - | |
| 2. GARANTIZAR CONDICIONES DE OPERACIÓN | | | |
| Máquina | | | |
| Anormalidad | Acción | Responsable | Fecha |
| | | | |
| Método | | | |
| Anormalidad | Acción | Responsable | Fecha |
| | | | |
| Material | | | |
| Anormalidad | Acción | Responsable | Fecha |
| | | | |
| Nota: Si después de la elaboración de este paso no se ha encontrado la solución analizamos comportamiento y entrenamiento | | | |
| 3. RESTABLECER HABILIDADES HUMANAS | | | |
| Necesidades de formación detectadas | Método de formación | Responsable | Fecha Propuesta ejecución |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Nota: Si después de la elaboración de este paso no se ha encontrado la solución al problema, damos inicio al ADP | | | |
| 4. ADP | | | |
| Aplica <input type="checkbox"/> | | No aplica <input type="checkbox"/> | |
| Nota: Si después de la elaboración de este paso no se ha encontrado la solución al problema, damos inicio al CapDo | | | |

Fuente. Autores.

6.3 TABLERO DE GESTIÓN Y RESULTADOS DEL MODELO PROPUESTO

Como alternativa para evidenciar el desarrollo de este modelo propuesto para el análisis orientado a la disminución de las 3 grandes pérdidas asociadas al mantenimiento de la línea piloto de la Cía Nacional de Chocolates, se recomienda diseñar un tablero de gestión y resultados en el cual se plasme la información básica del modelo, las herramientas desarrolladas, mostrando las condiciones iniciales y finales, los formatos para la aplicación de las metodologías utilizadas, los seguimientos, y el avance de todos y cada uno de los pasos propuestos, y especialmente los resultados obtenidos, los cuales avalan la aplicación y desarrollo de este método.

Figura 38. Modelo de presentación del tablero



Fuente. Autores.

6.4 APLICACIÓN DEL MODELO PLANTEADO EN UNA PERDIDA IMPORTANTE DE UN EQUIPO CRITICO DE LA LINEA PILOTO

En la Compañía Nacional de Chocolates, la aplicación del modelo propuesto para el análisis y eliminación de las pérdidas de mantenimiento tiene un campo de acción muy importante, ya que de acuerdo a la metodología propuesta, este permitirá comprender, analizar y eliminar problemas en diferentes áreas o departamentos de la compañía, y gestionar planes de acción en variados procesos, como el administrativo, producción, gestión de la calidad, salud ocupacional, gestión humana, entre otros.

De esta manera se realiza un análisis con el fin de emplear el modelo propuesto en un caso actual del área de mantenimiento, para lo cual se establece un problema existente en uno de los tres equipos críticos de acuerdo a la clasificación establecida para la línea piloto de la fábrica, desde el árbol de las tres grandes pérdidas evaluadas de mantenimiento en el último año.

6.4.1 Desarrollo del caso. Tomando el árbol de pérdidas de mantenimiento evaluado en capítulos anteriores, se establecieron las tres grandes pérdidas: Cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo, recurrencia de averías y tiempos medios de reparación. Para el caso del análisis, se decidió aplicar el modelo para analizar un caso de problema orientado a la recurrencia de averías, esto debido a que eliminar esta pérdida es uno de los objetivos principales del TPM: “Cero Averías”, así como lo son “Cero Accidentes” y “Cero defectos de calidad”.

De acuerdo a lo anterior, el análisis se enfoca en identificar el equipo crítico de la línea piloto que más ha motivado esta pérdida de la recurrencia de averías en el año 2013, y realizar el flujo propuesto para encontrar las causas raíces y las soluciones para eliminar o disminuir el problema en dicho equipo.

6.4.1.1 Paso 1. Comprender la situación.

Equipo de trabajo: Carlos Alberto Ardila - Christian Eduardo Lopez – Mto.

Cuadro 14. Cronograma de Actividades.

| ETAPAS | ACTIVIDAD | SEMANAS | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | -> | |
| COMPRENDER LA SITUACIÓN | Definir equipo de trabajo | | | | | | | | | | | | | |
| | Identificación del problema | | | | | | | | | | | | | |
| | Elaboración del principio de funcionamiento | | | | | | | | | | | | | |
| | Identificar de variables que intervienen en el proceso | | | | | | | | | | | | | |
| | Elaborar espina de pescado (4M + 1T) | | | | | | | | | | | | | |
| | Recolección de Datos hitóricos | | | | | | | | | | | | | |
| | Definir la meta a la que se quiere llegar | | | | | | | | | | | | | |
| GARANTIZAR CONDICIONES DE OPERACIÓN | Establecer las condiciones basicas de operación | | | | | | | | | | | | | |
| | Evaluar si las condiciones basicas se cumplen | | | | | | | | | | | | | |
| | Realizar reportes acerca de las condiciones basicas que no se cumplen | | | | | | | | | | | | | |
| | Ejecutar acciones que eliminen la falta de las condiciones basicas detectadas | | | | | | | | | | | | | |
| | Seguimiento: Evaluar si el problema se elimino en este paso. Estandarizar | | | | | | | | | | | | | |
| RESTABLECER HABILIDADES HUMANAS | Evaluar qué habilidades ausente pudieron causar el problema | | | | | | | | | | | | | |
| | Detectar necesidades de entrenamiento | | | | | | | | | | | | | |
| | Planear y ejecutar formaciones. Definir responsables. | | | | | | | | | | | | | |
| | Seguimiento: Evaluar si el problema se elimino en este paso. Estandarizar | | | | | | | | | | | | | |
| REALIZAR ANÁLISIS DE PROBLEMAS | Realizar 5W+1H y definir el fenomeno | | | | | | | | | | | | | |
| | Realizar Análisis Porque, Porque | | | | | | | | | | | | | |
| | Planear y ejecutar acciones. Definir responsables. | | | | | | | | | | | | | |
| | Seguimiento: Evaluar si el problema se elimino en este paso. Estandarizar | | | | | | | | | | | | | |
| REALIZAR CICLO CAPDo | DEFINIR CRONOGRAMA DEL CAPDo | | | | | | | | | | | | | |
| | Seguimiento: Evaluar si el problema se elimino en este paso. Estandarizar | | | | | | | | | | | | | |

Fuente. Autores

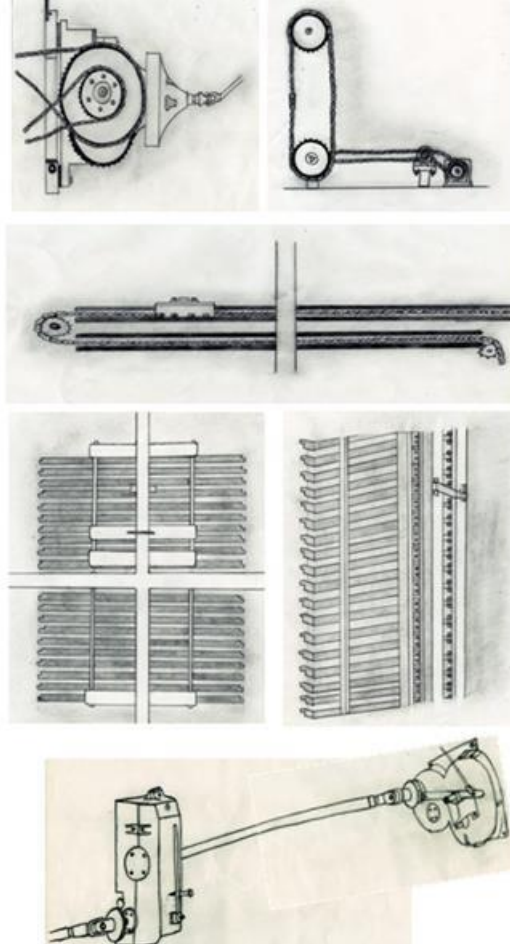
Descripción del problema. Incumplimiento del indicador de averías en la línea piloto en el año 2013, al quedar en un acumulado de 15 averías, es decir, 10 averías por encima de la meta. Se evidencia que la Cava de Enfriamiento siendo un equipo crítico, representa el **36,5%** del total de averías al año. Inicialmente, NO depende de la habilidad humana.

Principio de funcionamiento del proceso. La cava de enfriamiento, la cual es el equipo crítico que más afectó el cumplimiento del indicador de averías del año 2013, funciona de la siguiente manera:

Su función es enfriar el producto moldeado a una temperatura de 6°C, aproximadamente durante 15 minutos. Consta de una compuerta de acceso, en la cual recibe los moldes en unos paneles (7 moldes por cada panel) soportados por barras ancladas a cadenas, las cuales realizan un ciclo giratorio, transportando el producto sobre dichos paneles hacia el extremo opuesto de la cava, donde la entrega a la máquina de desmoldeo para continuar con el proceso. Durante todo el ciclo de enfriamiento realiza transferencia de calor por medio de un sistema de refrigeración con base en el ciclo del amoníaco.

Los modos de falla de la cava de enfriamiento más comunes que afectan el indicador de averías son atrapamiento de moldes, atascamientos de paneles o moldes, o desalineación de cadenas o barras.

Figura 39. Imágenes del principio de funcionamiento de la cava



Fuente. Autores.

Datos históricos. Definir la pérdida. La pérdida o GAP entre la condición ideal y la condición real del indicador de averías de la línea piloto, en la que la cava de enfriamiento fue el equipo crítico con mas influencia, es de 10 averías promedio mes. Esta pérdida se identifica, tomando como referencia que en el año hubo en total 178 averías, lo que representa 15 averías promedio al mes. Se espera lograr 5 averías promedio mes, por lo que el GAP es de 10.

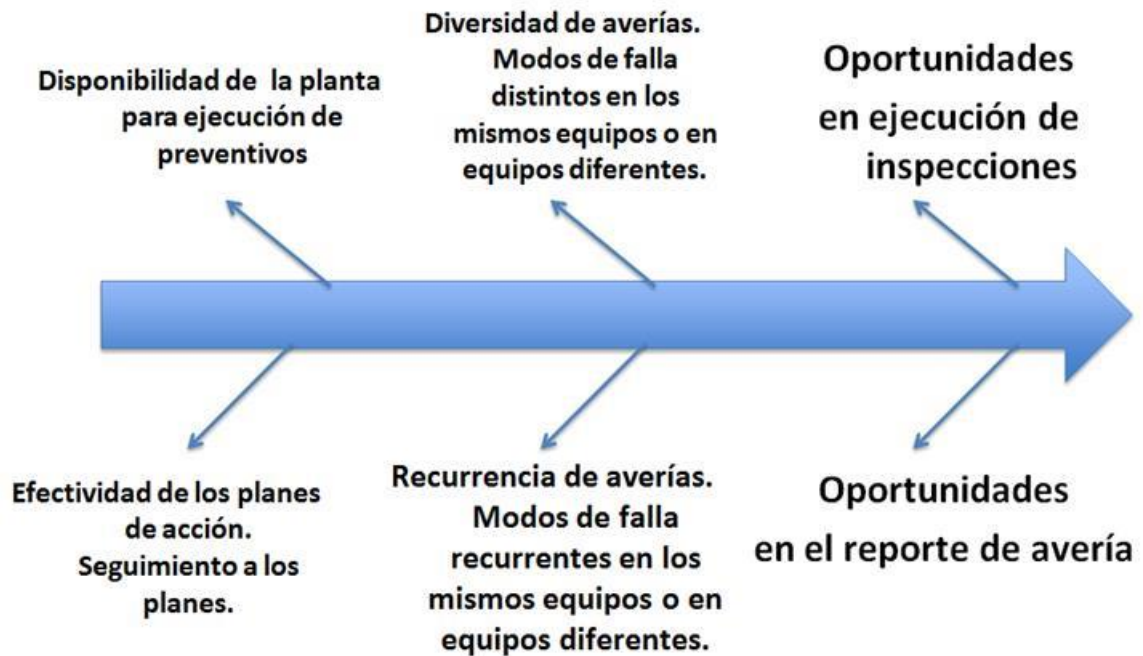
**Cuadro 15. Histórico de averías
2013 línea piloto**

| ANÁLISIS AVERIAS LINEA PILOTO AÑO 2013 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | TOTAL | META |
| AVERIAS | 18 | 16 | 17 | 18 | 17 | 15 | 21 | 21 | 11 | 14 | 7 | 3 | 178 | 60 (5/Mes) |
| AVERIAS AÑO 2013 EQUIPOS CRITICOS | | | | | | | | | | | | | | |
| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | TOTAL | % Año |
| AVERIAS | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 7 | 3,9% |
| % SOBRE TOTAL AVERIAS | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 5,6% | 0,0% | 0,0% | 19,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 28,6% | 0,0% | 4,4% | => Prom |
| AVERIAS | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1,7% |
| % SOBRE TOTAL AVERIAS | 5,6% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 4,8% | 0,0% | 9,1% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 1,6% | => Prom |
| AVERIAS | 9 | 7 | 0 | 1 | 11 | 0 | 7 | 13 | 5 | 10 | 1 | 1 | 65 | 36,5% |
| % SOBRE TOTAL AVERIAS | 50,0% | 43,8% | 0,0% | 5,6% | 64,7% | 0,0% | 33,3% | 61,9% | 45,5% | 71,4% | 14,3% | 33,3% | 35,3% | => Prom |
| APORTE EQUIPOS CRITICOS AVERIAS | 55,6% | 43,8% | 0,0% | 11,1% | 64,7% | 0,0% | 57,1% | 61,9% | 54,5% | 71,4% | 42,9% | 33,3% | 41,4% | |

Fuente. Autores.

Definir la meta o condición ideal a la que se espera llegar con el análisis. La meta establecida a la cual se espera llegar al final del análisis, es lograr un promedio de 5 averías promedio mes en la línea piloto, en la cual la cava disminuya su influencia sobre el indicador en un 50%.

Figura 40. Espina de pescado. 4M's



Fuente. Autores.

Maquina.

Fallas recurrentes en equipos similares

Deterioro del sistema de transmisión y desarrollo del ciclo de enfriamiento

Disponibilidad de la máquina para mantenimientos preventivos

Método.

Falta de efectividad en la detección de causas raices de las fallas

Los planes de inspección y mantenimiento no son lo suficientemente efectivos.

Falta de efectividad en las acciones tomadas sobre las maquinas

Material.

El material de las barras y barrotos presenta deterioro y fatiga

Mano de Obra.

No se reportan averías correctamente

Las anomalías no son detectadas en las inspecciones

6.4.1.2 Paso 2. Garantizar Condiciones de Operación.**Anormalidades detectadas:**

Maquina. Barrotos y cadenas desalineadas. **Acción:** Programar mantenimiento preventivo para cambio de barras averiadas, ajuste de cadenas y ajuste del ciclo mecánico.

Metodo. Plan de inspección y preventivo ineficiente. Actividades muy generales. **Acción.** Revisión del plan de mantenimiento de la cava, editar actividades y detallar cada una.

Material. Barras deterioradas y con dimensiones inadecuadas. **Acción.** Homologar las dimensiones de las barras. Programar recambio de barras deterioradas. Realizar repicks horizontales

Seguimiento: Se evidencia que la ejecución de los planes han sido oportunos, ya que el indicador hacia el final de año 2013 se viene ajustando a la meta esperada, sin embargo aún no se cumple, por lo que se sigue adelante con el modelo de análisis y se desarrolla la tercera etapa.

6.4.1.3 Paso 3. Restablecer habilidades humanas.De acuerdo al análisis realizado en los anteriores dos pasos, se establecen tres necesidades de formación o desarrollo de habilidades para apoyar el objetivo de disminuir averías en la línea piloto, principalmente por la cava de enfriamiento.

Habilidades.

- Principios de funcionamiento de las cavas, por medio de LUP. Coordinador de Mantenimiento.
- Historicos y metas del indicador de averías, por medio de TABLERO. Coordinador de Mantenimiento.
- Modos de fallas de las cavas, por medio de LUP. Coordinador de Mantenimiento.

Seguimiento.Cumplidos los tres primeros pasos del proceso, se evidencia reducción de averías, en la línea piloto y en la cava, pero aún no se cumple la meta. Se procede a continuar con la etapa 4.

Evidencias. En el primer mes del año 2014, se evidencia una reducción del indicador en su comportamiento con respecto al 2013. Se presentan 9 averías. Sin embargo, la meta es estar en 5 averías promedio mes, por lo que aún existe un GAP. Por otro lado, la cava de enfriamiento, aunque sigue aportando a la pérdida de este indicador, con un 22,2% de las averías del mes, ya se encuentra por debajo (2 averías) de la meta que es 5/mes. Por estas razones, se avanza en la metodología y se inicia la etapa de Analisis de Pérdida enfocado no solo en el equipo crítico sino en el global de la línea.

Cuadro 16. Histórico de averías Enero 2014

| ANÁLISIS AVERIAS LINEA PILOTO AÑO 2014 | | | | | | |
|--|-----------------------|-------|-----|-----|-------|------------|
| | | ENE | FEB | MAR | TOTAL | META |
| AVERIAS | | 9 | | | 9 | 60 (5/Mes) |
| AVERIAS AÑO 2014 EQUIPOS CRITICOS | | | | | | |
| | | ENE | FEB | MAR | TOTAL | % Año |
| MEZCLADOR | AVERIAS | 0 | | | 0 | 0,0% |
| | % SOBRE TOTAL AVERIAS | 0,0% | | | 0,0% | => Prom |
| COMPRESOR | AVERIAS | 0 | | | 0 | 0,0% |
| | % SOBRE TOTAL AVERIAS | 0,0% | | | 0,0% | => Prom |
| CAVA | AVERIAS | 2 | | | 2 | 22,2% |
| | % SOBRE TOTAL AVERIAS | 22,2% | | | 22,2% | => Prom |
| APORTE EQUIPOS CRITICOS AVERIAS | | 22,2% | | | 22,2% | |

Fuente. Autores.

Diligenciamiento formato de seguimiento de las etapas iniciales. De acuerdo al avance en el modelo, se documenta la información resultante del análisis en el formato propuesto.

Figura 41. Formato diligenciado del análisis

FORMATO DE SEGUIMIENTO

| | | |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Fecha: ENERO 2014 | Indicadores | |
| Tema: ELIMINACIÓN RECURRENCIA DE AVERIAS LINEA PILOTO | P <input checked="" type="checkbox"/> | Q <input type="checkbox"/> |
| Equipo de Trabajo: CARLOS ARDILA - CHRISTIAN LOPEZ | C <input checked="" type="checkbox"/> | S <input type="checkbox"/> |
| | M <input checked="" type="checkbox"/> | D <input checked="" type="checkbox"/> |
| Equipo o proceso analizado: LINEA PILOTO (3 Y 4) | Amb <input type="checkbox"/> | |
| 1. COMPRENDER LA SITUACIÓN | | |

A. Cronograma:

ACTIVIDADES:

COMPRENDER LA SITUACIÓN

Definir equipo de trabajo
 Identificación del problema
 Elaboración del principio de funcionamiento
 Identificar de variables que intervienen en el proceso
 Elaborar espina de pescado (4M + 1T)
 Recolección de Datos históricos
 Definir la meta a la que se quiere llegar

GARANTIZAR CONDICIONES DE OPERACIÓN

Establecer las condiciones basicas de operación
 Evaluar si las condiciones basicas se cumplen
 Realizar reportes acerca de las condiciones basicas que no se cumplen
 Ejecutar acciones que eliminen la falta de las condiciones basicas detectadas
 Seguimiento: Evaluar si el problema se elimino en este paso. Estandarizar

RESTABLECER HABILIDADES HUMANAS

Evaluar qué habilidades ausente pudieron causar el problema
 Detectar necesidades de entrenamiento
 Planear y ejecutar formaciones. Definir responsables.
 Seguimiento: Evaluar si el problema se elimino en este paso. Estandarizar

REALIZAR ANÁLISIS DE PROBLEMAS

Realizar 5W+1H y definir el fenomeno
 Realizar Análisis Porque, Porque
 Planear y ejecutar acciones. Definir responsables.
 Seguimiento: Evaluar si el problema se elimino en este paso. Estandarizar

B. Descripción del problema: (Qué, Cuándo, Donde, Cómo, Quien)

INCUMPLIMIENTO DEL INDICADOR DE AVERÍAS EN LA LINEA PILOTO EN EL AÑO 2013, AL QUEDAR EN UN ACUMULADO DE 15 AVERÍAS, 10 AVERÍAS POR ENCIMA DE LA META. NO DEPENDE DE LA HABILIDAD HUMANA.

C. Principio de Funcionamiento

La cava de enfriamiento, la cual es el equipo crítico que mas afecto el cumplimiento del indicador de averías del año 2013, funciona de la siguiente manera:

Su función es enfriar el producto moldeado a una temperatura de 6°C, aproximadamente durante 15 minutos. Consta de una compuerta de acceso, en la cual recibe los moldes en unos paneles (7 moldes por cada panel) soportados por barras ancladas a cadenas, las cuales realizan un ciclo giratorio, transportando el producto sobre dichos paneles hacia el extremo opuesto de la cava, donde la entrega a la maquina de desmoldeo para continuar con el proceso. Durante todo el ciclo de enfriamiento realiza transferencia de calor por medio de un sistema de refrigeración con base en el ciclo del amoníaco.

Los modos de falla de la cava de enfriamiento mas comunes que afectan el indicador de averías son atrapamiento de moldes, atascamientos de paneles o moldes, o desalineación de cadenas o barras.



D. Recolección Datos Históricos

La pérdida o GAP entre la condición ideal y la condición real del indicador de averías de la línea piloto, en la que la cava de enfriamiento fue el equipo crítico con mas influencia, es de 10 averías promedio mes. Esta pérdida se identifica, tomando como referencia que en el año hubo en total 178 averías, lo que representa 15 averías promedio al mes. Se espera lograr 5 averías promedio mes, por lo que el GAP es de 10.

| ANÁLISIS AVERIAS LINEA PILOTO AÑO 2013 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | EVE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | TOTAL | META |
| AVERIAS | 18 | 16 | 17 | 18 | 17 | 15 | 21 | 21 | 11 | 14 | 7 | 3 | 178 | 60 (5/Mes) |
| AVERIAS AÑO 2013 EQUIPOS CRITICOS | | | | | | | | | | | | | | |
| | EVE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | TOTAL | % Año |
| MEZCLADOR | AVERIAS | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2 | 0 | 7 | 3,9% |
| | % SOBRE TOTAL AVERIAS | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 5,6% | 0,0% | 0,0% | 19,0% | 0,0% | 0,0% | 28,6% | 0,0% | 4,4% | => Prom |
| COMPRESOR | AVERIAS | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1,7% |
| | % SOBRE TOTAL AVERIAS | 5,6% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 4,8% | 0,0% | 9,1% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 1,6% | => Prom |
| CAVA | AVERIAS | 9 | 7 | 0 | 1 | 11 | 0 | 7 | 13 | 5 | 10 | 1 | 65 | 36,5% |
| | % SOBRE TOTAL AVERIAS | 50,0% | 43,8% | 0,0% | 5,6% | 64,7% | 0,0% | 33,3% | 61,9% | 45,5% | 71,4% | 14,3% | 33,3% | 35,3% |
| APORTE EQUIPOS CRITICOS AVERIAS | | | | | | | | | | | | | | |
| | 55,6% | 43,8% | 0,0% | 11,1% | 64,7% | 0,0% | 57,1% | 61,9% | 54,5% | 71,4% | 42,9% | 33,3% | 41,4% | |

E. Definición de Meta:

La meta establecida a la cual se espera llegar al final del análisis, es lograr un promedio de 5 averías promedio mes en la línea piloto, en la cual la cava disminuya su influencia sobre el indicador en un 50%.

E. Elaboración de espina de pescado

Máquina

- Fallos recurrentes en equipos similares
- Deterioro del sistema de transmisión y desarrollo del ciclo de enfriamiento
- Disponibilidad de la máquina para mantenimientos preventivos

Mano de Obra

- No se reportan averías correctamente
- Las anomalías no son detectadas en las inspecciones

Método

- Falta de efectividad en la detección de causas raíces de las fallas
- Los planes de inspección y mantenimiento no son lo suficientemente efectivos.

Material

- El material de las barras y barotes presenta deterioro y fatiga

| 2. GARANTIZAR CONDICIONES DE OPERACIÓN | | | |
|---|--|------------------------------------|---------------------------|
| Máquina | | | |
| Anormalidad | Acción | Responsable | Fecha |
| Barrotes y cadenas desalineadas | Programar mantenimiento preventivo para cambio de barras averiadas, ajuste de cadenas y ajuste del ciclo mecánico | Planeador y Mecánicos Zona B | nov-13 |
| Método | | | |
| Anormalidad | Acción | Responsable | Fecha |
| Plan de inspección y preventivo ineficiente. Actividades muy generales. | Revisión del plan de mantenimiento de la cava, editar actividades y detallar cada una. | Planeador Zona B | nov-13 |
| Material | | | |
| Anormalidad | Acción | Responsable | Fecha |
| Barras deterioradas y con dimensiones inadecuadas | Homologar las dimensiones de las barras. Programar recambio de barras deterioradas. Realizar replicas horizontales | Planeador y Mecánicos Zona B | nov-13 |
| Nota: Si después de la elaboración de este paso no se ha encontrado la solución analizamos comportamiento y entrenamiento | | | |
| 3. RESTABLECER HABILIDADES HUMANAS | | | |
| Necesidades de formación detectadas | Método de formación | Responsable | Fecha Propuesta ejecución |
| Principio de funcionamiento de las cavas | LUP | Coordinador de Mantto | dic-13 |
| historico y meta del indicador de averías. | TABLERO | Coordinador de Mantto | |
| Modos de falla de las cavas | LUP | Coordinador de Mantto | |
| Nota: Si después de la elaboración de este paso no se ha encontrado la solución al problema, damos inicio al ADP | | | |
| 4. ANALISIS DE PERDIDA | | | |
| Aplica <input checked="" type="checkbox"/> | | No aplica <input type="checkbox"/> | |
| Nota: Si después de la elaboración de este paso no se ha encontrado la solución al problema, damos inicio al CapDo | | | |

Fuente. Autores

6.4.1.4 Paso 4. Realizar análisis de problemas. En esta etapa del modelo de análisis, se realiza un estudio más profundo de las evidencias y los datos tomados en los pasos anteriores, y se busca encontrar causas raíces que permitan la eliminación definitiva de la pérdida.

Identificar el fenómeno del problema resolviendo las preguntas del 5W+1H.

Figura 42. 5W+1H

| PREGUNTA | RESPUESTA |
|----------|---|
| QUE? | Incumplimiento de la meta de reducción de averías |
| DÓNDE? | Línea Piloto (3 y 4) |
| CUÁNDO? | Entre Enero y Diciembre de 2013 |
| CUÁL? | Se presenta constantemente durante el año |
| CÓMO? | Al quedar en un acumulado de 15 averías, es decir, 10 averías por encima de la meta |
| QUIÉN? | No depende de la habilidad humana |

Fuente. Autores.

Figura 43. Fenómeno

FENÓMENO

- Incumplimiento de la meta de reducción de averías en la línea piloto (3 y 4) entre Enero y Diciembre de 2013, al quedar en un acumulado de 15 averías, es decir, 10 averías por encima del objetivo. No depende de la habilidad humana y se presenta constantemente durante el año.

Fuente. Autores.

Figura 44. Por qué? Por qué?- Planes de acción

Por Qué? Porque!

- **MAQUINA:**

- 1 Porque se presentan modos de falla recurrentes en equipos similares.
 - 1.1 Porque no se corrigen con las acciones correctivas o preventivas realizadas
 - 1.1.1 Porque no se evidencian ciertamente las causas raíces en los análisis d averías.

PLAN DE ACCION: Implementar un análisis interdisciplinario para eliminar estas recurrencias, apoyando la gestión en correctos levantamientos de la información del chequear para llegar a verdaderas causas raíces y efectivos planes de acción. **RESPONSABLE.** Mantenimiento. **FECHA.** Febrero/14

Fuente. Autores

Figura 45. Por que? Por qué?. Mano de obra

Por Qué? Porque!

- MANO DE OBRA:

- 2 Porque no se solucionan las averías en su totalidad teniendo en cuenta los modos de fallas
 - 2.1 Porque se presentan diversidad de fallas en equipos similares.
 - 2.1.1 Porque no se identifican a tiempo.
 - 2.1.1.1 Porque no existe un procedimiento de análisis efectivo que permita identificar correctamente las causas de los modos de fallas presentados.

PLAN DE ACCION: Realizar análisis afectivos enfocado en los equipos que fallan recurrentemente con modos de fallas distintos por medio de entrenamientos. RESP. Mantto – G.E. FECHA: Marzo/14

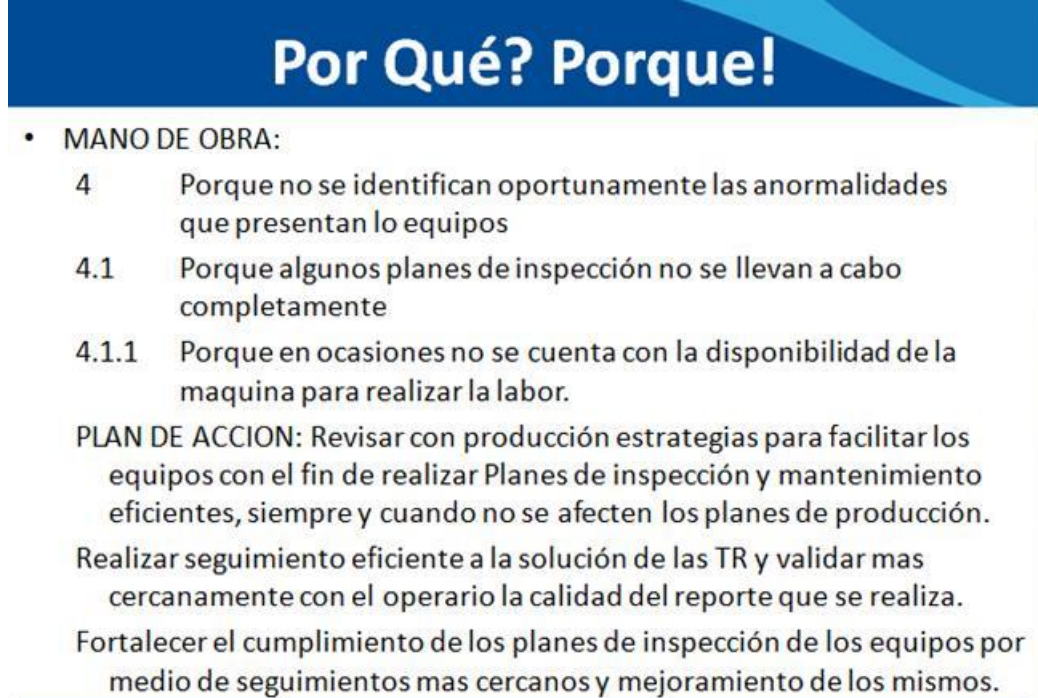
Por Qué? Porque!

- MANO DE OBRA:

- 3 Porque no se reportan las averías correctamente
 - 3.1 Porque al identificar los modos de fallas o los tiempos de paradas no se clasifican correctamente.

PLAN DE ACCION: Revisar el histórico de las averías de la MMFC y validar la correcta clasificación y reporte de las mismas. Generar una LUP del correcto diligenciamiento de las averías y su oportuna notificación por parte de la persona responsable. RESP. Mantenimiento. FECHA. Enero/14

Figura 46. Por qué? Por qué?- Mano de obra (Continuación)



Por Qué? Porque!

- MANO DE OBRA:
 - 4 Porque no se identifican oportunamente las anomalías que presentan los equipos
 - 4.1 Porque algunos planes de inspección no se llevan a cabo completamente
 - 4.1.1 Porque en ocasiones no se cuenta con la disponibilidad de la máquina para realizar la labor.

PLAN DE ACCION: Revisar con producción estrategias para facilitar los equipos con el fin de realizar Planes de inspección y mantenimiento eficientes, siempre y cuando no se afecten los planes de producción.

Realizar seguimiento eficiente a la solución de las TR y validar más cercanamente con el operario la calidad del reporte que se realiza.

Fortalecer el cumplimiento de los planes de inspección de los equipos por medio de seguimientos más cercanos y mejoramiento de los mismos.

Fuente. Autores.

Evidencias - Seguimiento. Al cabo del análisis de pérdida correspondiente a la etapa 4 del modelo propuesto, y a medida que se avanza en la implementación y ejecución de las acciones definidas, se puede concluir que el indicador de averías para el mes de Febrero de 2014, presenta un comportamiento alineado con el objetivo de eliminación de la pérdida. Como se evidencia a continuación, se presentan 11 averías en el segundo mes del año, lo cual es menos que el promedio del año 2013, y se evidencia que ninguna de ellas corresponde a averías en las cavas de enfriamiento. Por lo anterior, el análisis queda concluido y a la espera de la continuidad de la ejecución de los planes de acción propuestos, los cuales permitirán acercarse cada vez más al objetivo definido.

Cuadro 17. Histórico de averías línea piloto Febrero 2014

| ANÁLISIS AVERIAS LINEA PILOTO AÑO 2014 | | | | | | |
|--|-----------------------|-------|------|-----|-------|------------|
| | | ENE | FEB | MAR | TOTAL | META |
| AVERIAS | | 9 | 11 | | 20 | 60 (5/Mes) |
| AVERIAS AÑO 2014 EQUIPOS CRITICOS | | | | | | |
| | | ENE | FEB | MAR | TOTAL | % Año |
| MEZCLADOR | AVERIAS | 0 | 0 | | 0 | 0,0% |
| | % SOBRE TOTAL AVERIAS | 0,0% | 0,0% | | 0,0% | => Prom |
| COMPRESOR | AVERIAS | 0 | 1 | | 1 | 5,0% |
| | % SOBRE TOTAL AVERIAS | 0,0% | 9,1% | | 4,5% | => Prom |
| CAVA | AVERIAS | 2 | 0 | | 2 | 10,0% |
| | % SOBRE TOTAL AVERIAS | 22,2% | 0,0% | | 11,1% | => Prom |
| APORTE EQUIPOS CRITICOS AVERIAS | | 22,2% | 9,1% | | 15,7% | |

Fuente. Autores.

Estandarizar. El proceso de estandarización se evidencia por medio todos los documentos resultantes de los procedimientos, LUPs, o formatos de estándares, los cuales se recopilarán a medida que se van dando cada una de las etapas del modelo de análisis. Estos documentos serán usados para replicar información o transferir habilidades, de acuerdo a la necesidad que presente cada pérdida analizada. Pueden publicarse en el tablero de gestión del modelo.

Tablero de Gestión. Como resultado del análisis se plasman en un tablero todos los documentos que evidencian cada paso desarrollado en el proceso de este modelo. Esta practica facilita el seguimiento de las acciones y resultados permitiendo asegurar el exito de las metas esperadas.

Figura 47. Fotografías del tablero del modelo



Fuente. Autores

CONCLUSIONES

De acuerdo al desarrollo de la presente investigación, se establecen las siguientes conclusiones:

- La identificación de los 3 equipos más críticos de la línea piloto basado en la evaluación de su frecuencia de fallas, impacto operacional y costos, entre los demás criterios establecidos para tal fin, permitió tener un correcto control y seguimiento de los índices de operación y mantenibilidad que estaban afectando con mas gravedad la disponibilidad, lo cual hizo más fácil detectar las posibles pérdidas o problemas que involucren estos activos.
- Definiendo las 3 pérdidas más importantes asociadas al mantenimiento de los equipos más críticos con base en la revisión de averías, tiempos de reparaciones, tiempo entre fallas, entre otros; y apoyados en la metodología del árbol de pérdidas, se logró mantener una gestión preventiva adecuada sobre estas maquinas, y a su vez fue una herramienta para determinar cómo están impactando las grandes pérdidas de mantenimiento en dichos equipos, o cómo por el contrario, estos son factor de problema
- Al comparar las 3 herramientas de análisis más comunes, se logró identificar los parámetros más determinantes de cada uno de ellos y aprovecharlos para alimentar las bases sobre las cuales se elaboró la propuesta del modelo de análisis objeto de este trabajo.
- El desarrollo del modelo de análisis permitió identificar los aspectos importantes a la hora de realizar estudios para eliminación de problemas: se estableció la necesidad de documentar todo el proceso para tener lecciones aprendidas y replicar buenas practicas; igualmente, se concluye que el llevar un análisis apoyado en un flujo o en unas etapas definidas, permite dar orden y no omitir aspectos importantes en el proceso; de la misma manera llevar un tablero de gestión de los análisis permite tener enterado a todo el equipo de trabajo y al resto de la organización acerca de los avances y logros de la metodología y el diseño de formatos claros y sencillos facilita la detección de anomalías en el proceso y llevar un control documental adecuado.

Finalmente, la aplicación del modelo permitió eliminar las pérdidas detectadas, reentrenar personas, eliminar deterioros de las maquinas, restablecer condiciones básicas de los procesos o equipos y lo mas importante, desarrollar habilidades de análisis en los colaboradores, para que cada vez mas autónomamente los dueños de los procesos y las maquinas detecten sus pérdidas y las eliminen de manera sistemática.

BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, Mauricio. Memorias Materia TPM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bogota, 2014. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica.

ARCINIEGAS, Carlos A. Documento de trabajo, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento. Mantenimiento Productivo Total. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica.

CARREÑO FIGUEROA, Humberto; MERIÑO AMADOR, Dairo. Modelo para el mejoramiento del programa de mantenimiento preventivo basado en un análisis de criticidad de los modos de fallo y sus efectos FMECA del gasoducto Ballena-Barrancabermeja. Bucaramanga, 2011. Monografía de grado (Especialización en gerencia de mantenimiento).Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica.

CHOCONET, Compañía Nacional de Chocolates. TPM [en línea] Bogotá [15 enero 2014] Disponible en la intranet corporativa.

FLOREZ DOMINGUEZ, Bardo Eugenio. Análisis P-M Metodología Para Reducir Paros de Maquina y Perdidas Crónicas. Chihuahua, 2009. Tesis de grado (Maestría en sistemas de manufactura). Instituto Tecnológico de Chihuahua.

IM&C INTERNACIONAL. Workshop árbol de pérdidas y oportunidades. Bogotá, 2006.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008. 110 p.

MONCADA DELGADO, Davian; ARENAS RODRIGUEZ, Edder; QUIÑONES VELASQUEZ, Jeder; SARMIENTO GONZALEZ, Juan Alexander. Seminario de Investigación en Metodologías de Análisis de Fallas. Bucaramanga, 2009. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica.

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín, Colombia, Editorial AMG. 2008. 548 p.

NAKAJIMA, Seiichi. Implantación del MPT. Instituto Japonés para el Mantenimiento de Plantas. Ed. Español, Madrid. 1991.

NAKAJIMA, Seiichi; Introducción al TPM. ProductivityPress. 1993.

PIMENTEL IZAQUITA, Diana Paola. Diseño e implementación de mantenimiento productivo total y de un sistema de indicadores para el departamento de producción, calidad e ingeniería de Rikalac S.A. Bucaramanga, 2006. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Universidad Industrial de Santander. Escuela de estudios industriales y empresariales.

PUERTO FONSECA, Oscar Fernando. Propuesta de un modelo para la implementación del mantenimiento productivo total (TPM) de primer nivel con aplicación en la industria manufacturera. Bogotá, 2009. UIS. Monografía de grado (Especialización en gerencia de mantenimiento). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Mecánica.

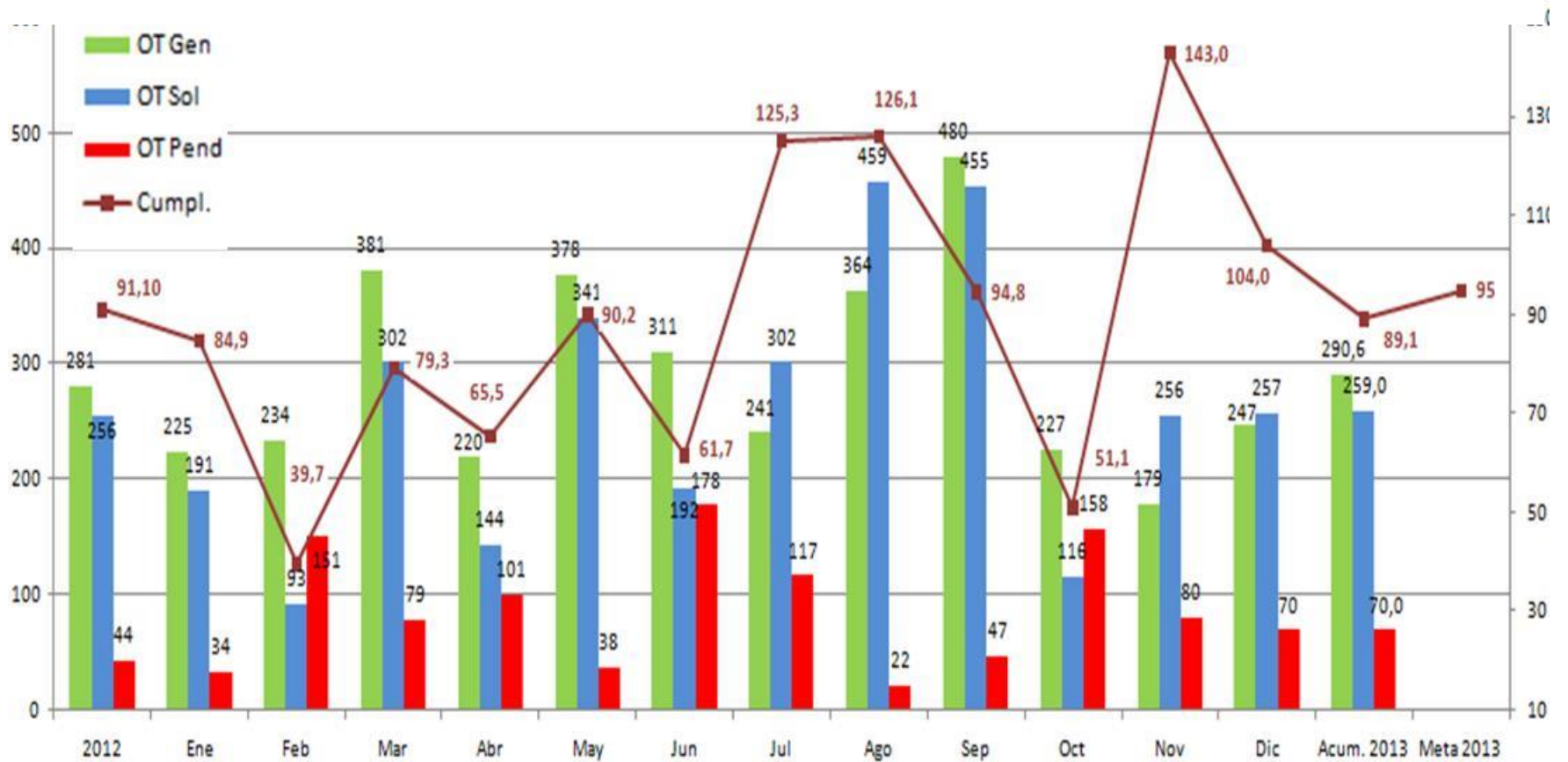
RUEDA, Gustavo. Administración del mantenimiento. Primera Edición.

TOKUTARO SUZUKI. TPM en industrias de proceso. Marques de Cubas, España. 1995.

ZARATE FRAGA, Marta. Análisis Rams. Madrid, 2012. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior.

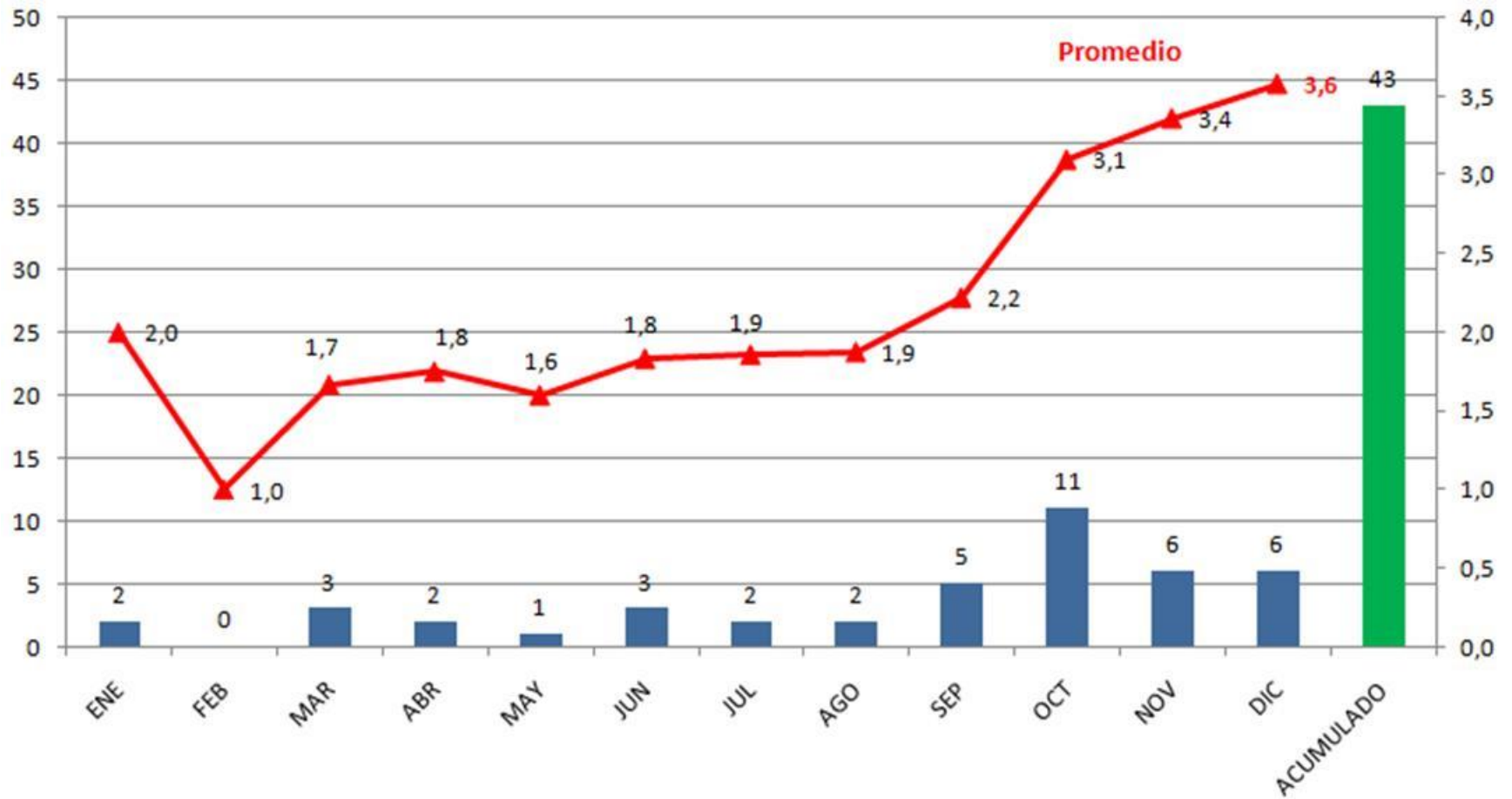
ANEXOS

Anexo A. Indicador del plan de mantenimiento



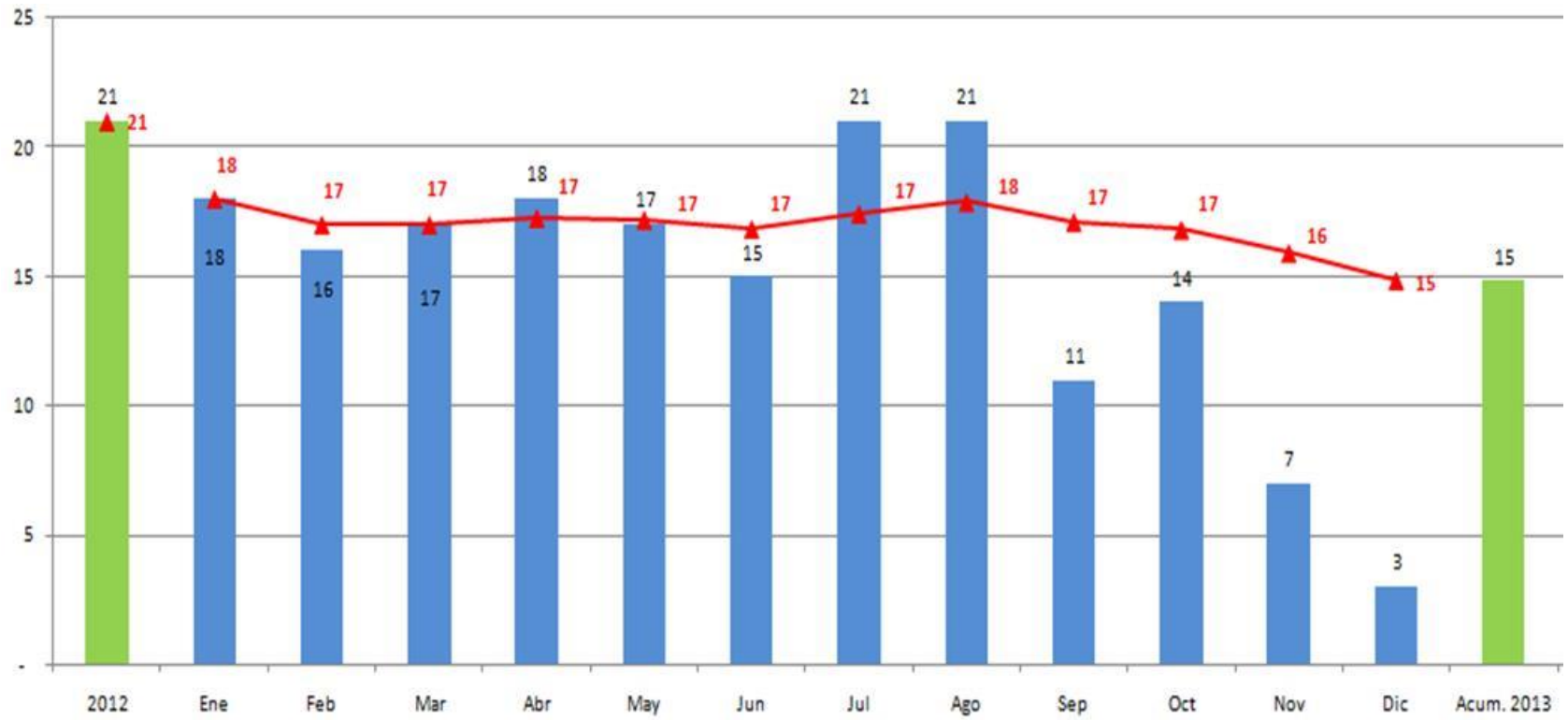
Fuente. Autores

Anexo B. Indicador de pequeñas mejoras



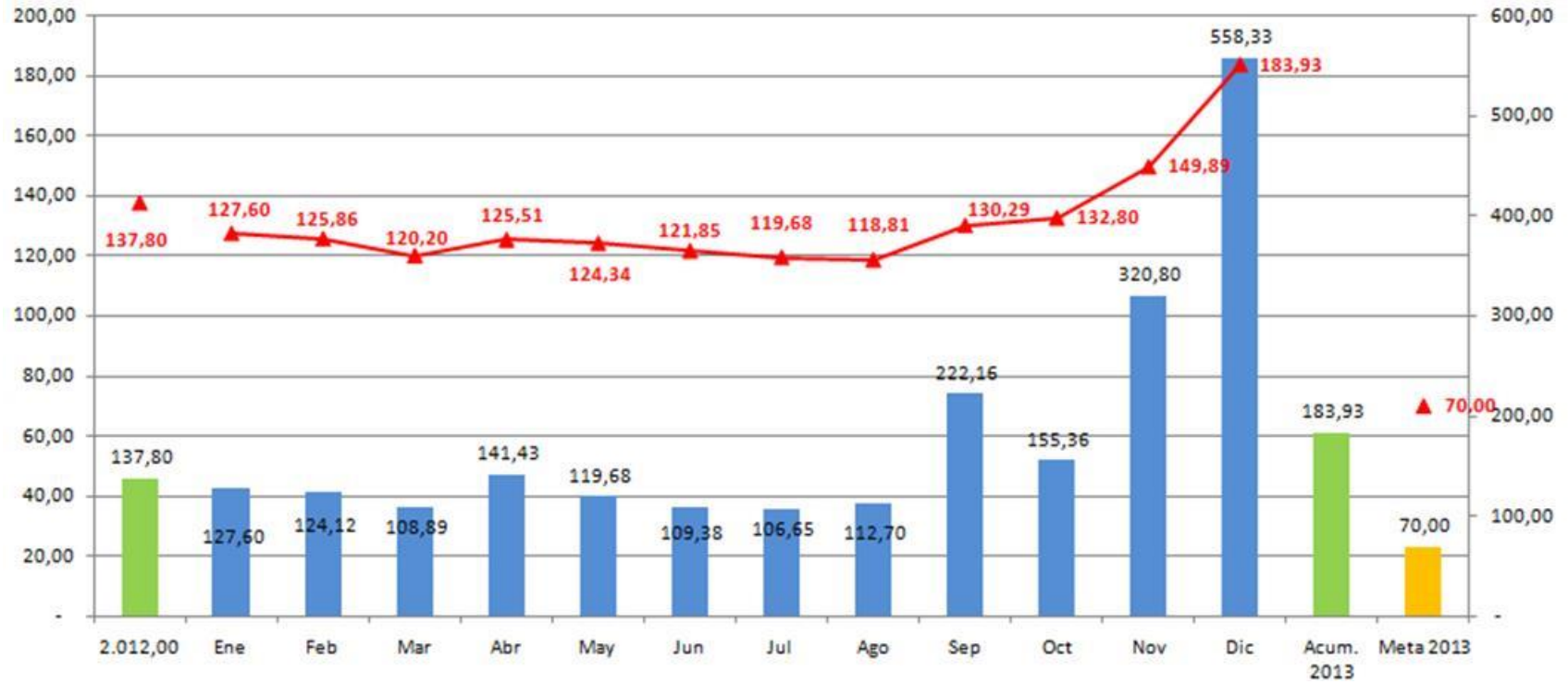
Fuente. Autores

Anexo C. Indicador de Averías



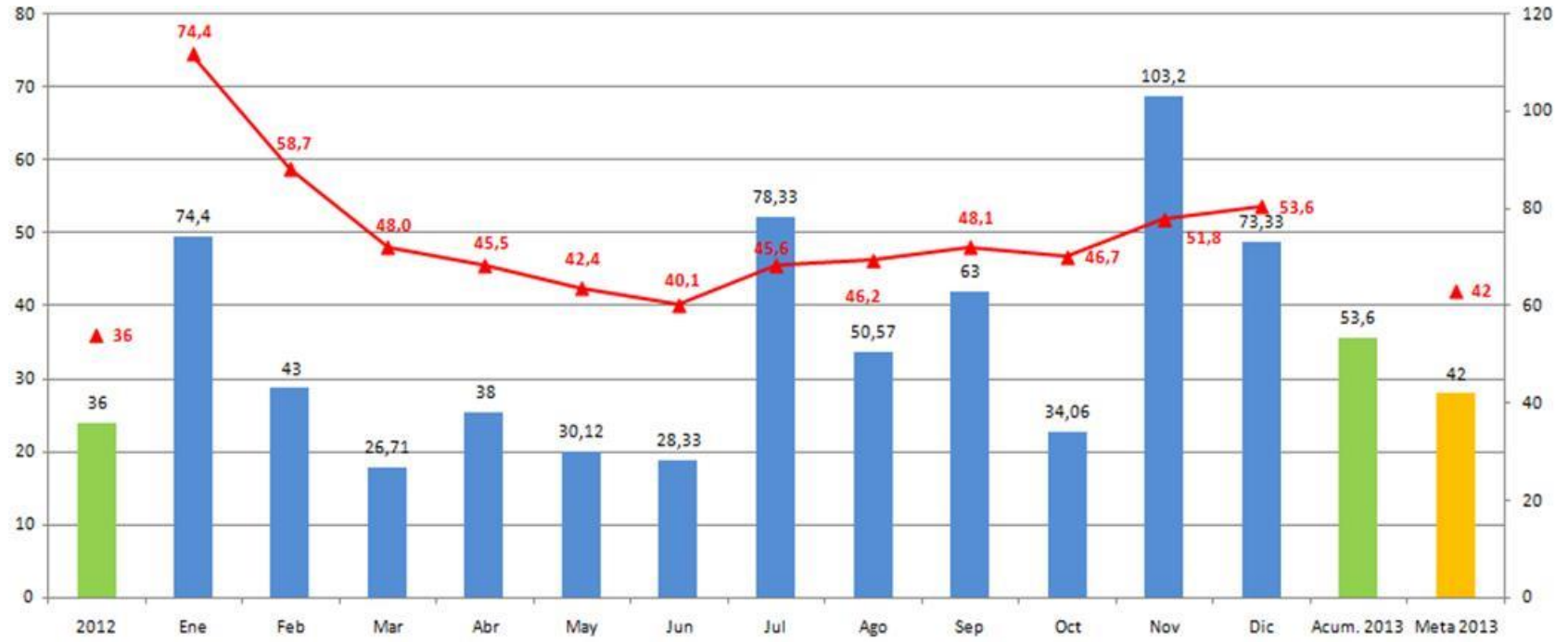
Fuente. Autores

Anexo D. Indicador de MTBF



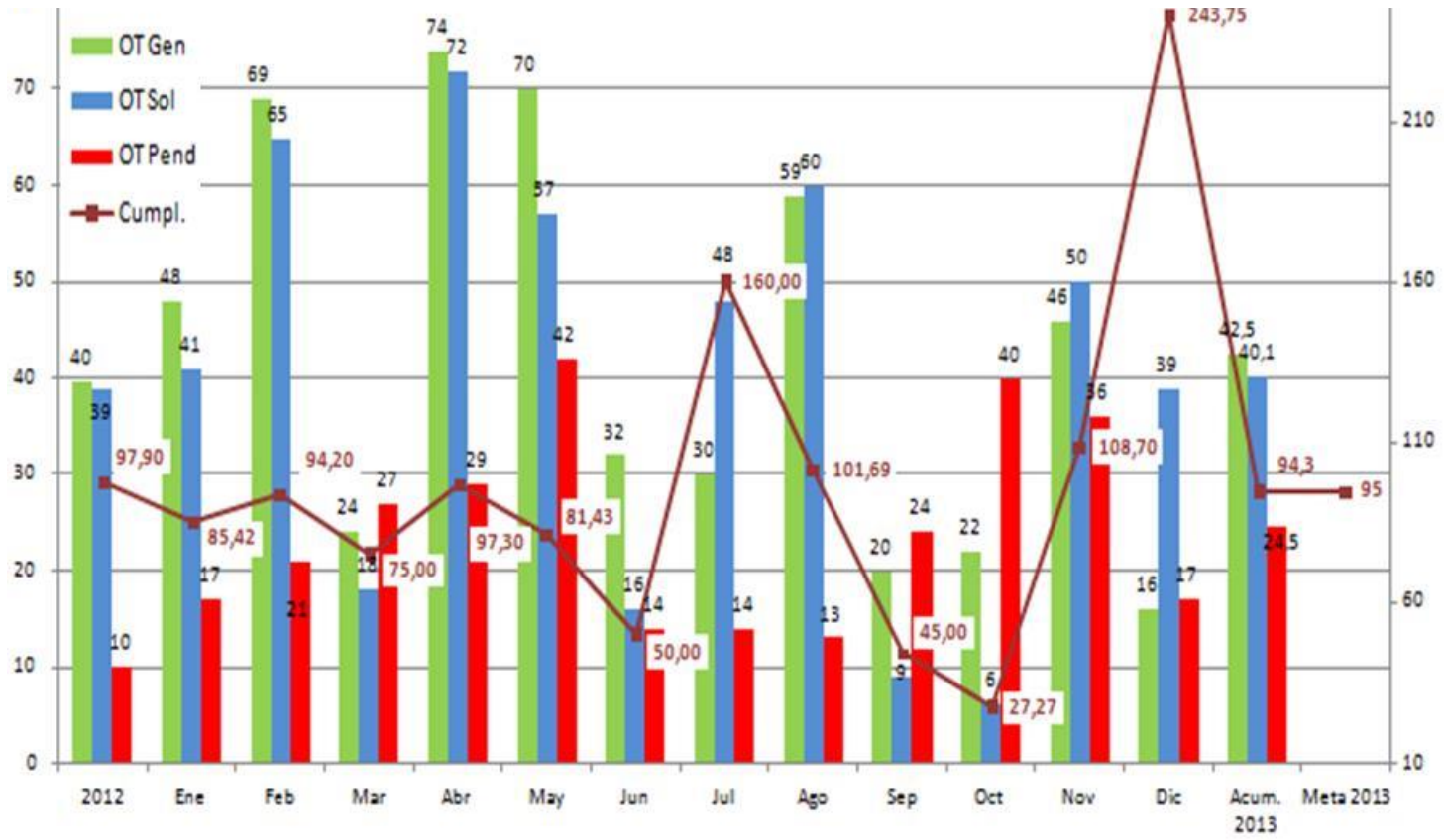
Fuente. Autores

Anexo E. Indicador de MTTR



Fuente. Autores

Anexo F. Indicador de solución de Avisos



Fuente. Autores