

PROPUESTA BAJO LA METODOLOGIA ANALISIS CAUSA RAIZ DE FALLA
(RCA) PARA ASEGURAR LA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LOS
EQUIPOS DE EMBOTELLADO EN COCA-COLA FEMSA TOCANCIPA

LUIS FRANCISCO PINTO CARRIÓN

MARCO QUINTERO TAFUR

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

BUCARAMANGA

2016

PROPUESTA BAJO LA METODOLOGIA ANALISIS CAUSA RAIZ DE FALLA
(RCA) PARA ASEGURAR LA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LOS
EQUIPOS DE EMBOTELLADO EN COCA-COLA FEMSA TOCANCIPA

LUIS FRANCISCO PINTO CARRIÓN

MARCO QUINTERO TAFUR

Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de especialista
en Gerencia de Mantenimiento

ING. CARLOS MARIO TAMAYO DOMINGUEZ

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

BUCARAMANGA

2016

DEDICATORIA

Dedico este nuevo logro primero a mi Dios por guiarme y darme la sabiduría para afrontar los retos y mis nuevos proyectos

A mi hija Nathalia Quintero Rodríguez, a mi esposa Luz Adriana Salazar Rosero, a mi Madre Marlene Tafur Flor y a toda mi familia que en todo momento están guiándome, comprendiéndome y apoyándome en todas las decisiones que hacen parte de mi vida

A mis amigos y compañeros de trabajo, estudio por los consejos y la compañía constante en el desarrollo de mis proyectos

Marco Quintero Tafur

DEDICATORIA

*Dedico este gran logro de mi vida primero a Dios por ser mi guía
siempre en todos los caminos que he recorrido*

*A mi esposa Ana Milena por su amor y comprensión, que ha sido mi
gran apoyo en lograr mi sueño.*

*A mi hija María Paula quien es mi vida, que cada día me inspira a
cumplir mis metas*

*A mi mamá, papá y hermanos que siempre me han apoyado de
manera incondicional en todo momento.*

Luis Francisco Pinto Carrión

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la universidad Industrial de Santander y a todos los excelentes profesores que compartieron su conocimiento y experiencias con nosotros, que tuvieron paciencia y dedicación en la enseñanza en toda especialización

A la empresa Coca Cola FEMSA por brindarnos la posibilidad de cumplir con una de nuestras metas y apoyarnos en el desarrollo de la monografía.

A todos los compañeros de la especialización por compartir y permitirnos crecer como profesionales permitiendo compartir nuestras experiencias

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	20
1. MARCO ORGANIZACIONAL	22
1.1 LA EMPRESA.....	22
1.2 HISTORIA	24
1.2.1 Ubicación geográfica de Coca Cola FEMSA.....	26
1.3 CULTURA ORGANIZACIONAL.....	28
1.3.1 Misión.....	29
1.3.2 Visión	29
1.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.....	29
1.4.1 Estructura Mantenimiento	29
1.4.2 Estructura Manufactura Envasado	30
1.5 PROCESO OPERATIVO DE LINEA DE EMBOTELLADO.....	33
1.5.1 Soplado	34
1.5.2 Operación de llenado	36
1.5.3 Carbonatado	41
1.5.4 Inspector de nivel	42
1.5.5 Etiquetadora.....	42
1.5.6 Empacadora.....	46
1.5.7 Túnel de termorretracción	48
1.5.8 Paletizadora	49
1.6 OBJETIVOS	51
1.6.1 Objetivo General	51
1.6.2 Objetivos Específicos.....	51
1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	52
2. MARCO TEORICO.....	53

2.1	QUE ES MANTENIMIENTO	53
2.2	QUE ES UNA FALLA	53
2.2.1	Fallas funcionales	55
2.2.2	Modos de fallas	55
2.2.3	Probabilidad de fallas	56
2.2.4	Efecto de una falla.....	56
2.2.5	Tipos de fallas	56
2.2.6	Patrones de fallas	57
2.3	MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	60
2.4	TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	60
2.4.1	Mantenimiento Preventivo.....	61
2.4.2	Mantenimiento Correctivo	61
2.4.3	Mantenimiento Basado en Condición (Predictivo).....	62
2.5	HERRAMIENTAS PARA LA OPTIMIZACION DE ACTIVOS	66
2.6	MÉTODOS DE MEDICIÓN DE FALLAS EN MANTENIMIENTO	67
2.6.1	Método Cuantitativo para el Análisis de Fallas.....	68
2.6.2	Método Cualitativo para Análisis de Fallas.....	69
2.7	ANALISIS CAUSA RAIZ (RCA).....	69
2.7.1	Aplicación del Análisis Causa Raíz.	70
2.7.2	Niveles del Análisis Causa Raíz.....	71
2.8	ANALISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS.....	72
2.8.1	Norma NORZOK Z-008.....	75
2.8.2	Implementación análisis de criticidad para plan de predictivo	76
2.9	CONFIABILIDAD OPERACIONAL	78
3.	ANALISIS DE DATOS	82
3.1.1	Norma BS ISO 14224.....	83
3.1.2	Límites y jerarquía del equipo	84
3.2	TAXONOMIA DE EQUIPOS LINEA DE ENVASADO.....	87
3.2.1	Clase y tipos de equipo	89
3.3	SISTEMA DE GESTION DE INFORMACION SAP	92

3.4	MODULO DE MANTENIMIENTO SAP-PM	92
4.	METODOLOGIAS DE ANALISIS DE CAUSA RAIZ	96
4.1	ANALISIS CAUSA RAIZ METODOLOGIA ISHIKAWA.....	96
4.2	ANALISIS CAUSA RAIZ METODOLOGIA ARBOL DE FALLAS	98
4.3	ANALISIS FMEA	99
4.3.1	Consideración sobre FMEA	100
4.4	ANALISIS 5 POR QUÉ?	100
4.5	ANALISIS DE PARETO.....	102
4.5.1	Objetivos del Análisis Pareto.....	105
5.1	PROCESO DE IMPLEMENTACION RCA REACTIVO.....	106
5.2	MATRIZ ASIGNACION DE RESPONSABILIDADES RACI RCA	107
5.3	PASOS DEL PROCESO	109
5.3.1	Paso 1: Creación del aviso de avería I3.....	109
5.3.2	Paso 2: Ejecución del correctivo	113
5.3.3	Paso 3: evaluación de la falla.....	113
5.3.4	Paso 4: cierre de la orden mantenimiento y aviso.....	115
5.3.5	Paso 5/7: reporte preliminar de falla.....	115
5.3.6	Paso 8: base de datos RCA'S	117
5.3.7	Paso 9: metodología 5 porqués?	117
5.3.8	Paso 10: Análisis causa raíz árbol de falla	118
5.3.9	Paso 11: evaluación de recomendaciones.....	124
5.3.10	Paso 12: aprobación de recomendaciones	127
5.3.11	Paso 13: seguimiento a planes de acción PAC'S	127
5.3.12	Paso 14: implementación de recomendaciones	128
5.3.13	Paso 15: recomendaciones efectivas.....	129
5.3.14	Paso 16: lecciones aprendidas LUP's.....	131
5.3.15	Paso 17: divulgación de lecciones aprendidas.....	131
5.3.16	Paso 18: cierre de RCA'S	131
6.	CONCLUSIONES.....	132
	BIBLIOGRAFIA.....	134

ANEXOS.....135

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Panorama operativo 2015.....	23
Tabla 3: Tiempos perdidos por línea de envasado	103
Tabla 4: Pareto de modos de fallas	104
Tabla 5: Matriz RACI.....	107
Tabla 6: Matriz RACI proceso RCA Coca Cola FEMSA	108
Tabla 7: Tipos de avisos SAP-PM	109
Tabla 8: Valoración de criticidad.....	114
Tabla 9: Ejemplos ayuda de clasificación de causa raíz.....	122
Tabla 10: Tabla de ayuda recomendaciones	125
Tabla 11: Formato de evaluación de recomendaciones	126
Tabla 12: Formato de seguimiento planes de acción.....	130

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Imagen 1. Operaciones de Coca Cola FEMSA	23
Imagen 2. Ubicación geográfica planta Coca Cola FEMSA Tocancipa	27
Imagen 3. Fotografía planta Coca Cola FEMSA Tocancipa	27
Imagen 4. Líneas de producción planta Tocancipa.....	28
Imagen 5. Organigrama de mantenimiento Coca Cola FEMSA planta Tocancipa	30
Imagen 6. Representación célula modelo operativo	32
Imagen 7. Entrada preformas a horno soplado Krones	35
Imagen 8. Sopladora de envases Krones	35
Imagen 9. Trayectoria envase desde soplado hasta llenado	36
Imagen 10. Llenadora Krones Modufill	37
Imagen 11. Fases de llenado.....	37
Imagen 12. Componentes del conducto de llenado	38
Imagen 13. Alimentador de tapas Krones.....	39
Imagen 14. Capsulador Krones	40
Imagen 15. Carbonatador Contiflow Krones	41
Imagen 16. Inspector de nivel HEUFT	42
Imagen 17. Etiquetadora Krones	43
Imagen 18. Tornillo Sinfín entrada Etiquetadora y Carrusel	44
Imagen 19. Portaenvases y estrella de entrada.....	45
Imagen 20. Porta bobinas Etiquetadora.....	46
Imagen 21. Empacadora ACMI.....	46
Imagen 22. Componentes de Horno Empacadora.....	47
Imagen 23. Túnel de termoencogido	48
Imagen 24. Paletizadora ACMI	49
Imagen 25: Paletizadora ACMI	50
Imagen 26. Perspectiva tradicional de la falla.....	57
Imagen 27. Seis Patrones de falla	59
Imagen 28. Curva P-F.....	64
Imagen 29. Intervalo P-F	65
Imagen 30. Pasos de un análisis de criticidad	73
Imagen 31. Diagrama de procesos, estructura funcional y diagrama de criticidad	76
Imagen 32. Criticidad de Equipos Coca Cola FEMSA Tocancipa.....	77

Imagen 33. Rutas de monitoreo de vibraciones.....	77
Imagen 34. Programa anual de vibraciones y termografía	78
Imagen 35. Confiabilidad Operacional	80
Imagen 36. Ejemplo de diagrama de límites de una bomba	85
Imagen 37. Taxonomía ISO 14224	86
Imagen 38. Taxonomía Coca Cola FEMSA	87
Imagen 39. Taxonomía Equipos Coca Cola FEMSA	88
Imagen 40. Taxonomía de equipos hasta componentes	88
Imagen 41. Estructura de información de equipos.....	89
Imagen 42. Clase y tipo de equipo ISO 14224	90
Imagen 43. Estructura de Información clases por tipos de equipos.....	91
Imagen 44. Ejemplo de clases, tipos y características de Equipos ISO 14224.....	91
Imagen 45. Sistema de gestión mantenimiento bajo SAP PM.....	94
Imagen 46. Integración de módulos SAP.....	95
Imagen 47. Diagrama espina de pescado ISHIKAWA.....	96
Imagen 48. Ejemplo de 5 por qué?	101
Imagen 49. Diagrama de Pareto	103
Imagen 50. Diagrama de Pareto de Etiquetadora.....	105
Imagen 51. Propuesta flujograma análisis RCA.....	106
Imagen 52. Texto del aviso	110
Imagen 53. Objeto de referencia.....	110
Imagen 54. Objeto de referencia.....	111
Imagen 55. Posición del aviso	111
Imagen 56. Objeto de referencia.....	112
Imagen 57. Datos de avería.....	112
Imagen 58. Matriz de criticidad	113
Imagen 59. Metodología de árbol lógico de fallas.....	121
Imagen 60. Priorización recomendaciones RCA.....	126

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexos A: Plantilla de reuniones para el proceso de RCA	135
Anexos B: Componentes del diagrama de árbol.....	135
Anexos C: Matriz de criticidad para el RCA.....	136
Anexos D: Formato preliminar de falla 24 horas.....	137
Anexos E: Formato de análisis 5 por qué?	138
Anexos F: Procedimiento para el análisis 5 por qué?	139
Anexos G: Formato de lección aprendida del análisis RCA.....	140
Anexos H: Formato de árbol de falla RCA.....	141

GLOSARIO

Avería: incapacidad de un aparato para cumplir la función requerida.

Causa de avería: circunstancias que hayan generado una avería durante el diseño, fabricación o uso.

Clase de severidad: efecto en el funcionamiento de la unidad de equipo.

Descriptor de averías: aparente causa de una avería

Falla: estado de un aparato que se caracteriza por su incapacidad para cumplir una función requerida, excepto cuando esto ocurra durante el mantenimiento preventivo u otras acciones previstas, o debido a la falta de recursos externos

Ítem mantenible: aparato que constituye una parte o ensamblaje de partes, que generalmente se encuentra en el nivel más inferior de la jerarquía durante el mantenimiento.

Mecanismo de avería: proceso físico, químico o de otro tipo que ha generado una

MTBF: “Mean Time Between Failures” o también conocido como tiempo medio entre fallas.

MTTR: “Mean Time To Repair” o también conocido como tiempo medio para reparar. Es básicamente la Mantenibilidad de un Ítem reparable.

Período de monitoreo: intervalo de tiempo entre la fecha de inicio y la fecha de recopilación de los datos.

Reporte de 24 horas: Herramienta utilizada para registrar el evento de falla inicial. Esta herramienta y la matriz de clasificación de eventos determinan el tipo de análisis a realizar.

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA BAJO LA METODOLOGIA ANALISIS CAUSA RAIZ DE FALLA (RCA) PARA ASEGURAR LA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS DE EMBOTELLADO EN COCA-COLA FEMSA TOCANCIPA *

AUTOR: Marco Quintero Tafur y Luis Francisco Pinto Carrión**

PALABRAS CLAVES: Análisis de causa raíz de falla, Árbol lógico de fallas, 5 porqués?, Mejoras enfocada, Gestión de activos, Confiabilidad, Disponibilidad.

DESCRIPCIÓN:

EMBOTELLADORA DE LA SABANA SAS es una de las operaciones industriales de Coca Cola FEMSA, es el embotellador público más grande de productos Coca-Cola en el mundo, en Colombia está conformado por siete plantas de producción las cuales manufacturan, distribuyen y comercializan productos de Coca Cola.

El proceso de aplicación de la metodología de RCA, estará enfocado a la elaboración de procesos y procedimientos los cuales incluyen los roles y participantes del equipo de investigación, bajo el modelo operacional de manufactura y los lineamientos del White Book de mantenimiento e ingeniería.

Se analizan las diferentes metodologías de análisis de causa raíz de falla con el fin de definir la más apropiada para la propuesta de implementación. Y se establece el modelo de análisis reactivo y proactivo como herramientas para la solución de problemas en fallas de equipos.

En el proceso y análisis de la metodología RCA reactivo, se utiliza un análisis cualitativo para determinar la criticidad de los eventos, y así tomar la decisión del método a implementar para determinar la causa raíz. Teniendo en cuenta para análisis de criticidad media metodología de los cinco por qué? Y para los de criticidad alta la metodología de árbol lógico de fallas¹.

¹ *Monografía

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento
Director Carlos Mario Tamayo Domínguez

SUMMARY

TITLE: PROPOSAL METHODOLOGY UNDER ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS (RCA) FOR ENSURE THE RELIABILITY AND EQUIPMENT AVAILABILITY BOTTLING IN COCA-COLA FEMSA TOCANCIPA*

AUTHOR: Marco Quintero Tafur and Luis Francisco Pinto Carrión**

KEYWORDS: Root Cause Analysis Failure, Failure Tree Logical, 5 whys, focused Improvement, Asset Management, Reliability, Availability?.

DESCRIPTION:

EMBOTELLADORA DE LA SABANA SAS is one of the industrial operations of Coca Cola FEMSA is the largest Coca-Cola products in the world, in Colombia bottler is made up of seven production plants which manufacture, distribute and sell Coca Tail.

The process of applying the methodology of RCA will be focused on the development of processes and procedures which include the roles and participants of the research team, under the operational model of manufacturing and guidelines of the White Book of maintenance and engineering.

The different methods of root cause analysis of failure in order to define the most appropriate for the proposed implementation are analyzed. And the model of reactive and proactive as tools for troubleshooting equipment failure analysis is established.

In the process and analysis of the reactive RCA methodology, a qualitative analysis is used to determine the criticality of the events, and thus make the decision to implement the method to determine the root cause. Given average for criticality analysis methodology of the five why? And for high criticality methodology logical fault tree².

² *Monograph

** School of Mechanical Engineering, Maintenance Management Specialization
Director Carlos Mario Tamayo Dominguez

INTRODUCCION

En la actualidad, con los tratados de libre comercio cuando la globalización ha obligado a las empresas de bienes y servicios a revisar y mejorar sus procesos para ser más competitivas ya que no solo compiten con las empresas internas del país, el mantenimiento se convierte aún más en un aliado imprescindible, garantizándoles su éxito ante un mundo tecnológico de continuos y grandes cambios. El Mantenimiento hay que construirlo poco a poco, progresivamente con el concurso de todos los involucrados en este proceso. La relación Hombre-Equipo, Hombre-Instalaciones, u Hombre-Infraestructura debe ser muy estrecha, para que permita que los responsables del mantenimiento, estén encima de las fallas, conociéndolas, identificándolas y minimizándolas, y no éstas encima de ellos, ocasionando impactos negativos sobre las personas, ambiente, equipos y producción. Hay que concebir el mantenimiento a través de un enfoque sistémico, con entradas, procesos y salidas, engranado como todo un conjunto; diseñando el Registro del Sistema a mantener, Planificando y Programando su mantenimiento; y por último, elaborando indicadores que permitan medir el desempeño de la gestión.

El desarrollo de la propuesta de análisis de causa raíz de falla, tiene como propósito fundamental, estructurar de manera sistemática el proceso de mejora continua eliminando los malos actores del mantenimiento y disminuyendo los tiempos por paros de equipos, lo cual garantizara una mejora en la eficiencia de línea.

En el primer capítulo del documento se encuentra el marco organizacional, y se presenta la ubicación geográfica de Coca Cola FEMSA Tocancipa “EMBOTELLADORA DE LA SABANA SAS”

En el capítulo dos, se presenta el marco teórico se explica los principios de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. Y la importación de la recolección de datos para los análisis de confiabilidad.

En el cuatro capítulo se presenta el modelo de la metodología, describe los procesos paso a paso de la implementación y con la ayuda de una matriz RACI los responsables de cada paso.

1. MARCO ORGANIZACIONAL

1.1 LA EMPRESA

FEMSA es una empresa multinacional de bebidas y comercio al detalle con sede en México. Tiene su sede en Monterrey y opera en 10 países de Latinoamérica y en Filipinas. A través de Coca-Cola FEMSA (con una participación de 48%), es el embotellador independiente de productos Coca-Cola más grande del mundo. A través de FEMSA Comercio (con una participación de 100%) operando OXXO, cadena líder de tiendas de proximidad en México, así como un creciente portafolio de cadenas de formato pequeño en Latinoamérica; también opera una red de estaciones de servicio para la venta de gasolina, lubricantes y productos para el cuidado del auto en México. Asimismo, es el segundo accionista más importante de Heineken (con una participación de 20%), una de las cerveceras líderes a nivel global. Adicionalmente, a través de FEMSA Negocios Estratégicos proporciona servicios de logística y soluciones de refrigeración en el punto de venta y en plásticos, tanto a las empresas de FEMSA como a clientes externos³.

³ Fomento Económico Mexicano: Wikipedia
https://es.wikipedia.org/wiki/Fomento_Econ%C3%B3mico_Mexicano

Tabla 1: Panorama operativo 2015

COCA-COLA FEMSA							
PAIS	Población atendida (millones)	Puntos de Venta	Plantas	Centros de distribución	Rutas de distribución	Colaboradores	Marcas
México	71,9	853.373	17	143	3.547	43.988	49
Centroamérica	21,9	113.400	5	31	320	6.198	24
Colombia	46,7	446.236	7	25	1.230	5.182	17
Venezuela	31	176.503	4	33	507	7.336	13
Brasil	72,1	332.142	9	38	1.291	18.005	49
Argentina	12,2	51.325	2	4	208	3.003	20
Filipinas	101,8	806.369	19	53	1.792	15.306	14
Total	3.576	2.779.348	63	327	8.895	99.018	NA

Fuente: <http://www.femsa.com/sites/default/files/IAFEMSA2015%20esp.pdf>

Imagen 1. Operaciones de Coca Cola FEMSA



Fuente: <http://www.femsa.com/sites/default/files/IAFEMSA2015%20esp.pdf>

1.2 HISTORIA

Su historia comienza en 1890 al fundarse la Cervecería Cuauhtémoc, hoy Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma después de fusionarse con la cervecería Moctezuma, por los empresarios Isaac Garza, José Calderón, José A. Mugerza, Francisco G. Sada, y Joseph M. Schnaider. Bajo la razón social de Fábrica de Cerveza y Hielo Cuauhtémoc⁴.

El 20 de octubre de 1899 se fundó Fábrica de Vidrios y Cristales, como un proveedor interno de abastecimiento de botella de vidrio cerrando al poco tiempo.

La integración estratégica vertical de Cervecería Cuauhtémoc se inicia en 1936, con el establecimiento de Famosa de Hermetapas para la producción de cerveza. Las operaciones de empaque se expandieron en 1957 con la producción de etiquetas y empaques flexibles. Durante este período, las operaciones de FEMSA formaron parte de lo que se conoció como el “Grupo Monterrey”, que también incluían participaciones en la banca, aceros y otras operaciones de empaque.

En 1974, el Grupo Monterrey se dividió en dos ramas de descendientes de las familias fundadoras de Cervecería Cuauhtémoc. El acero y las operaciones de empaque dieron origen a la creación de Corporación Siderúrgica S.A. (más tarde se consolidaría como Grupo Industrial Alfa, S.A. de C.V.), que sería controlado por la familia Garza Sada, y las operaciones de bebidas y bancarias originaron la creación de Fomento Económico Mexicano (FEMSA), cuyo control recayó en familia Garza Lagüera.

Las acciones de FEMSA cotizaron por primera vez en la Bolsa Mexicana de Valores el 19 de septiembre de 1978. A los finales de los años 1970 e inicios de los 1980, FEMSA diversificó sus operaciones mediante adquisiciones y extiende sus operaciones a agua mineral y de refrescos, además de iniciar las operaciones

⁴ Fomento Económico Mexicano: Wikipedia
https://es.wikipedia.org/wiki/Fomento_Econ%C3%B3mico_Mexicano

de las tiendas de conveniencia “Oxxo” y realiza inversiones en la industria hotelera, de la construcción, de autopartes, alimenticia y pesquera, éstas últimas posteriormente fueron desincorporadas.

En 1985, FEMSA adquiriere una Cervecería Moctezuma S.A. que era la tercera cervecería más importante de México.

En octubre de 1991, FEMSA adquiriere una participación mayoritaria en Bancomer S.A. de C.V., la cual se realizó dentro del proceso de reprivatización del sistema bancario durante el Gobierno de Carlos Salinas de Gortari⁵.

En 1998, FEMSA realizó una simplificación de su estructura de capital y registró ADSs en el New York Stock Exchange, Inc.

En mayo del 2003, su subsidiaria Coca-Cola FEMSA expandió sus operaciones en Latinoamérica adquiriendo el 100% de Panamco, entonces la más grande embotelladora de refrescos de Latinoamérica (con sede en San Juan, Puerto Rico) en términos de volumen de ventas en el 2002. A través de la adquisición de Panamco, Coca-Cola FEMSA empezó con la producción y distribución de la marca de bebidas de Coca-Cola en territorios adicionales en México, Argentina, Brasil, Centroamérica, Colombia y Venezuela así como el embotellado de agua, cerveza y otras bebidas en algunos de estos territorios.

Coca Cola FEMSA en Colombia cuenta con 7 planta ubicadas en Tocancipa, Bogotá, Medellín, Cali, Bucaramanga, Barranquilla y Manantial ubicada en la Calera. En el 2015 inician las operaciones de su nueva planta ubicada en Tocancipa con una inversión de \$250 MMUSD.

⁵ Fomento Económico Mexicano: Wikipedia
https://es.wikipedia.org/wiki/Fomento_Econ%C3%B3mico_Mexicano

1.2.1 Ubicación geográfica de Coca Cola FEMSA. La nueva planta de Tocancipa se suma a la capacidad instalada en Colombia de los centros de producción de Bogotá, Medellín, Bucaramanga, Barranquilla, Cali y La Calera, y le permitirá a Coca-Cola FEMSA dar respuesta al crecimiento de la demanda que se espera como resultado de la implementación de nuevas estrategias de desarrollo del mercado.

En línea con la cultura y valores, el respeto al medio ambiente, la utilización de tecnología de punta y el desarrollo y bienestar de las comunidades. En los inicios de su operación tendrá una capacidad instalada de 120 millones de cajas unitarias.

El Parque Industrial FEMSA cuenta con una extensión aproximada de 27 hectáreas, en las cuales se ubicarán los usuarios industriales de bienes y servicios que integrarán el clúster de bebidas no alcohólicas. La construcción de la planta inició en el mes de agosto de 2013.

Ubicada en el departamento de Cundinamarca, municipio de Tocancipa como se muestra en la (Imagen 2).

La nueva planta de Tocancipa (Imagen 3 – Imagen 4) y el Parque Industrial FEMSA son una muestra más de la relevancia que para el Grupo FEMSA tiene Colombia⁶.

⁶ Dinero: Coca Cola FEMSA (online) <http://www.dinero.com/empresas/articulo/operacion-coca-cola-colombia/205097>

Imagen 2. Ubicación geográfica planta Coca Cola FEMSA Tocancipa⁷



Fuente: Google maps Coca Cola FEMSA Tocancipa

Imagen 3. Fotografía planta Coca Cola FEMSA Tocancipa



Fuente: <http://panelmet.com/project/planta-femsa-cocacola/> Coca Cola FEMSA Tocancipa

⁷ <http://panelmet.com/project/planta-femsa-cocacola/>

Imagen 4. Líneas de producción planta Tocancipa



Fuente: <http://panelmet.com/project/planta-femsa-cocacola/> Coca Cola FEMSA Tocancipa

1.3 CULTURA ORGANIZACIONAL

La cultura organizacional de Coca FEMSA observa los valores y principios que conforman la cultura organizacional, propiciando difusión y cumplimiento de modo que asegura la ventaja competitiva de la empresa a nivel clase mundial orientada a la calidad, al mercado, y al desarrollo del talento humano.

Nuestra cultura está constituida por los siguientes valores:

- Pasión por el servicio y Enfoque al cliente/ consumidor
- Innovación y creatividad
- Calidad y productividad
- Respeto, Desarrollo Integral y Excelencia del personal
- Honestidad, Integridad y austeridad

1.3.1 Misión. Satisfacer con excelencia al consumidor de bebidas.

1.3.2 Visión. Ser el mejor embotellador del mundo, reconocido por su excelencia operativa y calidad de su gente⁸.

1.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

1.4.1 Estructura Mantenimiento. La estructura organizacional está alineada al White Book de mantenimiento, compuesto por dos partes: sistema de ingeniería y mantenimiento que define lineamientos, estándares, prácticas, procesos e interacciones con otras áreas para la gestión del ciclo de vida del activo. Y otra que define el esquema operativo del sistema de ingeniería y mantenimiento⁹.

Todas las plantas de producción con la implementación del modelo operativo cuentan con las áreas de: planeación, automatización, ejecución de mantenimiento, potencia, metrología, ejecución de proyectos e infraestructura.

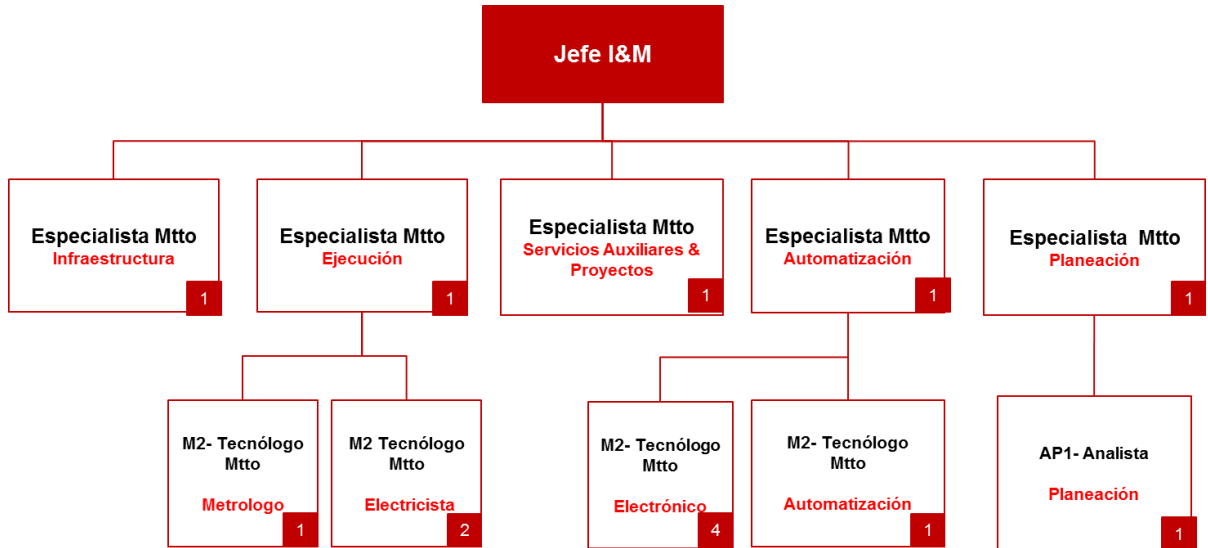
De acuerdo a estos lineamientos la estructura del área de mantenimiento e ingeniería está conformada de la siguiente manera imagen 6.

Donde el departamento está liderado por el Jefe de mantenimiento e ingeniería y para las áreas del modelo se cuenta con Especialistas de mantenimiento. Estos a su vez cuentan con el apoyo de tecnólogos Electrónicos, Electricistas, Metrologó y analista de planeación de mantenimiento.

⁸ <http://www.femsa.com/es/negocios-FEMSA/coca-cola-FEMSA>

⁹ Modelo de ingeniería y mantenimiento White Book Coca Cola FEMSA

Imagen 5. Organigrama de mantenimiento Coca Cola FEMSA planta Tocancipa



Fuente: Modelo de Ingeniería y mantenimiento White Book

Las estructuras de las áreas se agrupan de acuerdo al tamaño de las plantas. Para el caso de la planta de Tocancipa se cuenta con la estructura de acuerdo a la (Imagen 5).





1.4.2 Estructura Manufactura Envasado. Bajo el modelo de manufactura las líneas de envasado PEP, cuentan con una estructura para mantener, operar, controlar y mejorar. Bajo el modelo de operador mantenedor¹⁰.

El proceso de envasado va desde el carbonatado de la bebida hasta el marbeteado del Pallet con el producto final.

Los roles en una célula de envasado son los siguientes como se muestran en la (Tabla 2).

¹⁰ Modelo de manufactura White Book

Tabla 2. Modelo de manufactura Coca Cola FEMSA

<p>Team leader (TL)</p>		<ul style="list-style-type: none"> * Team Leader que asegura la «Foto de Éxito» del turno * Administrar los sistemas * Planear, coordinar y facilitar los recursos para la continuidad del proceso de las * líneas de su célula * Ser el coach del equipo
<p>Especialista de manufactura (M3)</p>		<ul style="list-style-type: none"> * Ser el líder técnico – operativo. Planear y coordinar, garantizar y dar formación técnica * Relevar al Tecnólogo; participar activamente en cambios y mantenimientos * Interacción principal con I&M y con proveedores técnicos
<p>Tecnólogo de manufactura (T2)</p>		<ul style="list-style-type: none"> * Responsable Operar (arranques, cortes, estabilización y ajustes) * Responsable del cumplimiento de especificaciones de producto * Responsable al 100% de la ejecución del mantenimiento * Responsable de realizar cambios de formato y saneamientos * Asesorar y relevar al Operario
<p>Técnico de manufactura (T1)</p>		<ul style="list-style-type: none"> * Recibir y registrar insumos * Alimentar, operar en continuo y monitorear su proceso * Participar en la ejecución de mantenimiento básico que lidera el Tecnólogo * Participar en los arranques apoyando al Tecnólogo * Mantener el orden y limpieza y realizar inspecciones básicas * Colaborar al Tecnólogo en saneamientos y en cambios de formato

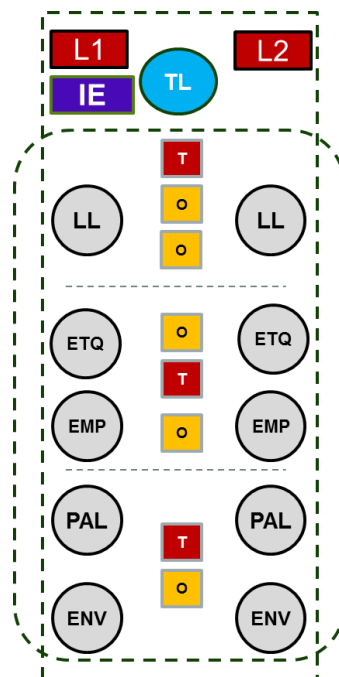
Fuente: Modelos de manufactura White Book¹¹

¹¹ Modelo de manufactura White Book

En la célula de envasado se cuenta con dos líneas espejos, Estas líneas son completamente idénticas con la cantidad de equipos buscando ser operada, mantenida y controlada por una célula de manufactura, como muestra en la (Imagen 6).

- **LL: Llenadoras** estas son operadas por un técnico operador y un tecnólogo.
- **EMP: Empacadora / ETQ: Etiquetadora:** estas son operadas por dos técnicos operadores y un tecnólogo.
- **PAL: Paletizadora / ENV: Envolvedora:** estas son operadas por un técnico operador y un tecnólogo.

Imagen 6. Representación célula modelo operativo



Fuente: Modelo operativo de manufactura Coca Cola

El mantenimiento mecánico es responsabilidad de la célula de manufactura, el cual lo ejecuta y se apoya en el departamento de mantenimiento en la especialidad eléctrica, electrónica y metrología.

1.5 PROCESO OPERATIVO DE LINEA DE EMBOTELLADO

El sistema de embotellado de una línea no retornable PET cuenta con los siguientes equipos los cuales operan de manera continua.

- Alimentador de tapa
- Alimentador de preforma
- Carbonatador
- Sopladora
- Llenadora
- Capsulador
- Nitrogenador
- Inspector de nivel
- Acumulador dinámico
- Secador de botellas
- Etiquetadora
- Inspector de etiqueta
- Empacadora
- Paletizadora
- Envolvedora
- Transportadores de botellas, paquetes y tarimas

La líneas tienen diferentes tecnologías de fabricantes como: Kronos, ACMI, Heuft y VBC entre otras. A continuación se describirán los procesos principales de la línea de envasado típica.

1.5.1 Soplado. Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos puede ser procesado mediante extrusión, inyección, soplado de preforma y termoconformado. Para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, con lo que se logra una mayor transparencia. La razón de su transparencia al enfriarse rápidamente consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente y su tamaño no interfiere¹².

El polímero de PET puede ser transformado en botella mediante un proceso llamado biorientación de preformas, las cuales son moldeadas en equipos de inyección. El moldeo de las preformas consiste en la inyección del polímero fundido en la cavidad del molde hasta llenarlo. Una vez lleno, la resina del polímero fundido es enfriada rápidamente para obtener así una pieza con excelente transparencia, libre de deformaciones y una magnífica exactitud dimensional lo cual es esencial para obtener botellas de excelente calidad.

Después del proceso de inyección las preformas son transportadas hacia la sopladora (Imagen 8), la cual hace parte de un conjunto de tres máquinas conocido como Ergoblok (sopladora, llenadora y capsuladora). La preforma PET es alimentada e ingreso al horno para su calentamiento y posteriormente llegan a la estación de soplado. Los envases se fabrican con preformas que son estiradas

¹² Tereftalato de polietileno https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno

y sopladas dentro de moldes refrigerados a una temperatura entre 8°C y 12°C. Los envases soplados posteriormente pasan a un sistema de refrigeración de fondo por medio de estrellas de transferencias. Este sistema enfría el envase por la parte inferior “llamado pétalo” evitando deformaciones en el proceso de llenado. En la (Imagen 7) se muestra el alimentar de preformas al horno de soplado.

Imagen 7. Entrada preformas a horno soplado Krones



Fuente: Fotografía Coca Cola FEMSA Tocancipa

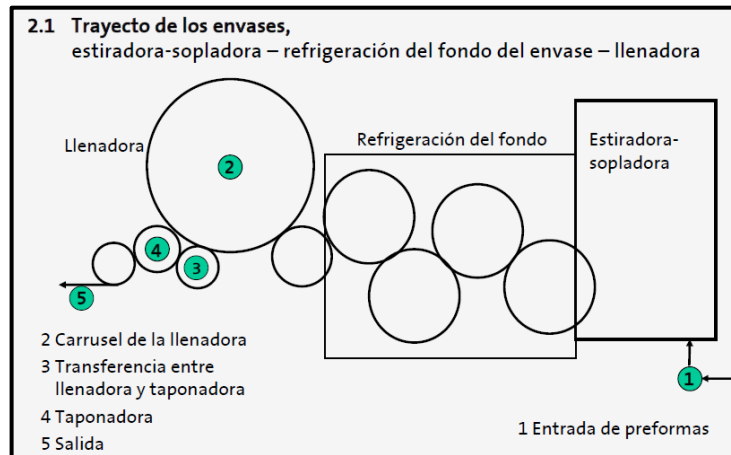
Imagen 8. Sopladora de envases Krones



Fuente: Fotografía Coca Cola FEMSA Tocancipa

El trayecto del envase del envase desde la sopladora hasta la salida de la llenadora se muestra a continuación (Imagen 9).

Imagen 9. Trayectoria envase desde soplado hasta llenado



Fuente: Manual de capacitación llenadora Academia Kronos

1.5.2 Operación de llenado. La llenadora Kronos (Imagen 10) trabaja a una velocidad máxima de 44.000 bt/hr para formatos personales, cuenta con un sistema de llenado conformado por 144 válvulas y 28 capsuladores que realizan el taponamiento de la tapa en la botella.

La llenadora cuenta con una cabina llamada sala limpia que presuriza el ambiente, está a su vez cuenta con tres cuatro unidades de filtración en la parte superior. Cada unidad de filtración está compuesta con 3 tipos de filtro: Guata, Prefiltró y filtro HEPA.

Los accionamientos del sistema son operados por medio de servomotores los cuales garantizan el sincronismo de todos los mecanismos.

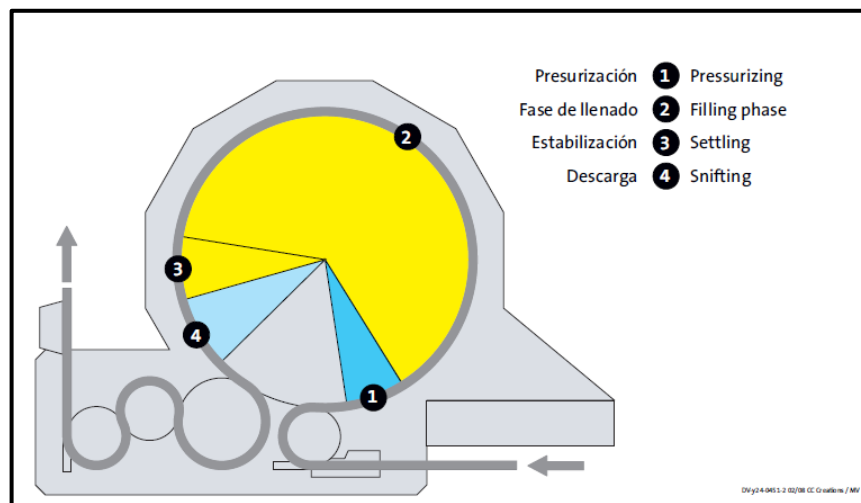
Imagen 10. Llenadora Kronos Modufill



Fuente: Fotografía Coca Cola FEMSA Tocancipa

Las fases de la llenadora Presurización como se muestran (Imagen 11), Llenado, Estabilización y descarga. La cuales hacen parte del control para tener un excelente nivel de llenado.

Imagen 11. Fases de llenado

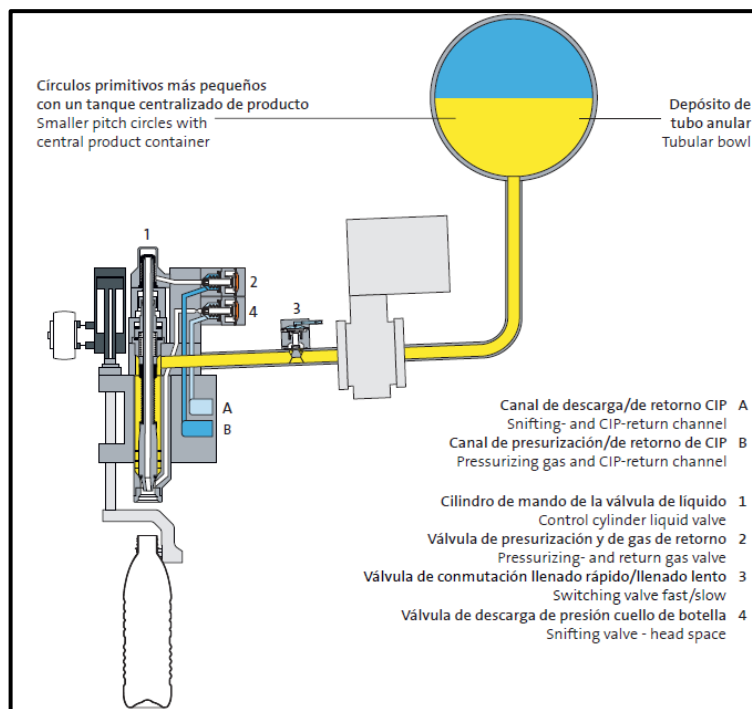


Fuente: Manual de capacitación llenadora Academia Kronos

Principio de funcionamiento inicia cuando se presiona el envase PET contra la válvula y se presuriza. Cuando en el depósito anular y en el envase PET existe la misma presión, empieza el proceso de llenado. En este proceso las dos velocidades diferentes utilizadas garantizan un óptimo comportamiento de flujo. Un caudalímetro controla la cantidad de líquido que entra. Cuando se alcanza la cantidad llenada exacta, se cierra la válvula. Después de una fase de estabilización, la válvula de descarga reduce la presión en el espacio libre superior del envase PET y el producto llenado sale de la máquina.

El sistema de una válvula se compone de los siguientes componentes (Imagen 12). Medidor de flujo, válvula rápido/lento, bloque de presurización y alivio, válvula de llenado y cilindro elevador.

Imagen 12. Componentes del conducto de llenado



Fuente: Manual de capacitación llenadora Academia Krones

La tapa es suministrada por medio del alimentador de tapas Kronos (Imagen 13) e inspeccionadas a la salida de este validando 4 parámetros:

Imagen 13. Alimentador de tapas Kronos



Fuente: Fotografía Coca Cola FEMSA Tocancipa

1. Part Location On Circle es el parámetro encargado de hacer el centrado de la imagen para el análisis.
2. Verificación del contraste dependiendo del color de la tapa debido a la cantidad de luz en la imagen con esta se determina si la tapa viene volteada o no.
3. Parámetro llamado circulo determina la circunferencia de la tapa comparándola con un círculo perfecto dependiendo cuanto se desvíe la imagen de referencia rechaza la tapa o no.
4. El cuarto sistema está conformado por cuatro ejes dispuestos aproximadamente a 45 grados entre sí, los cuales miden el diámetro de la circunferencia de la tapa y si alguno de ellos encuentra un diámetro menor al debido se rechaza la tapa.

Después de la inspección la tapa viaja por medio de un transportador aéreo hasta llegar a la llenadora. Antes de ingresar la tapa a la maquina es pasada por una lámpara UV que esteriliza cualquier tipo de microorganismo.

Luego de que la botella es llenada se pasa por el capsulador (Imagen 14) por medio del peak and place, el cual debe garantizar un torque de 13lbf/in y una carga vertical de 160N, con el fin de no deformar la tapa y que estén dentro de los parámetros de calidad “Capacidad de proceso”.

Imagen 15. Capsulador Krones



Fuente: Fotografía Coca Cola FEMSA Tocancipa

1.5.3 Carbonatado. La disolución del CO₂ tiene lugar según el principio de la carbonatación por saturación. El mando integrado calcula la presión necesaria de forma autónoma ajustándola continuamente a la temperatura actual de la bebida.

El gas se disuelve con mayor facilidad a una presión alta y una temperatura baja. La presión de saturación es la presión para la que ya no cambia el contenido de CO₂.

El producto es suministrado por medio del Contiflow o Carbonatador marca Krones (Imagen 15) el cual inyecta CO₂ a la bebida terminada, la cual es suministrada desde el proceso de fabricación. Esta ingresa al tazón de la llenadora y es suministrado por medio de un distribuidor de bebida a las botellas PET a una temperatura de 10°C.

Imagen 16. Carbonatador Contiflow Krones



Fuente: Fotografía Coca Cola FEMSA Tocancipa

1.5.4 Inspector de nivel. Al salir la botella de la llenadora se realiza una inspección del nivel por medio de Inspector Heuft (Imagen 16). El cual muestrea y rechaza dependiendo del contenido neto de la botella.

Imagen 17. Inspector de nivel HEUFT



Fuente: Fotografía Coca Cola FEMSA Tocancipa

1.5.5 Etiquetadora. La Etiquetadora (Imagen 17) es la maquina encargada de suministrar la etiqueta a la botella, esta debe operar a velocidades mayores de la llenadora.

La botella al salir de la llenadora llegan a la etiquetadora por medio de transportadores para su posterior etiquetado, la cual está constituida por los siguientes grupos funcionales: Entrada, dos Portabobinas, unidad de empalme, conjunto de etiquetado con mecanismo de corte, cilindro de transferencia por

vacío, Conjunto encolador, cabezal de la máquina y carrusel, mesa de máquina con bastidor y pantalla¹³.

Imagen 18. Etiquetadora Krones



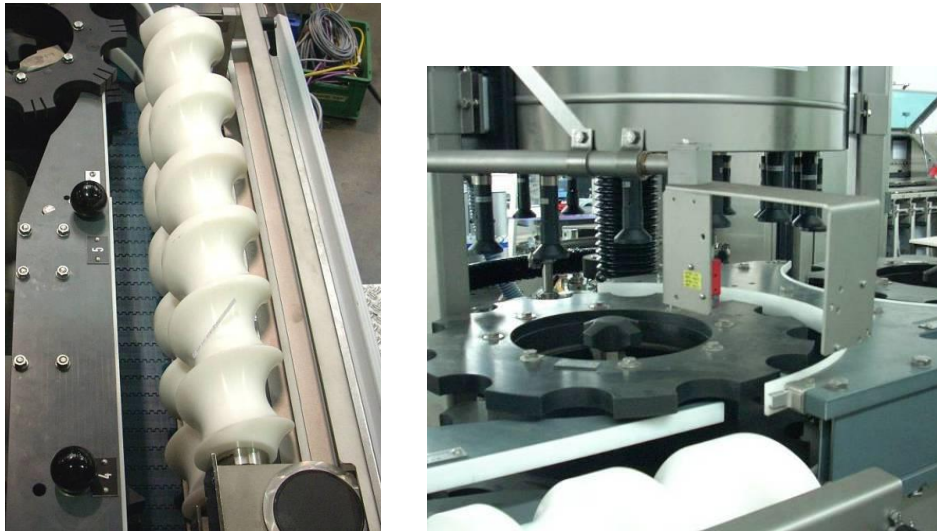
Fuente: Fotografía Coca Cola FEMSA Tocancipa

El recorrido de los envases inicia desde el tornillo sinfín de entrada (Imagen 18), un engranaje lo pone en movimiento para la entrada de los envases separándolos al paso de la máquina. Además, existe un sistema para bloquear la entrada (estrella de bloqueo) instalado inmediatamente delante.

El sensor de "Hay Envase" detecta los envases que entran en la máquina e informa correspondientemente el sistema de mando. De esta forma solo se dispensa una etiqueta si realmente hay un envase en el conjunto.

¹³ Manual de capacitación Etiquetado Krones AG

Imagen 19. Tornillo Sinfín entrada Etiquetadora y Carrusel



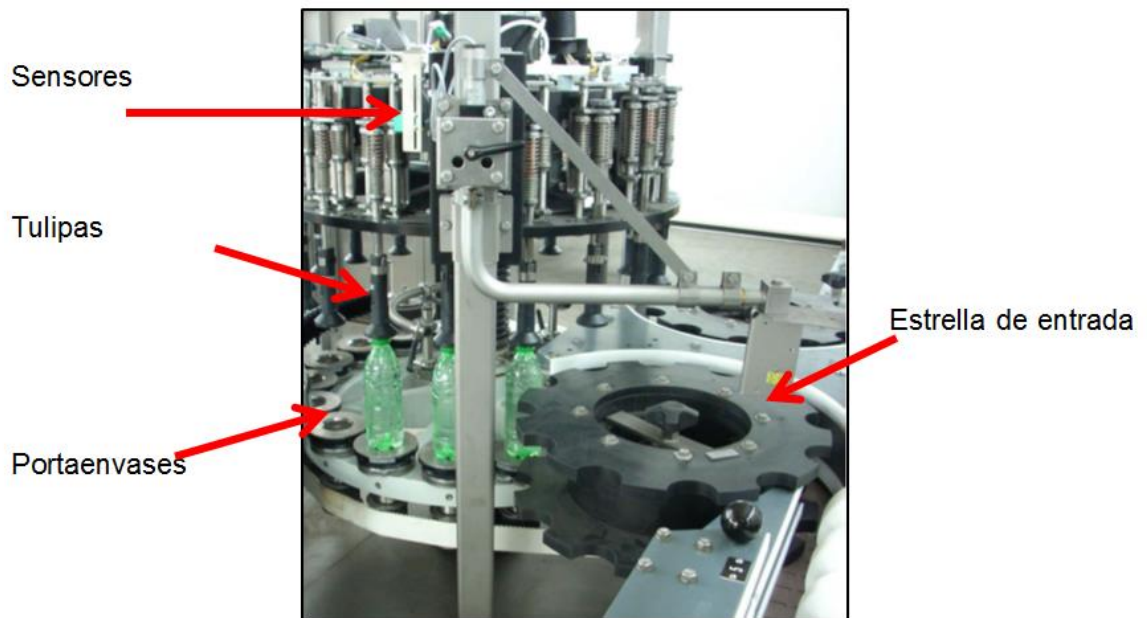
Fuente: Manual de capacitación etiquetadora Academia Krones

Después de la estrella de entrada, los envases se entregan a los portaenvases en el carrusel fijándose firmemente desde la parte superior mediante tulipas centradoras¹⁴.

Tres sensores (detección de huecos entre los envases) controlan si se encuentran envases en el carrusel (Imagen 18).

¹⁴ Manual de capacitación Etiquetado Krones AG

Imagen 20. Portaenvases y estrella de entrada



Fuente: Manual de capacitación etiquetadora Academia Krones

La etiqueta cortada y encolada es entregada al envase que va pasando. La precisión durante la entrega de la etiqueta es decisiva para la calidad¹⁵.

Un servomotor desbobina la cinta de etiquetas, el mando de la máquina determina la longitud de cinta necesaria. Para detectar el diámetro de la bobina y el final de la cinta de etiquetas se encuentran los sensores que miden el tamaño de la bobina (Imagen 19).

El sistema cuenta con dos portabobinas (Imagen 20), los cuales operan con un sistema de empalme automático y dos agregados dependiendo del formato usado en la máquina así será la operación de cada uno de ellos.

¹⁵ Manual de capacitación Etiquetado Krones AG

Imagen 21. Porta bobinas Etiquetadora



Fuente: Manual de capacitación Etiquetadora Krones.

1.5.6 Empacadora. La empacadora (Imagen 21) es una maquina automática apta para termoretraer el film enrollado sobre el paquete. Los paquetes pasan a través del túnel de termoencogido por medio de un transporte motorizado. Un sistema de bombas empuja el aire a través de un sistema de resistencias eléctricas que lo calientan.

Imagen 22. Empacadora ACMI



Fuente: Fotografía Coca Cola FEMSA Tocancipa

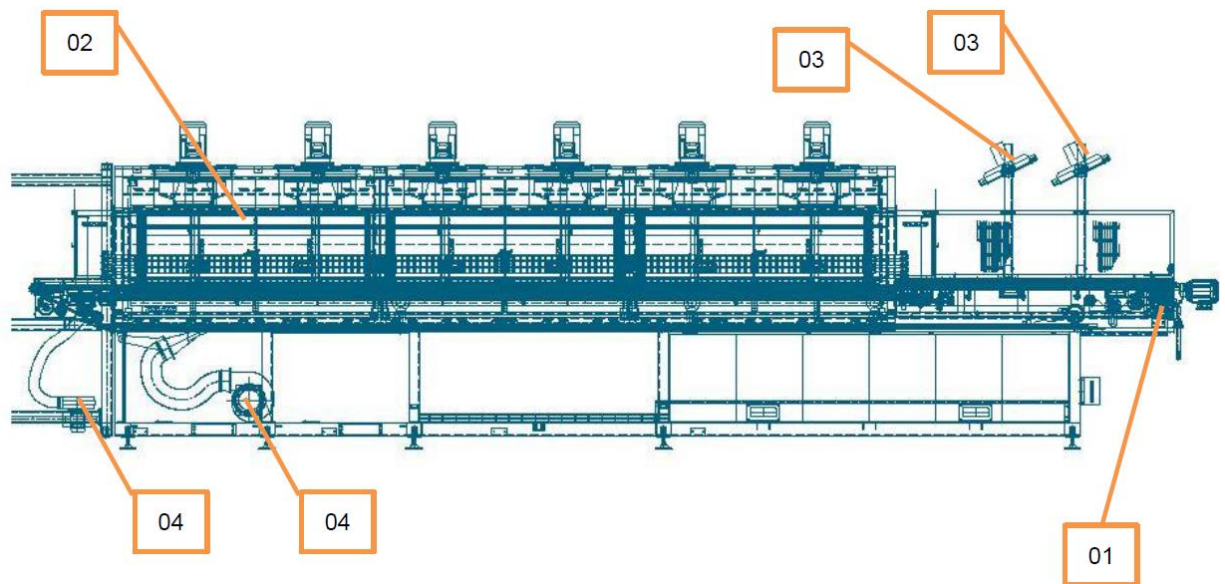
El aire caliente es transportado mediante recirculación forzada sobre los paquetes, con dirección regulable mediante tabiques móviles; el aire termina el ciclo volviendo a las bombas que lo mandan nuevamente a las resistencias.

A la salida del túnel, un sistema de ventilación, desde lo alto, acelera el proceso de extracción y de enfriamiento del film enrollado¹⁶.

La máquina está conformada por los siguientes componentes principales así (Imagen 22):

1. Transporte motorizado
2. Túnel de termorretracción
3. Ventilador de enfriamiento de paquetes
4. Ventilador de enfriamiento de la alfombra

Imagen 23. Componentes de Horno Empacadora



Fuente: Manual de operación y mantenimiento empacadora ACMI

¹⁶ Manual de operación y mantenimiento Empacadora ACMI

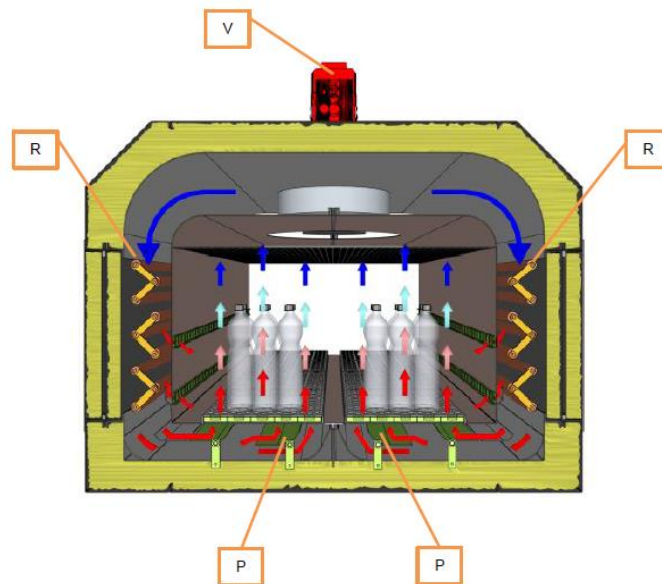
1.5.7 Túnel de termorretracción. Está constituido por un módulo dotado de un set de resistencias (R) y de dos ventiladores (V) de recirculación del aire. Cuatro sondas térmicas controlan la temperatura en el interior del túnel.

Están montadas 4 barreras (P) de desviación del flujo de aire, con los relativos indicadores de posición.

El túnel está recubierto con paneles aislantes; aquellos laterales son desmontables para consentir el acceso a las resistencias¹⁷.

Los paquetes de envases son conducidos por medio de un transportador en el interior del horno, y está conformado por medio de baquetas metálicas.

Imagen 24. Túnel de termoencogido



Fuente: Manual de operación y mantenimiento empacadora ACMI

¹⁷ Manual de operación y mantenimiento Empacadora ACMI

1.5.8 Paletizadora. El sistema de la paletizadora (Imagen 24), está constituido por tres brazos robotizados montados sobre guías lineares que soportan el equipo de toma, formado por una pinza neumática en fibra de carbono para cada brazo.

Las guías lineares permiten al equipo de toma de desplazarse velozmente a lo largo de los dos ejes cartesianos, mientras las pinzas se mueven en sentido vertical. Ya sea los movimientos de los brazos robotizados que aquellos de las pinzas de toma, son accionados a través de servomotores. Este sistema permite una manipulación extremadamente veloz y precisa de cualquier tipología de producto, preservando el aspecto exterior y el contenido del mismo. Los productos a la entrada de la máquina, después de haber sido distanciados automáticamente gracias a las cintas o bien al emparejador, se desplazan sobre un transportador motorizado con movimiento sincronizado a aquel del equipo de toma. Esta sincronización permite manipular también contenedores inestables o de pequeñas dimensiones, porque la precisión de los movimientos es muy elevada¹⁸.

Imagen 25. Paletizadora ACMI

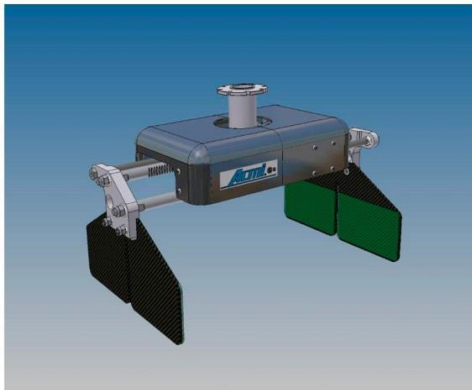


Fuente: Fotografía Coca Cola FEMSA Tocancipa

¹⁸ Manual de operación y mantenimiento Paletizadora ACMI

Las pinzas en carbono (Imagen 25), se caracterizan por un movimiento de cierre concéntrico que permite contener el producto durante toda la fase de desplazamiento y rotación. El movimiento de subida y descenso, así como aquel de rotación, esta accionado por servomotores y es completamente personalizable a través del panel operador. Esta característica permite efectuar las operaciones de cambio del formato simplemente seleccionando el comando desde el panel operador sin ninguna intervención sobre la máquina. Los productos manipulados por las pinzas del Twisterbox llegan así a la sección de formación de la capa¹⁹.

Imagen 26: Paletizadora ACMI



Fuente: Manual de operación y mantenimiento paletizadora ACMI

Para la formación del tendido del pallet, en esta sección de la máquina existen guías laterales convergentes que tienen la tarea de acoger los productos manipulados por el Twisterbox y de compactarlos. Las guías están compuestas por rodillos a baja fricción y están montadas sobre un transportador motorizado dedicado. Una barra metálica con accionamiento mecánico permite el perfecto alineamiento del frente de la capa del tendido.

¹⁹ Manual de operación y mantenimiento Paletizadora ACMI

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo General. Diseñar una propuesta bajo la metodología análisis causa raíz de falla (RCA) para asegurar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de embotellado en Coca-Cola Femsá Tocancipa.

1.6.2 Objetivos Específicos. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Proponer la metodología RCA para que forme parte de un proceso de administración de las fallas y sea seguida en forma estructurada por las áreas de manufactura de Coca Cola FEMSA Tocancipa.
- Revisar la taxonomía de acuerdo a la norma ISO 14224 para proponer el árbol de equipos en SAP de las líneas de embotellado.
- Elaborar modelo sistemático para análisis de malos actores.
- Revisar históricos de fallas e identificar nuevos modos de falla que no se encuentren en los catálogos de SAP de los equipos principales de las líneas de embotellado.
- Detectar las fallas ocultas de los equipos de las líneas de embotellado.
- Revisar la matriz de criticidad existente y cruzar con los criterios del modelo operativo White book de Ingeniería y Mantenimiento.
- Revisar la norma NORSOK Z-008 para proponer los criterios de análisis de riesgo.
- Generar procedimiento para reportar las fallas con lecciones aprendidas o análisis de falla estadístico, teniendo en cuenta su impacto ambiental, de producción, económico y los aspectos de seguridad industrial.
- Definir un modelo de seguimiento a los planes de acción.
- Definir indicadores de cumplimiento de los RCA
- Determinar cuáles serán los eventos de falla que serán estudiados mediante la técnica RCA (Análisis de Falla basado en las Causas Raíz).

1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Modelo de Ingeniería y Mantenimiento KOF, tiene el objetivo de optimizar el ciclo de vida de los activos asegurando su función, disponibilidad, confiabilidad y costo de mantener; operando dentro de un ciclo de mejora continua.

Durante la implementación del modelo en la planta de Coca Cola FEMSA Tocancipa se han encontrado oportunidades de mejora en la gestión del análisis de fallas (RCA) entre el área de producción y mantenimiento tales como: Definir la criticidad de los equipos, mejorar la disponibilidad y eficiencia de las líneas, mejorar el MTBF de los equipos críticos, mejorar el tiempo medio de reparación, eliminar paradas imprevistas (averías, pequeñas paradas). Con el modelo de mantenimiento se busca mejorar la gestión del mantenimiento y la confiabilidad los activos físicos de la compañía durante el ciclo de vida.

Estableciendo un procedimiento documentado y estructurados con los responsables de cada proceso. Con el fin de establecer rutinas de gestión para el análisis de fallas esporádicas y crónicas.

2. MARCO TEORICO

2.1 QUE ES MANTENIMIENTO

Vemos la importancia de definir que es mantenimiento y falla, ya que en la detección de fallas generaremos un mejor modelo de mantenimiento.

MANTENIMIENTO²⁰, Actividad científica cuyo desarrollo permite la más alta disponibilidad con calidad de todos los bienes.

Mantener es obtener utilidades, porque es la única forma de conservar los equipos y las plantas en el más alto grado de productividad y competencia. Retarda la compra de bienes nuevos, prolongando la vida útil de los actuales, sin descartar la utilización de tecnologías más eficaces y rentables.

Conjunto de acciones, operaciones y actitudes encaminadas a poner o restablecer un bien a un estado específico, que le permitan asegurar un servicio determinado.

FALLA, Una falla es la incapacidad de que un equipo o instalación (activo) realice la función para lo cual fue diseñado. También es un deterioro o desperfectos de los activos que no permite su funcionamiento normal.

2.2 QUE ES UNA FALLA

Toda instalación destinada a producir un bien o un servicio, debe ser mantenida en condiciones que le permitan seguir en funcionamiento, logrando un producto de determinada calidad, y a un costo lo más bajo posible. Quien se dedique al mantenimiento de cualquier tipo de instalación debe ofrecer la reparación de los

²⁰ BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento. Bogotá: Universidad Industrial de Santander 2015. p.15

desperfectos que surjan y las modificaciones necesarias para que estos no aparezcan.

Mantenimiento debe conocer las posibles averías que se pueden producir en las instalaciones, máquinas o equipos y estudiar los procesos para evitarlas.

No existen instalaciones, máquinas o equipos que estén libres de fallas a lo largo de su vida útil, y que con una adecuada gestión de mantenimiento es posible reducir a un mínimo los perjuicios que ocasiona algún desperfecto.

En la industria se suele considerar como “avería” a cualquier anomalía que impida mantener los niveles de producción. Pero el concepto es aún más amplio y debe tener en cuenta la falta de calidad del producto, la falta de seguridad, el mal aprovechamiento de la energía disponible y la contaminación ambiental.

Las instalaciones, máquinas o equipos son diseñados para alcanzar ciertos niveles de producción, y también deben entregar un producto con una calidad esperada. Cualquier circunstancia que haga descender el nivel de calidad debe ser considerada también una “avería”.

Es importante tener en cuenta que si el estado de algún equipo pone en riesgo la seguridad de personas o el buen funcionamiento de la instalación, también estamos ante una falla.

Se define “falla” como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga²¹.

²¹ John Moubray Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II p.48

2.2.1 Fallas funcionales. Los estados de falla son conocidos como fallas funcionales, porque ocurren cuando *un bien es incapaz de cumplir una función a un nivel de desempeño que sea aceptable por el usuario*. En adición a la incapacidad total para funcionar, esta definición abarca fallas parciales, donde el bien todavía funciona, pero a nivel inaceptable de desempeño, (incluyendo también los casos donde no se alcanza el nivel de precisión o calidad). Pero éstas solo pueden ser identificadas una vez que las funciones y desempeño estándares hayan sido definidas con claridad²².

2.2.2 Modos de fallas. Como se menciona en los párrafos anteriores, una vez que hemos identificado cada falla funcional, el próximo paso es tratar de *identificar todas las posibles causas de este estado de error. Estos eventos se conocen como modos de fallas*. Los modos de falla “razonablemente similares” incluyen aquellas fallas que ocurrieron en el mismo equipo o en similares, operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento ya existentes, y aquellas fallas que no ocurrieron aun, pero que se consideran como posibilidades muy reales en el contexto en cuestión²³.

Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa que un bien (sistema o, proceso) puedan fallar. Sin embargo. Es mucho más preciso distinguir entre “falla funcional” (estado fallido) y “modo de falla” un evento que podría causar un estado de falla). Esto lleva una definición de falla más precisa:

“Un modo de falla es cualquier suceso que cause una falla funcional”

²² John Moubray Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II p.49

²³ John Moubray Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II p. 56

2.2.3 Probabilidad de fallas. Distintos modos de falla ocurren con diferentes frecuencias, algunos pueden ocurrir regularmente, en intervalos promedio medidos en meses, semanas o hasta días. Otros pueden ser extremadamente improbables, que significa que los tiempos de intervalos se pueden medir en millones de años. Cuando se prepara un FMEA, se deben tomar decisiones continuamente sobre los modos de falla que son tan poco probables que se los puede ignorar sin correr riesgos. Esto significa que no tratamos de anunciar toda posibilidad de falla sin tener cuenta sus probabilidades de ocurrir.

Cuando enunciamos los modos de falla, no tratamos de mencionar todos ellos sin tener en cuenta su probabilidad.

2.2.4 Efecto de una falla. Es lo que sucede al producirse un modo de falla, los efectos de falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla. El efecto de falla no es lo mismo que la consecuencia de falla, un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que la consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué consecuencia tiene?²⁴.

2.2.5 Tipos de fallas. Fallas Crónicas (repetitivas): Problemas de mantenimiento y operacionales, como fallos de equipos. Estos son eventos frecuentes, son una desviación dentro de un rango aceptable de operación normal.

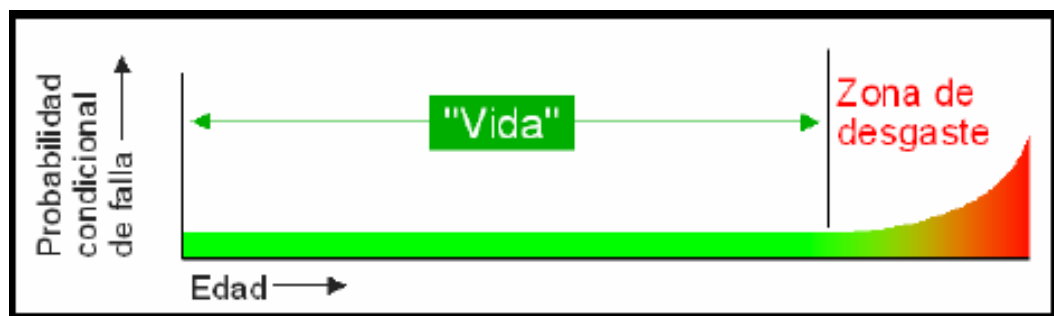
Fallas Esporádicas (una vez): Paradas de emergencia, incendios, explosiones, muertes, lesiones importantes, o fallas graves poco frecuentes en los equipos. Estos son eventos poco frecuentes y no relacionados entre sí, son una desviación por fuera de rango aceptable de operación normal.

²⁴ John Moubray, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II p. 49

Procedimientos Operativos: Oportunidades para identificar las deficiencias procedimientos operativos.

2.2.6 Patrones de fallas. Muchas personas siguen sosteniendo que el mejor modo de optimizar la capacidad de una planta es tener una determinada rutina de mantenimiento preventivo. La sabiduría de la segunda generación sostiene que esta debería consistir en la reparación o reemplazo de componentes en intervalos fijos. El (Imagen 26) ilustra la visión de intervalo fijo en las fallas²⁵.

Imagen 27. Perspectiva tradicional de la falla



Fuente: Libro mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II John Moubray

La (Imagen 26) se basa en la convicción de que la mayoría de los ítems operan confiablemente por un X periodo. El pensamiento clásico sugiere que los registros detallados de las fallas nos permitirán determinar la vida del equipo y de ese modo hacer planes para tomar acciones preventivas antes de que el ítem comience a fallar en el futuro.

Este modelo es útil para ciertos tipos de equipos simples, y para algunos más complejos con modos de fallas dominantes. En particular las características de

²⁵ John Moubray, Mantenimiento Centrado en confiabilidad RCM II p. 12

durabilidad se encuentran cuando el equipo tiene contacto directo con el producto. Las fallas relacionadas a la edad se asocian con frecuencia con la fatiga, corrosión, abrasividad y evaporación.

Sin embargo los equipos en general son mucho más complejos que veinte años atrás. Esto llevo a cambios iniciales en los patrones de falla, como se muestra en la (imagen 27): Los gráficos muestran la probabilidad condicional de falla versus la edad operativa, en un número de equipos eléctricos y mecánicos²⁶.

El patrón A es la tan conocida “curva de la bañera”. Comienza con una incidencia alta de falla (conocida como mortalidad infantil) seguida por una probabilidad de falla condicional en lento o constante crecimiento, luego por la zona de desgaste.

El patrón B muestra una probabilidad de falla creciente, finalizando en una zona de desgaste similar identificable.

El patrón C muestra una probabilidad condicional de falla constante o de lento incremento, y que termina en una zona de desgaste claramente identificable.

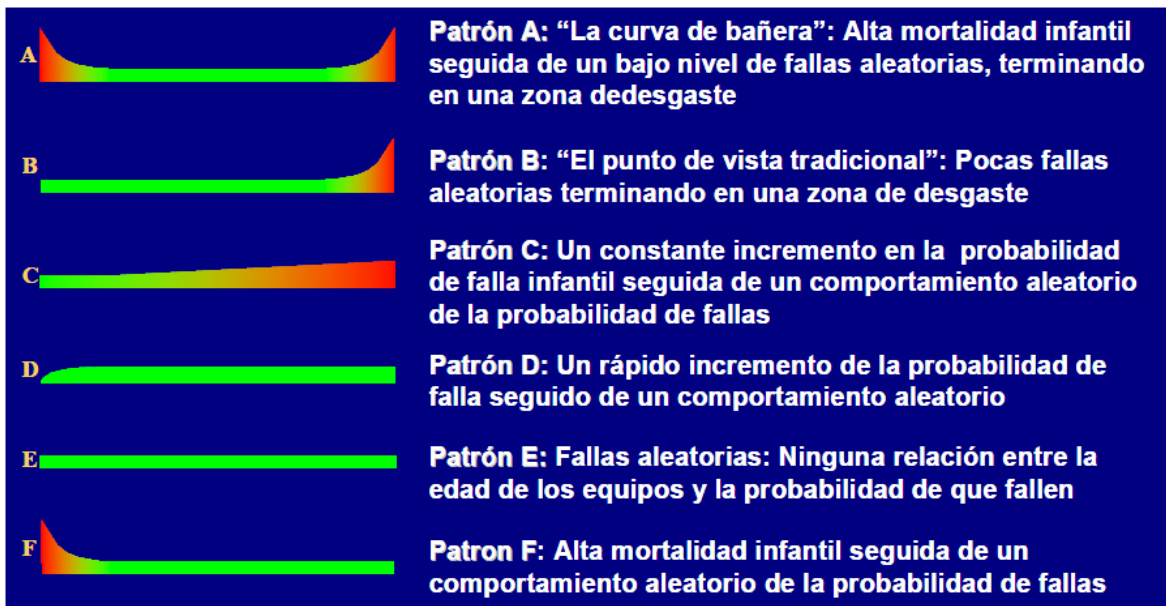
El patrón D muestra una baja probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo o recién comprado, y luego un veloz incremento rápida a un nivel constante.

El patrón E muestra una permanente probabilidad condicional de fallas a cualquier edad, (fallas casuales).

El patrón F comienza con una mortalidad infantil alta, que disminuye eventualmente a una probabilidad condicional de falla muy lenta.

²⁶ John Moubray, Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II p. 12

Imagen 28. Seis Patrones de falla



Fuente: John Moubray, Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II p.12

Los estudios han mostraron que un 2% de los ítems respondían al Patrón A, 2% al B, 5% al C, 7% al D, 14% al E y no menos del 68% al patrón F. (El número de veces que estos patrones se presentan en aeronaves, no es necesariamente el mismo que para la industria. Pero no hay duda de que a medida que los equipos se vuelven más complejos, se pueden observar más y más patrones E y F.

Estos descubrimientos contradicen la creencia de que siempre hay una conexión entre confiabilidad y edad operativa. Esta creencia lleva a la idea que cuanto más frecuentemente se examine un ítem, tendrá menos probabilidades de fallar. Hoy en día, esto es cierto muy de vez en cuando. A menos que haya una probabilidad de fallas por desgaste dominante, los límites de edad hacen poco y nada para mejorar la confiabilidad de ítems complejos. En realidad las restauraciones

programadas pueden aumentar las fallas generales, introduciendo la mortalidad infantil en sistemas que de otro modo serían más estables²⁷.

2.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Una de las técnicas para lograr la confiabilidad operacional es el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), esta técnica surge a finales de los años sesenta como respuesta al incremento de costos y actividades del mantenimiento de las aeronaves (básicamente preventivo). En esta industria demuestra ser muy valioso, no solo bajando los costos y actividades de mantenimiento, sino que además mejora los niveles de confiabilidad, disponibilidad y seguridad.

Esta técnica se basa en seleccionar mantenimiento solo donde las consecuencias de las fallas así lo requieren, para esto se requiere hacer un estudio exhaustivo de todas las funciones, fallas, modos y consecuencias de las fallas, para luego decidir dónde y que tipo de mantenimiento hacer. Establece un orden de prioridades: la seguridad y ambiente, producción, costos de reparación²⁸.

2.4 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Muchas organizaciones, al observar que los patrones de falla no solo funcionan por desgaste de los componentes, optaron por abandonar la idea de mantenimiento preventivo en su totalidad. En realidad esto podría ser lo correcto para fallas con consecuencias menores. Pero cuando las consecuencias de las fallas son significantes, debe hacerse algo para prevenir o predecir esas fallas, o al menos para reducir las consecuencias.

²⁷ John Moubray, Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II p.12

²⁸ DURAN, Jose Bernardo. IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL.1, NO.1, OCTUBRE 2003.

Esto nos trae a analizar los diferentes tipos de mantenimiento.

2.4.1 Mantenimiento Preventivo. Las tareas de restauración abarcan la refabricación de un componente, o la restauración de un montaje antes de que termine su vida útil programada, sin tener en cuenta su condición en ese momento. Del mismo modo, el descarte programado implica deshacerse de un ítem al, o antes del tiempo programado, sin importar su condición en ese momento.

Colectivamente, estas tareas se conocen como mantenimiento preventivo. Solían ser por lejos la forma de mantenimiento proactivo más utilizada. Sin embargo, por las causas detalladas anteriormente²⁹.

El mantenimiento preventivo es también llamado programado, planeado y mantenimiento con base en el calendario y su meta es prevenir posibles fallas y extender la vida del equipo a través de la limpieza, el cambio rutinario de lubricantes y filtros etc., y llevar a cabo reparaciones programadas o revisiones generales con base en la experiencia o en la historia.

2.4.2 Mantenimiento Correctivo. Este tipo de mantenimiento es sencillo, opera una maquina sin hacerle ningún tipo de mantenimiento hasta que se dañe. Hay una cantidad de máquinas en una planta que deben de verdad recibir este tipo de mantenimiento. Estas son las maquinas a las que con frecuencia resulta más caro hacerles mantenimiento que reemplazarla y que tienen muy poco impacto sobre la producción, la seguridad o el medio ambiente. En otras palabras, el riesgo asociado con la avería es bajo. Con frecuencia, nos referimos a este tipo de máquinas como las máquinas “run to failure”.

²⁹ John Mubray, Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II p.14

2.4.3 Mantenimiento Basado en Condición (Predictivo). La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de fallas, y la creciente incapacidad de las técnicas clásicas para lograrlo, están muy por detrás del crecimiento de nuevos tipos de manejos de fallas. La mayoría de estas técnicas se basan en que gran parte las fallas, dan algún tipo de aviso de que están por ocurrir. Estos avisos se conocen como fallas potenciales, y se definen como condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional, está por ocurrir o está en proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas se usan para detectar **fallas potenciales** de manera que se pueda tomar acción para evitar las consecuencias que traerán si degeneran en **fallas funcionales**. Se las denomina tareas en condición por que los ítems son controlados bajo la condición de que estén dentro de sus patrones normales de funcionamiento. (El mantenimiento en-condición incluye el mantenimiento preventivo, mantenimiento basado en la condición, y monitoreo de condición.) Si se los usa apropiadamente, las tareas en condición son una muy buena forma de manejar las fallas, pero también pueden ser un gasto de tiempo muy costoso³⁰.

La evolución del mantenimiento basado en condición es larga. Es solo con la llegada de modernos aparatos de medición que esta se ha convertido en una práctica ampliamente aceptada. El mantenimiento basado en el estado del equipo es la aplicación de diversas tecnologías a fin de determinar el estado actual de la maquinaria con el fin de programar las reparaciones necesarias a tiempo. El mantenimiento se aplica solamente a las máquinas que necesitan atención y solo cuando así lo requieren, gran parte del tiempo, el monitoreo del estado de la máquina se lleva a cabo mientras la maquina se encuentra operando, evitando así el tiempo muerto. Las siguientes son las tecnologías utilizadas más comúnmente en el mantenimiento con base en el estado de la máquina, o en el monitoreo del estado (CM):

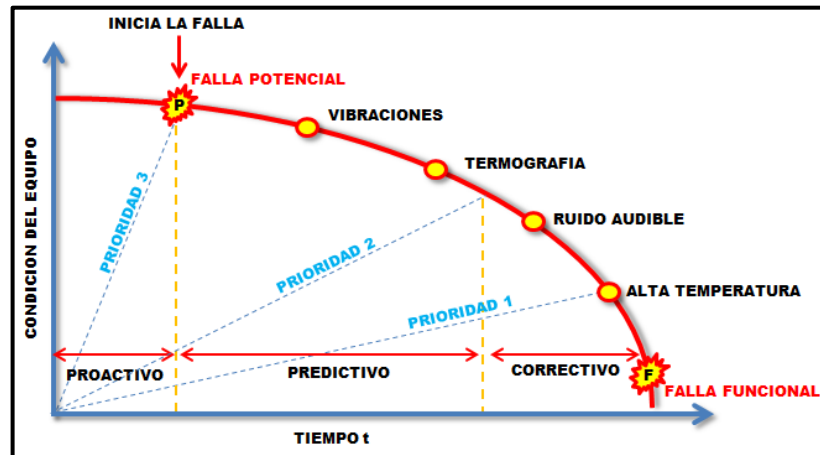
³⁰ John Moubray, Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II 14 p

- Inspección del operador (Check list)
- Análisis de Vibración (VA)
- Administración de la Lubricación (LM)
- Emisiones Acústicas (AE)
- Termografía Infrarroja (IRT)
- Monitoreo de la Temperatura
- Medición del flujo ultrasónico
- Detectores de Chips Magnéticos
- Pruebas dinámicas y estáticas de Motores
- Calibración del Espesor Ultrasónico

2.4.3.1 Fallas Potenciales y Mantenimiento a Condición. Como muestran los patrones de falla existe una relación mínima, o ninguna, entre el tiempo en que un bien ha estado en servicio y cuáles son sus probabilidades de falla. Sin embargo, a pesar de que muchas fallas no están relacionadas con la edad, la mayoría de ellas dan algún tipo de advertencia de que están por o en proceso de ocurrir. Si se puede encontrar evidencia de que algo está en las etapas finales de fallas, puede ser posible tomar acción para prevenir que falle completamente o para evitar sus consecuencias. En la imagen 28 ilustra que sucede en las etapas finales de una falla. Se le llama la curva P-F, porque muestra como comienza una falla, como se deteriora al punto de que se la puede detectar la falla potencial (punto "P"), y luego si no se la detecta y corrige se continua deteriorando - generalmente en proporción acelerada - hasta que alcanza el punto de falla funcional (punto "F")³¹.

³¹ John Mubray, Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II p.148

Imagen 29. Curva P-F



Una **falla potencial** es una condición identificable que indica que una **falla funcional** esta por ocurrir o en proceso de ocurrir.

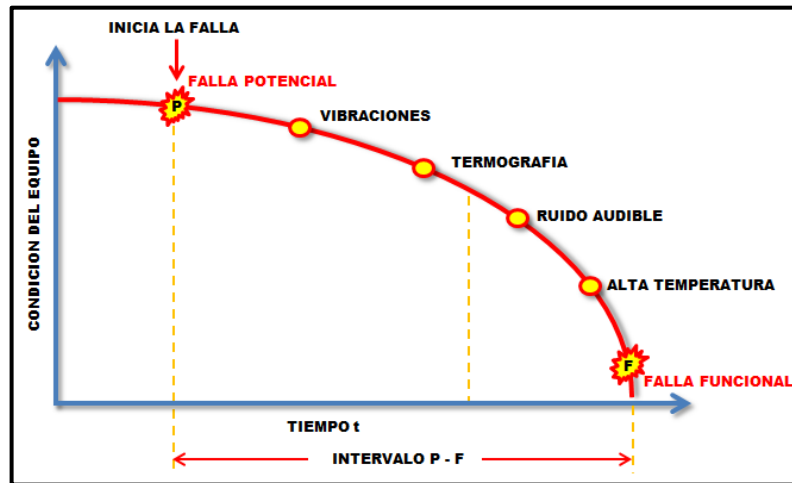
Las tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales, para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar consecuencias de la falla funcional³².

2.4.3.2 Intervalo P-F. Además de la falla funcional en sí misma, se necesita considerar la cantidad de tiempo (o número de ciclos de esfuerzos) que transcurre entre el punto en que ocurre una falla potencial - en otras palabras, el punto en que esta se vuelve detectable - y el punto en que se deteriora llegando a falla funcional. Como se muestra en la (Imagen 29), el intervalo se conoce como intervalo P-F.

El intervalo P-F es el intervalo entre la aparición de una falla potencial y su degeneración en falla funcional

³² John Moubray, Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II p.149

Imagen 30. Intervalo P-F



El intervalo P-F nos muestra la frecuencia con que se deben realizar las tareas a condición “predictivos” como se muestra en la Imagen 29, desde que ocurre la falla potencial se puede utilizar técnicas de vibraciones, termografías, inspecciones etc., con el fin de prevenir que el equipo llegue a una falla funcional.

Si queremos detectar la falla potencial antes de que se convierta en falla funcional, el intervalo entre controles debe ser menor al intervalo P-F.

Observemos que si se realiza una tarea a condición a intervalos que son muy largos que el intervalo P-F, hay una posibilidad que pasemos totalmente por alto la falla. Por otro lado si realizamos la tarea a intervalos muy cortos respecto al intervalo P-F, desperdiciamos recursos en el proceso de chequeo.

En la práctica generalmente basta con seleccionar una frecuencia de tarea igual a la mitad del intervalo P-F, esto asegura que la inspección detecta la falla potencial antes de que ocurra la falla funcional, mientras que provee (en la mayoría de los casos) una cantidad de tiempo razonable para realizar una intervención programada. Esto lleva al concepto de intervalo P-F neto.

2.5 HERRAMIENTAS PARA LA OPTIMIZACION DE ACTIVOS

Las principales herramientas que se utilizan para la gestión de activos las cuales contribuyen a la confiabilidad de los equipos son las siguientes:

- **El Análisis de Criticidad (CA);** es una técnica que permite jerarquizar instalaciones, sistemas y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.
- **El Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA);** es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan.
- **La inspección Basada en Riesgos (RBI);** es la técnica que permite definir la probabilidad de falla de un sistema, y las consecuencias que las fallas pueden generar sobre la gente, el proceso y el entorno.
- **El Análisis Costo-Riesgo-Beneficio (BRCA);** es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de realizar una actividad y los beneficios generados, con base en el valor del riesgo que involucra la realización, o no, de tal acción.
- **El Análisis del costo de ciclo de vida (LCC);** es una técnica que permite elegir entre opciones de inversión o acciones de mejora de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.

- **El Análisis Causa Raíz (RCA);** es un procedimiento sistemático que se aplica con el objetivo de precisar las causas que originan las fallas, sus impactos y sus frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas.

El RCA es una de la mejores técnicas que combinado con los métodos de medición de fallas cuantitativo basado en los análisis estadísticos, se convierten en una herramienta poderosa para la eliminación de malos actores buscando una manera rápida y eficaz a la solución de problemas cotidianos y evitar repetición de eventos mayores, con la eliminación de los defectos de una falla repetitiva (mal actor) se lograra obtener una mayor confiabilidad integral del proceso de producción por reducción en el número de averías, también se optimizara el volumen de trabajo al reducir las actividades reactivas, aumentando de esta forma la eficiencia en los procesos de ejecución, razones por las cuales usar esta metodología de confiabilidad permitirá mejorar la confiabilidad operacional, con participación activa del personal de empresa optimizando los recursos destinados al departamento de mantenimiento³³.

2.6 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE FALLAS EN MANTENIMIENTO

Los análisis cuantitativos y cualitativos son un conjunto de procedimientos para extraer los datos de una investigación con los cuales se obtiene la información necesaria para realizar una completa interpretación de su significado, los datos que se recogen en los análisis de falla cualitativos y cuantitativos son aquellos que se refieren a los fenómenos estudiados o que se piensan estudiar. Ante un determinado problema, se plantean hipótesis, se observa, se toman datos, se registra y se someten a un análisis. En el análisis de falla un dato es la

³³ BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento. Bogotá: Universidad Industrial de Santander 2015. P.76-77

representación simbólica (numérica, alfabética, alfanumérica) de una falla bajo una forma conveniente para ser usado como base para hacer inferencias y tomar decisiones.

Estos métodos son las herramientas de los investigadores, el medio para acercarse, o entender lo que está ocurriendo. Los métodos inductivos están generalmente asociados con la investigación cualitativa, mientras que el método deductivo está asociado con la investigación cuantitativa. Los análisis cuantitativos y cualitativos en mantenimiento pretenden extraer de los datos la máxima información y significado para conocer lo que hay y sucede para poder explicar y comprender la razón de un problema. En la metodología cualitativa se trata de identificar los característicos de los fenómenos, su sistema de relación y su estructura dinámica, mientras que con la estructura cuantitativa estudia la relación entre variables cuantificadas, su fuerza de asociación, la generalización y objetivación de los resultados a través de una muestra para hacer inferencia a una población de la cual toda muestra procede explicando porque las cosas suceden de una forma determinada.

2.6.1 Método Cuantitativo para el Análisis de Fallas. Los métodos cuantitativos para el análisis de falla se basan en el estudio de la estadística e indicadores asociados al proceso evaluado, siendo usual el empleo de modelos matemáticos rigurosos y de gráficas para la presentación y análisis de los datos. Su objetivo está en encontrar la probabilidad de que ocurra la falla y pronosticar que puede suceder en el futuro para tomar decisiones, es decir expresar en términos probabilísticos las fallas de los equipos, esto se realiza por medio de los registros históricos de los procesos, sistemas y activos.

2.6.2 Método Cualitativo para Análisis de Fallas. Los métodos cualitativos para el análisis de falla, se aplican en la ingeniería de mantenimiento para encontrar las causas que originan las fallas en procesos, sistemas o equipos mediante técnicas de observación y verificación, entrevistas nos estructuradas, lluvia de idea, entre otras. Estos métodos cualitativos son sistemáticos, lógicos y cada uno tiene un procedimiento claro a seguir para encontrar las causas que originaron la falla.

2.7 ANALISIS CAUSA RAIZ (RCA)

El análisis causa raíz (RCA) es un método cualitativo de análisis de falla que utiliza la lógica sistemática para lograr identificar las causas responsables de una falla. También permite identificar la mejor solución para corregir la causa identificada y como realizar su seguimiento, esta metodología se basa en el árbol lógico de falla, la deducción y verificación de los hechos para encontrar el origen de una falla, permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir los síntomas.

Por su estructura, el RCA es un proceso que consume recursos y una gran cantidad de tiempo por lo tanto se debe establecer desde un principio si el problema requiere realizar o no un estudio de RCA. Con el fin de saber si una falla requiere de un RCA, se debe evaluar basado en sus consecuencias, por ejemplo: fallas que involucren la integridad de las personas, las inversiones o infraestructura, los equipos o la combinación de varias o todas las anteriores.

EL objetivo es determinar el origen de las causas físicas, humanas y latentes de una falla, la frecuencia con que apareció y el impacto que genera, por medio de un estudio minucioso de los factores, circunstancias y diferentes elementos que podrían mitigar o eliminar por completo la falla una vez tomadas las acciones correctivas que sugiera el análisis mejorando la seguridad, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos de la organización. Para hacer un

buen análisis de causa raíz, se debe ir más allá de los componentes físicos de la falla o raíces físicas y analizar las acciones humanas que desataron la cadena de causa-efecto que llevo a la causa física, lo cual puede sacar a la luz raíces latentes, es decir deficiencias en el gerenciamiento, que de no corregirse, pueden hacer que la falla se repita nuevamente.

La causa raíz es el origen del cual procede el efecto de falla visible. Un sistema o equipo puede tener diversos modos de falla pero cada modo de falla tiene una única causa raíz. RCA es una metodología científica, compleja, lógica y sistemática para hallar la causa raíz de una falla mediante la verificación de las causas probables de falla y su corrección y/o mitigación. El análisis causa raíz es una metodología que le otorga gran importancia a la implementación de la solución más óptima, proporcionando las herramientas para su evaluación y selección³⁴.

2.7.1 Aplicación del Análisis Causa Raíz. En la aplicación del análisis de causa raíz de cuatro etapas básicas que se definirán a continuación:

1. **Definición del problema:** Esta etapa consiste en identificar cual es el problema o situación que se desea solucionar, en este punto se decide la aplicación de la herramienta RCA en busca de mejoras para el funcionamiento de los equipos o erradicar problemas complejos.
2. **Análisis del problema:** Costa del análisis preliminar y el desarrollo en pleno de la herramienta y definición de los pasos para la aplicación del RCA, los cuales con:
 - Recolectar datos de falla.
 - Ordenar el análisis (equipo multidisciplinario).

³⁴ BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento. Bogotá: Universidad Industrial de Santander 2015. P.79-80

- Analizar los datos (El equipo toma cada pieza del rompecabezas y la pone en su lugar).
3. **Identificar soluciones efectivas:** Esta etapa está ligada a los hallazgos y conclusiones obtenidas a lo largo de la aplicación del análisis causa raíz al problema estudiado, donde ya localizadas las causas de fondo se identifican las correcciones que se deberían realizar para asegurar la no concurrencia del fallo.
 4. **Implementar soluciones:** Cuando se realizan las correcciones propuestas a eliminar la falla, basadas en el plan de seguimiento propuesto a las recomendaciones emitidas en el informe RCA.

2.7.2 Niveles del Análisis Causa Raíz. Para solucionar definitivamente un problema se debe llegar a la verdadera causa que lo está generando; es por esto que el análisis de causa tiene tres niveles de posibles causas.

1. **Causa Raíz Física:** Reúne toda las situaciones o manifestaciones de origen físico que afectan directamente la continuidad operativa de los equipos o planta. En este nivel no se encontrara la causa raíz de la falla, sino un punto de partida para localizarla.
2. **Causa Raíz Humanas:** Aquí se encuentran todos los errores cometidos por el factor humano y que inciden directa o indirectamente en la ocurrencia de la falla, este es una de las categorías en la que se podía encontrar la causa raíz.
3. **Causa Raíz Latente:** Todos aquellos problemas que aunque nunca hayan ocurrido son factibles su ocurrencia, entre ellos: falta de procedimiento para

arranque o fuera de servicio, personal de mantenimiento sin capacitación, inapropiados procedimientos de operación entre otros³⁵.

2.8 ANALISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

El análisis de criticidad de los equipos facilita la toma de decisiones en el direccionamiento de recursos y esfuerzos. Bajo este punto de vista se valida el Modelo de Criticidad que permita realizar un análisis a los equipos y así obtener una jerarquía, la cual será de ayuda al momento de direccionar esfuerzos y recursos en las tareas de mantenimiento a los equipos que más impactan en los aspectos que toma en cuenta el modelo.

¿Cómo establecer que una planta, proceso, sistema o equipo es más crítico que otro? ¿Qué criterio se debe utilizar? ¿Todos los que toman decisiones, utilizan el mismo criterio? El Análisis de Criticidad da respuesta a estos interrogantes, dado que genera una lista desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: Alta Criticidad (Crítico), Mediana Criticidad (Esencial) y Baja Criticidad (Propósito General). Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

El Análisis de Criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones; permitiendo así mismo identificar las áreas sobre las cuales

³⁵ MUÑOZ VERA, Hernando. Aplicación de la metodología análisis causa raíz (RCA) para la eliminación de un mal actor en equipos críticos de la SOM- ECOPETROL

se tendrá una mayor atención del mantenimiento en función del proceso que se realiza. En otras palabras, el Análisis de Criticidad ayuda a determinar eventos potenciales indeseados, en el contexto de la confiabilidad operacional, entendiéndose confiabilidad operacional como: la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico en un tiempo determinado.

Para realizar un Análisis de Criticidad se debe definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto de análisis.

Imagen 31. Pasos de un análisis de criticidad



Fuente: Procedimiento de análisis de criticidad Ecopetrol

La información recolectada en un estudio de la criticidad puede ser utilizada para:

- Diseño de planes de mantenimiento preventivo y monitoreo de condiciones.
- Priorizar órdenes de trabajo.
- Priorizar proyectos de inversión.

- Diseñar políticas de mantenimiento.
- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.
- Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos.
- Planificar Paradas de Planta.
- Diseñar programas de capacitación del personal.

La condición ideal es disponer de información estadística de los sistemas a evaluar que sea bien precisa, lo cual permite cálculos “exactos y absolutos”. Sin embargo, desde el punto de vista práctico cuando no se dispone de una data histórica de excelente calidad, se debe recolectar la información utilizando encuestas, teniendo en cuenta que el Análisis de Criticidad permite trabajar en rangos, es decir, establecer cuál sería la condición más favorable, así como también la condición menos favorable de cada uno de los criterios a evaluar. La información requerida para el análisis siempre está relacionada con la frecuencia de fallas y sus efectos.

Los criterios para realizar el Modelo de Criticidad están asociados con: frecuencia de falla, seguridad, calidad, producción, tiempo de reparación, costos de mantenimiento y ambiente, principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado, los cuales son llevados a una Matriz RAM en donde se determina su nivel de criticidad. La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades, y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.

Matemáticamente la criticidad se mide por la ecuación:

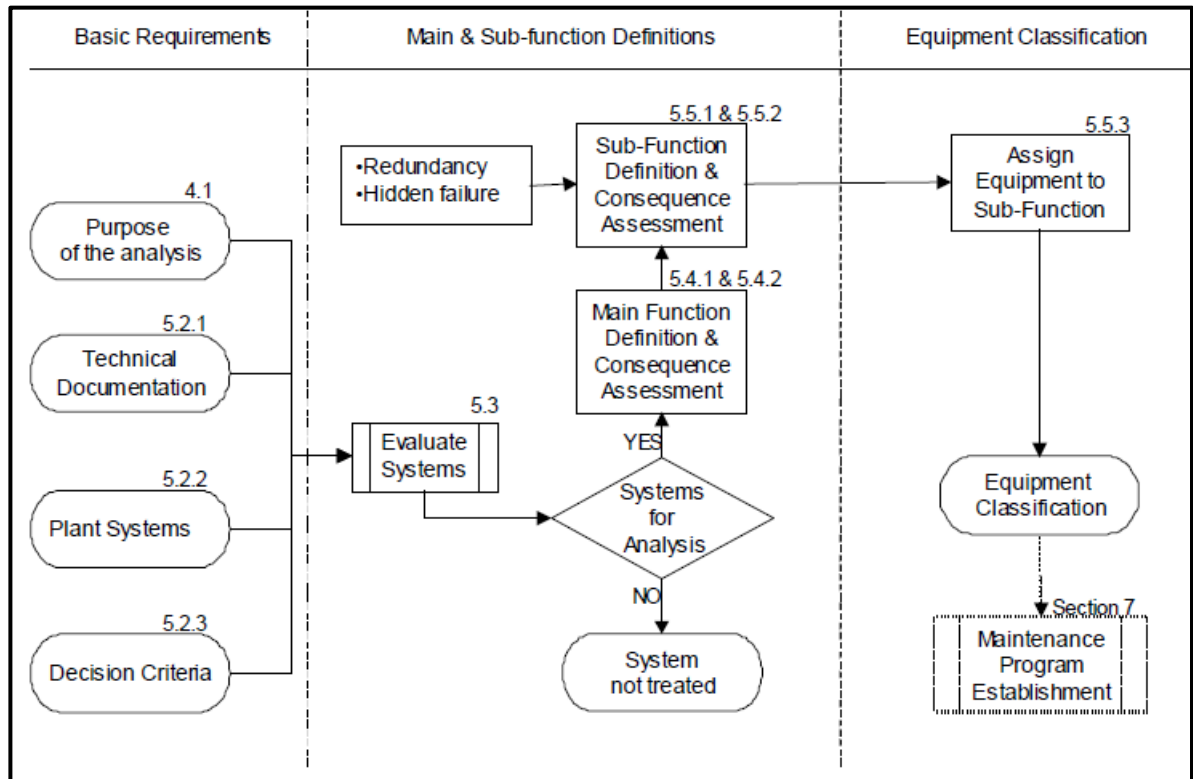
CRITICIDAD = FRECUENCIA DE FALLA * CONSECUENCIA

2.8.1 Norma NORZOK Z-008. El propósito del estándar NORSOK Z-008 es muy amplio, ya que no solo permite establecer las criticidades de los componentes de un sistema de producción, sino que dentro de la misma norma incluye un procedimiento para la optimización de programas de mantenimiento, considerando los riesgos relacionados con personal, ambiente, pérdida de producción y costos económicos directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El objetivo principal de la norma NORSOK es establecer las bases para el diseño y optimización de los programas de mantenimiento para plantas, basados en la criticidad de sus componentes. El estándar NORSOK Z-008 aplica para Equipos Mecánicos (estáticos y rotativos), Instrumentos y Equipos Eléctricos. Están excluidos del alcance de esta Norma las Estructuras de Carga Rodante, Estructuras flotantes, Raisers y gasoductos / oleoductos.

Al llevar a cabo los pasos para el establecimiento de una jerarquía funcional y análisis criticidad, para que las decisiones basadas en los riesgos relacionados con la gestión de las actividades de mantenimiento es establecido. El proceso de trabajo en general, véase la Imagen 31, describe de forma sistemática la descomposición de los sistemas de la planta en elementos adecuados para el análisis de criticidad.

Imagen 32. Diagrama de procesos, estructura funcional y diagrama de criticidad



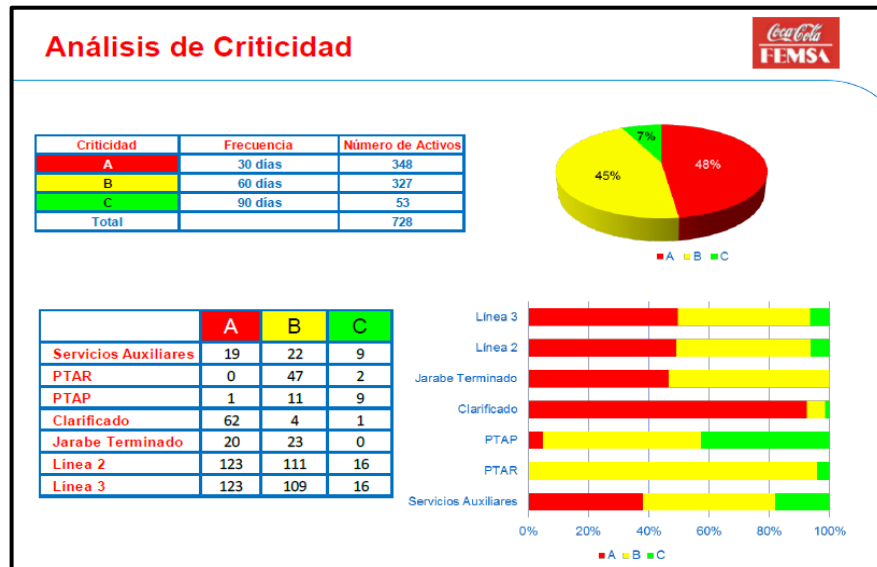
Fuente: Norma NORZOK Z-008

2.8.2 Implementación análisis de criticidad para plan de predictivo. De acuerdo al análisis de criticidad cualitativo se elabora una evaluación de los equipos rotativos y eléctricos, para determinar la jerarquía de los equipos y definir un plan de análisis de vibración y termografía.

El primer paso para el análisis de criticidad fue elaborar un levantamiento en campo de todos los equipos rotativos, tableros de control, calderas, trampas de vapor en la planta y sobre estos evaluar los criterios de impacto contra la probabilidad de ocurrencia. Esto con el fin de determinar los equipos de alta, media y baja criticidad como se muestra en la (Imagen 32).

Luego de la identificación y jerarquización de los equipos se estableció un plan de mantenimiento predictivo. Como se muestra en la Imagen 33.

Imagen 33. Criticidad de Equipos Coca Cola FEMSA Tocancipa



Fuente: Programa de predictivo Coca Cola FEMSA Tocancipa

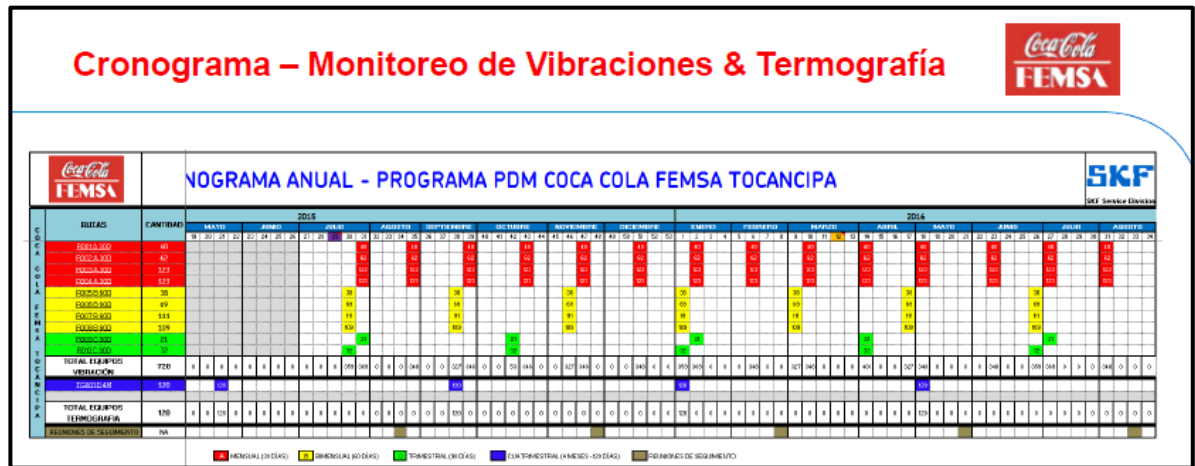
Imagen 34. Rutas de monitoreo de vibraciones

Definición Rutas de Monitoreo de Vibraciones

Ruta	Técnica PdM	Descripciones	Frecuencia de Medición en Días (Provisional)	Número de Activos
R.001.A.30D	Vibraciones	Equipos de Criticidad Alta de Servicios Auxiliares, PTAP y Jarabe	30	40
R.002.A.30D		Equipos de Criticidad Alta de Clarificado	30	62
R.003.A.30D		Equipos de Criticidad Alta de Línea 2	30	123
R.004.A.30D		Equipos de Criticidad Alta de Línea 3	30	123
R.005.B.60D	Vibraciones	Equipos de Criticidad Media de PTAP, Clarificado y Jarabe	60	38
R.006.B.60D		Equipos de Criticidad Media de Servicios Auxiliares y PTAR	60	69
R.007.B.60D		Equipos de Criticidad Media de Línea 2	60	111
R.008.B.60D		Equipos de Criticidad Media de Línea 3	60	109
R.009.C.90D	Vibraciones	Equipos de Criticidad Baja de Clarificado, PTAR, PTAP y Serv. Auxiliares	90	21
R.010.C.90D		Equipos de Criticidad Baja de Línea 2 y Línea 3	90	32
Total			NA	728

Fuente: Programa de predictivo Coca Cola FEMSA Tocancipa

Imagen 35. Programa anual de vibraciones y termografía



Fuente: Programa de predictivo Coca Cola FEMSA Tocancipa

El resultado de la evaluación de criticidad fue la jerarquía de los equipos de la planta, sobre esta los equipos críticos se monitorean mensualmente, los de mediana criticidad bimensual y los de baja criticidad cada tres meses. Como se muestra en la Imagen 34.

Los análisis de criticidad son dinámicos los cuales de deben validar por lo menos una vez al año, debido a los cambios en los contextos operacionales y la inclusión de nuevos equipos en los procesos.

Como se muestra en el análisis de criticidad se cuenta con 48% de equipos críticos, 43% equipos de mediana criticidad y 7% de baja criticidad Imagen 32.

2.9 CONFIABILIDAD OPERACIONAL

La confiabilidad operacional de los activos Imagen 30, incluye procesos metodológicos de mejoramiento continuo mediante incorporación sistemática de nuevas tecnologías, técnicas de análisis y herramientas de diagnóstico que logran

optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial, haciendo énfasis y reforzando positivamente las actividades humanas.

- Un programa de Confiabilidad Operacional es una mezcla única de soluciones técnicas, pensamiento estructurado, motivación de trabajadores y desarrollo organizacional, todo asegurado por experiencias de primera mano probadas y datos fuertes.
- El mejoramiento de la confiabilidad operacional es una ruta flexible y a la medida para compañías que buscan la excelencia empresarial y la gerencia de sus activos físicos.
- Es un proceso de mejoramiento continuo basado en hechos, alcanzado por una armonía de implantación de herramientas y técnicas basadas en riesgo.

La Confiabilidad Operacional depende de los siguientes factores:

- **Confiabilidad Humana**

Se requiere de un alto Compromiso de la Gerencia para liderar los procesos de capacitación, motivación e incentivación de los equipos de trabajo, generación de nuevas actitudes, seguridad, desarrollo y reconocimiento, para lograr un alto involucramiento de los talentos humanos.

- **Confiabilidad de los Procesos**

Implica la operación de equipos entre parámetros, o por debajo de la capacidad de diseño, es decir sin generar sobrecarga a los equipos, y el correcto entendimiento de los procesos y procedimientos.

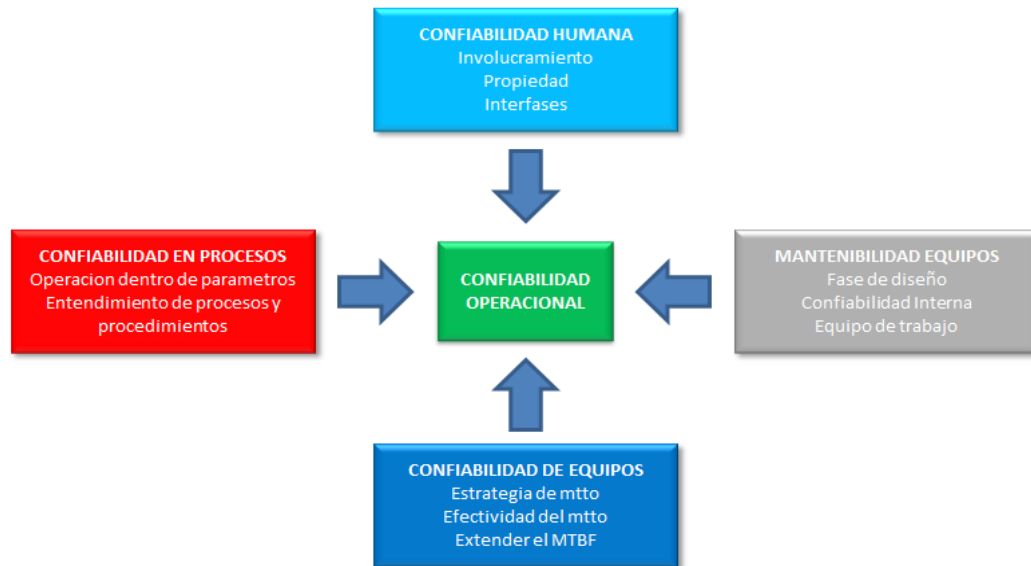
- **Mantenibilidad de equipos**

Es decir la probabilidad de que un equipo pueda ser restaurado a su estado operacional en un período de tiempo determinado. Depende de la fase de diseño de los equipos (Confiabilidad inherente de diseño), de la confiabilidad de los equipos de trabajo. Se puede medir a través del indicador MTTR: Tiempo Medio Para Reparar.

- **Confiabilidad de equipos**

Determinada por las Estrategias de Mantenimiento, la efectividad del Mantenimiento. Se puede medir a través del indicador MTBF: Tiempo Medio Entre Fallas³⁶.

Imagen 36. Confiabilidad Operacional



Fuente: El mantenimiento como fuente de rentabilidad (online)

<http://web.ing.puc.cl/power/alumno06/OED/mantenimiento.htm>

³⁶ ³ ALTMANN, Carolina– El Análisis de Causa Raíz como herramienta en la mejora de la Confiabilidad <http://www.maquinasdebarcos.com/Causa%20raiz%20Altmann.pdf>

2.9.1 Confiabilidad de los activos. Una de las maneras para maximizar la confiabilidad operacional de los activos en su contexto operacional es a partir de la determinación de los requerimientos reales de mantenimiento logrando la optimización de costos mediante diferentes técnicas, herramientas y filosofías de mantenimiento que ayudan a identificar sistemáticamente que debe hacerse para garantizar que los activos físicos continúen haciendo lo que requiere el usuario en el contexto operacional actual. En términos generales permite distribuir en forma efectiva los recursos asignados a la gestión de mantenimiento tomando en cuenta la importancia de los activos en el contexto operacional y los posibles efectos o consecuencias de los modos de falla de estos activos sobre la seguridad del personal, el ambiente y las operaciones.

3. ANALISIS DE DATOS

En el ámbito del Mantenimiento, es habitual encontrar abundancia de Especialistas con sólidos conocimientos y experiencias para resolver eficientemente problemas de campo. Sin embargo, esto está acompañado de una notoria falta de herramientas integrales para la Gestión de la actividad que permitan orientar los esfuerzos y los recursos, así como reducir los Costos y el Riesgo.

En general, no se reconoce en el Mantenimiento la importancia de la medición de resultados, del registro de datos sistemático y ordenado bajo un único criterio, como instrumento para administrarlo como un negocio. La falta de uso continuado de registros, imposibilita establecer mecanismos de comparación de los Indicadores con aquellos de clase mundial. Se percibe falta de rigor en la recolección y registro de datos que permitan alimentar esos cálculos; elementos fundamentales para la administración y toma de decisiones.

El mercado tiene en existencia diferente software que, en teoría, permitirían resolver estos conflictos, pero que no plantean lo básico. Y esto es, ¿Cómo administrar la información?, ¿Qué datos guardar?, ¿Cómo clasificarlos?, ¿Cómo relacionarlos?, etc., de modo que los cálculos y análisis que se deriven de aquellos no se constituyan en otro problema de interpretación y reproducibilidad, adicional a los existentes. Asimismo, se encuentra bibliografía abundante y disponible en la que se dan guías acerca de este tema; pero con falta de criterios estrictos y límites a adoptar, su uso e implementación en Operación y Mantenimiento; y la circunstancia de que los Índices no pueden ni deben ser medidos en forma aislada, sino que necesitan de otros que los complementen.

Las Normas ISO 14224, SAE 1739 / SAE JA 1011 / 1012 (RCM), y los Datos Estadísticos del OREDA, pretenden cubrir en gran parte los puntos antes mencionados³⁷.

La ISO 14224 es una herramienta para registrar eventos y experiencias. Se llega a la conformación de una Base de Datos. Aplicando conceptos conocidos, con límites y jerarquías pre establecidos mediante un proceso estructurado en forma secuencial y limitado en las posibilidades de calificación, y ponderación de los eventos de mantenimiento.

3.1.1 Norma BS ISO 14224. Presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos que permitan cuantificar la confiabilidad de equipos y compararla con la de otros de características similares.

Los parámetros sobre Confiabilidad pueden determinarse para su uso en las fases de diseño montaje, operación y mantenimiento.

Los principales objetivos de esta norma internacional son:

a) Especificar los datos que serán recolectados para el análisis de:

- Diseño y configuración del sistema.
- Seguridad, confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y plantas.
- Costo del ciclo de vida.
- Planeamiento, optimización y ejecución del mantenimiento.

b) Especificar datos en un formato normalizado, a fin de:

- Permitir el intercambio de datos entre Plantas.

³⁷ Mario Troffe: Calidad de datos análisis ISO 14224
<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0605MarioTroffeISO14224.pdf>

- Asegurar que los datos sean de calidad suficiente, para el análisis que se pretende realizar. Si bien la norma está orientada al registro de fallas, son de gran importancia las posibilidades de aplicación que presenta para definir los límites y jerarquía de los equipos de Operación, como también la calificación de la jerarquía de las Fallas. Parte desde el Modo de Falla, (perdida de la función) hasta el detalle de la Causa de Falla y el componente (ítem mantenible para la norma), que provoca el evento. Esta calificación tiene como ventaja que limita la profundidad de detalle del análisis, acotando el nivel al que llega el Técnico de Mantenimiento (y las que quedan para un Especialista como metalografía, fractomecánica, etc.)³⁸.

3.1.2 Límites y jerarquía del equipo. Es necesario realizar una clara descripción de límites para la recopilación, fusión y análisis de los datos de RM (Confiabilidad y mantenimiento) de diferentes industrias, plantas o fuentes. De otro modo, la fusión y análisis se basarían en datos incompatibles.

Para cada clase de equipo, se definirá un límite que indique qué datos RM se recopilarán.

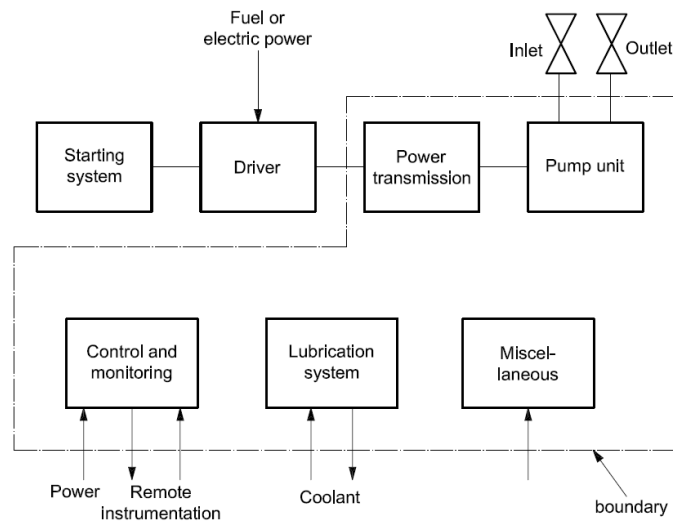
El diagrama de límites deberá mostrar las subunidades y las interfaces con los equipos adyacentes. La descripción textual adicional deberá, para fines de claridad, especificar detalladamente lo que se considerará dentro y fuera de los límites³⁹ como se muestra en la (Imagen 36).

³⁸ Mario Troffe: Calidad de datos análisis ISO 14224

<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0605MarioTroffelISO14224.pdf>

³⁹ Norma BS ISO 14224 p 9

Imagen 37. Ejemplo de diagrama de límites de una bomba



Fuente: Norma BS ISO 14224

3.1.2.1 Guía para la definición de la jerarquía del equipo. Se recomienda elaborar una jerarquía del equipo. El nivel más alto es la clase de unidad de equipo. El número de subdivisiones dependerá de la complejidad de la unidad de equipo y el uso de los datos.

Los datos de confiabilidad deben relacionarse con cada nivel de subdivisión dentro de la jerarquía del equipo a fin de que tengan validez y puedan compararse. Por ejemplo, los datos de confiabilidad “clase de severidad” deben relacionarse con la unidad de equipo, mientras que la causa de la avería debe relacionarse con el nivel más bajo en la jerarquía del equipo.

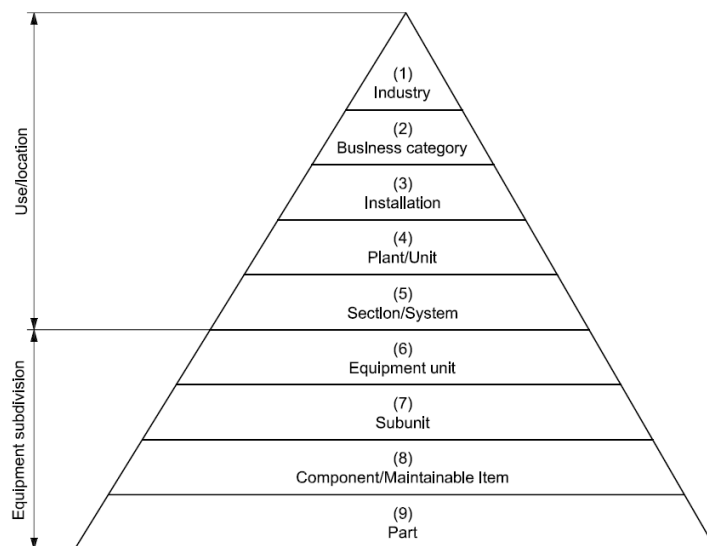
Un instrumento solo puede no requerir mayor subdivisión, mientras que un compresor puede requerir varios niveles. Para los datos utilizados en los análisis de disponibilidad, es posible que sólo se necesiten datos de confiabilidad a nivel

de unidad de equipo, mientras que el análisis RCM requerirá datos sobre el mecanismo de avería a nivel del Ítem mantenible⁴⁰.

3.1.2.2 Taxonomía ISO 14224. Se entiende como una clasificación sistemática de ítems dentro de grupos genéricos, estos se crean en base a características comunes tales como, localización, uso, subdivisión técnica, entre otras.

La norma ISO 14224 considera 9 niveles, los cuales los primeros cinco (1 – 5) corresponden a los niveles de negocio donde se encuentran inscritos los equipos. Los niveles inferiores (6 – 9) se relacionan con los niveles de equipo, con las subdivisiones necesarias para hacer el mejor desglose hasta su composición final (componente) (Imagen 37).

Imagen 38. Taxonomía ISO 14224



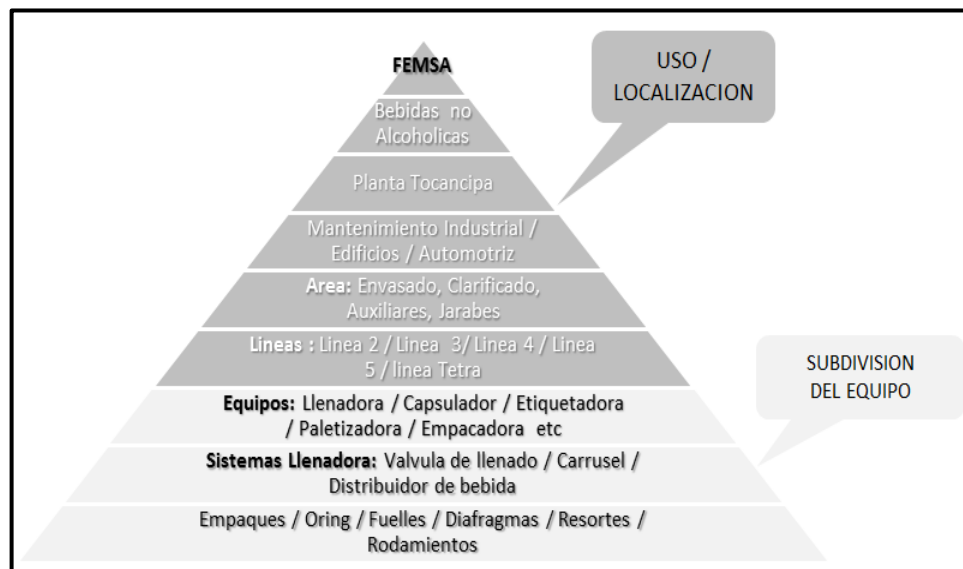
Fuente: Norma BS ISO 14224

⁴⁰ Norma BS ISO 14224 p 9

3.2 TAXONOMIA DE EQUIPOS LINEA DE ENVASADO

De acuerdo a La Norma Internacional ISO 14224 se muestra un ejemplo de la taxonomía en planta Tocancipa teniendo en cuenta:

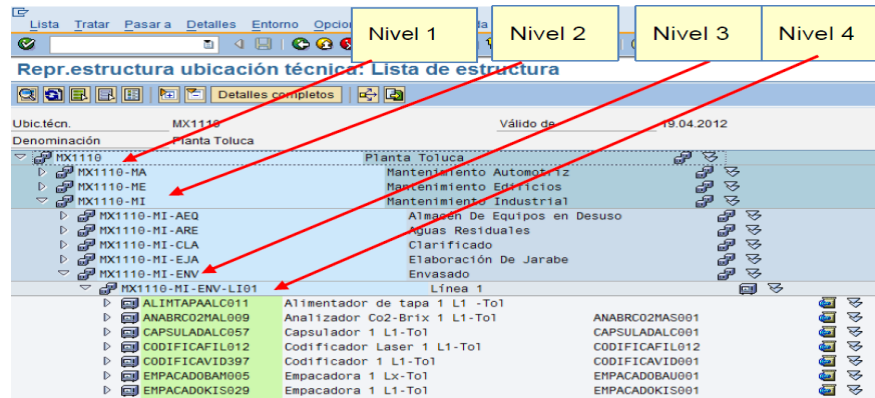
Imagen 39. Taxonomía Coca Cola FEMSA



Fuente: Modelo de taxonomía Coca-Cola Femsas

Como se muestra en la (Imagen 39) se identifican en los niveles 1, 2, 3 y 4 la ubicación por jerarquía desde planta hasta sección o sistema. En SAP PM se llaman ubicaciones técnicas referenciándose a áreas físicas de la planta.

Imagen 40. Taxonomía Equipos Coca Cola FEMSA



Fuente: Manual SAP PM Coca Cola FEMSA

Imagen 41. Taxonomía de equipos hasta componentes

Equipo	LLENADORKHS015	Válido de	25.04.2012
Denominación	Llenadora 1 L3-Ixt		
▼ LLENADORKHS015	Llenadora 1 L3-Ixt	0014VHSA81	
▶ LLENADORKHS-EST003	Estructura	I	1 COJ
▶ LLENADORKHS-IEL003	Instalación eléctrica	I	1 COJ
▼ LLENADORKHS-IME003	Instrumentos de medición	I	1 COJ
▶ LLENADORKHSIME0055	L3-001/01_termometro-ixt	I	1 COJ
▶ LLENADORKHSIME0056	L3-002/02_manometro-ixt	I	1 COJ
▶ LLENADORKHSIME0057	L3-003/02_manometro-ixt	I	1 COJ
▶ LLENADORKHSIME0058	L3-004/02_manometro-ixt	I	1 COJ
▶ LLENADORKHSIME0059	L3-005/02_manometro-ixt	I	1 COJ
▶ LLENADORKHSIME0060	L3-006/03_manometro-ixt	I	1 COJ
▶ LLENADORKHSIME0061	L3-007/01_transductor de presion-ixt	I	1 COJ
▶ LLENADORKHSIME0062	L3-008/01_valvula de seguridad-ixt	I	1 COJ
▶ LLENADORKHS-LLE003	Conjunto de llenado / tanque	I	1 COJ
▶ LLENADORKHS-MB0003	Manejo de botellas	I	1 COJ
▶ LLENADORKHS-NEU003	Circuito neumático	I	1 COJ
▶ LLENADORKHS-SM0003	Sistema motriz	I	1 COJ

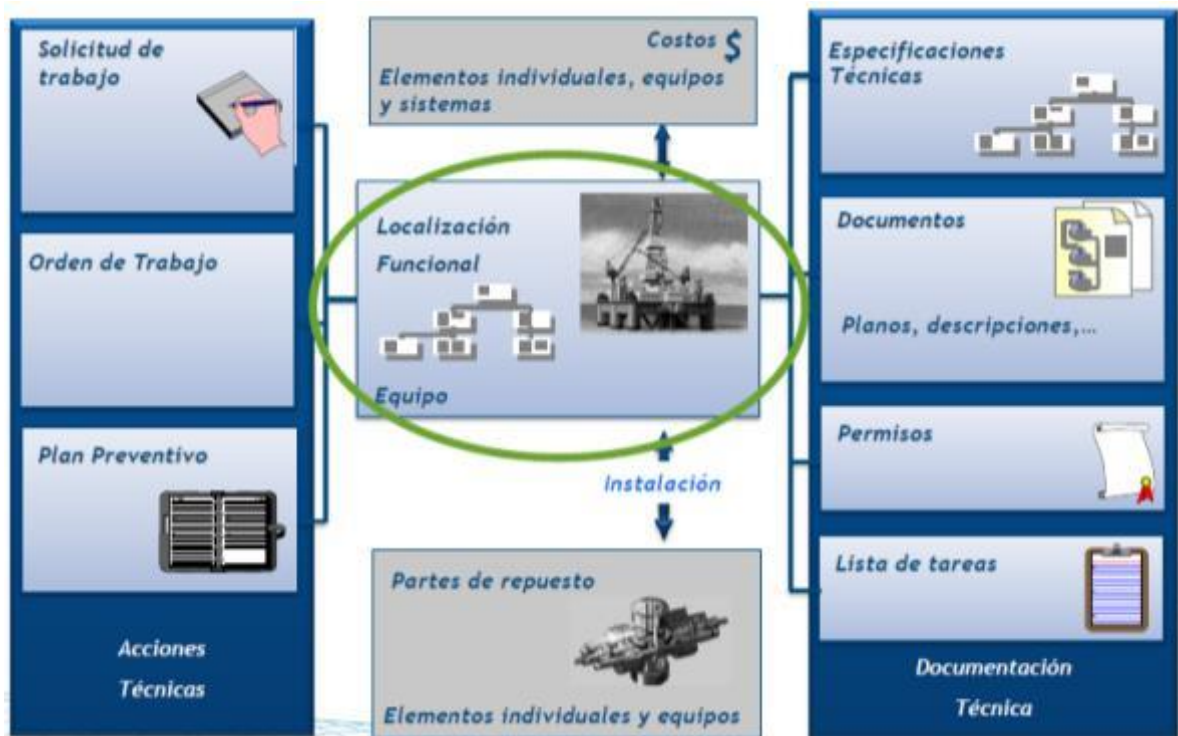
Fuente: Manual SAP PM Coca Cola FEMSA

Para los equipos se descomponen en componentes y subcomponentes. Como se muestra en la (imagen 39).

Además de brindar información acerca de la localización dentro de una estructura de desglose del negocio e identificar de acuerdo a un equipo determinado, esta

información debe servir de soporte para toda la asignación futura de costos, inversiones, seguimiento a historial de mantenimiento y en general a toda la información relacionada con los activos existentes dentro de la estructura (Imagen 40)

Imagen 42. Estructura de información de equipos



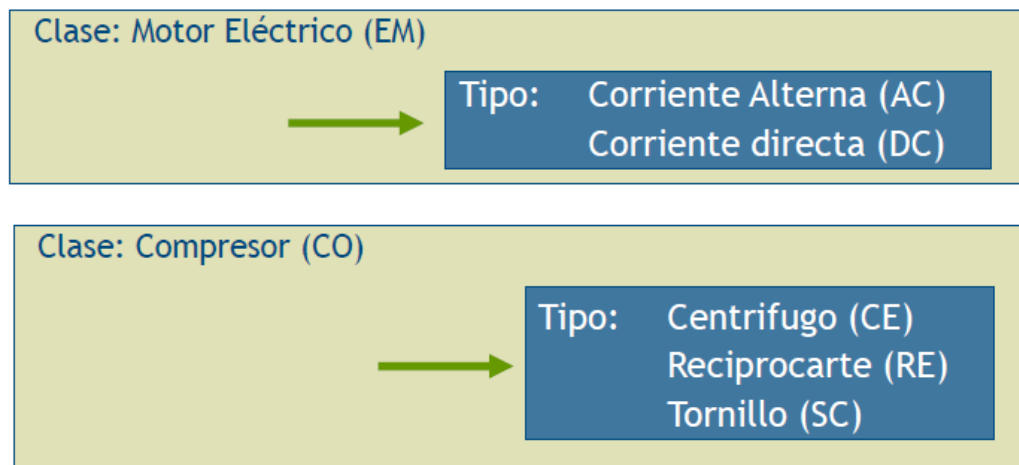
Fuente: Presentación ISO 14224 AMS

3.2.1 Clase y tipos de equipo. Por Clase de Equipo se entiende la agrupación de equipos con las mismas características y que cumplen la misma función (básica), ej: Bombas, Motores, etc.

Su objeto es facilitar el manejo de atributos, modos de falla, causas de falla y componentes mantenible.

Los Tipos de Equipos son subclasificaciones de las Clases de Equipos, estas dan un mayor nivel de información teniendo en cuenta características constructivas, funciones, modos de operación. Etc. (Imagen 42).

Imagen 43. Clase y tipo de equipo ISO 14224



Fuente: Presentación ISO 14224 AMS

Las Clases de equipos en la mayoría de los casos juegan el papel de agrupadores sobre los cuales la taxonomía se apoya para identificar con mayor facilidad los equipos por características, modos de fallar, funciones básicas, etc.

Al jugar el papel de agrupador sobre esta se definen las características propias de cada "clase", como son:

Imagen 44. Estructura de Información clases por tipos de equipos



Fuente : Variables de caracterización en bombas.

Imagen 45. Ejemplo de clases, tipos y características de Equipos ISO 14224

Equipment class (level 6)		Equipment Type	
Description	Code	Description	Code
Electric motor	EM	Alternating current	AC
		Direct current	DC

Name	Description	Unit or code list	Priority
Type of driver	Equipment class, type and identification code	Specify	High
Power - design	Max. output (design)	kW	Medium
Power - operating	Specify the approximate power at which the unit has been operated for most of surveillance time	kW	Low
Variable speed	Specify if installed or not	Yes/No	Low
Speed	Design speed	r/min	Medium
Voltage	Design voltage	V	Medium
Motor type	Type	Induction, commutator (d.c.), synchronous, asynchronous	Medium
Degree of protection	Protection class according to IEC 60529	Specify	Medium
Safety class	Explosion/fire classification category, e.g. Ex(d), Ex(e)	e.g.: Ex(d), Ex(e)	High

Fuente: Estándar BS ISO 14224

Al ser la clase un agrupador de características y modos de falla como se muestra en la (Imagen 44), es natural entonces que sobre la “base de datos de clases de

equipo” se cree toda la estructura de notación de fallas para los diferentes equipos que componen una industria.

Así entonces, sobre cada Clase de Equipo se agrupa la forma característica en que falla.

3.3 SISTEMA DE GESTION DE INFORMACION SAP

SAP (Sistemas, Aplicaciones y Productos) es una compañía de software que ofrece una línea completa de soluciones de software de negocios. El software de SAP permite a las empresas optimizar y simplificar sus modelos de negocio para trabajar con la máxima eficiencia. El módulo PM (por sus iniciales en inglés) significa Mantenimiento de Planta y corresponde al módulo del software SAP que se utiliza para agilizar las plantas y los entornos de las plantas⁴¹.

El módulo de Mantenimiento de Plantas del programa SAP incluye las medidas de control que establecen las condiciones de trabajo de un sistema técnico o maquinaria. El módulo también incluye medidas de mantenimiento preventivo y medidas de reparación, que se ponen en su lugar para mantener la condición ideal de cada máquina y restaurarlas a su estado ideal si han sufrido daños.

3.4 MODULO DE MANTENIMIENTO SAP-PM

El módulo Mantenimiento de Planta (PM, por sus iniciales en inglés) incluye una variedad de sub-módulos, en función del tipo de ambiente en que el módulo se está utilizando. Hay módulos para el mantenimiento preventivo, gestión de mantenimiento del orden, gestión de trabajos de limpieza, procesamiento de

⁴¹ Información SP-PM http://www.ehowenespanol.com/pm-sap-hechos_258900/

reclamaciones de garantía, sistemas de información, escenarios móviles y la planificación de proyectos de mantenimiento de la planta.

SAP R/3 PM quiere decir Sistemas, Aplicaciones y Procesos, la R es debida a que es un sistema de tiempo real (Real Time), y el 3 se debe a que trabaja en tres plataformas (Base de datos, Aplicación y Presentación).

La gestión de mantenimiento de Coca Cola FEMSA se realiza por medio del SAP PM, sobre el sistema de tienen creados los datos maestros como: Equipos, Ubicaciones técnicas, puestos de trabajo, hojas de ruta para planes de mantenimiento preventivo, contadores.

Como se muestra en la (Imagen 45) la gestión inicia desde las órdenes de mantenimiento del preventivo y los avisos de mantenimiento y se concluye con cierre de órdenes y liquidación para el costo de los mantenimientos ejecutados a los equipos.

Es ciclo de gestión de mantenimiento bajo el sistema de gestión SAP, además de llevar control sobre los activos, si es bien administrado, es la herramienta para poder realizar los análisis de confiabilidad de los equipo, ayudando a obtener la información necesaria para los registros de fallas y costos de estas.

Imagen 46. Sistema de gestión mantenimiento bajo SAP PM

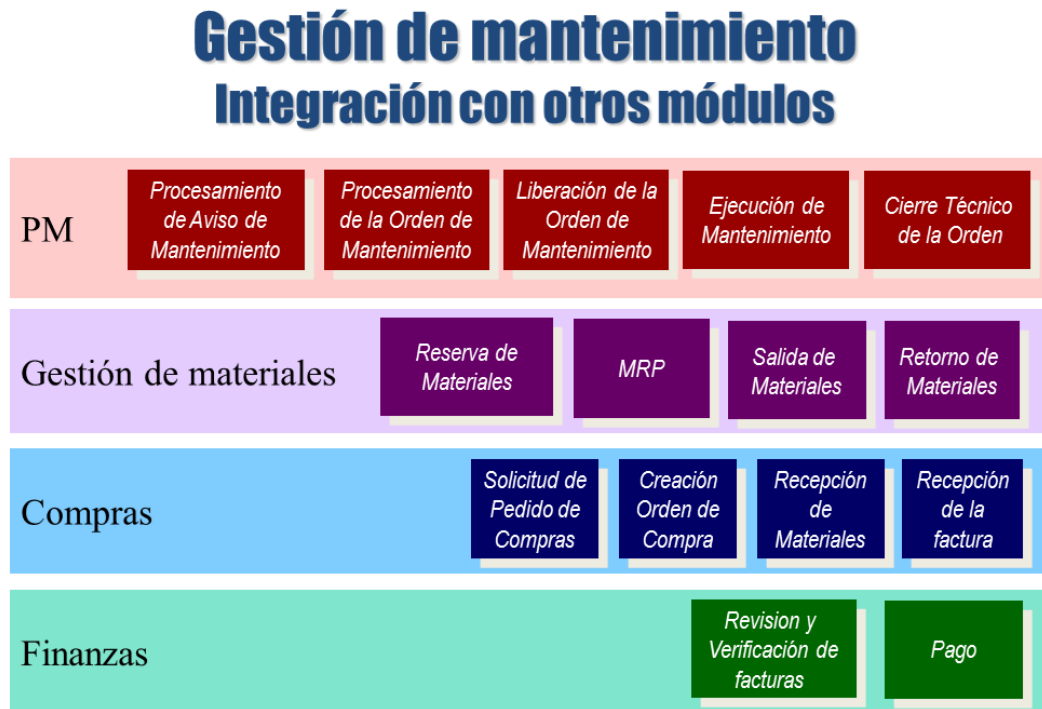


8

Fuente: Presentación capacitación SAP PM

Los módulos del sistema SAP se integran con la gestión de mantenimiento, los cuales intercambian datos en tiempo real. Como se muestra en la (Imagen 41).

Imagen 47. Integración de módulos SAP



Fuente: Presentación capacitación SAP PM

Sobre la gestión de mantenimiento en SAP PM y la integración con otros módulos como materiales, financiero, producción y compras se recolectan los datos de fallas y costos. Con el fin utilizar la información para futuros análisis de mantenimiento y confiabilidad.

Sobre esta información se puede implementar los análisis de fallas por paretos y también los arboles de falla verificando los historiales de los equipos.

4. METODOLOGIAS DE ANALISIS DE CAUSA RAIZ

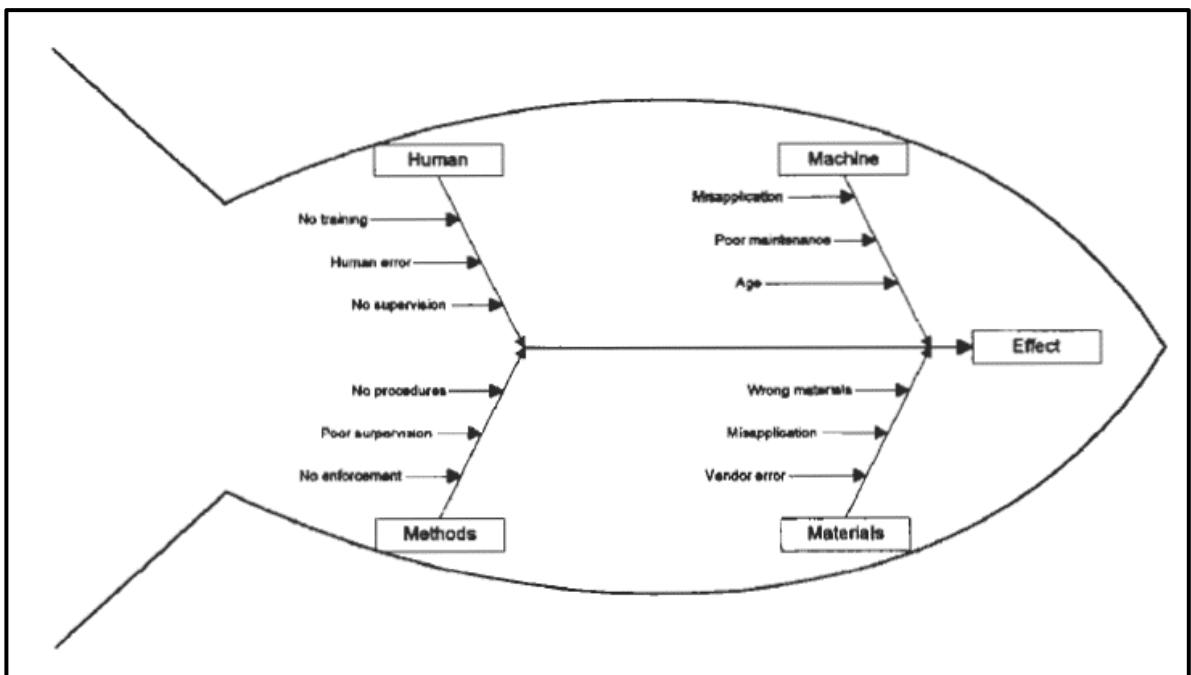
Existen varias metodologías de RCA de las cuales se presentaran las técnicas más utilizadas para el análisis de fallas.

4.1 ANALISIS CAUSA RAIZ METODOLOGIA ISHIKAWA

Este diagrama se utiliza para representas la relación entre algún efecto y todas las causas posibles que lo puedan originar.

Generalmente, se presenta con la forma del espinazo de un pez (Imagen 47), de donde toma el nombre alternativo de Diagrama de espina de pescado. También se lo llama como Diagrama de Ishikawa que es quien desarrollo la metodología.

Imagen 48. Diagrama espina de pescado ISHIKAWA



Fuente: R. Keith Mobley análisis causa raíz

Los diagramas de causa efecto se construyen para ilustrar con claridad cuáles son las posibles causas que producen el problema. Un eje central se dirige al efecto. Sobre el eje se disponen las posibles causas. El análisis causa-efecto, es el proceso mediante el cual se parte de una definición precisa del efecto que se desea estudiar. Posteriormente, se disponen todas las causas que pueden provocar el efecto. A las causas conviene agruparlas por tipos, al modo de ejemplo las originadas por motivos eléctricos, otros por elementos mecánicos, hidráulicos, etc. Cada grupo se dispone en un subeje.

El análisis causa-efecto puede dividirse en tres etapas:

- Definición del efecto que se desea estudiar.
- Construcción del diagrama causa-efecto
- Análisis causa-efecto del diagrama construido.

La definición del efecto que se desea estudiar representa la base de un eficaz análisis. Efectivamente, siempre es necesario efectuar una precisa definición del efecto objeto de estudio. Cuanto más definido se encuentre este, tanto más directo y eficaz podrá ser el análisis de las causas. Así si el motor del automóvil no arranca, ¿Cuáles pueden ser las causas de la falta de arranque? Evidentemente, las causas posibles pueden ser múltiples.

Si se definiera el efecto como, el motor no arranca cuando está muy frío y el vehículo se encuentra a la intemperie, en este caso el análisis será más preciso y estamos eliminando una serie de causas que no corresponden a la situación del vehículo. Invirtiendo el razonamiento se puede decir que cuando más definido se exprese el efecto que se desea estudiar, tanto más amplio e indeterminado será el diagrama causa-efecto y por lo tanto, más vago y de mayor complejidad el análisis y resolución del problema.

Cuando se tiene bien definido el efecto que se desea estudiar, se puede proceder a las dos fases sucesivas si se tiene la prudencia de separar la fase segunda-

construcción del diagrama- de la fase tercera-análisis y valoración de las diversas causas.

De este modo es posible garantizar que la definición de las posibles causas sea innovadora y creativa, mientras que el análisis crítico de las causas debe ser lo más realista posible. En realidad cuanto más ideas y sugerencias contenga el diagrama causa-efecto, tanto más eficaz será para la determinación de la causa o las causas (ya que el problema puede ser originado por más de una).

La construcción del diagrama causa-efecto se inicia escribiendo el efecto que se desea estudiar en el lado derecho de una hoja de papel. A ello debe seguir la búsqueda de todas las posibles causas que sobre él influyen.

Para esa búsqueda se pueden seguir tres métodos, que se diferencian por la forma en que se realizan. Son los siguientes:

- Método por Clasificación de las Causas.
- Método por Fases de Proceso.
- Método por Enumeración de las Causas.

Una pequeña desventaja de esta herramienta es que no nos muestra claramente la estructura o relación entre las diferentes causas.

4.2 ANALISIS CAUSA RAIZ METODOLOGIA ARBOL DE FALLAS

Esta técnica cuantifica las fallas de un sistema o máquina utilizando una aproximación de arriba hacia abajo para determinar de una manera sistemática las causas de la falla del sistema. Al finalizar el árbol de fallas generará tareas a evaluar y ejecutar por cada uno de los integrantes del grupo RCA o delegados de cada área, para determinar el causante de la falla.

También se generan actividades para prevenir y mejorar las condiciones del sistema de tal forma que no vuelvan a ocurrir o disminuir su impacto en el proceso.

4.3 ANALISIS FMEA

Es una técnica aplicada al estudio Metódico de las consecuencias que provocan las Fallas de cada Componente (ítem mantenible para la norma ISO 14224) de un Equipo. Es un proceso sistemático para la identificación de las Fallas Potenciales del diseño de un producto o proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el Riesgo asociado a las mismas. Sus objetivos principales son:

- Reconocer y evaluar los Modos de Fallas Potenciales y las causas asociadas con el diseño y montaje, Operación y Mantenimiento de un equipo, a partir de los Componentes (ítem mantenible para la norma ISO 14224).
- Determinar los Efectos de las Fallas Potenciales en el desempeño del Sistema, Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la ocurrencia de la Falla Potencial.

4.3.1 Consideración sobre FMEA. FMEA llega a los Modos de Falla partiendo de la Supuesta Falla de un Componente. Considerando que los componentes son perfectamente identificables, la supuesta falla total o parcial de cada uno nos lleva directamente a todos los Modos de Falla Potenciales (pérdida de la función.) Una tormenta de ideas en RCM NO asegura que se identifiquen TODOS los Modos de Falla.

Los responsables de las pérdidas de funciones de los Equipos (Sistemas), son los Componentes (Ítem Mantenibles, para la ISO 14224). Si se identifican desde un principio los Modos de Falla estándar para cada tipo de equipo, definidos bajo un criterio netamente operacional, y se listan Sistemas y Sub Sistemas, Componentes (Ítems Mantenibles), Causa de Fallas y Descriptores de Falla; y se los recorre en forma sistemática en esta secuencia ordenada, difícilmente pueda quedar afuera ninguna Falla supuesta que afecte a las Funciones del Equipo.

Los operadores y mantenedores están muy identificados con las Fallas Funcionales y los Componentes que las provocan.

Las listas de Causas de Falla (que incluyen todas las Causas preestablecidas) limitan así la profundidad de análisis. Están adaptadas al Nivel de Conocimiento del personal involucrado; lo que le otorga Confiabilidad al Dato.

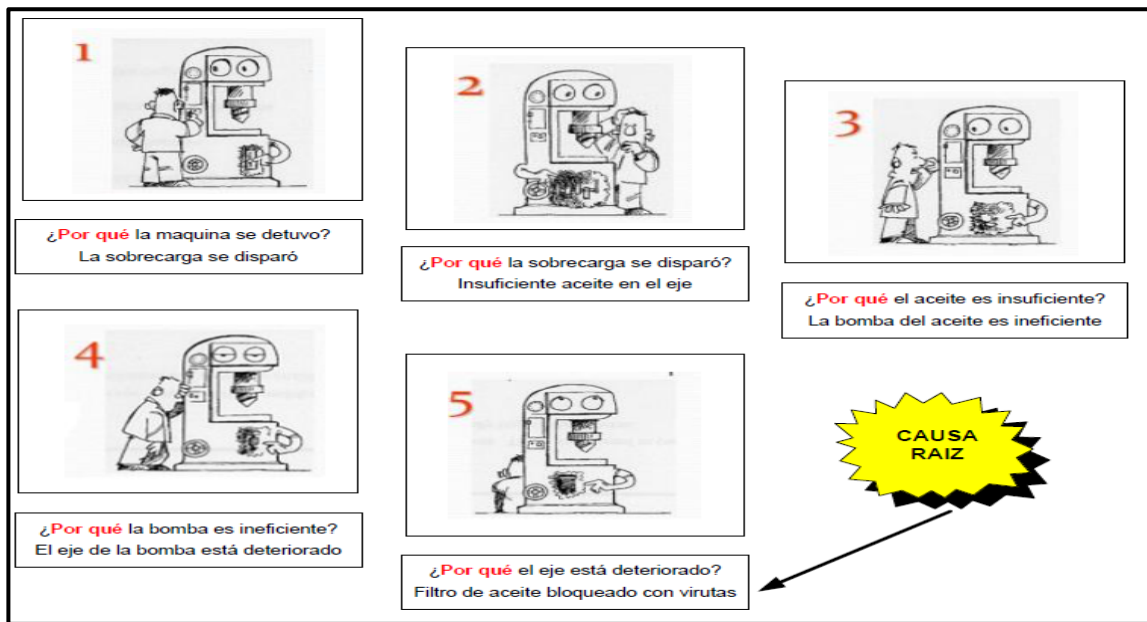
4.4 ANALISIS 5 POR QUÉ?

La técnica de los 5 Porque es una forma de encontrar la causa raíz de una falla de forma que se inicia con la falla general y se va realizando las preguntas de por qué este equipo pudo fallar explorando las relaciones de causa- efecto, suponiendo daños en los componentes y preguntando por que pudo fallar estos componentes,

se van descartando por las evidencias e investigaciones encontradas hasta llegar al componente o causa que genero la falla.

El objetivo es descubrir información vital de modo sistemático, analizar las posibles causas y desarrollar soluciones a las preguntas planteadas para generar un mayor cubrimiento de que esto no vuelva a ocurrir. La técnica se basa en que la respuesta del primer paso sea la pregunta del siguiente y así sucesivamente hasta llegar a la causa raíz.

Imagen 49. Ejemplo de 5 por qué?



Fuente: http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/reliability-centered_maintenance_and_root_cause_analysis_working_together_t

4.5 ANALISIS DE PARETO

El diagrama de Pareto, también llamado curva 80%-20%, es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha. Permite, pues, asignar un orden de prioridades, afirmando que en todo grupo de elementos o factores que contribuyen a un mismo efecto, unos pocos son responsables de la mayor parte de dicho efecto

El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos graves. Mediante la gráfica colocamos los “pocos vitales” a la izquierda y los “muchos triviales” a la derecha.

El diagrama facilita el estudio de las fallas crónicas en los procesos de producción, ayudando a identificar los malos actores, y así por medio de la gestión del mantenimiento poder definir acciones para eliminar las causas raíces de estos.

Hay que tener en cuenta que tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos, por esto hay que saber identificar de forma específica cual es el 20% de las causas totales.

El principal uso que tiene este diagrama es para poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización.

En la práctica por medio del sistema de gestión ERP SAP se extraen los tiempos perdidos por equipos de acuerdo a la taxonomía propia de la planta, durante un periodo determinado. Estos con el fin de elaborar la base de datos para el diagrama Pareto.

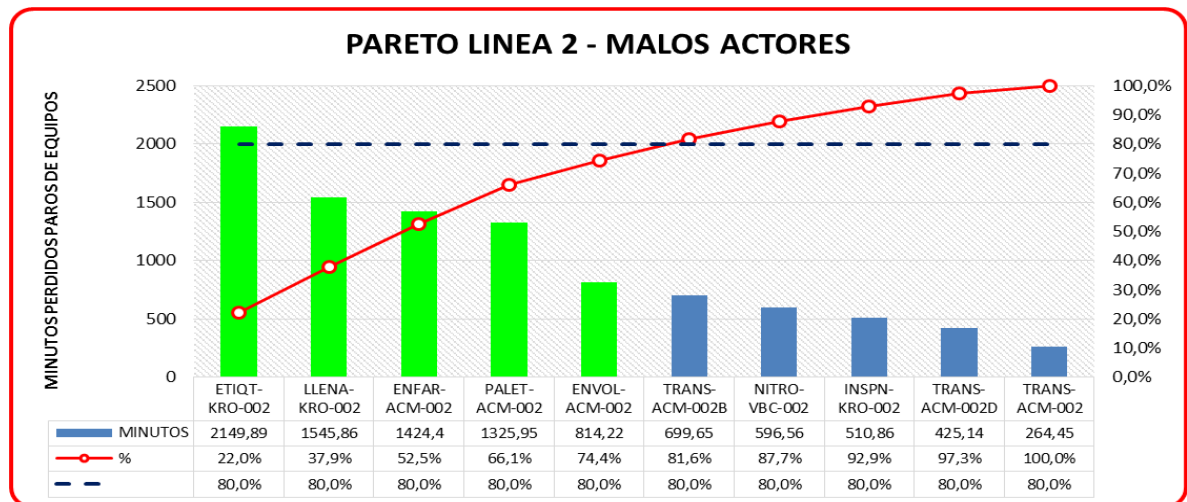
Luego de extraer la base de datos, se procede a realizar una tabla dinámica con la sumatoria de los tiempos por equipos organizándolos de mayor a menor. Como se muestra en la Tabla

Tabla 2: Tiempos perdidos por línea de envasado

Equipos	Minutos	Acumuladob
ETIQT-KRO-002	2149,89	22,0%
LLENA-KRO-002	1545,86	37,9%
ENFAR-ACM-002	1424,4	52,5%
PALET-ACM-002	1325,95	66,1%
ENVOL-ACM-002	814,22	74,4%
TRANS-ACM-002B	699,65	81,6%
NITRO-VBC-002	596,56	87,7%
INSPN-KRO-002	510,86	92,9%
TRANS-ACM-002D	425,14	97,3%
TRANS-ACM-002	264,45	100,0%
Total	9756,98	

Fuente: Sistema de gestión SAP-PM Coca Cola FEMSA

Imagen 50. Diagrama de Pareto



Fuente: Sistema SAP malos actores de una línea de envasado PEP

Luego de identificar el Pareto de los malos actores (Imagen 49) así: Etiquetadora, Llenadora, Empacadora, Paletizadora y Envolvedora. Sobre estos equipos se centraran los esfuerzos para atacar los modos de falla.

Una vez identificado los equipos, se inicia a validar nuevamente por Pareto los modos de falla más crónicos por cada equipo, como se muestra en la (Imagen 50) se toma como ejemplo el Pareto de los modos de falla de la etiquetadora debido a que es uno de los equipos con más tiempo perdido, sobre estos se realizaran los respectivos análisis de causa raíz proactivos y se crean los planes de acción correspondientes.

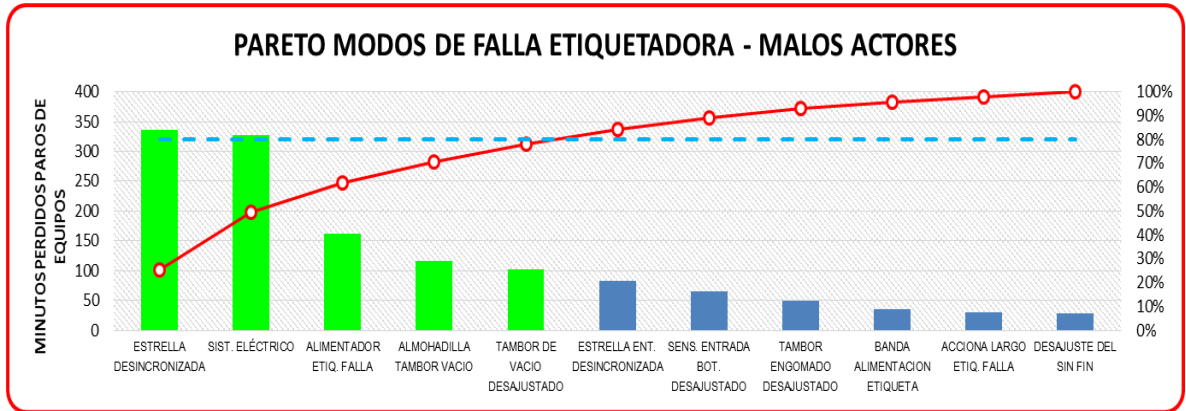
Tabla 3: Pareto de modos de fallas

MODODEFALLA	MINUTOS	%	Acumulado
ESTRELLA DESINCRONIZADA	335,71	25%	25%
SIST. ELÉCTRICO	327,03	25%	50%
ALIMENTADOR ETIQ FALLA	161,24	12%	62%
ALMCHADILLA TAMBOR VACIO	115,7	9%	70%
TAMBOR DE VACIO DESAJUSTADO	102,9	8%	78%
ESTRELLA ENT. DESINCRONIZADA	82,78	6%	84%
SENS. ENTRADA BOT. DESAJUSTADO	65,05	5%	89%
TAMBOR ENGOMADO DESAJUSTADO	49	4%	93%
BANDA ALIMENTACION ETIQUETA	35,36	3%	96%
ACCION LARGO ETIQ FALLA	30,11	2%	98%
DESAJUSTE DEL SIN FIN	29,12	2%	100%
ETIQT-KRO002	1334		

Fuente: Sistema SAP malos actores de una línea de envasado PEP

Es importante para estos análisis que la información del sistema de fallas sea confiable, para poder determinar planes de acción efectivos.

Imagen 51. Diagrama de Pareto de Etiquetadora



Fuente: Sistema SAP malos actores de una línea de envasado PEP

4.5.1 Objetivos del Análisis Pareto. El análisis de Pareto es una herramienta estadística de mantenimiento muy utilizada para la identificación de problemas crónicos y su aplicación solo está limitada por el ingenio del analista, realizarlo tiene como objetivo:

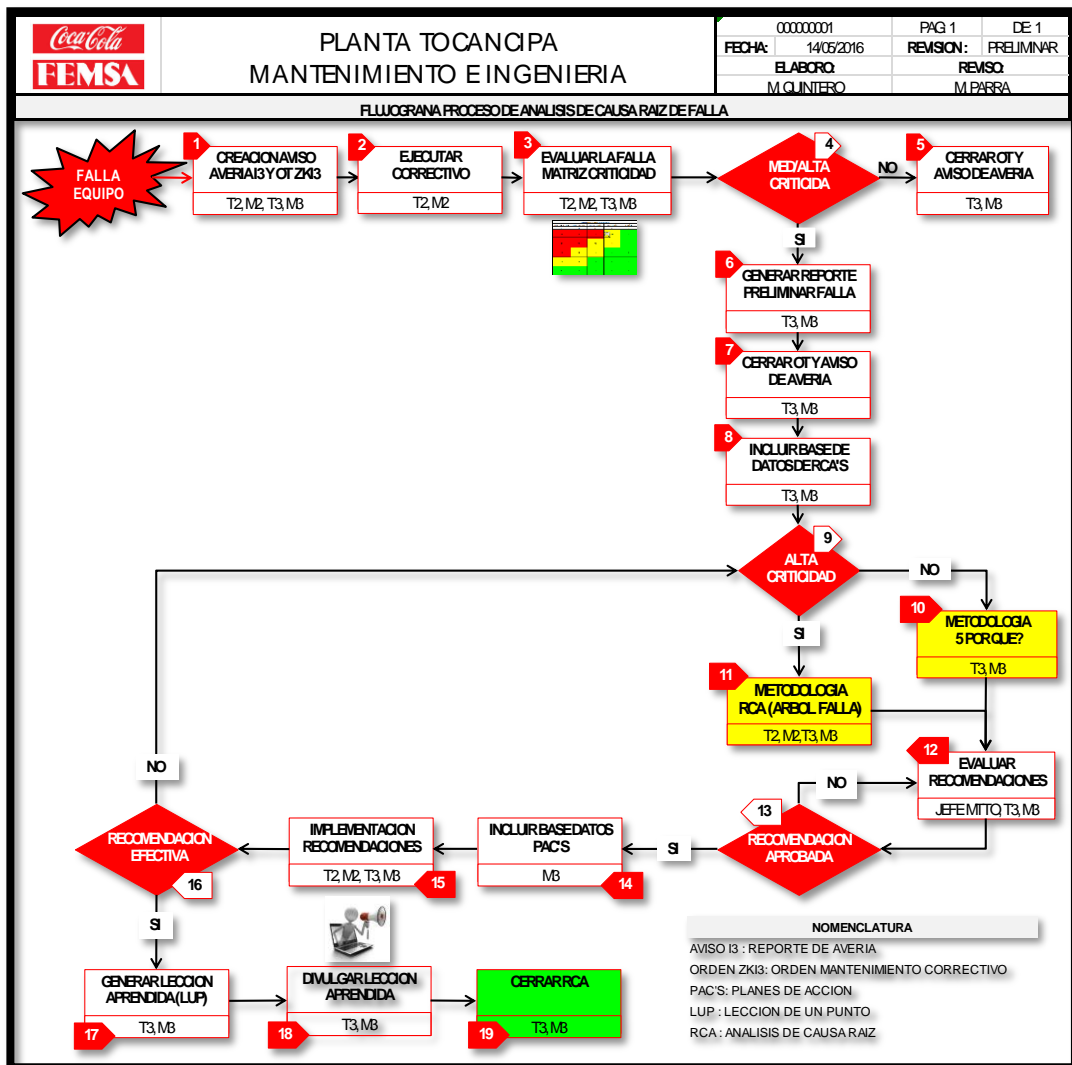
- Identificar oportunidades para llevar a cabo mejoras.
- Identificar los sistemas, equipos o elementos que están causando la mayoría de problemas a mantenimiento y producción.
- Analizar las diferentes agrupaciones de datos.
- Buscar las causas principales de los problemas y establecer la prioridad de las soluciones.
- Evaluar los resultados de los cambios efectuados a un proceso (antes y después).
- Expresar los costos que significan cada tipo de falla y los ahorros logrados mediante el efecto correctivo llevado a cabo a través de determinadas acciones.

5. PROPUESTA DE IMPLEMENTACION

5.1 PROCESO DE IMPLEMENTACION RCA REACTIVO

Se propone el flujograma del proceso de implementación de la metodología de RCA, para un evento de falla reactiva.

Imagen 52. Propuesta flujograma análisis RCA



5.2 MATRIZ ASIGNACION DE RESPONSABILIDADES RACI RCA

La matriz de la asignación de responsabilidades (RACI por las iniciales de los tipos de responsabilidad) se utiliza generalmente en la gestión de proyectos para relacionar actividades con recursos (individuos o equipos de trabajo). De esta manera se logra asegurar que cada uno de los componentes del alcance esté asignado a un individuo o a un equipo.

Tabla 4: Matriz RACI

SIGLA	SIGNIFICADO
R Responsable	Quien(es) hace(n) la tarea, el hacedor responsable por implementar la acción. La responsabilidad puede ser compartida, el grado de responsabilidad es definido por la persona que autoriza
A Aprobador	La persona que es en ultimas el responsable, quien tiene la autoridad de decir sí o no, o poder de veto. Solo una persona puede ser asignada a esta función.
C Consultado	La(s) persona(s) a ser consultada antes de que se tome una decisión final o se tome acción
I Informado	La persona(s) que necesita(n) estar informado(s) después de que una decisión o acción sea tomada.

Tabla 1. Significado de la matriz RACI

Fuente:https://es.wikipedia.org/wiki/Matriz_de_asignaci%C3%B3n_de_responsabilidades

En esta matriz se asigna el rol que el recurso debe desempeñar para cada actividad dada. No es necesario que en cada actividad se asignen los cuatro roles, pero sí por lo menos el de responsable (A) y el de encargado (R). Un mismo recurso puede tener más de un rol para una tarea, por ejemplo puede ser el encargado (R) y responsable (A) del mismo, en cuyo caso se anotará R/A.

Estas matrices se pueden construir en alto nivel (grupos de tareas generales) o en un nivel detallado (tareas de nivel bajo).

Una matriz de alto nivel se puede graficar con el listado de todos los entregables del proyecto definidas en la EDT versus los recursos definidos en el OBS. No todos los recursos tendrán necesariamente una entrada para cada actividad. Una matriz de bajo nivel se puede utilizar para designar roles, responsabilidades y niveles de autoridad para actividades específicas.

Tabla 5: Matriz RACI proceso RCA Coca Cola FEMSA

No.	PASOS DEL PROCESO	T2 - Tecnólogo Manufactura	M2 - Tecnólogo mantenimiento	T3 - Especialista Manufactura	M3 - Especialista Mantenimiento	Jefe Mantenimiento	Gerente Manufactura
1	Creación del aviso de avería I3	R	R	R	R	I	
2	Ejecución del correctivo	R	R	R	R	I	I
3	Evaluación de la falla			R	R	I	I
4	Validar criticidad media o alta			R	R		
5/7	Cierre orden mantenimiento y aviso avería				R		
6	Reporte preliminar de falla			R	R	A	I
8	Base de datos RCA'S				R		
9	Validar criticidad alta			R	R		
10	Metodología 5 porqués?			R	R	C	I
11	Análisis causa raíz (árbol de falla)			R	R	C	I
12	Evaluación de recomendaciones			R	R	C	
13	Aprobación de recomendaciones					A	I
14	seguimiento a planes de acción PAC'S				R	I	
15	Implementación de recomendaciones			R	R	C	I
16	Recomendaciones efectivas			R	R	I	I
17	Lecciones aprendidas LUP'S			R	R		
18	Divulgación de lecciones aprendidas			R	R	I	I
19	Cierre de RCA'S			R	R	I	I

5.3 PASOS DEL PROCESO

5.3.1 Paso 1: Creación del aviso de avería I3. Cada que un equipo presente un falla superior a 25 min por avería del equipo, el Especialista de manufactura o mantenimiento responsable del turno deberá notificar la falla por medio de un aviso de avería I3 el cual será registrado en SAP-PM y con la información necesaria para el análisis de la falla.

Se cuentan con diferentes tipos de avisos enfocados cada uno al tipo de mantenimiento a realizarse, de los cuales solo se usaran para el reporte de equipos solo avisos I3.

Tabla 6: Tipos de avisos SAP-PM

INDUSTRIAL	TIPO DE AVISO
I1	AVISO DE PREVENTIVO
I2	AVISO SOLICITUD MTTO
I3	AVISO DE AVERIA
I4	AVISO DE MEJORA
I5	AVISO DE PREDICTIVO

Fuente: Manual SAP PM Coca Cola FEMSA

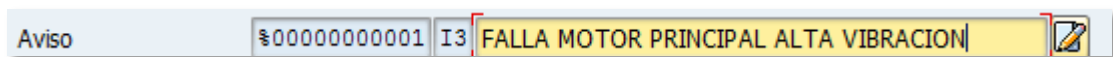
Para la creación del aviso en SAP se usa la transacción IW21 y estos llevaran la siguiente información:

- Descripción del aviso
- Descripción detallada del aviso

- Autor del aviso
- Ubicación técnica
- Equipo
- Fecha extrema – Inicio deseado
- Fecha extrema – fin deseado
- Flag de parada
- Prioridad
- Fecha y hora de la avería
- Parte objeto
- Síntoma avería
- Causa avería

La descripción principal del aviso iniciara por FALLA+COMPONENTE+MODO DE FALLA

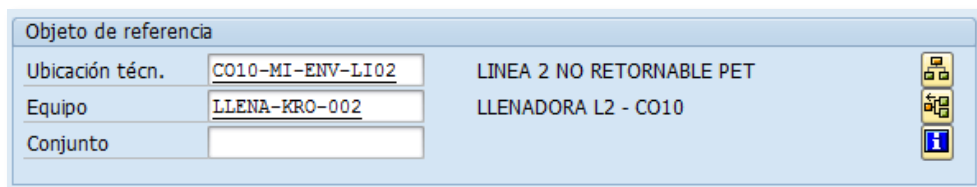
Imagen 53. Texto del aviso



Fuente SAP PM Coca Cola FEMSA

La ubicación técnica y el equipo son campos obligatorias para la generación del aviso, se debe tener en cuenta al generarlo que no se encuentre repetido.

Imagen 54. Objeto de referencia



Fuente SAP PM Coca Cola FEMSA

El responsable de mantenimiento se asigna con el código del usuario y Autor del aviso es quien está reportando la anomalía. INICIAL DEL NOMBRE_APELLIDO



Imagen 55. Objeto de referencia

Responsabilidades			
Grupo planif.	PI1 / C010	Planif Industrial	
Pto.tbjo.resp.	FMT2L / C010	T2 - TECNOLOGOS LINEAS LLENADO	
Operador respon			
Resp. de mtto	1920840	Marco Quintero Tafur	
Autor del aviso	M_QUINTERO	Fecha de aviso	08.05.2016 20:01:23

Fuente SAP PM Coca Cola FEMSA

Para la descripción de la avería se deben completar los campos anexos Parte objeto, síntoma de avería, causa de avería.

Imagen 56. Posición del aviso

Posición			
Parte objeto	LLENADOR	009p	TRANSMISIÓN
Sínt. avería	MOTOR	0040	VIBRACIÓN EXCESIVA
Texto	VIBRACION ALTA MOTOR PRINCIPAL		
Causas avería	MOTOR	0020	RODAMIENTOS DAÑADOS
Texto causa	RODAMIENTOS AVERIADOS MOTOR PRINCIPAL		
Entrada 1 De 1			

Fuente SAP PM Coca Cola FEMSA

Las fechas extremas son las fechas para la programación de la corrección de la avería. Se debe usar la prioridad y el Flag de parada si la falla ocasionó parada del sistema.

Imagen 57. Objeto de referencia

Fechas extremas				
Inicio deseado	08.05.2016	20:01:23	Prioridad	Urgente
Fin deseado		00:00:00	<input checked="" type="checkbox"/> Parada	

Fuente SAP PM Coca Cola FEMSA

Los datos de avería se llenan con los tiempos de ejecución de la corrección de la avería.

Imagen 58. Datos de avería

Datos avería				
Inicio avería	08.05.2016	19:00	<input checked="" type="checkbox"/> Parada	
Fin de avería	08.05.2016	22:00	Duración parada	3,00

Fuente SAP PM Coca Cola FEMSA

5.3.2 Paso 2: Ejecución del correctivo. El tecnólogo de manufactura o mantenimiento realizara el diagnóstico y corrección de la avería. En caso de requerir un soporte técnico por la magnitud de la falla, el especialista de manufactura o mantenimiento dará este tipo apoyo.

5.3.3 Paso 3: evaluación de la falla. Las fallas esporádicas con un impacto significativo a la producción, al presupuesto de mantenimiento, inocuidad en la calidad del producto o que resulten en daños al medio ambiente o a las personas, serán analizadas de acuerdo a la matriz de criticidad propuesta. Ajustada con los lineamientos del White Book de ingeniería y mantenimiento.

Imagen 59. Matriz de criticidad

Criterio de severidad		Criterio de ocurrencia								
Clasificación de severidad	SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CALIDAD E INOCUIDAD	TIEMPO PERDIDO PRODUCCION	COSTOS DE REPARACION	Probabilidad de ocurrencia de falla				
						Entre 1 day 1 mes	Entre 1 y 6 mes	6 meses y 1 año	Entre 1 y 3 años	>3 años
						5	4	3	2	1
5	Fatalidad	Puede causar la muerte de flora o fauna, tiene un efecto regional y No es reversible	Defecto critico irreparable	> 120 MN	<\$20MCCP	25	20	15	10	5
4	Incapacidad parcial o Total	Puede causar daño grave a la flora u fauna, tiene un efecto local y reversibilidad después de 3 años.	Defecto critico detectable	90- 120 MN	\$10MCCP <R <= \$20MCCP	20	16	12	8	4
3	Accidente con tiempo perdido	Puede haber daño menor a la flora y fauna, tiene efecto solo sobre los vecinos inmediatos y reversible entre 1 y 3 años.	Defecto Mayor	60- 90 MN	\$3.5MCCP <R <= \$10MCCP	15	12	9	6	3
2	Tratamiento Medio	No causa daño a la flora y fauna, tiene efecto solo al interior de las instalaciones y el daño es reversible en forma inmediata cuando se suspende la actividad	Defecto Menor	30- 60 MN	\$1MCCP <R <= \$3.5MCCP	10	8	6	4	2
1	Primeros Auxilios	Sin consecuencia alguna al medio ambiente	Sin defectos	<30MN	R <= 1MCCP	5	4	3	2	1

Tabla 7: Valoración de criticidad

Valoración de Criticidad		
Estatus	Jerarquía	Definición
Rojo	Alto	La ocurrencia de falla es evidente, tiene consecuencias indeseadas e inmediatas para la planta.
Amarillo	Medio	La falla no se evidencia inmediatamente pero tiene gran probabilidad en convertirse en una falla múltiple crítica.
Verde	Bajo	La falla de estos componentes no afecta severamente a la Planta.

Una vez evaluada la falla por el T3 o M3 responsable del turno, deberá determinar si el impacto de esta si es baja, media o alta criticidad.

Los eventos de falla clasificados en la región verde de la matriz son de bajo impacto y no requieren de análisis de causa raíz. Sin embargo se deben tener en cuenta la potencialidad de los eventos de falla que puedan generar cambios en la clasificación de la severidad.

Para los eventos clasificados en la región amarilla son fallas de impacto medio, las cuales requieren de un aviso de avería, orden de mantenimiento, reporte preliminar y análisis de 5 por qué?, con planes de acción a ejecutar con el fin de eliminar la falla y repercutir una nueva ocurrencia.

Para los eventos de falla clasificados en la zona roja, son los de alta criticidad y requieren de atención inmediata y búsqueda de la causa raíz. Estos llevaran un aviso de avería en SAP-PM, orden de mantenimiento, reporte preliminar y un análisis de causa raíz con árbol de falla.

5.3.4 Paso 4: cierre de la orden mantenimiento y aviso. Una vez corregida la falla, el especialista de manufactura o mantenimiento entregara la orden de trabajo a planeación con el fin de notificar el tiempo de reparación. Así el analista de mantenimiento realizara la notificación y cierre de la orden y aviso de mantenimiento en el sistema de gestión SAP-PM.

5.3.5 Paso 5-7: reporte preliminar de falla. El reporte preliminar es el documento que reúne la información inicial del evento, incluyendo la descripción general y otros datos básicos requeridos para darlo a conocer, evaluar su magnitud y clasificarlo según su impacto real o potencial y frecuencia de exposición.

Dependiendo del origen de la falla y del equipo donde se presentó el evento, el reporte de falla se presenta en un periodo de 24 horas luego de restablecer las condiciones operacionales del equipo, así los Especialistas de manufactura y mantenimiento son los responsables de la ejecución de esta tarea.

El reporte de falla se realizara con ayuda de los tecnólogos de manufactura y mantenimiento (T2, M2) garantizando la secuencia de eventos antes de la falla, evidencias físicas, fotográficas y reporte en SAP-PM por medio del aviso de avería y su orden de mantenimiento correctivo ZKI3. El reporte de falla será el inicio para el análisis de la causa raíz y elaboración del árbol de falla.

Para la ejecución del reporte de falla el equipo de análisis deberá de definir de manera precisa el evento de falla. Sin una definición clara de la falla, una serie totalmente equivocada de modos de fallas podrían arrojar un buen número de causas raíces. Posiblemente la solución no corrija el verdadero problema.

El equipo de análisis del reporte de falla necesita desarrollar una estrategia para la recolección de las 4 P's (Partes, posición, personas, papel). La obtención de la

evidencia es crucial en los casos de fallas esporádicas, puesto que el equipo solo tiene una oportunidad de tenerlas.

Para fallas catastróficas, puede ser mejor despejar el área hasta que haya recogido todas la evidencias y de ser necesario no se debe iniciar la reparación hasta que se haya terminado la investigación. La recolección de las pruebas de las fallas crónicas se puede realizar simultáneamente con la realización de las reparaciones, pero se debe organizar apropiadamente.

Partes: Para fallas catastróficas esporádicas, se debe acordonar el área según lo necesario, de manera que la evidencia no se manipule, mueva, “pierda”, etc. Se congela el área hasta que se haya recogido toda la información conocida.

Posiciones: Las posiciones de todas las partes y otras evidencias se deben fotografiar o filmar en video, siempre que sea posible. Se deben hacer diagramas mostrando lo que se encontró y donde, con orientación y distancias desde un punto fijo de referencia. La ubicación de las válvulas, interruptores, indicadores, personas, equipo, se deben anotar.

Personas: Las entrevistas se deben realizar individualmente preferiblemente en el sitio de trabajo, poco después de que haya ocurrido un evento, siempre que sea posible. Los testigos oculares que estuvieron involucrados antes o durante el evento de falla algunas veces constituyen la evidencia más frágil.

Las entrevistas pueden incluir al personal de operaciones, tecnólogos, especialistas, etc. Se debe tener en cuenta que la idea no es la de asignar culpas, sino la de determinar los hechos para el posterior análisis de la causa raíz.

Papel: También se deben recopilar datos tales como las tendencias de las condiciones del proceso (temperatura, presión, flujo, nivel) y tendencias de vibración. Otros pueden consistir en impresiones de alarmas, libros de registro, cuadros, procedimientos operativos, instrucciones operativas, hojas de instrucción diaria, notas de trabajo, planos del sitio, P&ID o diagramas de flujo del proceso,

dibujos y procedimientos de montaje de equipo, registros de mantenimiento, resultados de pruebas de laboratorio, registros de inspección, etc.

5.3.6 Paso 8: base de datos RCA'S. Todos los análisis de fallas se registrarán en una base de datos con el fin de llevar el seguimiento de los RCA's que están en curso, pendientes y cerrados. Esta base de datos se centralizará desde el área de mantenimiento y se enviará un estatus quincenal con los indicadores.

5.3.7 Paso 9: metodología 5 porqués? Al inicio de la sesión de análisis RCA, el Especialista de manufactura o mantenimiento deberá leer los Términos de Referencia, con el fin de aclararle al grupo el alcance (límites) y objetivos del análisis e identificar los beneficios económicos y/o de seguridad esperados al resolver el problema.

El Compromiso y los Factores Críticos de Éxito del análisis deberán ser definidos de tal manera que cada miembro del equipo conozca el propósito del análisis y sepa si el esfuerzo es exitoso.

El Análisis de Causa Raíz deberá ser realizado por el Grupo RCA utilizando la metodología establecida por Coca Cola FEMSA. Los detalles específicos del RCA son similares a los presentados para la elaboración del Reporte de Falla. Las diferencias fundamentales entre el Reporte de Falla y el Análisis de Causa Raíz consisten en que este último es extremadamente disciplinado, requiere dedicación completa del grupo de análisis y se pone especial atención a los detalles durante la elaboración del Árbol de Falla o 5 porqués?

Los 5 ¿Por qué? Es una técnica para realizar preguntas iterativas usadas, para explorar las relaciones de causa y efecto subyacentes a un problema particular. El objetivo principal de la técnica es determinar la causa raíz de un defecto o problema repitiendo la pregunta "¿Por qué?". Cada pregunta forma la base de la

siguiente pregunta. El "5" en el nombre se deriva de la observación empírica en el número de iteraciones típicamente requeridas para resolver el problema.

No todos los problemas tienen una sola causa raíz si uno desea descubrir múltiples causas raíces, el método debe ser repetidos, preguntando una secuencia diferente de pregunta cada vez.

El método no provee reglas sencillas ni estrictas acerca de que líneas de preguntas hay que explorar o que tan largo seguir la búsqueda de causas principales adicionales. Por consiguiente incluso cuando el método es cuidadosamente aplicado el resultado sigue dependiendo del conocimiento y la persistencia del equipo involucrado personas involucradas.

5.3.8 Paso 10: Análisis causa raíz árbol de falla. Usando la información recolectada se debe desarrollar el árbol de falla, el cual no se considera completo a menos que las raíces latentes o del sistema sean identificadas.

Mediante una tormenta de ideas se determinan los modos de falla que ayudan a definir más a fondo un evento, describiendo los síntomas que se observaron como resultado de la falla. Solamente interesan los modos de falla que hayan ocurrido o pudiesen haber ocurrido y ser la causa del problema, no aquellos que no tienen nada que ver con éste. Se debe analizar más a fondo el cómo y el por qué? de las causas que se presentaron. No se deben descartar las ideas extrañas, siempre y cuando tengan algo de credibilidad. Los bloques de causa de fallas se utilizan para determinar cómo y por qué el anterior bloque de modos de falla pudo haberse presentado. Se deben considerar todas las posibilidades e incluirlas en su totalidad.

Para determinar las causas de la falla es útil preguntarse:

- Cuándo ocurre?
- A qué hora?
- Qué efectos tiene?
- Por qué ocurre?
- Qué condiciones especiales se presentaron o existían y que modificaciones se han hecho?
- Cómo ocurre?

Más adelante se eliminan las causas poco realistas. Se debe ir más allá de lo obvio, evitar soluciones rápidas y analizar situaciones similares en otras plantas de Coca Cola. Es necesario preguntarse nuevamente cómo y por qué pudo haber ocurrido esto. Se continúa en este paso con el pensamiento “no encasillado” analizando todas las posibles causas creíbles que pudieron presentarse para resultar en el modo de falla anotado.

Verificación de hipótesis: Cada bloque de hipótesis del árbol lógico necesita ser verificado (demostrado o refutado). Este es uno de los pasos más importantes en el proceso de ejecución del Análisis de Causa Raíz. Sin la verificación, los hallazgos y recomendaciones del RCA no tienen sentido.

Es necesario buscar evidencia con hechos que soporten/verifiquen o desapruében cada causa potencial. De lo contrario, se debe incluir “sin evidencia” o “no se puede probar” y asignarle una probabilidad de que ésta sea la causa.

Los métodos de verificación pueden incluir: Observación Visual: Fotografía de alta velocidad, cámaras de video, luces estroboscópicas, observación humana. Evaluación No-Destructiva: Técnicas de inspección con ultrasonido, infrarrojos u otro tipo de inspección, ferrografía (análisis de aceite), metalografía in-situ (remoción y análisis de metal), microscopía electrónica de scanner, análisis de esfuerzo, vibración, etc.

Análisis de Datos: Paretos de fallas, Alarmas, Regresión (tendencias), análisis de vibración, del espectro, etc.

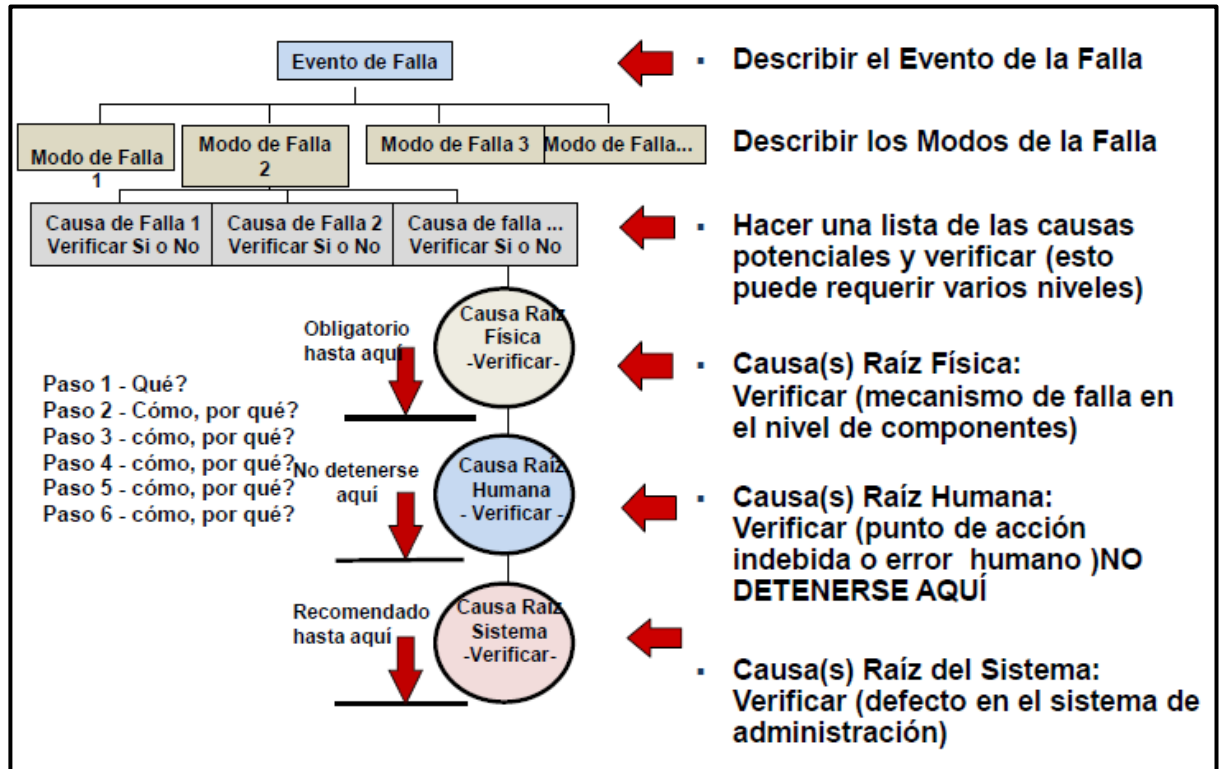
Cuando el grupo ha realizado el último grupo de causas potenciales y ha verificado la evidencia al nivel de componente, han llegado a la Causa Raíz Física de la falla.

El análisis siempre debe continuar a través del Árbol de Falla a fin de determinar la Causa Raíz Física. Dependiendo de lo crítica que sea la falla y del tiempo disponible del equipo, Sin embargo, es altamente recomendable continuar con el proceso a través de la causa raíz latente, puesto que la determinación de dichas causas puede eliminar una serie de fallas similares que se consideraban no relacionadas.

Para determinar la Causa Raíz Humana y la Causa Raíz Latente se deben emplear el listado anexo de causas raíces el cual sirve como guía Tabla 7. Para esto se deben identificar las causas básicas en los Factores Personales y Factores de Trabajo de la lista. En ningún caso se debe detener en la (causa raíz humana), puesto que el uso indebido de este paso puede afectar la disciplina del empleado y socavar los futuros esfuerzos de RCA.

En la imagen 58 se muestra el árbol de falla desde el evento, modos de falla, causas potenciales, causa raíz física, causa raíz humana y causa raíz latente.

Imagen 60. Metodología de árbol lógico de fallas



Fuente: Presentación RCA William Murillo

Tabla 8: Ejemplos ayuda de clasificación de causa raíz

EVENTO DE FALLA			
MODOS DE FALLA ISO 14224	Alarma Alto	Fuga interna	Otros
	Alarma Bajo	Insuficiente transferencia de calor	Para por rotura
	Alarma esporádica	Lectura anormal de parámetros	Paro subsistema
	Bloqueo de línea	Lectura fuera de rango	Problemas menores
	Deficiencia estructural	No arranca	Ruido
	Demora al operar	No para	Salida Alta
	Desconocido	Obstrucción de material	Salida baja
	Desviación de algún parámetro	Opera cuando no se necesita	Salida muy baja
CAUSA INMEDIATAS	MECANICAS	ELECTRICA	INFLUENCIA EXTERNA
	Fuga	Corto circuito	Bloqueado / Taponado
	Vibración	Circuito abierto	Contaminación
	Desalineamiento	Sin /bajo energía / voltaje	
	Deformación	Falla de energía / voltaje	
	Suelto	Falla tierra / aislamiento	
	Pegado	Sabotaje	
	Cavitación		
CAUSA RAIZ FISICA	Aceite	Instrumento-presión	Otro
	Actuador-woodward	Instrumento-temperatura	Packing
	Balancines	Instrumento-velocidad	Piñón
	Batería	Intercambiador	Pistón
	Bloque	Instrumento-Corriente	Plungers-pistón
	Bomba combustible	Instrumento-flujo	Rodamiento

	Bomba pre lubricación	Instrumento-frecuencia	Rodamiento empuje.
	Cableado-conexiones	Instrumento-voltaje	Rodamiento radial
	Calentador-heater	Inyector	Sello
CAUSA RAIZ HUMANA	CAPACIDADES FISICAS	ESTRES MENTAL	COMPORTAMIENTO
	Deficiencia en los sentido	Preocupación con problemas	Se premia un desempeño inapropiado
	Discapacidades temporales	Frustración	Ejemplo inapropiado por supervisor
	Incapacidad de mantener posición	Direcciones confusas o en conflicto	Critica el desempeño
	Restricción en el rango del movimiento corporal	Sobrecarga emocional	Presión inadecuada
	Sensibilidad o alergia a sustancias	Exigencias que exige concentración	Retroalimentación inadecuada
	Tamaño o fuerza inadecuados	Aburrimiento extremo	Prisa implicada por el supervisor
	Desempeño substandard	Toma de atajos	Falta de experiencia
CAUSA RAIZ LATENTE	ENTRENAMIENTO Y CONOCIMIENTO	INGENIERIA Y DISEÑO	PLANEACION DEL TRABAJO
	Transferencia inadecuada de conocimiento	Diseño técnico inadecuado	Planeación del trabajo inadecuado
	No se dio entrenamiento	Estándares Inadecuados	Mantto preventivo inadecuado
	Programa de entrenamiento inadecuado	Diseño ergonómico inadecuado	Reparación inadecuada
	No existe información del equipo	Monitoreo inadecuado de la construcción	Un desgaste excesivo
HERRAMIENTAS Y EQUIPO	CAUSA RAIZ DE LA	Liderazgo y responsabilidad	

Evaluación inadecuada	<i>FALLA</i>	Diseño y construcción
		Evaluación y manejo de riesgo
		Personal, entrenamiento
		Trabajo con contratistas
Consideraciones ergonómicas		
Herramienta inapropiada		
Disponibilidad inadecuada		


Fuente: Presentación RCA William Murillo

5.3.9 Paso 11: evaluación de recomendaciones. Las recomendaciones definidas deben ser efectivas, es decir, que conduzcan a la eliminación de la recurrencia de la falla o la reducción de las consecuencias del evento de falla y que estas sean técnica y económicamente viables.

El equipo de trabajo de análisis de RCA liderado por los especialistas de manufactura y mantenimiento de Coca Cola FEMSA determina la prioridad de las recomendaciones definidas durante un Análisis de Causa Raíz, teniendo en cuenta la severidad de la falla y el costo de implementación de la recomendación.

En el cuadro anexo de la Tabla 8 se muestran las palabras más usadas para generar las recomendaciones y los planes de acción los cuales pueden servir como guía para la implementación.

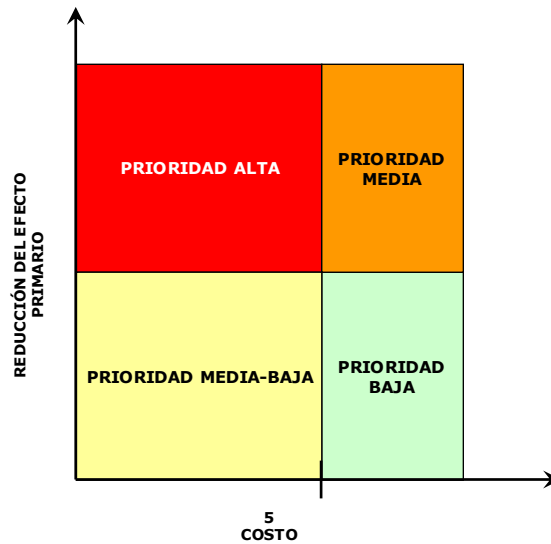
Tabla 9: Tabla de ayuda recomendaciones

RECOMENDACIONES	ACCIONES
Asegurar	Ajustar
Coordinar	Analisis de falla
Consultar	Chequear
Definir	Inspeccionar
Divulgar	Mtto Predictivo
Elaborar	Mtto Preventivo
Evaluar	Modificar
Habilitar	Probar
Incluir	Reemplazar
Instalar	Reparacion mayor
Investigar	Mejorar
Medir	Reparar
Programar	Servicio Externo
Realizar	
Solicitar	
Revisar	
Entrenar	
Verificar	

Fuente: Presentación RCA William Murillo

Las recomendaciones se deben priorizar teniendo en cuenta el costo de la implementación y reducción del efecto primario, Ej: Si la recomendación es de bajo costo pero tiene un alto impacto en la eliminación de la falla, esta recomendación tiene una prioridad alta.

Imagen 61. Priorización recomendaciones RCA



Estas recomendaciones se deben ingresar en la Tabla 9 para realizar el surgimiento teniendo en cuenta la descripción clara, Causas cubiertas del árbol de falla, responsable, fecha de cierre de la implementación, costo de implementación y prioridad de la recomendación.

Tabla 10: Formato de evaluación de recomendaciones

RECOMENDACIÓN		CAUSAS CUBIERTAS	RESPONSABLE				IMPLEMENTACIÓN		
#	DESCRIPCIÓN		NOMBRE	CARGO	TELÉFONO	EMAIL	FECHA OBJETIVO (dd-mm-yy)	COSTO (US\$)	PRIORIDAD

5.3.10 Paso 12: aprobación de recomendaciones. Una vez determinadas las recomendaciones serán enviadas al Jefe de Mantenimiento para su revisión y validación. El cual tendrá la potestad de revisar y aprobar las recomendaciones del análisis de causa raíz de falla, si se identifica que las recomendaciones no son efectivas se retornara con los comentarios de no aprobación al equipo al especialista de manufactura o mantenimiento para que realicen las correcciones y validaciones necesarias para su aprobación.

5.3.11 Paso 13: seguimiento a planes de acción PAC'S. El seguimiento de los resultados es por lo general el aspecto más ignorado en el proceso Análisis de Causa Raíz y es uno de los más importantes. Los sistemas de seguimiento se deben colocar en sitio visible e incluir puntos tales como:

- Lista de recomendaciones que hayan sido aprobadas.
- Lista de personas asignadas a cada punto de acción.
- Mostrar las fechas estimadas de completamiento y su estado actual.
- Publicar los éxitos y mostrar los ahorros netos.

El seguimiento de las recomendaciones definidas en Reportes de Falla o planes de acción derivados de los análisis de causa raíz, se propone realizarlos a través una base de datos en Excel o avisos de mantenimiento en SAP-PM.

El Especialista de mantenimiento liderará el seguimiento a las recomendaciones que se encuentren abiertas en el sistema de gestión sea Excel o SAP, para verificar y garantizar el cumplimiento de dichas recomendaciones.

El Custodio del Proceso RCA debe notificar periódicamente a al Jefe de mantenimiento, Jefe de Manufactura y especialistas, sobre las acciones aprobadas para implementación y estado.

5.3.11.1 Indicadores de gestión Proceso RCA. Los indicadores de gestión permiten hacer la medición del estado del Proceso RCA y monitorear la implementación de las soluciones.

El líder del proceso del RCA realizará periódicamente el cálculo de los indicadores de gestión del proceso e informar su comportamiento a los involucrados.

Los indicadores de gestión del Proceso RCA son:

▪ **Cumplimiento Ejecución de RCA**

Fórmula:	RCA's en proceso / RCA's reportados
Frecuencia:	Mensual
Responsable:	Especialista de mantenimiento RCA
Herramienta:	Base de datos Excel

▪ **Avance Implementación de Soluciones de RCA**

Fórmula:	PAC's pendientes / PAC's programados
Frecuencia:	Mensual
Responsable:	Especialista de mantenimiento
Herramienta:	Base de datos Excel

5.3.12 Paso 14: implementación de recomendaciones. Los responsables de implementar las soluciones propuestas por el Equipo RCA, deben notificar a los involucrados en cada actividad y comprometerlos con el plan. Se acordará la estrategia y plan de acción, de tal forma que se logre cumplir con las fechas de entrega, teniendo en cuenta el alcance, la dedicación y los recursos disponibles.

Los responsables de la ejecución del plan de implementación deben documentar el avance mensual, donde se muestre el porcentaje de ejecución, además de los comentarios y observaciones del proceso.

Una vez terminada una actividad se debe informar el cierre junto con los costos de la implementación y los documentos que lo soportan.

En caso de retraso en las actividades programadas se debe informar dicho retraso con la justificación y la solicitud de aplazamiento con fecha de entrega. Esta última debe ser presentada por el responsable de la ejecución y autorizada por el jefe de mantenimiento.

5.3.13 Paso 15: recomendaciones efectivas. Acción encaminada a eliminar, mitigar o controlar las consecuencias o recurrencia del evento (Efecto Primario), cuya implementación se encuentre bajo el control de la Compañía, que esté alineada con sus objetivos corporativos y que no genere efectos negativos adicionales.

El éxito de un RCA se deriva de la efectividad de las soluciones implementadas.

5.3.13.1 Evaluación de la Efectividad del RCA. La medición de la efectividad de las soluciones implementadas se hará por medio de los indicadores de desempeño del Proceso RCA:

▪ **Ahorros por Ejecución de RCA**

Fórmula: $(1 - [\text{Costos luego de implementar soluciones} / \text{Costos antes de la ejecución del RCA}])$

Frecuencia: Trimestral

Responsable: Custodio del Proceso RCA

Método de Cálculo: Comparación entre los costos del evento antes y después de la implementación de las soluciones del RCA.

5.3.13.2 Reducción de la frecuencia de eventos analizados con RCA.

Formula: $[1 - (\text{Frecuencia de ocurrencia del evento luego de implementar soluciones} / \text{Frecuencia de ocurrencia del evento antes de implementar soluciones})]$

Frecuencia: Trimestral

Responsable: Especialista de mantenimiento

Método de Cálculo: Comparación de la frecuencia de ocurrencia de eventos antes y después de implementar las soluciones efectivas del RCA.

Herramienta: SAP PP – PM

Formato de seguimiento de PAC's para las recomendaciones de los RCA's. El estado de los planes de acción será: Abierta, Cerrada, Cancelada o aplazada. El avance esperado se calcula dependiendo los días ponderados a la fecha de objetivó.

Tabla 11: Formato de seguimiento planes de acción

#	DESCRIPCIÓN	ESTADO	NOMBRE	CARGO	COSTO	FECHA ASIGNACIÓN (dd-mmm-yy)	FECHA OBJETIVO (dd-mmm-yy)	FECHA DE CIERRE (dd-mmm-yy)	AVANCE ESPERADO (19-ago-10)	AVANCE REAL	DÍAS DE ATRASO	COMENTARIOS

Fuente: Modelo de seguimiento acciones Coca-Cola FEMSA

5.3.14 Paso 16: lecciones aprendidas LUP's. A partir de cada RCA se debe generar una Lección Aprendida o LUP “Lección de un punto”, que será objeto de divulgación y consulta para futuros evento.

5.3.15 Paso 17: divulgación de lecciones aprendidas. Luego de cerrar los RCA's y realizar las lecciones aprendidas “LUP's” se pasa a divulgar por medio de reuniones con los todo el personal involucrado de las fallas con el fin de dejar un aprendizaje. Esta LUP's se enviaran vía correo electrónico a toda la planta y otras operaciones con el fin de divulgar el aprendizaje de la falla.

5.3.16 Paso 18: cierre de RCA'S. Una vez verificada y validada la efectividad de las soluciones implementadas se efectuará el cierre del RCA. El plazo de evaluación del desempeño, se definirá en el plan de implementación, según la frecuencia estadística de ocurrencia del evento.

6. CONCLUSIONES

La metodología análisis causa raíz toma mucha importancia por su forma de mostrar resultados en un corto tiempo, eliminación de eventos de fallas repetitivas y esporádicas logrando incrementar la confiabilidad de todos los equipos.

Es de gran ayuda para el ambiente laboral la conformación de grupos de trabajos donde los integrantes de cada área del proceso darán sus opiniones para el análisis de falla, desde sus puntos de vista tomando como base sus conocimientos operativos, técnicos, ingeniería y especialistas para la mejora continua de los procesos, todos los integrantes estarán en un mismo nivel y todas las ideas se tendrán en cuenta para el desarrollo del análisis.

Con el desarrollo de la metodología causa raíz para la eliminación de fallas esporádicas y crónicas se pretende prevenir o eliminar que estas vuelvan a ocurrir, blindando los procesos y procedimientos tanto de operación, calidad y mantenimiento.

Con este documento se pretende que Coca-Cola FEMSA evalúe el desarrollo de la metodología como una solución a las fallas crónicas y esporádicas, tomando esta metodología como herramienta necesaria para la gestión del mantenimiento, y brindando a las personas integrantes del equipo RCA mejores criterios para el análisis de fallas.

Cuando se toman las acciones correctas luego de finalizar un RCA se logra incrementar la confiabilidad y Mantenibilidad de los equipos, mejorando la productividad y rentabilidad de la compañía.

Es necesario capacitar a todo el personal involucrado de fallas de equipos en la metodología RCA, para obtener mejores resultados en la construcción de los análisis e informes de falla. Así empoderando a los miembros del equipo en la entrega de resultados satisfactorios.

De una buena recolección de datos en el análisis RCA dependerá lo exitoso que será el resultado de las acciones que conlleven la finalización del proceso.

Con el desarrollo continuo de los análisis de fallas de los equipos RCA's, se busca aprendizaje de los sistema y mejoras en estos, reflejando un mayor aprovechamiento de los recursos y tiempos en esta actividad.

Con los resultados exitosos de fallas gradualmente las personas, Entenderán los beneficios de la metodología y los resultado en mejoras de eficiencias de las líneas. Aprovechando el tiempo que se usa para corrección de averías en mantenimiento proactivos.

Es importante socializar las LUP (lecciones aprendidas o lecciones de un punto) y tener un sitio dentro de la planta para la documentación de estas, con disponibilidad para todo el personal, donde puedan leerlas y familiarizarse con los modos de falla de la maquinaria para evitar que estas fallas vuelva a ocurrir.

Se observa la necesidad de crear un museo de averías dentro de la compañía exponiendo al personal el histórico de fallas para dar la importancia que conlleva los RCA en prevenir que estos malos actores vuelvan a incurrir en el proceso.

BIBLIOGRAFIA

ALTMANN, Carolina. El Análisis de Causa Raíz como herramienta en la mejora de la Confiabilidad, disponible vía internet
<http://www.maquinasdebarcos.com/Causa%20raiz%20Altmann.pdf>

BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento. Bogotá: Universidad Industrial de Santander 2015. p.15, 71-77, 79-80

DURAN, Jose Bernardo. IEEE Latín América Transactios, VOL.1, NO.1, OCTUBRE 2003.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II, Segunda edición, publicado por Aladon LLC, Edición en Español 2004.


MORA, Alberto. Mantenimiento Planeación, ejecución y control. Cuarta reimpresión: Alfaomega Grupo Editor, México, Junio 2012.

SKF, Reliability Maintenance Institute. Análisis de Vibraciones Nivel 1: ISO 18436, SKF Colombia 2009.

TROFE, Mario. Análisis ISO 14224 /OREDA. Relación con RCM-FMEA, disponible <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0605MarioTroffeISO14224.pdf>, p. 2-8

UNIVERSITAS. Mantenimiento su implementación y gestión. Argentina 2005, p.24

Anexo C: Matriz de criticidad para el RCA

 MATRIZ DE CRITICIDAD EVENTOS DE FALLA										
Matriz de Criticidad Para Análisis de Confiabilidad de Equipos Coca-Cola Femsa										
Clasificación de severidad	Criterio de severidad					Criterio de ocurrencia				
	SEGURIDAD	IMPACTO AMBIENTAL	CALIDAD E INOCUIDAD	TIEMPO PERDIDO PRODUCCION	COSTOS DE REPARACION	Probabilidad de ocurrencia de falla				
						Entre 1 day 1 mes	Entre 1 y 6mes	6 meses y 1 año	Entre 1 y 3 años	>3 años
						5	4	3	2	1
5	Fatalidad	Puede causar la muerte de flora o fauna, tiene un efecto regional y No es reversible	Defecto critico irreparable	> 120 MN	< \$20MMCCP	25	20	15	✘	5
4	Incapacidad parcial o Total	Puede causar daño grave a la flora u fauna, tiene un efecto local y reversibilidad después de 3 años.	Defecto critico detectable	90- 120 MN	\$10MMCCP < R <= \$20MMCCP	20	16	12	8	4
3	Accidente con tiempo perdo	Puede haber daño menor a la flora y fauna, tiene efecto sólo sobre los vecinos inmediatos y reversible entre 1 y 3 años.	Defecto Mayor	60- 90 MN	\$ 3.5MMCCP < R <= \$10MMCCP	15	12	9	6	3
2	Tratamiento Medico	No causa daño a la flora y fauna, tiene efecto sólo al interior de las instalaciones y el daño es reversible en forma inmediata cuando se suspende la actividad	Defecto Menor	30- 60 MN	\$1 MMCCP < R <= \$3.5MMCCP	10	8	6	4	2
1	Primeros Auxilios	Sn consecuencia alguna al medio ambiente	Sn defectos	<30MN	R <= 1 MMCCP	5	4	3	2	1

Valoración de Criticidad		
Estatus	Jerarquía	Definición
Rojo	Alto	La ocurrencia de falla es evidente, tiene consecuencias indeseadas e inmediatas para la planta.
Amarillo	Medio	La falla no se evidencia inmediatamente pero tiene gran probabilidad en convertirse en una falla múltiple crítica.
Verde	Bajo	La falla de estos componentes no afecta severamente a la Planta.

Anexo D: Formato preliminar de falla 24 horas

Coca-Cola		COCA COLA FEMSA							
FEMSA		REPORTE PRELIMINAR 24 HORAS							
1. INFORMACIÓN GENERAL									
Nombre del Evento:	FUGA VALVULA DE LLENADO 102						Consecutivo#	0001	
Responsable del Reporte:	Marco Quintero Tafur			Aviso mantenimiento	87687000		Orden mantenimiento	30018780	
Planta	TOCANIPÁ			Sistema	ENVASADO				
Equipo/SAP	LLENADORA			Componente	VALVULA DE LLENADO 102				
Fecha de Evento	17/02/2016	Hora de Evento	00:00:00	Hórnmetro Equipo	6540	Fecha Reestablecimiento	17/02/2016	Hora	02:00:00
2. CLASIFICACIÓN SEVERIDAD DE EVENTOS (WHITE BOOK MANTENIMIENTO E INGENIERIA)									
<input checked="" type="radio"/> CRITICIDAD BAJA - ELABORAR REPORTE EN SAP-PM (AVISO DE AVERIA Y ORDEN DE MANTENIMIENTO) <input type="radio"/> CRITICIDAD MEDIA - ELABORAR AVISO DE AVERIA + ORDEN DE MANTENIMIENTO+ 5 POR QUE? <input type="radio"/> CRITICIDAD ALTA - ELABORAR AVISO DE AVERIA Y ORDEN DE MANTENIMIENTO + RCA									
3. MODO DE FALLA (Característica física o química como se presenta la falla en el componente)									
PRESENCIA DE FUGA EN VALVULA									
4. BREVE DESCRIPCIÓN DEL EVENTO (Listar la secuencia cronológica desde el inicio identificando de la falla hasta la normalización o acciones en curso actual)									
5. EVIDENCIAS (Listar el tipo y la ubicación de las evidencias obtenidas)									
DATOS Y TENDENCIAS OPERACIONALES: (información impresa o información en pantalla)									
ALARMAS: (información impresa o información en pantalla explicación de la alarma)									
6. CONCLUSIONES: (Observaciones y recomendaciones)									

Anexo E: Formato de análisis 5 por qué?

Coca-Cola FEMSA		COCA COLA FEMSA FORMATO DE 5 POR QUÉS?								
1. INFORMACIÓN GENERAL										
Nombre del Evento:		FUGA VALVULA DE LLENADO 102				Consecutivo#		00001		
Responsable del Reporte:		Marco Quiñero Tafur		Aviso mantenimiento		876870000		Orden mantenimiento		30018760
Planta		TCCANIPÁ			Sistema		ENVASADO			
Equipo/SAP		LLENADORA			Componente		VALVULA DE LLENADO 102			
Fecha de Evento	17/02/2016	Hora de Evento	00:00:00	Hórómetro Equipo	6540	Fecha Reestablecimiento	17/02/2016	Hora	02:00:00	
2. INFORMACION DEL EQUIPO (DATOS DE PLACA)										
3. MODO DE FALLA (Característica física o química como se presenta la falla en el componente)										
4. DESCRIPCION DEL PROBLEMA: ¿QUE? ¿CUÁNDO? ¿COMO? ¿DONDE?										
5. ¿QUÉ ENSAYOS, PROCEDIMIENTOS, MUESTREOS, ETC. SE REALIZARON PARA CONFIRMAR LA FALLA:										
6. POSIBLE CAUSAS QUE GENERARON LA FALLA (UTILICE LA METODOLOGÍA DE LOS CINCO POR QUÉS)										
<div style="border: 1px solid red; padding: 5px; display: inline-block; background-color: red; color: white; margin-bottom: 10px;">FUGA VALVULA DE LLENADO 102</div>										
¿POR QUÉ?			¿POR QUÉ?			¿POR QUÉ?				
¿POR QUÉ?			¿POR QUÉ?			¿POR QUÉ?				
¿POR QUÉ?			¿POR QUÉ?			¿POR QUÉ?				
¿POR QUÉ?			¿POR QUÉ?			¿POR QUÉ?				
¿POR QUÉ?			¿POR QUÉ?			¿POR QUÉ?				
7. RECOMENDACIONES Y PLANES DE ACCION										
#	DESCRIPCION					RESPONSABLE	F. PAC	ESTATUS		
1							01/05/2016	OK		
2							03/05/2016	OK		
3							05/05/2016	OK		
<i>Equipo de Trabajo de investigación:</i> <i>Facilitador: Especialista responsable del evento</i> <i>Equipo de investigación: Tiempo en el cráter en este</i>										

Anexo F: Procedimiento para el análisis 5 por qué?

OBJETIVOS		
<p>* estandarizar el reporte inicial de las fallas de equipos, por parte del personal operativo. * presentar los pasos a seguir para el correcto diligenciamiento del formato propuesto para los modos de falla de equipo estático.</p>		
#	CAMPOS	DESCRIPCIÓN
1	INFORMACION GENERAL	Se describe la información general del evento, es importante registrar el aviso y la orden con la que se corrigió la falla.
2	MODO DE FALLA	*Modo de avería observado (ISO 14224) * Manera en que se produce el fallo; NOTA Un modo de fallo puede ser definido por la función perdida (IEC 60300-3-11)
3	INFORMACION DE DISEÑO DEL EQUIPO	Ingrese los datos de placa del equipo solicitados en el formato, estos son: fluido en proceso, flujo rateado, potencia, fabricante y cabeza.
4	CUANDO PASO LA FALLA Y POR QUÉ?	Consiste en una breve descripción de los acontecimientos causantes de falla.
5	QUÉ ENSAYOS, PROCEDIMIENTOS, MUESTREOS, ENTRE OTROS SE REALIZARON PARA CONFIRMAR LA FALLA.	En este espacio deben enunciarse y detallarse los diferentes procedimientos que se efectuaron con el propósito de verificar el modo de falla.
6	UTILICE LA METODOLOGÍA DE LOS CINCO POR QUÉ?	A continuación se presenta un ejemplo de cómo hacer uso de la metodología de los cinco ¿por qué?. El análisis se inicia identificando el modo de falla y de manera secuencial se hacen las cinco preguntas. El ejercicio debe agregarse de manera idéntica en el formato.
		Ejemplo
		Modo de falla: FTS – Falla al iniciar demanda (Equipo rotativo)
		1. ¿Por qué la bomba no enciende o arranca?
		a. Bomba pegada
		b. Daño motor
		2. Después de verificar el primer por qué, se revisó y se encontró la bomba pegada. ¿Por qué se pegó la bomba?
		a. Daños internos
		b. Arrastre de materiales sólidos
		3. Se comprobó que el filtro estaba limpio, lo que indica un daño de internos. ¿Por qué ocurrió el daño de internos?
a. La bomba trabajo en seco o con poco fluido de trabajo.		
b. La bomba no tiene suficiente holgura de internos.		
4. El operador, por ejemplo, sabe que tuvo problemas en el proceso. ¿Por qué la bomba trabajó en seco o con poco fluido?		
a. Porque la presión de succión estuvo muy baja y la bomba cavitó.		
5. ¿Por qué la presión de la bomba estuvo muy baja?		
a. Porque hay problemas en la torre y posiblemente se cayeron los platos internos de la misma.		
7	ACCIONES A TOMAR Y RECOMENDACIONES	Expresé las acciones a tomar para recuperar la condición del equipo y asegurar que el evento de falla no se presente nuevamente.
8	GRUPO DE TRABAJO Y JEFE DE PLANTA	Ingrese los nombres del equipo de trabajo responsable de este análisis y del Jefe de planta encargado.

Anexo G: Formato de lección aprendida del análisis RCA

Lección aprendida # 001

FALLA: Piñón de arranque
FECHA: 24.05.2016
LUGAR: Sistema de generación.

DESCRIPCION DEL EVENTO

Durante la operación normal, el motor se para por ausencia de tensión en el PLC y falla en el modulo CGCM

Se realizaron varios arranques al motor con falla Spin Down (Bajo Giro).

Durante la revisión se encuentra que el piñón de arranque se encuentra en falla.

CAUSAS DEL EVENTO

Causas Físicas

1. Falla del piñón por carga súbita por evento de sobrecarga que actuó sobre el mismo.
2. Falla de la solenoide que actúa el arrancador, porque se quedo pegada en uno de los arranques de motor.

Causa Humanas

Alta cantidad de arranques.

Causas Latentes

1. Falla en el mantenimiento de la solenoide que actúa sobre el arranque.
2. Dentro del plan de mantenimiento no esta contemplado la revisión de la solenoide del arrancador
3. Fractura del piñón provocada desde el motor por una mala sincronización entre piñón y pareja de engranaje.

PALABRAS CLAVES

Piñón: Elemento utilizado para

Spin Down: Falla por giro bajo en un motor

Solenoide: componente que actúa a la energización

Engranaje: sistema de piñonería que aumenta o baja la velocidad de giro.

REGISTRO FOTOGRAFICO DEL EVENTO:



Foto 1. Piñón de follado.



Foto 3. Superficies de fractura súbita frágil del piñón.

RECOMENDACIONES PARA EVITAR LA REPETICION

1. Realizar el mantenimiento al solenoide de aire que acciona el arrancador.
2. Colocar filtro de aire al arranque del motor para evitar atascamiento de la solenoide.

Anexo H: Formato de árbol de falla RCA

