

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD
OPERACIONAL EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE GASEOSAS No. 3

LEONARDO JAVIER ALFREDO AGUIAR GUZMÁN
Cód: 65032028

HENDER ARMANDO RODRIGUEZ BORJA
Cód: 65032047

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2014

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD
OPERACIONAL EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE GASEOSAS No. 3

LEONARDO JAVIER ALFREDO AGUIAR GUZMÁN
Cód: 65032028

HENDER ARMANDO RODRIGUEZ BORJA
Cód: 65032047

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO MECANICO

DIRECTOR
Iván Darío Gómez
Ing. Mecánico

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2014

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
INTRODUCCION	10
1. PRESENTACIÓN	11
1.1. RESEÑA HISTÓRICA DE POSTOBÓN	11
2. DEFINICION DEL PROBLEMA	13
2.1. ANTECEDENTES	13
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. TIPO DE INVESTIGACIÓN	17
5. OBJETIVOS	18
4.1. OBJETIVO GENERAL	18
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5. MARCO REFERENCIAL	19
5.1. TEORIA DEL MANTENIMIENTO	19
5.1.1. Objetivos Del Mantenimiento:	20
5.1.2. Tipos De Mantenimiento	20
5.1.2.1. Mantenimiento Correctivo.	21
5.1.2.2. Mantenimiento Preventivo:	21
5.1.2.3. Mantenimiento predictivo:	22
5.1.2.4. Mantenimiento cero horas (overhaul):	24
5.1.2.5. Mantenimiento proactivo	24
5.1.2.6. Mantenimiento productivo total (tpm)	25
5.1.2.7. Mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm):	26
5.2. FALLAS	28
5.3. ETAPAS DE VIDA DE UN EQUIPO	29
5.4. TEORIA DEL RIESGO	30
5.5. DIAGRAMA DE PARETO	32

5.6. ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA	32
6. CONDICIONES INICIALES DEL PROYECTO	35
6.1. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN No 3.....	35
6.2. FUNCIONAMIENTO DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA.....	38
6.3. INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO.....	40
6.4. GESTIÓN DE REPUESTOS	41
6.5. SERVICIOS EXTERNOS	41
6.6. EFICIENCIAS Y RENDIMIENTOS PARA INDICES DE PRODUCTIVIDAD	42
6.6.1. Eficiencia de producción:	42
6.6.2. Eficiencia mecánica:	43
7. INGENIERIA APLICADA	45
7.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS	45
7.2. ESTABLECIMIENTO DE FRONTERAS	46
7.2.1. Inspector de botellas vacías (IN LINE 9.00.002 MARCA HEUFH).....	47
7.2.2. Llenadora de botellas Holstein and Kappert (khs) vf 72/16	48
7.3. CODIFICACIÓN DE MÁQUINAS	49
7.4. ESPECIFICACIONES DE LAS MAQUINAS.....	51
7.5. CODIFICACIÓN DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA	52
7.6. ANÁLISIS DE CAUSAS DE FALLA Y RPN DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS.....	54
7.7. CUANTIFICACIÓN DE EVENTOS POR MODO DE FALLA	55
7.8. ANÁLISIS RPN SEGÚN EFECTOS DE FALLA DEL INSPECTOR.....	57
7.9. ANÁLISIS RPN SEGÚN EFECTOS DE FALLA DE LA LLENADORA	61
7.10.IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE LA LINEA	64
8. MODIFICACIÓN PLAN MATTO ACTUAL LLENADORA DE BOTELLAS	66
9. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN	74
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	76
GLOSARIO	78
BIBLIOGRAFIA	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Objetivos del mantenimiento.....	20
Figura 2.	Clasificación de fallas.....	28
Figura 3.	Etapas de la vida de un equipo: "curva de la bañera".....	30
Figura 4.	Ejemplo Estrategias de Mantenimiento.....	33
Figura 5.	Ejemplo falla evidente.....	33
Figura 6.	Distribución espacial de la línea 3.....	35
Figura 7.	Organigrama del departamento de mantenimiento.....	40
Figura 8.	Eficiencia mecánica línea 3.....	45
Figura 9.	Análisis de datos con diagrama de pareto.....	46
Figura 10.	Establecimiento de fronteras Inspector.....	48
Figura 11.	Establecimiento de fronteras Llenadora.....	49
Figura 12.	Codificación máquinas y fallas.....	49
Figura 13.	Calculo confiabilidad línea de producción.....	54
Figura 14.	Calculo confiabilidad equipos críticos.....	55
Figura 15.	Cuantificación de eventos por modo de falla.....	56
Figura 16.	Llenadora H&K.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Evolución del mantenimiento.....	19
Tabla 2.	Variables De La Teoría Del Riesgo.....	31
Tabla 3.	Categorización De Criticidad.....	32
Tabla 4.	Funciones y responsabilidades del jefe de mantenimiento.....	39
Tabla 5.	Turnos de trabajo GASCOLSUR.....	39
Tabla 6.	Velocidades líneas de producción Gascolsur.....	42
Tabla 7.	Tiempos de producción vs. Maquinaria.....	44
Tabla 8.	Minutos perdidos línea de producción No 3.....	45
Tabla 9.	Clase de orden línea de producción No 3.....	45
Tabla 10.	Codificación Componentes Maquinas.....	50
Tabla 11.	Especificaciones De Maquinaria.....	51
Tabla 12.	Codificación Modos De Fallas.....	53
Tabla 13.	Análisis RPN según efectos de falla del inspector	60
Tabla 14.	Análisis RPN según efectos de falla de la llenadora.....	63
Tabla 15.	Modificación plan mtto actual llenadora de botellas.....	72

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. PIVOT LINEA 3**
- Anexo 2. PLAN MTTO INSPECTOR**
- Anexo 3. PLAN MTTO LLENADORA**
- Anexo 4. TIEMPOS PERDIDOS MTTO PREV Y PRODUCCION**
- Anexo 5. PRESUPUESTO MTTO MAQUINARIA 2012**
- Anexo 6. ORDENES TIEMPOS SUSPENDIDOS 121012**
- Anexo 7. MANUAL DE OPERACIONES INLINE**
- Anexo 8. INNOFILL - DELTA C – TROUBLESHOOTING**

RESUMEN

Dentro del contenido de este documento se desarrolla una propuesta para mejorar el plan de mantenimiento actual de una de las líneas de producción en la empresa Gaseosas Colombianas Sur, identificando los puntos que afectan la productividad, y cómo se puede implementar un mantenimiento de maquinaria centrado en confiabilidad.

Se presenta un marco teórico con el que empieza el desarrollo del proyecto, mostrando los fundamentos teóricos del mantenimiento, además se estudian alternativas y se analiza el tipo de mantenimiento que es factible de implementarse en la empresa.

Se realiza un estudio sobre el funcionamiento de la línea de producción que presenta la disponibilidad operacional más baja identificada como la línea de producción No 3, teniendo en cuenta el estado de todas las áreas que afectan directa e indirectamente la línea, las cuales son: El talento humano, el manejo de repuestos, el presupuesto, los procedimientos y la programación de mantenimiento determinando falencias y fortalezas del plan de mantenimiento utilizado actualmente y así proponer documentos y propuestas para cumplir con las metas internas del departamento de mantenimiento.

Tomando como referencia las bases de datos generadas de la compañía, las cuales manejan los digitadores encargados de reportar los tiempos perdidos en producción y estimando una muestra comprendida en un periodo de tiempo de un año, se procede a darle una estructura adecuada y de manera organizada para poder realizar un estudio de eficiencias y afectaciones de los equipos críticos en producción y sugerir el seguimiento del diagrama de toma de decisiones de los manuales de cada equipo.

Dentro del proyecto se enfoca el estudio de datos a los equipos más críticos, identificados como la llenadora de envase y el inspector de envase vacío in-line, que presentan el mayor número de eventos de falla y tiempos perdidos de producción, representando entre el 60% y 70% de tiempos de parada de la línea.

La eficiencia mecánica es la diferencia entre el porcentaje de tiempo total producido menos el porcentaje de tiempos perdidos por fallas atribuibles a maquinaria, encontrando que el promedio de eficiencia mecánica de la línea No 3 en el periodo estudiado entre noviembre de 2011 a julio de 2012 es de 82.40%, mostrando un 6.6% de diferencia con respecto al valor propuesto de 88% y siendo reflejado con un resultado favorable en productividad, manejo de programación de mantenimiento, rendimientos de materias primas y rendimientos de energía.

Se identifican fallas que tienen que ver desde el mal registro de datos hasta equipos que presentan un tiempo de vida avanzado, como lo es la llenadora que de acuerdo al diagrama de Pareto (figura 7), representa el 27.88% de las fallas de la línea 3 o equipos de última tecnología como el inspector de envase vacío que muestra una falla de 29.76% por malas operaciones y ajustes.

Se muestra una idea general sobre el estado actual del mantenimiento de las máquinas y/o equipos de la línea 3 y se realiza una evaluación del mismo, para evaluar y proponer su implementación de la herramienta de mantenimiento propuesta.

INTRODUCCION

El mantenimiento de maquinaria industrial ha adquirido un valor muy importante debido a que la competencia se está desarrollando aceleradamente en tecnología. Son muchos los esfuerzos que hay que realizar hacia la consecución de los objetivos de aumento de la disponibilidad de los equipos y reducción de la tasa de fallos, objetivos que se deben conseguir teniendo en cuenta el costo – beneficio del mantenimiento.

La Manutención tiene uno de los mayores costos operativos que deben ser controlados en la industria, pero se debe ser consecuente a la hora de evaluar el impacto comercial, volumen de producción, calidad de producción, costos operacionales, seguridad y riesgo medioambiental.

Adicionalmente a la pérdida de productividad debida a un mantenimiento no planificado, la mentalidad de reparar rápidamente promueve un mantenimiento temporal, que comúnmente desmejora la situación. Las reparaciones temporales requieren trabajo adicional para su corrección definitiva, o en el peor de los casos, fallan antes de ser corregidas. En esas organizaciones, la disponibilidad de planta cae y se estabiliza al más bajo nivel.

Para los jefes de mantenimiento de las empresas que se encuentran en un mantenimiento apaga incendios pueden existir alternativas como aumentar el personal para realizar las labores de mantenimiento más rápido, sin embargo esta solución no es la más óptima en la actualidad, debido a que los costos se incrementan si observamos que la cultura del mantenimiento actual está centrada en la reducción de costos.

1. PRESENTACIÓN

Postobón S.A. Es una de las compañías de bebidas más grandes y más antiguas de Colombia. Esta empresa cuenta con un amplio portafolio de productos que incluye bebidas sin alcohol, zumos de frutas, agua mineral, té y bebidas energéticas.

Gaseosas Colombianas Sur (GASCOLSUR), es una planta en la ciudad de Bogotá, que pertenece a la organización Postobón, que a su vez pertenece es propiedad de la organización Ardila Lülle, especializada en la fabricación y comercialización de bebidas. Su indiscutible liderazgo se remonta a la formulación y el posicionamiento de marcas propias, que cuentan con una tradición de consumo que llega a los 105 años, ubicada en la TR 72 A # 45 - 52 sur Kennedy Cundinamarca.

1.1. RESEÑA HISTÓRICA DE POSTOBÓN

“Por la década de 1900, las bebidas dulces que se consumían en Colombia eran importadas de Inglaterra. Nadie en esa época pensaba en desarrollar una industria de este estilo, sobre todo cuando la Guerra de los Mil días había enflaquecido el poder de consumo nacional. Sin embargo, Valerio Tobón Olarte, un joven boticario con un gran instinto financiero y un desarrollado espíritu comercial, estudió la preparación de los refrescos dulces, tratando de emular la bebida gaseosa inglesa “Jewsbury & Brawn”, que era una bebida importada que se comercializaba en todo el país.

Tomando esta iniciativa don Valerio Tobón tuvo en Gabriel Posada Villa, un socio potencial de la botica de donde él trabajaba que a lo largo de su proceso laboral se fue convirtiendo en su mejor aliado empresarial. Gabriel Posada encontró abandonadas unas máquinas para hacer cidra, de un pequeño negocio que había fracasado. Insumos y equipos que le fueron ofertados en \$1.000, maquinaria que compro para iniciar con los primeros pasos para elaborar refrescos. Entretanto, Valerio Tobón por su parte avanzaba en su desarrollo y obtuvo una fórmula, que denominó “Kola Champaña”. Cuando Posada observó los avances que traía consigo los refrescos dulces de Tobón, deciden unir sus fuerzas para conformar una sociedad que llamaron “Posada & Tobón” el 11 de octubre de 1904. La historia de ésta micro empresa inicia entre las calles Colombia y Sucre en el centro de Medellín con insumos importados, excepto el agua que se traían de fuentes naturales, desde allí empezaron a circular sus refrescos a lo largo y a lo ancho de la ciudad de Medellín. Aunque fueran modestos sus comienzos, en la nueva empresa ya se aseguraba el éxito que hoy ostenta sólo tuvo que pasar un mes, para que ésta fuera reconocida con el diploma de honor y la medalla de primera clase del primer certamen industrial que se realizó en la Ciudad de Medellín.

En 1955 cuando se crea la marca refrescos Postobón llega el señor Carlos Ardila Lülle a ocupar el cargo de presidente de la compañía, empezó su desempeño creando una competencia agresiva y logro en 1968 unir gaseosas lux con la compañía. Postobón fue para Ardila Lülle la empresa sobre la que él fundaría su conglomerado empresarial. Pero a

finales de los 90 llegaron las dificultades. Postobón, empresa bandera de la Organización Ardila Lülle, se concentró en apoyar el proyecto de Cervecería Leona. Además, el conglomerado adelantó el montaje del canal privado de televisión RCN, lo que generó un alto endeudamiento. A esto se sumaron la caída en las ventas de Postobón y en los precios internacionales del azúcar, la prolongada crisis de Coltejer y la recesión en la economía. Estas circunstancias no solo mermaron recursos en la lucha de Postobón con Coca-Cola, sino que la compañía terminó en una situación económica difícil. En el año 2000, su deuda era de 700.000 millones de pesos, mientras que los ingresos apenas superaban los 600.000 millones de pesos. En esa época, se empezó a mencionar con insistencia la posibilidad de una compra o de una alianza con una firma empresarial estratégica, como es el caso de "Pepsi", pero ésta no fue lo suficiente satisfactoria para las dos partes, por eso no se realizó. La Organización Ardila Lülle tuvo que tomar medidas drásticas para buscar un sostenimiento económico adecuado, lo que le obligo a reestructurar la deuda a 7 años, vendió Leona a la empresa Bavaria y empezó a ejecutar un estricto plan de optimización de costos, y un agresivo plan comercial y de mercadeo, que le dieron un nuevo aire.⁽¹⁾

PRODUCTOS: Bebidas Carbonatadas; manzana, uva, naranja, limonada, kola roja, Breña, Fres-kola, Hipinto, Popular también Mr Tea, adicionalmente Jugos Hit, Jugos Tutti Frutti, Sunfruit, Agua Cristal, Agua Oasis H2O, Bebidas energizantes Peak, Bebidas Hidratantes Squash. y 7up, Lipton, Ice Tea., Gatorade; De la compañía norteamericana Pepsi."

MISION: Ser la compañía líder en desarrollo, producción y mercadeo de bebidas refrescantes no alcohólicas para satisfacer los gustos y necesidades de los consumidores.

VISIÓN: Ser una compañía competitiva, reconocida por su dinamismo, en desarrollo y ofrecer bebidas que superen las expectativas de los consumidores y clientes.

(1) http://www.historiadeantioquia.info/industrializacion-en-antioquia/resena_historica-de-Postobón.html

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1. ANTECEDENTES

Gaseosas Colombianas del sur como empresa organizada tiene sus propios parámetros de trabajo y de manejo de eficiencias en las líneas de producción con el fin de mantener la inversión realizada, aumentar las ganancias y llenar las expectativas de los clientes de gaseosas Postobón.

Siendo la empresa una multinacional que ha llegado a diferentes partes del mundo y sabiendo que Gaseosas Colombianas Sur tiene que cumplir un estándar de calidad y de producción, la empresa ha tenido en cuenta, que para esto deben operar las líneas de producción de manera que sobrepasen o que se mantengan estables los parámetros de eficiencia productiva y eficiencia mecánica.

En Colombia según un informe de Londoño B. De la Universidad de Antioquia realizado en 2009 llamado "Las estrategias competitivas de Coca-Cola y Postobón" da a conocer el movimiento de la industria en el mercado mundial, que se mantiene con un crecimiento por año de 3.8% y 6.1% en los últimos 5 años; dentro de las organizaciones con mayor competitividad a nivel mundial encontramos a: The Coca-Cola 27% y PepsiCo 15%, con relación a las bebidas suaves. En Colombia el crecimiento anual en los últimos años oscila entre 0.7% y 6.3%, y ha sido dominado por dos grandes empresas Coca-Cola y Postobón.⁽²⁾

Teniendo en cuenta que Postobón es una industria productora de alimentos, podemos hacer comparaciones con otras industrias alimenticias donde han implementado el AMEF como herramienta para mejorar sus procesos:

El estudio realizado por ingeniero Murillo M. Llamado "Implementación Del Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (Rcm) En Planta De Alimentos" muestra que la línea 6 de producción presenta mayor Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF), por lo cual se utiliza la técnica de análisis rápido RCM, beneficiando los programas de mantenimiento en un margen del 40%, por medio de esta información se hace necesario la realización de un AMEF, para valorar los niveles de criticidad de la línea.⁽³⁾

Según el texto realizado por Alvarado. A llamado Informe Final Acción Correctiva: "Mejoramiento de la eficiencia productiva en la línea 3 GASCOL SUR" expone que la inversión realizada a la línea 3 en Gaseosas Colombianas S.A. Sur en el tiempo establecido de julio de 2009 a agosto de 2009 para mejoría de la efectividad productiva no ha mostrado resultados en la recuperación esperada, para esto la gerencia administrativa, solicita al comité técnico iniciar acciones correctivas; lo que con lleva a la división del personal en 4 zonas dando mayor cubrimiento a esta línea.

(2) LONDOÑO Giraldo Beatriz y LÓPEZ Zapata Esteban. Las estrategias competitivas de Coca-Cola y Postobón. Universidad de Antioquia. Marzo 2009

(3) MURILLO William. Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm) en planta de alimentos. 13 de Julio de 2010.

El desarrollo de las acciones correctivas implementadas se realizó en el periodo de 15 de enero 2010 al 30 abril de 2010, observando que para marzo de 2010, se alcanza un valor superior al establecido como mínimo para el indicador, con el inconveniente de presencia de picos de altibajos que no permiten la estabilidad de la línea.⁽⁴⁾

2.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Gaseosas Colombianas Sur, es una empresa que maneja sus propias marcas por esto siempre está comprometida con el mejoramiento continuo, actividad que se ve afectada por la disponibilidad operacional de las 6 líneas de producción, De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio previo que se les hizo a las líneas de producción se determinó que la línea más afectada es la No 3 siendo la que presenta la menor eficiencia.

Esta planta mide el indicador de eficiencia, por medio del cual se desprenden dos tipos de eficiencia que son la eficiencia productiva y la eficiencia mecánica. La eficiencia mecánica consiste en el análisis de los tiempos perdidos otorgados a falla de maquinaria.

Haciéndole seguimiento a las eficiencias mecánicas de las líneas de producción y de acuerdo a los datos tomados se demuestra que la eficiencia de la línea de producción No 3 tiene una desviación estándar que se encuentra entre el 78% y 84% oscilando constantemente y en ocasiones con picos bajos, demostrando así la mayor irregularidad entre las líneas de producción.

2.3.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La eficiencia productiva y mecánica de la planta Gaseosas Colombianas Sur, son evaluadas frecuentemente y comparadas con las demás plantas a nivel nacional; esta información muestra constantemente que tan bien se realiza el trabajo en cada planta.

Teniendo en cuenta que la eficiencia mecánica y la eficiencia productiva son independientes, se abordará el tema de mantenimiento de maquinaria haciendo referencia al control de eficiencia mecánica.

Dentro de la planta se encuentra que los equipos que más afectan la eficiencia mecánica de la línea de producción de gaseosas No 3 son: el inspector de envase; que es el que verifica que el envase sea adecuado para embotellarse y la llenadora de botellas; representando más del 50% del tiempo perdido en producción generados por fallas mecánicas.

Aprovechando esta información se desarrolla un estudio que identifica los puntos críticos de los equipos con el mayor número de eventos de falla en producción.

(4) ALVARADO Andrés. Informe final acción correctiva: Mejoramiento de la eficiencia productiva en la línea 3 Gaseosas Colombianas Sur. Septiembre (2011).

La eficiencia mecánica en general de la línea de producción No 3, se ve afectada no solo por las frecuentes paradas de estos dos equipos, si no también, por otras variables como lo son: registro de datos, donde la característica más común es el no describir con exactitud el subsistema, el sistema y el equipo que realmente está generando la falla.

Otra situación es la cantidad de correctivos que se le vienen realizando a máquinas como la llenadora e inspector de botellas, que tienen que ver más con ajustes de trabajos programados para los fines de semana que no se realizan con éxito debido al corto tiempo que implica un mantenimiento correctivo programado el cual requiere más de 8 horas de mantenimiento generando así tiempos perdidos en horarios de producción de la siguiente semana.

Se ve la necesidad de realizar un análisis de los modos y efectos de fallas que afectan directamente la eficiencia mecánica determinando las soluciones efectivas para disminuir la variación de la eficiencia.

3. JUSTIFICACIÓN

Las eficiencias mecánica y productiva son importantes en cualquier empresa; de esto depende la calidad y reconocimientos de sus productos.

Gaseosas Postobón de Colombia es una empresa reconocida no solo a nivel nacional sino mundial. Su prestigio, calidad y entrega ha llevado sus productos a tener una cobertura ejemplar que demuestra su estabilidad en el mercado tanto nacional como internacional, es por esto que el mejorar cada detalle en la producción es favorable para su crecimiento.

El procedimiento que desarrolla el mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), permite controlar variables que están directamente relacionadas con el beneficio económico de la planta; variables como: stock mínimo de repuestos, el uso adecuado de los lubricantes para cada aplicación requerida y bajo consumo de energía.

4. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación a realizar es de tipo cuantitativa - descriptiva; se demuestra que el proyecto se dirigirá a mejorar la disponibilidad operacional de la línea de producción No 3 de la planta GASCOLSUR de Bogotá, como ya se ha demostrado en los antecedentes, a esta línea se le ha realizado un seguimiento especial el cual muestra que es necesario replantear la manera de abordarlo, utilizando como fuente de información los datos registrados en el sistema de gestión del mantenimiento SAP y analizando de forma ordenada los números de eventos de falla y los tiempos perdidos que pertenecen a los dos equipos críticos objeto de este trabajo.

5. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- Identificar los puntos críticos que afectan la productividad de la línea No 3, aumentando la disponibilidad operacional promedio en 3 puntos porcentuales de eficiencia mecánica.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar los documentos necesarios (AMEF) de acuerdo a los alcances.
- Realizar análisis de causas de falla y RPN de los equipos críticos de la línea.
- Proponer una programación de mantenimiento según alcances e impacto.
- Proponer plan de implementación y etapas para el proyecto propuesto.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. TEORIA DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento durante varios períodos ha tenido una evolución favorable para la industria, se ve como no solo se enfoca en la máquinas y equipos sino que también empieza a involucrar la parte humana y hasta tiene en cuenta la parte social, dentro de su evolución es un pilar importante para los procesos de producción y su óptimo desempeño, ayuda a que los procesos sean correctos y sacarles provecho anticipándose a las fallas.

En la evolución del mantenimiento se identifican cuatro generaciones importantes, que son: desde el 1914 a 1945, 1945 a 1980, 1980 a 1990 y de 1990 en adelante.

En la primera generación los departamentos de mantenimientos se dedicaban a reparar fallas y esperar que las maquinas fallaran para intervenirlas, así como también empieza a conocerse el concepto de fiabilidad y empiezan a actuar para prevenir fallas. En la segunda generación se implementan las estrategias de mantenimiento preventivo influyendo en la capacitación del personal para estudiar las tareas de mantenimiento que hay que realizar para evitar fallas. Dentro de la tercera generación se introduce al campo del mantenimiento predictivo y la innovación de la programación de mantenimiento asistido por ordenadores y la creación de software monitoreados por indicadores de gestión y basando sus objetivos en los del departamento de mantenimiento. En la generación actual se implementan sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y en sí de la organización y ejecución del mantenimiento. Además se establecen grupos de mejora y seguimiento en las acciones.

			CUARTA GENERACIÓN
		TERCERA	Proceso De Mantenimiento
	SEGUNDA	Mantenimiento Preventivo Condicional	Calidad Total
PRIMERA	Relación Entre Probabilidad De Fallo y Edad	Análisis Causa Efecto	Compromiso De Todos Los Departamentos
Reparar avería	Mantenimiento Preventivo Programado	Participación De Producción	Mantenimiento Basado en el Riesgo
Mantenimiento Correctivo	Sistemas De Planificación		
HASTA 1945	1945-1980	1980-1990	1990+

Tabla1. Evolución del mantenimiento

FUENTE: DÍAZ J, Técnicas de Mantenimiento Industrial, 2004, España

Con la teoría del mantenimiento nos ubicamos en la evolución que ha tenido el mantenimiento durante las diferentes épocas, nos ayuda a no devolvemos a reparar averías sin pensar en cómo las prevenimos.

5.1.1. Objetivos Del Mantenimiento:

- Aumentar la disponibilidad de los equipos hasta el nivel preciso.
- Reducir los costes al mínimo compatible con el nivel de disponibilidad necesario.
- Mejorar la fiabilidad de máquinas e instalaciones.
- Asistencia al departamento de ingeniería en los nuevos proyectos para facilitar la mantenibilidad de las nuevas instalaciones.⁽⁵⁾

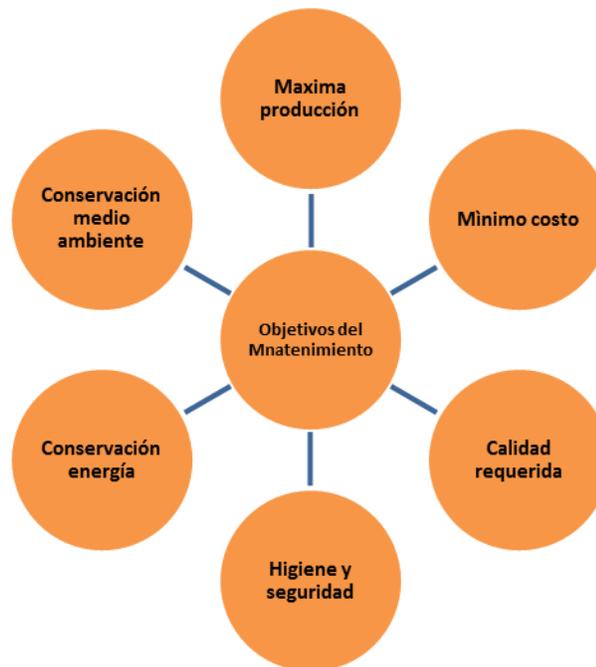


Figura 1. Objetivos del mantenimiento
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodriguez

La gestión de mantenimiento debe tener en cuenta que hace parte de la realización de cada uno de estos objetivos, donde se debe trabajar de forma proactiva con cada una de los demás departamentos que hacen parte de una compañía productora.

5.1.2. Tipos De Mantenimiento

Cualquier empresa productiva que maneje maquinaria y equipos, para desempeñarse óptimamente debe tener un tipo de mantenimiento definido de acuerdo a la actividad productiva que realice. En algunos casos cuando las empresas son muy grandes pueden trabajar más de un tipo de mantenimiento, esto depende de la necesidad de la mantenibilidad de los equipos y los recursos de la empresa. A continuación relacionamos los diferentes tipos:

(5) REFINERÍA GIBRALTAR, Técnicas de Mantenimiento Industrial, España Rev Agosto 2004.

5.1.2.1. Mantenimiento Correctivo.

Ventajas:

- No se requiere una gran infraestructura técnica ni elevada capacidad de análisis.
- Máximo aprovechamiento de la vida útil de los equipos.

Inconvenientes:

- Las averías se presentan de forma imprevista lo que origina trastornos a la producción.
- Riesgo de fallos de elementos difíciles de adquirir, lo que implica la necesidad de un "stock" de repuestos importante.
- Baja calidad del mantenimiento como consecuencia del poco tiempo disponible para reparar.

Aplicaciones:

- Cuando el coste total de las paradas ocasionadas sea menor que el coste total de las acciones preventivas.
- Esto sólo se da en sistemas secundarios cuya avería no afectan de forma importante a la producción.
- Estadísticamente resulta ser el aplicado en mayor proporción en la mayoría de las industrias.⁽⁶⁾

5.1.2.2. Mantenimiento Preventivo:

El mantenimiento preventivo se diseñó con la idea de prever y anticiparse a los fallos de las máquinas y equipos, utilizando para ello una serie de datos sobre los distintos sistemas y sub-sistemas e inclusive partes.

En este tipo de mantenimiento, se ejecutan inspecciones periódicas, cíclicas y programadas, por lo cual se diseña un programa con frecuencias calendario o uso del equipo, para realizar cambios de sub-ensambles, cambio de partes, reparaciones, ajustes, cambios de aceite y lubricantes, a fin de permitir un mayor tiempo de operación en forma continua.⁽⁷⁾

Características:

- Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovecha las horas ociosas de la planta.
- Se lleva a cabo siguiendo un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios "a la mano".

Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.

(6) REFINERIA GIBALTAR, Técnicas de Mantenimiento Industrial, España Rev Agosto 2004. Pág. 9.

(7) <http://www.mantenimientoplanificado.com/MANTENIMIENTO PREVENTIVO parte 1.pdf>

Está destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.

Ventajas:

- Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.
- Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.
- Reduce las fallas y tiempos muertos (incrementa la disponibilidad de equipos e instalaciones).
- Incrementa la vida de los equipos e instalaciones.
- Mejora la utilización de los recursos.
- Reduce los niveles del inventario.
- Se actúa sobre el origen de la falla.

Desventajas:

- Se requiere de experiencia y capacidad técnica del personal de mantenimiento como de las recomendaciones del fabricante para hacer el programa de mantenimiento a los equipos.
- No permite determinar con exactitud el desgaste o disminución de las piezas de los equipos.
- La infraestructura representa una inversión inicial considerable.
- La mano de obra utilizada en este tipo de mantenimiento debe ser calificada, por ende, aumenta su costo.
- Se sacrifica la vida útil de algunos componentes para evitar múltiples paradas.
- Se sustituyen componentes sobre la base del tiempo de duración promedio las piezas desperdiando un tiempo de vida útil que puede resultar elevado.⁽⁸⁾

5.1.2.3. Mantenimiento predictivo:

Este tipo de mantenimiento se basa en predecir el fallo antes de que este se produzca. Se trata de conseguir adelantarse al fallo o al momento en que el equipo deja de trabajar en sus condiciones óptimas. Para conseguir esto se diagnostica basándose en el análisis de parámetros (vibración, radiación infrarroja, tensiones y corrientes de alimentación), que emiten las máquinas sin que estas dejen de producir.

En general, el mantenimiento predictivo, determina el período de tiempo en el que el fallo va a tomar una relevante importancia, para poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente, para que el fallo nunca tenga consecuencias graves.

El mantenimiento predictivo consiste en:

- **Análisis:** Determinar el número de equipos objetivos, estudiar sus características fundamentales y sus modos potenciales de fallo.
- **Normalización:** Traducir los modos de fallo a parámetros predictivos de supervisión y asignarles los límites de aceptación o alarmas correspondientes.

(8) <http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDeMantenimiento>

- Sistematización: Establecer las pautas de comportamiento de la organización en la eventualidad de que un parámetro supere su valor de alarma: confirmación del diagnóstico, evaluación, acción.⁽⁹⁾

Ventajas:

- Reduce el tiempo de parada al conocerse exactamente que órgano es el que falla
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- Requiere una plantilla de mantenimiento más reducida.
- La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico y operacional muy útil en estos casos.
- Permite conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.
- Permite tomar decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.
- Garantiza la confección de formas internas de funcionamientos o compras de nuevos equipos.⁽¹⁰⁾

Desventajas:

- La implantación de un sistema de este tipo requiere una inversión inicial importante, los equipos de detección de fallas, analizadores de vibraciones y otros tienen un costo elevado.
- Se debe destinar un personal calificado para realizar la lectura periódica de datos en los equipos a utilizar en éste tipo de mantenimiento.
- Se justifica en máquina o instalaciones donde los paros intempestivos ocasionan grandes pérdidas, donde las paradas innecesarias ocasionen grandes costos.

Técnicas aplicadas en el mantenimiento predictivo:

- ✓ Análisis de vibraciones: el interés de las Vibraciones Mecánicas llega al Mantenimiento Industrial de la mano del Mantenimiento Preventivo y Predictivo, con el interés de alerta que significa un elemento vibrante en una Máquina, y la necesaria prevención de las fallas que traen las vibraciones a medio plazo.
- ✓ Análisis de lubricantes: estos se ejecutan dependiendo de la necesidad, según:
 - Análisis Iniciales: se realizan a productos de aquellos equipos que presenten dudas provenientes de los resultados del Estudio de Lubricación y permiten correcciones en la selección del producto motivadas a cambios en condiciones de operación.
 - Análisis Rutinarios: aplican para equipos considerados como críticos o de gran capacidad, en los cuales se define una frecuencia de muestreo, siendo el objetivo principal de los análisis la determinación del estado del aceite, nivel de desgaste y contaminación entre otros.

(9) <http://www.apvibraciones.com/pages/index/26-el-mantenimiento-predictivo?lang=es>

(10) TORRES Leandro, 2005, "Mantenimiento su Implementación y Gestión", Editorial Universitas, Argentina. Pág. 137-138

- **Análisis de Emergencia:** se efectúan para detectar cualquier anomalía en el equipo y/o lubricante, Contaminación con agua, Sólidos (filtros y sellos defectuosos) y/o Uso de un producto inadecuado.⁽¹¹⁾
- ✓ **Análisis por ultrasonido:** Este método estudia las ondas de sonido de baja frecuencia producidas por los equipos que no son perceptibles por el oído humano; permite la Detección de fricción en máquinas rotativas, Detección de fallas y/o fugas en válvulas, Detección de fugas de fluidos, Pérdidas de vacío, Detección de "arco eléctrico" y Verificación de la integridad de juntas de recintos estancos.⁽¹²⁾
- ✓ **Análisis por Termografía:** la Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.⁽¹³⁾
- ✓ **Radiografía industrial:** esta técnica permite la evaluación volumétrica de los componentes, es una imagen impresa en una película magnética que previamente ha sido expuesta a una fuente de alta energía.⁽¹⁴⁾

5.1.2.4. Mantenimiento cero horas (overhaul):

Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien definidos antes de que aparezca ningún fallo y además, cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.⁽¹⁵⁾

5.1.2.5. Mantenimiento proactivo

El Mantenimiento Proactivo, es una filosofía de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez localizadas las causas que generan el desgaste, no se debe permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria, ya que de hacerlo, su vida y desempeño, se verán reducidos. Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática de este. Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento. El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el Plan Estratégico de la organización.

(11) <http://www.mantenimientoplanificado.com>

(12) <http://www.jupesa.com.ec/web/ensayos-no-destructivos.php>

(13) <http://www.leonardoenergy.org/espanol/01/webinar-en-espanol>

(14) <http://radiologia.foro.es.net/>

(15) <http://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/Tipos+de+mantenimiento>

Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores.

Ventajas:

- Identifica y corrige las causas que originan las fallas en equipos, componentes e instalaciones industriales.
- Utiliza técnicas especializadas para monitorear la condición de los equipos basándose fundamentalmente en el análisis de aceite para establecer el control de los parámetros de causa de falla.
- Después de un periodo de tiempo los problemas de la máquina se eliminan.
- La vida útil de la máquina se incrementa significativamente.
- Reduce el tiempo de parada de la máquina.

Desventajas:

- Altos costos por desarme e inspecciones innecesarias.
- Implica contar con una planificación de operaciones la cual debe estar incluida en el Plan Estratégico de la organización.⁽¹⁶⁾

5.1.2.6. Mantenimiento productivo total (tpm)

El mantenimiento productivo total (Total Productive Maintenance) es una estrategia originaria de Japón que se desarrolló a partir del concepto de mantenimiento preventivo creado en la industria de los Estados Unidos.

Se define como la actividad cuyo objetivo es mantener la eficiencia de las instalaciones y las máquinas en el tiempo, para mejorar la productividad a través del involucramiento activo de todo el personal.

El JIPM (Japan Institute of Plan Maintenance) define al TPM como un sistema orientado a lograr:

- Cero accidentes, Cero defectos y Cero pérdidas.

Características:

- Acciones de mantenimiento en todas las etapas del ciclo de vida de un equipo.
- Participación amplia de todas las personas de la organización.
- Es observado como una estrategia global de empresa, en lugar de un sistema para mantener equipos.
- Está orientado a la mejora de la efectividad global de las operaciones, en lugar de prestar atención a mantener los equipos funcionando.
- Mantiene una participación significativa del personal involucrado en la operación y producción, en el cuidado y conservación de los equipos y recursos físicos.
- Los procesos de mantenimiento se fundamentan en la utilización profunda del conocimiento que el personal posee sobre los procesos.

(16) <http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDeMantenimiento>

Ventajas:

- Mejora la calidad del ambiente de trabajo.
- Mejora el control de las operaciones.
- Previene y elimina las causas potenciales de accidentes.
- Elimina radicalmente las fuentes de contaminación y polución.
- Crea un ambiente de aprendizaje permanente.
- Ayuda al dimensionamiento adecuado de las plantillas de personal.
- Elimina pérdidas que afectan la productividad de las plantas.
- Mejora la disponibilidad y fiabilidad de los equipos.
- Reduce los costos de mantenimiento.
- Mejora la calidad del producto final.
- Crea capacidades competitivas desde la fábrica.

Desventajas:

- Exige tiempo para capacitación, reuniones periódicas, en resumen, implica un costo extra para la entidad productiva.
- Debe ser evidente el compromiso de la Gerencia, para la implementación de este sistema, caso contrario los promotores terminan desacreditados y hasta fuera de sus empleos.
- Requiere de evaluaciones constantes, para observar el cambio programado.
- Se requiere un cambio de cultura general, para que tenga éxito este cambio, no puede ser introducido por imposición, requiere el convencimiento por parte de todos los componentes de la organización de que es un beneficio para todos.
- El proceso de implementación requiere de varios años.⁽¹⁷⁾

5.1.2.7. Mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm):

El mantenimiento centrado en Confiabilidad, ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas.

El proceso se aplica a todo tipo de activos físicos (equipos, sistemas), y ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo. Desde empresas petroquímicas de primer nivel hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos.

Las opciones de la política del manejo de fallas incluyen:

- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento preventivo
- Búsqueda de fallas
- Cambio del diseño o configuración del sistema
- Cambio de la forma en que es operado el sistema
- Operarlo para que falle

(17) TORRES Leandro, 2005, "Mantenimiento su Implementación y Gestión", Editorial Universitas, Argentina. Pág. 177-179

El proceso de análisis global del RCM se resume de la siguiente manera:

- a) Análisis de fallos funcionales. Define el funcionamiento del componente en un equipo, su fallo funcional, y sus efectos de fallo.
- b) Selección de ítems críticos. Determina y analiza que componentes y sistemas se caracterizan como funcionalmente significativos.
- c) Decisión lógica del RCM. Incluye el análisis de los ítems funcionalmente significativos para determinar la consecuencia del fallo.
- d) Análisis de inspección. La inspección determina qué datos son necesarios para el apoyo del análisis RCM.
- e) Resumen de los requisitos de mantenimiento. Determina la agrupación de los requisitos óptimos del nivel de mantenimiento que se practica.⁽¹⁸⁾

Características:

- Integra una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Mantiene la atención en las actividades de mantenimiento que más incidencia tienen en el desempeño o funcionamiento de las instalaciones. Esto garantiza que cada peso gastado en mantenimiento se gaste donde más beneficio va a generar.

Ventajas:

- Si el mantenimiento centrado en confiabilidad se aplicara a un sistema de mantenimiento preventivo ya existente en las empresas, puede reducir la cantidad de mantenimiento rutinario habitualmente hasta un 40% a 70%.
- Al aplicarlo para desarrollar un nuevo sistema de Mantenimiento Preventivo en la empresa, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.
- Su lenguaje técnico es común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al proceso, permitiendo al personal involucrado en las tareas saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y quien debe hacer qué, para conseguirlo.

Desventajas:

- El mayor problema del uso de métodos estadísticos de RCM es que en la mayoría de plantas industriales la información histórica de falla no es muy confiable y completa, de tal manera que los resultados estadísticos extraídos de esta información pueden ser imprecisos y pueden carecer de confianza estadística.

(18) <http://www.rcm-mantenimiento.appspot.com/>

- Los algoritmos de análisis también dependen de aspectos contables tales como costos de los mantenimientos preventivos, reparaciones y efectos de falla. Todas estas entradas están sujetas a las inconsistencias de los sistemas contables existentes.⁽¹⁹⁾

5.2.FALLAS

En los departamentos de mantenimiento industrial hay que tener bien definido el concepto de una falla, donde se debe entender o definir como toda alteración o interrupción en el cumplimiento de la función requerida; esta definición nos ayudan a revisar cómo se pueden originar y como clasificar las fallas de los equipos de la compañía.

El origen de las fallas se puede presentar desde un mal diseño o error de cálculo, defectos de fabricación y mal uso de las instalaciones, máquinas o equipos, desgaste natural o envejecimiento por el uso, fenómenos naturales y otras causas.

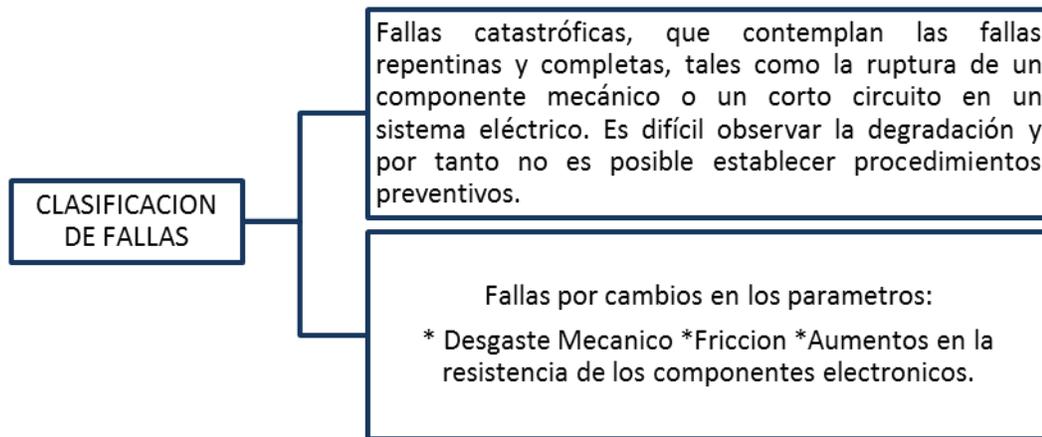


Figura 2. Clasificación de fallas
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

Las fallas se pueden distinguir de acuerdo al contexto en el que se haga la recolección de datos. Las fallas que se presentan dentro del rango nominal de un componente se denominan fallas primarias y las fallas que se presentan en condiciones no nominales afectadas por variables como temperaturas anormales, sobrepresión, sobrecarga, velocidad, vibraciones, corriente, contaminación, corrosión entre otras, se denominan fallas secundarias.

El suceso de causas secundarias no siempre hace que ocurra una falla secundaria. Estas a su vez pueden ser clasificadas en varias categorías:

(19) <http://confiabilidad.net/articulos/el-camino-hacia-el-rcm/>

- Fallas con causa común: la falla secundaria se induce en más de un componente. (Las catástrofes naturales son causas usuales de este tipo: terremotos, inundaciones, huracanes, explosiones, fuego). Mal funcionamiento de otros sistemas o componentes también pueden inducir fallas en varios componentes.
- Fallas propagadas: en este caso la falla de un componente induce la falla de otro y pueden ser consideradas como fallas con causa común.
- Fallas por error humano: fallas causadas por errores humanos en la operación, mantención, inspección, los errores en la etapa de diseño, construcción e instalación del equipo; son considerados como fallas por error humano y no deben ser consideradas como fallas primarias.

En un contexto operacional de una actividad productiva:

- Fallas que afectan a la producción, Fallas que afectan a la calidad del producto, Fallas que comprometen la seguridad de las personas y Fallas que degradan el ambiente.

En función de la capacidad de trabajo de la instalación:

- Averías totales y Fallas parciales.⁽²⁰⁾

De acuerdo como aparece la falla se distinguen las fallas repentinas y que están asociadas a roturas de piezas o componentes de la instalación antes de lo esperado y las fallas progresivas que están asociadas al desgaste paulatino de algún elemento. Este tipo de falla da muchas señales, porque antes de producirse, avisan la proximidad de una avería y con un seguimiento se puede determinar con mucha exactitud el momento en que se produce el desperfecto.

5.3. ETAPAS DE VIDA DE UN EQUIPO

Las etapas de vida de un equipo están estructuradas en tres partes (Ver figura 3), las cuales son la etapa infantil donde se reflejan las fallas primarias, la vida útil donde se generan las fallas aleatorias y la vida de desgaste en donde se representan las fallas de desgaste. Es importante determinar en qué etapa se encuentra un equipo, ya que con cada una de ellas sabemos la edad de la máquina e identificamos el tipo de fallas tiene la máquina y como hay que intervenirla tanto en el mantenimiento preventivo como en las mejoras y automatizaciones que nos ayudan a optimizar los procesos de producción en la industria.

Para hallar la etapa de vida de un equipo se utiliza como herramienta la distribución de fallas de Weibull, esto sirve para mejorar la confiabilidad de las máquinas, en la figura 1 se representa la curva de la bañera, la cual nos representa de manera general las etapas de vida de un equipo.

(20) PASCUAL Rodrigo, 2002, "Gestión Moderna del Mantenimiento", Chile, Pág. 23

- Fallas primarias: Estas fallas pueden deberse a diferentes razones como ajuste de partes en los equipos, equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo, desconocimiento del equipo por parte de los operarios o desconocimiento del procedimiento adecuado.
- Fallas aleatorias: Las fallas no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas. Estas causas pueden ser funcionamiento normal cambio de partes necesarias, accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas u otros.
- Fallas de desgaste: Las fallas se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo.

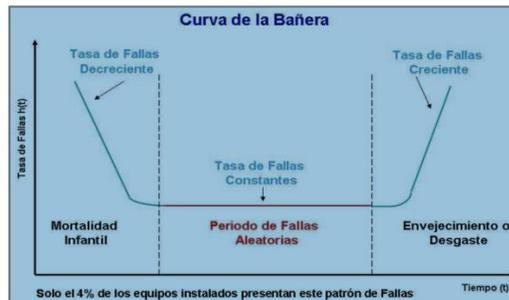


Figura 3. Etapas de la vida de un equipo: "curva de la bañera"

Fuente: Fiabilidad y seguridad de procesos industriales Escrito por Antonio Creus Solé

En la figura 3, se puede observar una gráfica que se encuentra dividida en tres grandes zonas que estudian las fallas durante el ciclo de vida útil de un sistema. La zona de los Fallos infantiles se caracteriza por tener una alta probabilidad de falla que decrece rápidamente y hace referencia a equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo etc. Las fallas aleatorias se producen por causas externas al equipo que pueden ser: accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas u otros. Finalmente los fallos por desgaste del equipo debido al transcurso del tiempo.

Es importante saber en qué etapa de la vida se encuentra los equipos para determinar con mayor proximidad las frecuencias que se deben ejecutar en los mantenimientos programados.

5.4. TEORIA DEL RIESGO

Esta teoría esta creada a partir de la unificación de las variables que indican la importancia de un equipo o subsistema dentro de un sistema productivo o línea productiva. Para trabajar con el RCM las variables para categorizar los equipos son:

- FRECUENCIA (F): número de veces al año que se puede presentar la falla.
- CONSECUENCIA (C): calificación de las posibles fallas de acuerdo a su impacto.
- IMPACTO OPERACIONAL (IO): calificación dada por el impacto que causa el equipo o sistema dentro del sistema productivo cuando este falla.

- FLEXIBILIDAD (FL): facilidad que se tiene para corregir y poner en marcha nuevamente el equipo ocurrido la fallo.
- COSTO OPERACIONAL (CO): forma de establecer económicamente el impacto en cuanto al costo de la falla (Costos directos e indirectos).
- SEGURIDAD AMBIENTE E HIGIENE (SAH): evalúa el impacto ambiental que pueda ocasionar la falla en diferentes aspectos: seguridad industrial, impacto ambiental e higiene del sistema productivo.

Para hallar los valores de número de riesgo (R) tenemos que multiplicar la frecuencia (F) por la consecuencia (C) de la falla, involucrando los parámetros explicados en la lista anterior, se halla utilizando la siguiente fórmula:

$$C = \{(IO*FL)+CO+SAH\}$$

$$R = F * C$$

Frecuencia		Costo de Mtto	
Parámetro mayor a 4 fallas/año	4	Mayor o igual a 80.000\$	2
Promedio 2 - 4 fallas/año	3	Inferior a 80.000 \$	1
Buena 1 - 2 fallas/año	2		
Excelente menores de 1 falla/año	1		
Impacto		Impacto en Seguridad Ambiente Higiene	
Parada inmediata de toda la planta	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	8
Parada del complejo planta y tiene repercusión en otros complejos	6	Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Impacta en niveles de producción o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Repercute en costos operacionales adicionales asociados a disponibilidad	2	Provoca daños menores (Accidentes e incidentes) personal propio	2
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
Flexibilidad Operacional		No provoca ningún tipo de daños a personas instalaciones o al ambiente	0
No existe opción de producción y no existe función de repuesto	4		
Hay opción de repuesto compartido	2		
Función de repuesto disponible	1		

Tabla 2. Variables De La Teoría Del Riesgo

Teniendo en cuenta el riesgo que tiene cada uno de los equipos en el sistema productivo en el momento que sucede una falla funcional, es necesario categorizarlos de acuerdo al resultado de la evaluación.

FRECUENCIA	4	SC	SC	C	C	C
	3	SC	SC	SC	C	C
	2	NC	NC	SC	SC	C
	1	NC	NC	NC	SC	C
		10	20	30	40	50
	CONSECUENCIAS					

Leyenda:
C: Crítico
SC: Semi-crítico
NC: No crítico
 Valor máximo: 200.

Tabla 3. Categorización De Criticidad
 GÓMEZ Iván, Introducción al Mantenimiento Estratégico

Utilizando la tabla anterior se puede identificar los equipos que se encuentran dentro de la categoría de los equipos críticos, semi-críticos y no críticos. El ordenamiento de los equipos según su criticidad, permite desarrollar el plan de acción efectuando las actividades del RCM desde el equipo más crítico al menos crítico, de acuerdo con el presupuesto que se tenga para esta estrategia. Teniendo en cuenta este procedimiento, el paso a seguir es la realización del documento anexo 2 y 3; Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF, que se desarrollara para cada equipo que se halla identificado como crítico inicialmente.⁽²¹⁾

5.5. DIAGRAMA DE PARETO

El diagrama de Pareto, es una herramienta muy práctica que permite identificar los equipos críticos de los menos críticos con gran facilidad, debido a la forma especial de gráfico de barras verticales que separa los problemas muy importantes de los menos importantes, estableciendo un orden de prioridades. Fue creado sobre la base del principio de Pareto, según el cual, el 70% de los problemas son provenientes de apenas el 30% de las causas.

Al desarrollar esta herramienta dentro del proyecto, se ve que es de mucha utilidad debido, a que si se clasifican todos los eventos que se presentan, se pueden atacar los focos vitales y se puede generar gran impacto por su facilidad de entendimiento visual.⁽²²⁾

5.6. ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

Este procedimiento se realiza únicamente a los equipos más críticos, debido al costo y dedicación que se requiere por parte del recurso humano, recursos físicos y tiempo necesario. Para efectuar el AMEF, se inicia por crear una tabla la cual posee cuatro columnas: Función Estándar, Falla Funcional, Modo de Falla y efectos de Falla.

(21) GÓMEZ Iván, Introducción al Mantenimiento Estratégico. Edición 1 Colombia (2006), pág. 120

(22) http://www.infomipyme.com/Docs/GENERAL/Offline/GDE_08.htm

La primera Columna consiste en definir cuál es la función que tiene que cumplir el equipo dentro del sistema productivo. En este caso se plantea el ejemplo de una bomba cuya función es bombear agua con un caudal determinado, es posible encontrar que efectuar la función estándar, se encuentren más de una, pero se hace necesario nombrarlas en su totalidad.

Recordando el criterio fundamental de las estrategias de mantenimiento, la segunda columna nombra todas las posibles falla funcional que pueda tener el equipo, estas fallas pueden ser fallas totales o parciales.

En esta tercera columna se especifica cuál sería la el motivo de la falla, sin especificar causas técnicas, pero sí enumerando las posibilidades que pueden generar la falla funcional. Al tener claro los modos de falla el paso siguiente es identificar todos los efectos de falla que pudieron causar los modos de falla, esto se genera en una cuarta columna.

MCC: HOJA DE REGISTRO DEL AMEF. SISTEMA DE LLENADO DE BOTELLAS PLANTA GASEOSAS COLOMBIANAS SUR S.A.		SUBSISTEMA : MECANICO Y ELECTRICO			
		EQUIPOS PRINCIPALES : VALVULAS LLENADO, FLOTADORES, PIÑON MANIOBRA, MANDO ABRIDOR, MANDO DESAIREADOR, CERRADOR VVA, PISTA SNIF			
Cód.	Estándar de ejecución	Cód.	Falla Funcional	Cód.	Modo de falla
1	Llenar botellas y taponarlas, a una velocidad nominal de 750 BPM (botellas por minuto) manejando una contrapresión con aire que va de 3,5 a 5 bares, controlando el nivel del producto por medio de una válvula de aireación y una válvula de desaireación. Para permitir el llenado de la botella, realiza una compensación de presiones que garantiza el sello de la botella y posteriormente realizar las fases de llenado. La bebida debe llegar a la llenadora con la temperatura adecuada para el producto que se va a envasar, La bebida debe ser envasada entre 1,5 °C bebidas carbonatadas y 3 °C bebidas con baja carbonatación.	A	La velocidad esta por debajo del parametro	1A1	La válvula se abre lentamente o causa mayor formación de espuma. La valvula no llena.

FIGURA 4. Ejemplo Estrategias de Mantenimiento.

Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

Adicionalmente se requiere categorizar si la falla es o no evidente, para el caso se muestra un ejemplo:

Modo de falla	Frecuencia Eventos en 7 meses	Efecto de Falla
La válvula se abre lentamente o causa mayor formación de espuma. La valvula no llena.	261 (f01 y f04)	Evidente/No evidente: Sí El rociador del tubo de venteo esta deteriorado no formando una pantalla uniforme para hacer un flujo laminar por las paredes internas de la botella a medida que se va llenado por fuerza de gravedad. Evidente/No evidente: Sí No se acciona el sniff (desfogue) ubicado en la base de la válvula, permitiendo que no se desaloje el residual alojado en el tubo de venteo, después que la válvula ha sido cerrada totalmente.. Evidente/No evidente: Sí Goma que hace sello en el centrador de picos, esta deteriorada y no hace sello permitiendo que se genere turbulencia formando espuma.

FIGURA 5. Ejemplo falla evidente.

Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

Como se muestra en el ejemplo, se describe claramente los efectos de la falla en cada uno de los sistemas evaluados junto con las actividades de mantenimiento necesarias para eliminar la falla, se considera el tiempo de ejecución para dicha actividad y las observaciones que sean relevantes (Fuera de Servicio, Cantidades, Características)

Una de las razones principales por las cuales el RCM se vuelve costoso y requiere tiempo y dedicación, es la reprogramación de las actividades de mantenimiento preventivo.

El AMEF posee información importante ya que los efectos y modos de falla indican las nuevas actividades que se deben realizar en los equipos. Esto necesita tiempo, recurso físico y Talento Humano, por lo que implica costo adicional.⁽²³⁾

(23) GÓMEZ Iván, Introducción al Mantenimiento Estratégico. Edición 1 Colombia (2006), pág. 120

6. CONDICIONES INICIALES DEL PROYECTO

Las condiciones iniciales indican el punto de partida del estudio que se realizó para el desarrollo de este proyecto. Muestran el estado en general en cuanto a talento humano, presupuesto, rendimientos de eficiencias, cómo se desempeña el departamento de mantenimiento, cómo está estructurada la línea de producción y también cómo funciona cada uno de los equipos que la componen, para así poder proponer un AMEF de manera acertada de acuerdo con la necesidad de la compañía, teniendo en cuenta los indicadores claves de desempeño del departamento de mantenimiento, la gestión de los repuestos en la compañía y el manejo de los servicios externos.

6.1. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN No 3

En la figura N° 6 se muestra la distribución de los equipos que conforma la línea 3. Al determinar esta estructura se ve con claridad que la configuración de la línea es en serie, debido a que no se cuenta con ningún equipo montado en paralelo. Es claro que cualquier máquina que presente una falla, está afectando la totalidad de la línea.

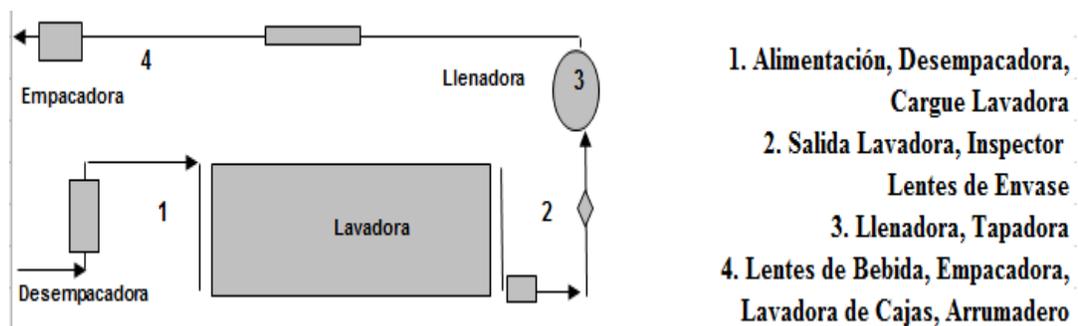


Figura 6. Distribución espacial de la línea 3
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

En la disposición de la línea mostrada en la distribución espacial (figura 6), se encuentran señaladas 4 zonas con características diferentes. La zona uno de alimentación, maneja transportadores amplios que buscan dar acumulación constante de envase al cargue de la lavadora de botellas.

La desempacadora tiene la capacidad de trabajar a 30 CPM (cajas por minuto; cajas de 30 envases) para un rendimiento de 900 BPM. En esta zona la des-empacadora debe trabajar con un 20% más que las botellas por hora de la llenadora, para mantener la acumulación de los transportadores y previendo que parte del envase que está acumulando tiene diferentes características al que va a ser finalmente envasado. Estas diferencias pueden ser otras marcas, rotura de boca, cuerpos extraños, entre otros.

Continuando con el recorrido del proceso, según la información técnica de la lavadora de botellas el rendimiento máximo es de 750 BPM (botellas por minuto) para el formato

350cc lo que indica, que trabajaría a la misma velocidad de la llenadora. Sin embargo de acuerdo con los tiempos de inmersión del envase necesarios en los tanques internos de la lavadora y el caudal de botellas hacia la llenadora, se debe tener en cuenta los posibles desperfectos de estas; la lavadora está trabajando a 23 descargas por minuto, el equivalente a 920 BPM. (Cada canasta de la lavadora tiene cuarenta bolsillos)

Siguiendo hacia el inspector de envase vacío desde la descarga de la lavadora, se encuentra una serie de transportadores controlados por variadores de velocidad y por triggers (o disparador) que manejan una base de datos para poder suministrar la alimentación constante de la llenadora. Estos transportadores previos al inspector se conforman de una parte enfiladora que por medio de relaciones de transmisiones con los mismos accionamientos, toman el envase que viene acumulado de la lavadora de botellas y lo va acomodando para que entre en los transportadores lineales enfilados hacia el inspector.

En esta parte del proceso se observa uno de los problemas más representativos que afectan la eficiencia de la línea, al haber poco recorrido de acumulación cualquier detención mayor de 35 segundos ya sea en la descarga o en el cargue, no permite que la velocidad de descarga de la lavadora acumule o recupere la alimentación hacia el inspector, permitiendo así que las fotoceldas de baja velocidad y parada de la llenadora den su respectiva señal de parada de la línea mientras se recuperan las condiciones normales implicando un tiempo adicional en producción.

Este sistema de inspección necesita mantener controlados los transportadores de envase previos (alineadores hacia el inspector) y los transportadores lineales hacia la llenadora, e inclusive, no se acciona hasta que no recibe una señal positiva enviada por un micro ubicado en la llenadora.

Siguiendo el recorrido hacia la llenadora de envase, equipo de donde se toma el dato real de la eficiencia calculada a partir de 750 BPM que es igual al 100 %, identificando otras fallas que se presentan con frecuencia altas y que requieren constantemente de correctivos. Los elementos de este equipo que más se intervienen son las cajas de transmisión, los centradores de las botellas, inspección y ajuste del juego de manejo de botellas e inspección y ajuste de los cilindros elevadores.

Posteriormente, se encuentran los transportadores que conducen hacia la empacadora que permiten una acumulación de envase durante 45 segundos por parada de la máquina empacadora sin hacer que la línea se detenga. Dicha máquina al igual que la desempacadora, tiene una velocidad mayor para poder recuperar el tiempo perdido por la acumulación.

También se puede ver la dinámica diseñada para cada una de las líneas de producción de gaseosas, la cual puede verse afectada en ocasiones por falta de tiempo especialmente en la línea 3; debido a que el programa de producción conocido le lleva un día por delante al actual, además puede someterse a cambios de acuerdo al envase que retorna y los productos que se requieran con mayor prontitud.

La eficiencia de la línea de producción No 3 de gaseosas es controlada por la cantidad de unidades procesadas en la llenadora de botellas, se determina lo que se deja de producir en una hora y es el indicador para fijar la eficiencia.

Teniendo un 100% como referencia en la llenadora, se observa que en los equipos que se encuentran antes de la llenadora manejan tiempos de acumulación y recuperación que buscan mantener constantemente la alimentación de botellas de la llenadora.

Para la ejecución de este proyecto conociendo la eficiencia mecánica promedio actual de la línea (82%) y a la que se quiere llegar (88%), se han identificado puntos críticos que requieren de una intervención.

De la lista de máquinas mencionada anteriormente se conoce que inspector de envase y procesador de bebida cuentan con catálogos donde se muestra el programa de mantenimiento a seguir, pero que aún no se ha establecido de acuerdo a las condiciones de producción que afectan esta línea. Las demás máquinas cuentan con planos de mantenimiento y hojas de ruta que permiten para la realización de este proyecto, poder verificar el cumplimiento y la calidad de las actividades de mantenimiento.

El inspector de envase proporciona una gran cantidad de herramientas para solucionar problemas pero con frecuencia se ven paradas del equipo por ajustes de parámetros y el manejo de las botellas.

La empacadora y desempacadora son objeto de estudio para un cambio en su sistema de transmisión que utiliza dos motorreductores y que se quiere cambiar a uno. Mientras se desarrolla este proyecto, estas máquinas deben tener unas frecuencias de ajustes alta y además se encuentran sometidas a menudo a correctivos.

La eficiencia de la línea es leída directamente con respecto a la cantidad de envases que entran a la llenadora en una hora de trabajo. En esta máquina es importante evaluar las condiciones reales de desgaste de las transmisiones de las bandas transportadoras de envase por que presentan un gran desgaste y elementos como los centradores de botellas que deben ser cambiados así como también los gatos elevadores del calderín que están terminando su vida útil.

Actualmente la línea no tiene en su totalidad demarcados los puntos de lubricación y frecuencias requeridas para cada una de sus máquinas, no permitiendo un buen seguimiento de esta actividad tan importante como lo es la lubricación.

En este estudio se propone mejorar la disponibilidad operacional de la línea de un 82% a un 88% en el indicador de gestión llamado eficiencia mecánica. Se busca intervenir en los puntos más críticos para aumentar directamente la producción.

6.2.FUNCIONAMIENTO DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA

El procedimiento que se realiza para calcular el presupuesto del siguiente año, se desarrolla para el mes de noviembre, teniendo en cuenta los gastos realizados mes a mes y dando un cinco por ciento demás para el mismo mes en el siguiente año. En este presupuesto se calcula los servicios externos de los contratistas de apoyo con los que cuenta el ingeniero, el stock mínimo de algunos equipos, mantenimiento preventivo y correctivo de las máquinas, inversiones en cambios locativos como estructuras, plataformas de acceso a las máquinas cambio de tuberías en hierro a acero inoxidable.

Semanalmente se realiza un comité técnico los viernes en horas de la mañana, donde se programa la producción del sábado para poder tener en cuenta los trabajos de mantenimientos correctivos y preventivos que se puedan adelantar el fin de semana.

En este punto es claro que para poder desarrollar los mantenimientos de las máquinas hay dependencia de la programación de producción desplazando la mayor parte de estos al fin de semana.

Al empezar un nuevo mes siempre se realiza un inventario general de la planta elaborado por auditoria y también se efectúa el comité de gerencia donde se proponen las metas en eficiencias a alcanzar para el mes actual.

En la siguiente tabla se muestra las funciones y responsabilidades a desarrollar del Jefe de Mantenimiento de Maquinaria

RESPONSABILIDADES	MEDIDAS
1. Mantener las velocidades de la llenadora para todos los tamaños de empaques, utilizando los estándares y procedimientos de los fabricantes del Equipo de llenado.	Mantiene de manera exacta y a tiempo las velocidades de las llenadoras según lo estimado por los usuarios de esta información.
2. Mantener actualizados los Manuales de Aseguramiento de la Calidad de POSTOBÓN S.A. que se encuentren bajo su responsabilidad.	Actualiza de manera exacta y a tiempo los manuales de Aseguramiento de la Calidad según lo estimado por los usuarios de la información contenida en ellos.
3. Reporta de manera correcta, completa, consiente y continua todas las horas extra, dominicales y festivas laborales por los trabajadores que están bajo su responsabilidad.	Diligencia de manera exacta y a tiempo el Formato para trabajo extra, dominical y festivo No. 0-461.
4. Reporta de manera correcta, completa, consistente y continua, todos los accidentes personales que generan visita médica o lesión, ocurridos en el lugar de trabajo a los trabajadores que están bajo su responsabilidad.	Diligencie de manera exacta y a tiempo el Formato Único de Accidente de Trabajo de la ARP.
5. Reporta de manera correcta, completa consistente y continua cualquier lesión que ocurra.	Informa de manera exacta y a tiempo a su jefe inmediato cualquier lesión que suceda mientras realiza sus labores.

6. Reporta de manera correcta, completa consistente y continua cualquier lesión que ocurra a la línea Vital (ARP) y al auxiliar de personal.	Informa de manera exacta y a tiempo a la línea vital (ARP) y al auxiliar de personal cualquier lesión que ocurra.
7. Informar y sustentar cualquier mejoramiento que se realice a los procesos de obtención de datos de las mediada M & W, con el fin de dar sostenimiento a la herramienta y cumplir con los requerimientos de la misma.	Informa de manera exacta y a tiempo a la coordinación de M & W por medio de correo Outlook las mejores propuestas.

Tabla 4. Funciones y responsabilidades del jefe de mantenimiento

Fuente: Postobón SA

El personal técnico mecánico y eléctrico del departamento de mantenimiento del área de producción de gaseosas, está encargado actualmente de realizar los trabajos preventivos y correctivos de los siguientes equipos:

1. Línea 1: Litrón y dos litros PRB retornable.
2. Línea 2: 6 onzas, 8.5 onzas, 12 onzas
3. Línea 3: 12 onzas.
4. Línea 4: Lata.
5. Línea 6: Bag in box.
6. Equipos auxiliares: Calderas, compresores de aire, torres de enfriamiento, subestación eléctrica, plantas eléctricas.
7. Sala de jarabes.
8. Plantas de tratamiento de aguas 1 y 2.

Para las diferentes actividades de mantenimiento que se realizan en los equipos anteriormente mencionados, se tiene distribuido el personal en tres turnos de ocho horas cada uno, relacionados a continuación:

TURNO A:	06 : 00	14 : 00
TURNO B:	14 : 00	22 : 00
TURNO C:	22 : 00	06 : 00

Tabla 5. Turnos de trabajo GASCOLSUR.

En la actualidad se cuenta con personal suficiente para desarrollar los planes de mantenimiento programados.

Se cuenta con dos líneas de mecánicos; los de la línea de producción encargados de brindar un soporte inmediato en casos que las líneas así lo requieran y los mecánicos de mantenimiento; personas proyectadas para remplazar a un mecánico de línea cuando se necesite.

De acuerdo a esto, el perfil solicitado para los mecánicos de mantenimiento puede ser una persona sin práctica en una línea de envasado, pero si en procesos de producción, debe contar con un mínimo de 6 meses de experiencia y que se desenvuelva de forma eficiente en un tiempo mínimo de 2 meses.

La compañía ha establecido un programa de capacitaciones en el cual la participación del personal de mantenimiento es obligatoria.

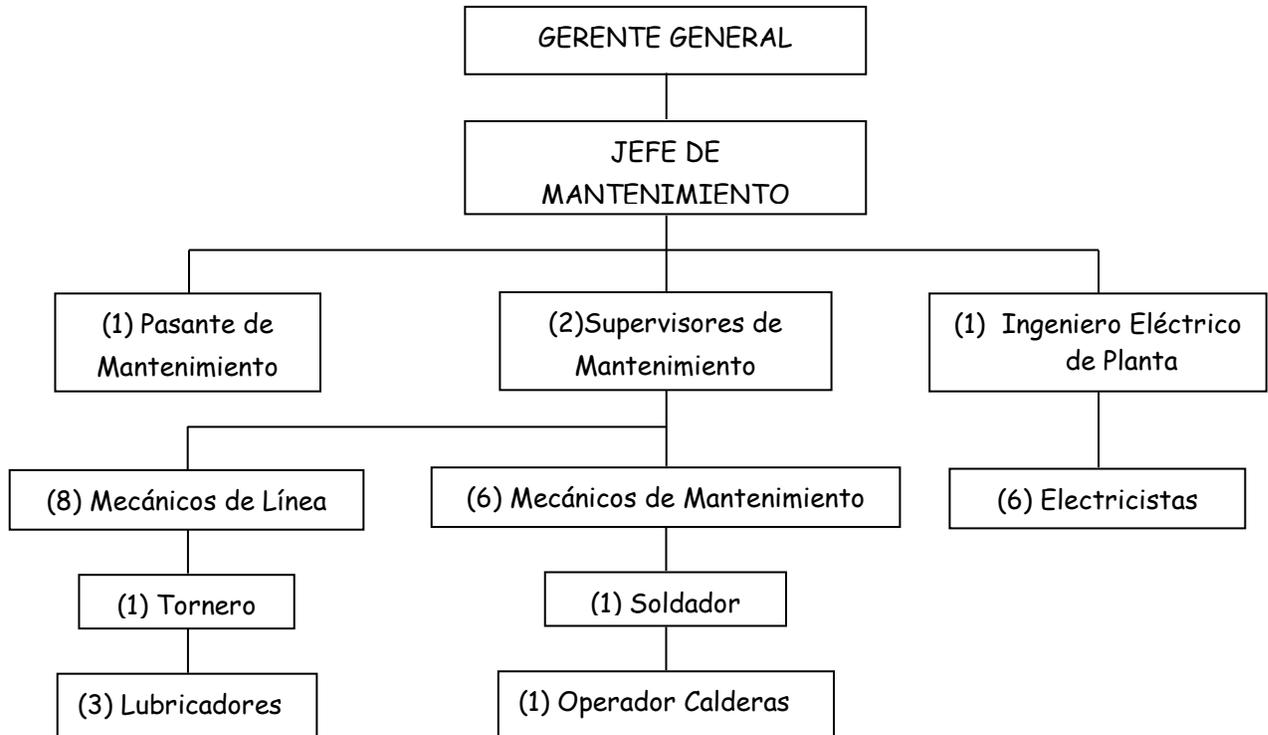


Figura 7. Organigrama del departamento de mantenimiento
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

En la línea de producción No 3, según el procedimiento de la compañía todo el personal de mecánicos y electricistas debe tener la capacidad de solucionar problemas. Adicionalmente se cuenta con dos personas encargadas de realizar las hojas de inspección dispuestas para el equipo. Así se busca el control apropiado de las posibles fallas que puedan generarse, verificando los mantenimientos programados por máquina.

6.3. INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO

Los indicadores de desempeño del departamento de mantenimiento maquinaria, son evaluados en los comités técnicos que se realizan los viernes y mes a mes en los comités de gerencia. En este espacio se analiza el comportamiento de las líneas de producción, las actividades ejecutadas programadas y correctivas en mantenimiento de equipos, las novedades de personal. Estos indicadores son determinados, porque es el departamento de mantenimiento el encargado de garantizar que los equipos funcionen dentro de los parámetros mostrados por los fabricantes.

El personal de mantenimiento participa de manera indirecta con: Productividad de las líneas, Tiempo de paro de llenadora, Productividad de Producción y Cumplimiento del Programa de producción.

En el desarrollo de las actividades de mantenimiento de equipos, debe contar con el equipo de seguridad e higiene industrial: Cofia, Protectores auditivos, Guantes clínicos e industriales (en caso de ser necesario), uniforme, zapatos industriales, monogafas y antiempañantes ventilación directa policarbonato y Careta.

6.4.GESTIÓN DE REPUESTOS

Al ser los principales generadores de costos en mantenimiento, los repuestos deben ser administrados adecuadamente, por esta razón se busca mantener en inventario los repuestos de alta rotación que son solicitados a medida que se van agotando y que están bajo responsabilidad del Jefe de Mantenimiento y los Supervisores de Mantenimiento. Esta responsabilidad es compartida, porque los primeros encargados de indicar la necesidad es la parte operativa, que de acuerdo con su requerimiento se puede observar el inventario del almacén y de esta forma evaluar cuando se debe generar una nueva solicitud.

En la lista de estos repuestos se encuentran suministros de válvulas de llenado, cabezales de empacadoras y desempaadoras, encañastado de lavadora de botellas. De los demás equipos se manejan repuestos en mínima cantidad que se mantienen en el almacén y que son solicitados de acuerdo con la frecuencia empleada para una vez que son usados, debido a que no tienen alta frecuencia de rotación y además por que pueden ser de importación.

Esta gestión de repuestos es controlada por inventarios que se realizan mensualmente por medio del departamento de auditoría.

6.5.SERVICIOS EXTERNOS

El departamento de mantenimiento maneja dos tipos de servicios externos de aplicación general: servicios externos que se relacionan como costos indirectos entre los que encontramos actividades de limpieza de equipos, garantías, trabajos administrativos, logística general, y servicios externos que se imputan como si fueran actividades de su propio departamento de personal y que realizan las tareas preventivas y correctivas asignadas.

Se aclara que estas empresas contratistas que hacen parte del segundo tipo, solo están facturando trabajos previamente programados que van saliendo en el día a día y pagan un arrendamiento por el espacio que ocupan con sus herramientas y por el uso de equipos del taller de mantenimiento como torno, taladro... etc.

El departamento de mantenimiento cuenta con el servicio de dos firmas como son Seim S.A. y Tecni-montajes J.C. que mantienen constantemente personal a disposición. Además cuenta con el apoyo de colombiana de mantenimientos que presta sus servicios en la parte eléctrica.

Sin embargo estas firmas también participan en el momento de cotizar otro tipo de trabajos de proyectos programados y en donde se define el mejor costo de la actividad.

6.6.EFICIENCIAS Y RENDIMIENTOS PARA INDICES DE PRODUCTIVIDAD

Este estudio se realizó en los equipos críticos de la línea 3, con el fin de optimizar en un 6.6% la eficiencia promedio que equivale a un 82% y que presenta picos de altibajos que impactan fuertemente los rendimientos de los costos directos de la producción de la bebida gaseosa. Estos costos directos tienen que ver con el material de empaque, materia prima, rendimientos de agua, soda, vidrio, energía, entre otros, de la línea de producción.

¿Para qué sirve elevar este valor de eficiencia? Al aumentar la disponibilidad de la línea se obtiene el cumplimiento a tiempo del programa de producción establecido diariamente, lo que incide en la disminución de horas extras, los rendimientos de las materias primas estarán sobre los parámetros establecidos por la compañía, el consumo de energía eléctrica y combustibles acpm y gas natural, maneja unos menores costos con respecto a las cajas producidas.

Con los siguientes indicadores de rendimientos se demuestra que al incrementar la eficiencia mecánica de la línea de producción, se interviene directamente en cada una de las actividades controladas por la compañía para medir eficiencias y optimización de gastos.

6.6.1. Eficiencia de producción:

Para calcular la eficiencia de producción es necesario conocer:

- Velocidad de llenadora.
- Unidades producidas por unidad de tiempo.

A continuación se muestran las velocidades por línea de producción en unidades por hora al 100 % de su capacidad:

	Línea 1			Línea 2	Línea 3		Línea 4
	Litro	Litro ½	2 Litros	8,5 onzas	6 onzas	12 onzas	Lata
Unid. Hora	18.000	14.400	10.800	45.000	45.000	45.000	30.000

Tabla 6. Velocidades líneas de producción Gascolsur
Fuente: Postobón

Cálculo eficiencia de producción por hora:

$$\text{Ef. Prod. \%} = \frac{\text{Unidades reales producidas}}{\text{Unidades teóricas por hora}} * 100$$

Ejemplo: En producción de Colombiana tamaño 12 onzas durante la primera hora de producción (06:00 a 07:00) se produjo según el contador del equipo 38.000 unidades, calcular la eficiencia de producción y el tiempo perdido.

$$\text{Ef. Prod. \%} = \frac{36000}{45000} * 100$$

$$\text{Ef. Prod. \%} = 80,00\%$$

Ahora para calcular el tiempo perdido durante la hora de producción se hace el siguiente análisis:

Como durante la hora de producción solo fue efectivo el 80,00 % de los 60 minutos, el resto fue tiempo perdido, es decir:

$$60 \text{ minutos} * 80,00\% = 48 \text{ minutos efectivos.}$$

$$60 \text{ minutos} - 48 \text{ minutos efectivos} = 12 \text{ minutos perdidos.}$$

Este tiempo es el que se analiza para distribuir las paradas del equipo según su causa asignable.

6.6.2. Eficiencia mecánica:

Para calcular la eficiencia mecánica es necesario conocer los tiempos perdidos asignables a producción y a maquinaria, estos datos se toman de los tableros del salón de producción en donde se liquida hora a hora la eficiencia de producción.

$$\text{Ef. Mec. \%} = (100 \%) - (\% \text{ en tiempo perdido por fallas atribuibles a maquinaria}).$$

Este porcentaje en tiempo perdido que se le asigna a la maquinaria, se registra en cada uno de los avisos creados por evento de falla presentado. Cada hora se hace una sumatoria del tiempo perdido y se saca un porcentaje de lo que se dejó de producir y lo que representa la diferencia, es la eficiencia mecánica.

Retomando el ejemplo anterior en donde la eficiencia de producción fue del 80 % y se perdieron por lo tanto 12 minutos, se asumirá que se perdieron 8 minutos por producción y 4 minutos por falla de maquinaria, por lo tanto:

$$\% \text{ en tiempo perdido por fallas atribuibles a maquinaria} = 4 \text{ min.} / 60 \text{ min.} * 100$$

$$\% \text{ en tiempo perdido por fallas atribuibles a maquinaria} = 6,66\%$$

Cálculo de la eficiencia mecánica:

Ef. Mec. % = 100 % - 6,66% = 93,33 %

El parámetro fijado por la compañía donde se tienen en cuenta los rendimientos que dan los fabricantes en cada una de las placas de los equipos que conforman la línea es de 90 % para la eficiencia mecánica. Si se está por este valor o sobre este valor, quiere decir que el rendimiento es máximo.

A continuación se discrimina los tiempos autorizados y no autorizados por producción y los tiempos que se deben asignar por falla de equipos. En esta tabla se describen algunos de las fallas que se asignan a las máquinas y que hora a hora se estiman en minutos perdidos y se cuantifica lo que se ha dejado de producir.

TIEMPOS DE PRODUCCIÓN Vs. TIEMPOS DE MAQUINARIA

TIEMPOS PRODUCCIÓN	TIEMPOS MAQUINARIA
Parada para toma de alimentos	Paradas de maquinas
Parada para descansos autorizados	Suministros de vapor, aire, energia
Cambio de jarabes	Sistema de lubricación
Conversión de equipos	Transportador de envase, bebida, caja
Limpieza de equipos	Equipos aux. (bombas, válvulas, etc.)
Mantenimiento de equipos	
Existencia suficiente	
Fallas humanas	
Envase, estibas, cajas defectuosas	
Falta de envase	
Falla montacargas	
Explosiones	
Materia prima o insumos defectuosos	

Tabla 7. Tiempos de producción vs. Maquinaria
Fuente: Postobón S.A.

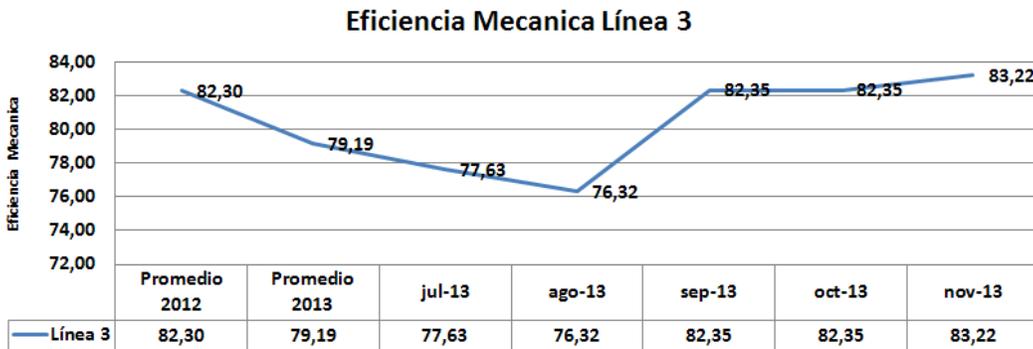


Figura 8. Eficiencia mecánica línea 3
Fuente: Postobón S.A.

De igual manera se puede promediar los minutos perdidos por falla de maquinaria donde el Inspector de Envase Vacío y la Llenadora representan según el diagrama de Pareto utilizado anteriormente, los mayores tiempos de parada en producción.

	Prom min perdidos 2012	Prom min perdidos 2013	Julio 2013	Agosto 2013	Septiembre 2013	Octubre 2013	Noviembre 2013
LINEA 3	1.239,97	988,33	924,41	1070,24	584,63	693,92	541,37

Tabla 8. Minutos perdidos línea de producción No 3
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

De acuerdo a la información ordenada contenida en el anexo N° 6 de ORDENES Y TIEMPOS SUSPENDIDOS año 2012, se puede hacer lectura de la cantidad de órdenes de trabajos por mantenimientos correctivo, correctivos programados (PM01), y las ordenes de mantenimiento que se ejecutaron de acuerdo al plan de mantenimiento programado (PM02), obteniendo así una lectura que indica que no se está cumpliendo con el plan de mantenimiento actual debido a la cantidad de correctivos que se presentaron como se relaciona en la siguiente tabla:

	CLASE DE ORDEN	
	PM01	PM02
LINEA 3	144	72

Tabla 9. Clase de orden línea de producción No 3
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

Estos datos se obtienen durante el tiempo que se realizó el estudio del presente proyecto y donde el promedio de las PM01 mensual fue de 12 y las PM02 mensual de 6 eventos.

Para un valor de eficiencia mecánica que oscila entre el 82 y el 83%, se tiene que en el año 2012 el promedio mensual de minutos perdidos por falla mecánica se calcula en 1.239,97 minutos con un valor por minuto de 172.83 pesos, lo que representa un sobre costo 3'643.168 que relaciona a 17 personas que se encuentran en la línea cuando se está produciendo. Este sobre costo se presenta mensualmente.

7. INGENIERIA APLICADA

7.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS

Teniendo definida la problemática con respecto a la deficiencia en la disponibilidad de la línea de producción No 3 dentro de la planta y haciendo referencia a la configuración utilizada en el montaje de la línea en general que es en serie, se procede a identificar cuál de las maquinas o equipos de producción dentro de la línea son los que más afectan a las paradas.

Para determinar cuáles son los dos equipos más críticos y teniendo en cuenta el análisis de condiciones iniciales de la línea, se hace uso de la herramienta del diagrama de Pareto, en donde podemos visualizar con facilidad el comportamiento de cada uno de los equipos en el tiempo de estudio. En el Diagrama de Pareto de los datos que se utilizaron en línea de producción a trabajar (Ver figura 8), se puede observar los equipos con los tiempos perdidos más representativos que impactan negativamente el buen funcionamiento de la línea.

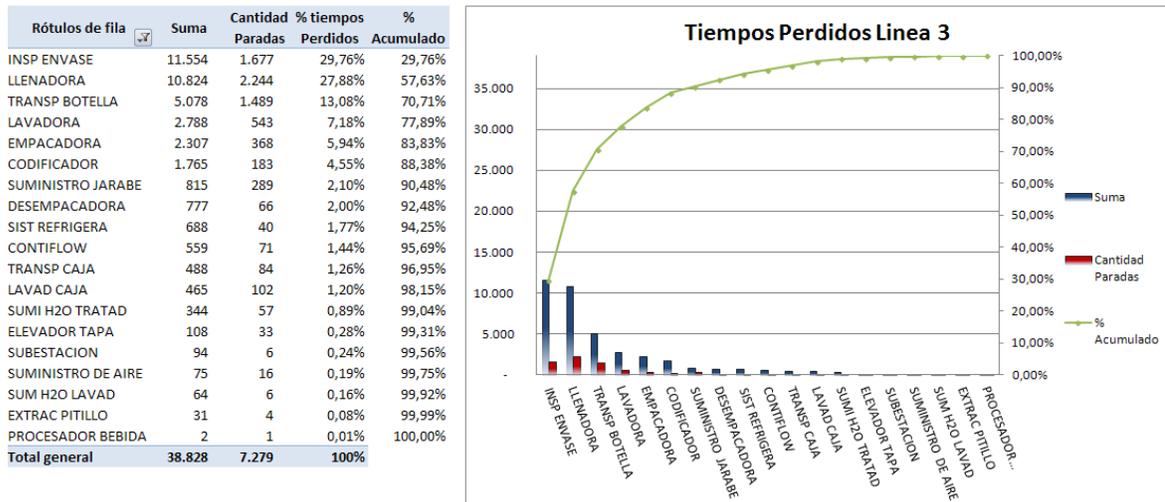


Figura 9. Análisis de datos con diagrama de Pareto
 Datos suministrados por Gaseosas Colombianas Sur SA – elaborado por. Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

Fácilmente se identifica que la suma de los porcentajes de tiempos de parada de la llenadora, el inspector de envases y los transportadores de botellas es de 70.7%, así mismo la cantidad de las paradas también son las mayores con respecto al valor total de las mismas. Esta información es un indicador clave para observar que al intervenir urgentemente estos tres equipos se ve directamente afectada de manera óptima la eficiencia de la línea de producción.

De acuerdo al alcance de los objetos planteados para la realización de este proyecto se enfoca el análisis realizado en los dos equipos más críticos del sistema de la línea de producción No 3.

7.2. ESTABLECIMIENTO DE FRONTERAS

Al establecer las fronteras el objetivo es limitar el contexto operacional de las máquinas objeto de estudio, con el fin de identificar las variables de entradas y salidas. Esta delimitación se realiza teniendo en cuenta las operaciones respectivas de cada máquina y su función en la línea de producción como se muestra en la figura 9 del inspector.

DEFINICIÓN DE FUNCIONES Y CARACTERÍSTICAS

La intención de definir las funciones de estos dos equipos y estudiar sus características, es entender bajo que parámetros fueron diseñados y cuál es el rendimiento máximo que pueden dar de acuerdo al contexto operacional; (ejemplo: la función de la llenadora es envasar 45000 botellas 350cc en una hora)

Para llevar a cabo estas acciones, se hace seguimiento junto con los operarios de las máquinas durante el funcionamiento de los equipos en producción observando detalladamente cada una de las operaciones de trabajo que debe desarrollar los componentes y tomando datos de los eventos presentados que afecten las condiciones ideales de trabajo de la máquina teniendo en cuenta el contexto operacional.

7.2.1. Inspector de botellas vacías (IN LINE 9.00.002 MARCA HEUFH)

El inspector está concebido para la inspecciones sin contacto de envases de 250 A 500 ml personal. Dependiendo del respectivo equipamiento se pueden reconocer los siguientes defectos: contaminaciones opacas y transparentes en el fondo del envase, bocas rotas y sucias, contaminaciones en paredes interiores y exteriores, así como objetos extraños, restos de jabón. El inspector controla el rechazo de envases sucios o defectuosos. Tiene un sistema de rechazadores compuesto de 4 fases de rechazo tiene una cometida trifásica más fase y neutro lo que permite trabajar los controles electroneumáticos con un voltaje de 110v. Trabaja con aire comprimido entre 6 y 10 bares y procesa hasta 72000 envases por hora. Cuando se han modificado parámetros u otros ajustes, siempre se debe verificar con ayuda de envases de prueba el funcionamiento del equipo con los parámetros y ajustes cambiados antes de comenzar con la producción. También después de las modificaciones efectuadas, el equipo debe reconocer todos los fallos en los envases de prueba y los debe rechazar. Las condiciones ambientales son; de 5 °C hasta 40 °C; humedad del aire 30% hasta 95%humedad relativa del aire sin rocío.

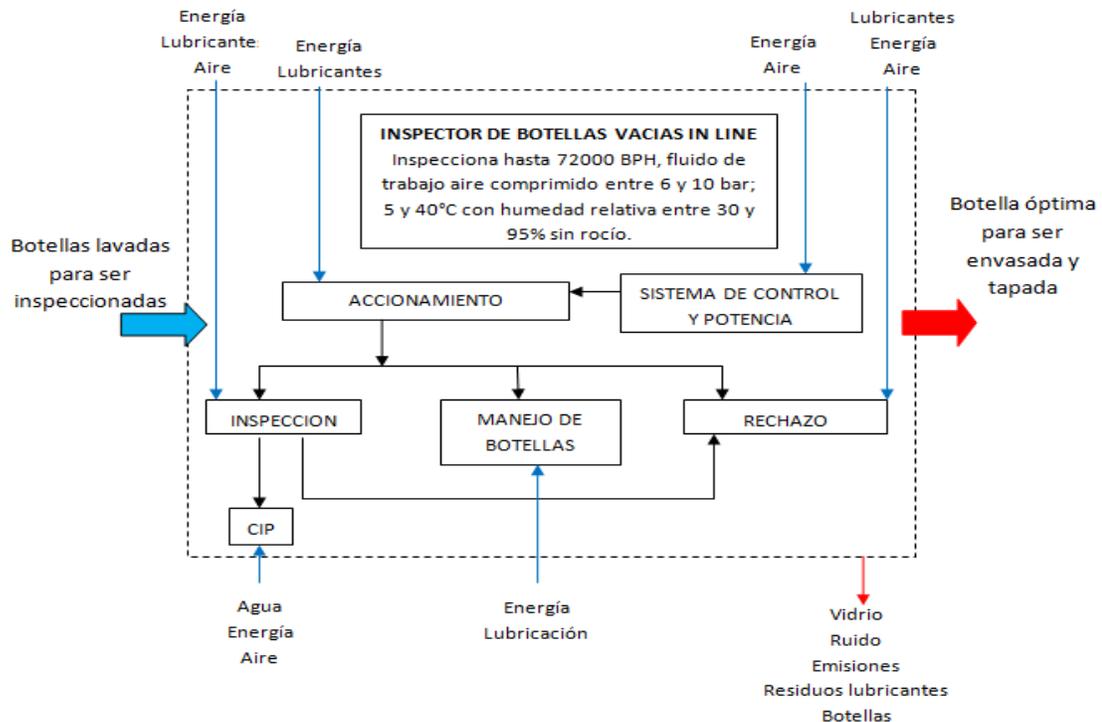


Figura 10. Establecimiento de fronteras Inspector
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

7.2.2. Llenadora de botellas Holstein and Kappert (khs) vf 72/16

La llenadora tiene una capacidad de 45000 BPH. Está conformada por 72 válvulas de llenado y 16 pistones tapadores, envasa formato 8.5 y 12 onzas opera de lunes a sábado 16 horas diarias en dos turnos, se tiene un turno de 8 horas de limpieza y alistamiento de equipos y al final de la semana se disponen de 8 horas para trabajos de mantenimiento.

De acuerdo a las entradas y salidas de la figura 10 se tiene que el modo de operación de la llenadora se desarrolla manejando una contrapresión con aire que va de 3,5 a 5 bares, controlando el nivel del producto por medio de una válvula de aireación y una válvula de des aireación. Para permitir el llenado de la botella, realiza una compensación de presiones que garantiza el sello de la botella y posteriormente realizar las fases de llenado. La bebida debe llegar a la llenadora con la temperatura adecuada para el producto que se va a envasar, la bebida es envasada entre 1,5 °C bebidas carbonatadas y 3 °C bebidas con baja carbonatación.

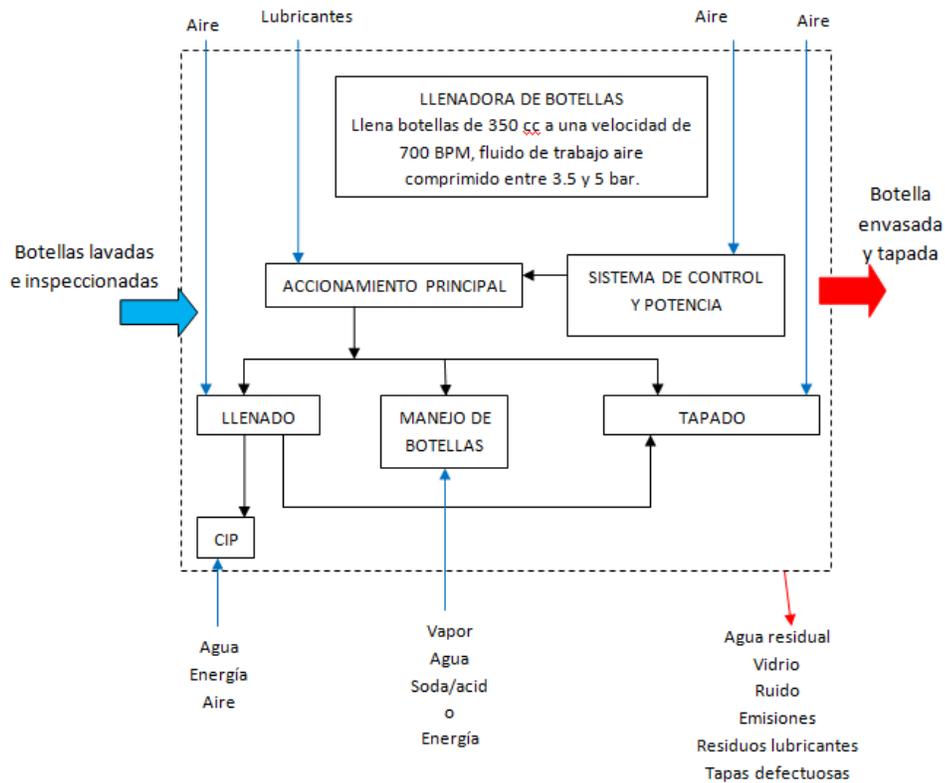


Figura 11. Establecimiento de fronteras Llenadora
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

7.3. CODIFICACIÓN DE MÁQUINAS

Para proponer un mejoramiento del plan de mantenimiento actual que tiene la planta, se muestra la codificación que se puede utilizar para identificar los sistemas, subsistemas y los componentes de las máquinas que conforman la línea de producción.

La codificación que se utiliza relaciona el sistema y subsistema de forma abreviada para cada una de las máquinas y/o equipos de la línea. La codificación de los sistemas se utiliza con la siguiente denominación:

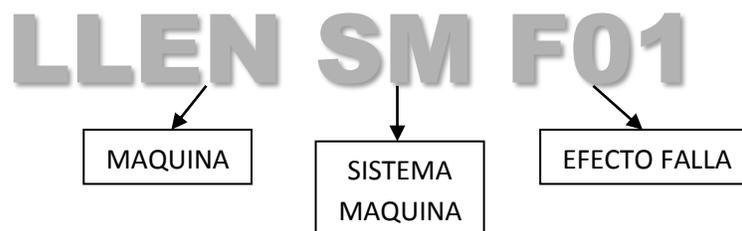


Figura 12. Codificación máquinas y fallas
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

CODIFICACION DE LAS MAQUINAS DE LA LINEA	
MAQUINA	CODIGO
Inspector de envase	INEV
Llenadora	LLEN

CODIFICACION DE LOS SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DE LA MAQUINA		
LLENADORA DE BOTELLAS	SISTEMA	CÓDIGO
	SISTEMA ELECTRO MOTRIZ	LLEN SM
	SISTEMA TABLERO DE CONTROL	LLEN SC
	SISTEMA DE CORONADORA DE ENVASES	LLEN SCE
	SISTEMA DE LLENADO	LLEN SLL
	OTRAS PARTES	LLEN OP
	SUBSISTEMA	CÓDIGO
	SUBSISTEMA MECÁNICO	LLEN SSM
	SUBSISTEMA ELECTRICO	LLEN SSE
	SUBSISTEMA NEUMATICO	LLEN SSN

CODIFICACION DE LOS SISTEMAS, SUBSISTEMAS Y COMPONENTES DE LA MAQUINA		
INSPECTOR DE ENVASE	SISTEMA	CÓDIGO
	SISTEMA ELECTRO MOTRIZ	INSP ENV SM
	SISTEMA TABLERO DE CONTROL	INSP ENV SC
	SISTEMA INSPECCION	INSP ENV SI
	SISTEMA DE RECHAZADORES	INSP ENV SR
	OTRAS PARTES DE LA MÁQUINA	INSP ENV OP
	SUBSISTEMA	CÓDIGO
	SUBSISTEMA MECÁNICO	INSP ENV SSM
	SUBSISTEMA ELECTRICO	INSP ENV SSE
	SUBSISTEMA NEUMATICO	INSP ENV SSN

Tabla 10. Codificación Componentes Máquinas
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

7.4.ESPECIFICACIONES DE LAS MAQUINAS

Para trabajar con los equipos más críticos necesitamos saber cuáles son las especificaciones técnicas y los parámetros de trabajo que recomienda el fabricante como se indica a continuación:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
EQUIPO	LLENADORA DE BOTELLAS	CÓDIGO ÚNICO	LLEN
MODELO	VF 72/16	MARCA	HOLSTEIN AND KAPPERT (KHS)
VOLTAJE	220 V		
FRECUENCIA	60HZ		
FASES	3 FASES + TIERRA + NEUTRO		
FLUIDO DE TRABAJO	AIRE COMPRIMIDO		
PRESION	AIRE COMPRIMIDO MÍNIMO 6BAR, MÁXIMO 10 BAR LIBRE DE AGUA Y ACEITE		
SECCION DE LA MANGUERA	1/2 PULGADA		
VELOCIDAD DE TRABAJO	750 BPM (BOTELLAS POR MINUTO)		
POTENCIA	8,8 KW		
ALTO	2,1 METROS		
DIMENSIONES	3,6*3 METROS		
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
EQUIPO	INSPECTOR DE BOTELLAS VACIAS IN LINE	CÓDIGO ÚNICO	INEV
MODELO	9.00.002	MARCA	HEUFT
VOLTAJE	220 V		
FRECUENCIA	60HZ		
FASES	3 FASES + TIERRA + NEUTRO		
FLUIDO DE TRABAJO	AIRE COMPRIMIDO		
PRESION	AIRE COMPRIMIDO MÍNIMO 6BAR, MÁXIMO 10 BAR LIBRE DE		
SECCION DE LA MANGUERA	1/2 PULGADA		
CAUDAL	3 M3/HORA		
FUERZA DE ACCIONAMIENTO REQUERIDA	700N		
LUBRICACION CINTA ENTRADA	AGUA		
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	HASTA 72000 ENVASES/H		
CONDICIONES AMBIENTALES	5 HASTA 40 °C; HUMEDAD DEL AIRE 30% HASTA 95% HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE, SIN ROCIO		
CORREAS DE TRASNPORTE	UTILIZAR SOLAMENTE DETERGENTES Y LUBRICANTES CON UN VALOR DE PH NUETRO		
ALTO	1,83 METROS POR ENCIMA DEL TRANSPORTADOR		
DIMENSIONES	2,42*0,95 METROS		

Tabla 11. Especificaciones de maquinaria
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

7.5.CODIFICACIÓN DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

Entendiendo que la codificación de las máquinas es de vital importancia para la organización y análisis de los datos registrados, igualmente es importante que los efectos de fallas también se codifiquen. La descripción de de cada uno de estos efectos, es el texto que se sube a la base de datos, y en ocasiones resulta bastante complicado seleccionar o identificar los eventos que se presentan y que ocasionan tiempos perdidos. A continuación se tienen dos tablas organizadas con cada una de las fallas que se pueden presentar y ponderadas de la más frecuente a la menos frecuente:

CODIGO SISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	DESCRIPCIÓN EFECTO DE FALLA	CÓDIGO	CODIGO FALLA	RELACIÓN	
					DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
LL SLL	LL SSM	BAJA VELOCIDAD LLENADORA	BVLL	F01	SI	SI
LL SCE	LL SSM	FALLA EN CORONADORA	FEC	F02	SI	SI
LL SLL	LL SSM	AJUSTE CENTRADOR TULIPAS	ACT	F03	SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA VVA LLENADO	AVLL	F04	SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA MANEJO BOTELLAS	FMB	F05	SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA PIÑÓN DE MANIOBRA	FAV	F06	SI	SI
LL OP	LL SSN	AJUSTE PISTONES ELEVADORES	APE	F07	SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA TRANSMISION PRINCIPAL LLENADORA	FTP	F08	SI	SI
LL OP	LL SSN	FALLA CONTRAPRESION LLENADORA	FCLL	F09	SI	SI
LL OP	LL SSN	FALLA EN ELEVADOR TAPA	FETM	F10	SI	SI
LL SLL	LL SSM	AJUSTES CONVERSIÓN LLENADORA	ACLL	F11	SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA CONJUNTO DESAIREADOR	ACDM	F12	SI	SI
LL SC	LL SSE	FALLA ELECTRICA LLENADORA	FELL	F12	SI	SI
LL SLL	LL SSM	DESPERFECTO LLENADO	DLL	F13	SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA ABRIDOR DE VVA	AAV	F14	SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA SINCRONISMO LLENADORA	ATLL	F15	SI	SI
LL OP	LL SSN	FALLA TRANSPORTADOR ENTRADA	FTE	F16	SI	SI
		FALTA PERSONAL MIENTRAS PARA LA L2	PROD	F25	SI	SI
		VERIFICACION PASA/NO PASA CORONADORA	PROD	F31	SI	SI
LL SC	LL SSE	FALLA CONJUNTO DESAIREADOR	ACD		SI	SI
LL SC	LL SSE	FALLA ABRIDOR DE VVA	AAV		SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA CERRADOR VVA	FCV		SI	SI
LL SLL	LL SSM	AJUSTE GUIA X	AGX		SI	SI
LL SC	LL SSE	FALLA SENSOR INDUCTIVO CONTADOR	FSC		SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA PISTA DEL SNIFF	AJP		SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA SINFIN DE ENTRADA A LLENADORA	FSFE		SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA ELEVADORES CALDERIN	FEC		SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA SISTEMA EXPLOSIONES	FSE		SI	SI
LL SC	LL SSE	FALLA SISTEMA EXPLOSIONES	FSE		SI	SI
LL SC	LL SSE	CAMBIO MOTOR LLENADORA	CMLL		SI	SI
LL SLL	LL SSM	LUBRICACION EQUIPO LLENADORA	LELL		SI	SI
LL SC	LL SSE	FALLA EN ELEVADOR TAPA	FETE		SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA TRANSPORTADOR ENTRADA	FTE		SI	SI
LL SLL	LL SSM	FALLA TRANSPORTADOR SALIDA	FTS		SI	SI
		EXPLOSIONES DE ENVASE	PROD		SI	SI
LL SC	LL SSE	LLENADORA NO ARRANCA	LLNA		SI	SI

CÓDIGO SISTEMA	CODIGO SUBSISTEMA	DESCRIPCIÓN EFECTO DE FALLA	CÓDIGO FALLA	RELACIÓN	
				DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
INSP ENV SM	INSP ENV SSE	EQUIPO TRABAJA INCORRECTAMENTE	F01	SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	NO SE RECONOCEN BOTELLAS DE PRUEBA	F02	SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	RECHAZO INCORRECTO DE ENVASES PG 101	F03	SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSE	FALLA SUMINISTRO ELECTRICO	F04	SI	SI
INSP ENV SM	INSP ENV SSM	FALLA EN TRANSMISION MECANICA	F05	SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	FALLA RECONOCIMIENTO ETIQUETAS PG107	F06	SI	SI
INSP ENV SM	INSP ENV SSM	LOS ENVASES SE CAEN EN LA ZONA DE ENTRADA	F07	SI	SI
INSP ENV SM	INSP ENV SSM	AJUSTE DE CORREAS DE TRANSPORTE	F08	SI	SI
INSP ENV SM	INSP ENV SSM	INSP ESTRELLADO, FALTA ENVASE ENFILADOR	F09	SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	AJUSTE DE MASCARAS	F10	SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSE	EL INSPECTOR NO ARRANCA PG 84	F11	SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSE	CONEXIÓN DEL PILOT FUERA DE LINEA	F12	SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	NO SE CUENTAN LOS ENVASES PG 91	F13	SI	SI
INSP ENV SM	INSP ENV SSM	LOS ENVASES BAMBOLEAN, QUEDAN ATASCADOS O SE CAEN AL SER RECHAZADOS. PG 97	F14	SI	SI
INSP ENV SM	INSP ENV SSM	AJUSTES DE CONVERSION	F15	SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSN	FALLA SUMINISTRO DE AIRE	F16	SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	BAJA VELOCIDAD RECHAZO EXCESIVO		SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSE	LIMPIEZA FOTOCELDAS INSPECTOR		SI	SI
INSP ENV SR	INSP ENV SSE	MAL ACCIONAMIENTO RECHAZADORES		SI	SI
INSP ENV SR	INSP ENV SSM	MAL ACCIONAMIENTO RECHAZADORES		SI	SI
INSP ENV SM	INSP ENV SSM	AJUSTE CORREAS INSPECTOR		SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSE	EL CUADRO DE CONTROL PERMANECE OSCURO PG 82		SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSE	FALLOS DURANTE EL TEST AUTOMATICO DE ARRANQUE PG 83		SI	SI
INSP ENV SM	INSP ENV SSM	FALLA DE SINCRONIZACION		SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	SE RECHAZAN TODOS LOS ENVASES O DEMACIADOS ENVASES PG 92		SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	NO SE PRODUCE NINGUN RECHAZO PG 96		SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	SEÑAL FALTANTE O ERRONEO DEL TRIGGER. PG 99		SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSE	EL FLASH NO DISPARA, LAS IMÁGENES TOMADAS SON OSCURAS. PG 100		SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	NO SE RECONOCEN TAPAS. PG 102		SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSE	CUADRO DE CONTROL PERMANECE OSCURO PG 82		SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	FALLO DURANTE EL TEST AUTOMATICO DE ARRANQUE P 83		SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSE	CODIGO PARPADEANTE LED PG 85, 86, 87		SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	INDICACION EN EL CUADRO DE COTROL		SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	INSPECCION DE ENVASES PERTURBADA PG 104		SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSE	LA PLACA FRONTAL PERMANECE OSCURA PG 56		SI	SI
INSP ENV SI	INSP ENV SSE	LAS CINTAS NO ARRANCAN PG 57		SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSE	PROBLEMAS AL LLENAR LAS CINTAS PG 58		SI	SI
INSP ENV SC	INSP ENV SSE	PROBLEMAS AL VACIAR LAS CINTAS PG 59		SI	SI

Tabla 12. Codificación Modos de Fallas
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

Esta tabla contiene de forma ordenada la codificación utilizada para identificar el sistema y subsistema afectado por algún evento presentado de los que se muestran en la descripción del efecto de falla y que a su vez, también están organizados del evento de mayor frecuencia al de menor frecuencia.

A cada falla se le asigna un código que la identifica como frecuente o poco frecuente (f01,...) de acuerdo a consecutivo de menor a mayor. Enseguida en la tabla de relación, se indica, que la ocurrencia de alguna de estas fallas, afecta directamente la disponibilidad y la confiabilidad de las máquinas y en consecuencia la de la línea completa.

7.6. ANÁLISIS DE CAUSAS DE FALLA Y RPN DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS

Para realizar un análisis de causas de falla de los equipos críticos, se necesita el histórico de fallas y de tiempos perdidos de la línea de producción, teniendo en cuenta la codificación de las máquinas y los efectos de fallas que se enlistaron anteriormente podemos realizar los siguientes cálculos:

Con la información que se obtiene del estado de las máquinas y de los tiempos de paradas evaluados en el diagrama de Pareto, se realizan cálculos en el software llamado Weibull de la compañía Reliasoft, utilizado en ingeniería de confiabilidad y en la universidad como material educativo, sirve para observar el estado de un equipo o una línea de producción utilizando como referencia los tiempos perdidos de las máquinas y los tiempos suspendidos de los demás equipos que generan paradas de la línea de producción y se obtuvo lo siguiente:



Figura 13. Calculo confiabilidad línea de producción
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

Para la línea de producción se realizó un ejercicio donde se buscaba un valor de confiabilidad que se aproximara al propuesto en objetivo principal de proyecto, pero, pero al llegar al 75% de disponibilidad y/o confiabilidad operacional dentro de la línea nos da como resultado que la línea se debe intervenir cada hora y media aproximadamente.

Este mismo ejercicio se realizó con cada uno de los equipos críticos objeto de este proyecto, (la llenadora y el inspector de envase vacío) obteniendo los siguientes resultados:

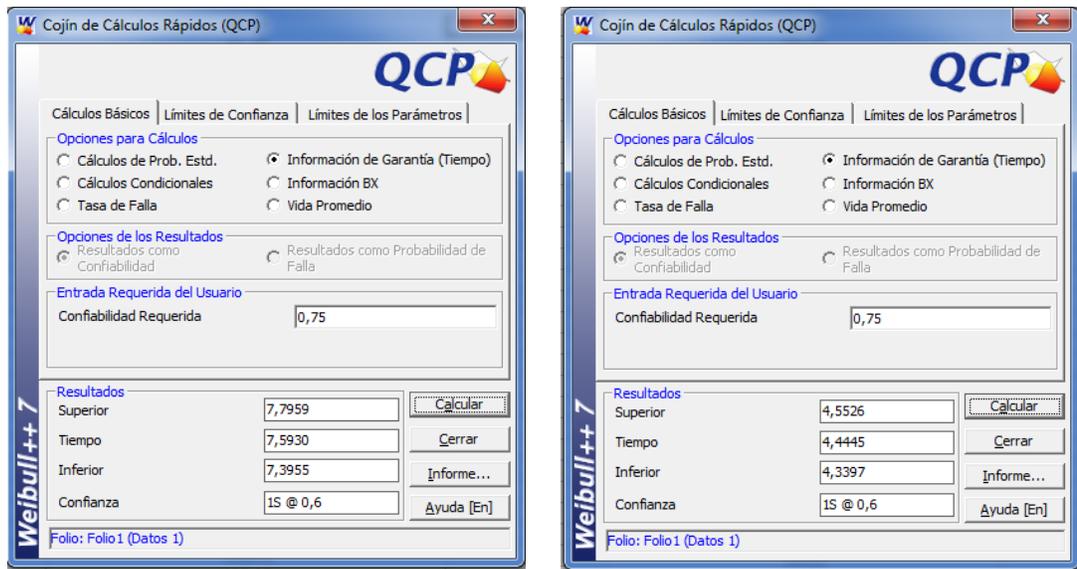
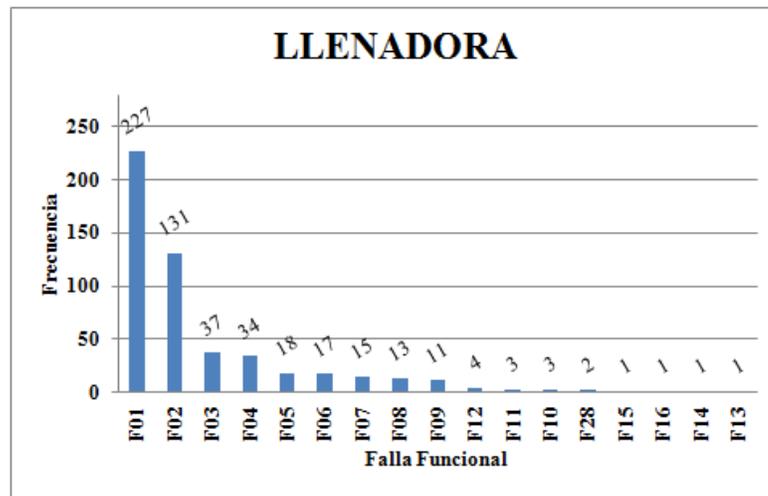


Figura 14. Calculo confiabilidad equipos críticos
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

Con estos cálculos se puede observar que para cada una de los equipos críticos los tiempos de intervención son más amplios, pero aun así son muy cortos debido a que para mantener la confiabilidad en 75% hay que intervenir los equipos aproximadamente cada 4 horas y media para no afectar ninguno de los equipos pero pasando por alto el más mínimo, la intervención seria cada 7 horas y media lo cual sigue siendo un tiempo de intervención demasiado pequeño.

7.7. CUANTIFICACIÓN DE EVENTOS POR MODO DE FALLA

Esta información se obtiene de la base de datos de las fallas registradas por los analistas encargados en SAP.



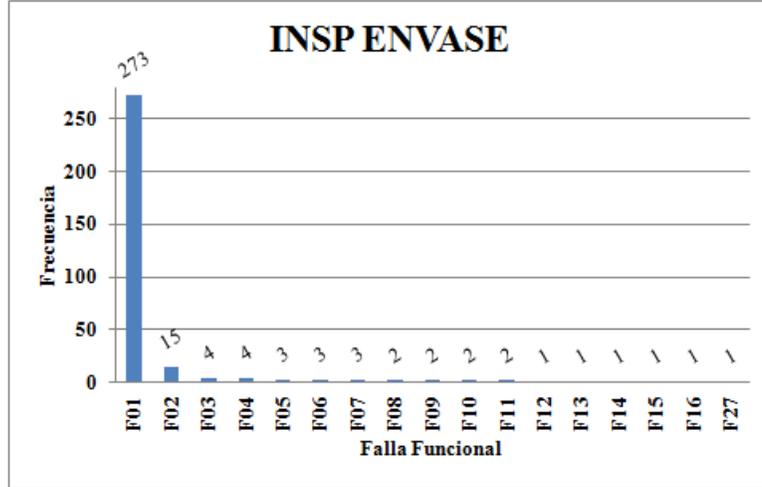


Figura 15. Cuantificación de eventos por modo de falla
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

7.8. ANÁLISIS RPN SEGÚN EFECTOS DE FALLA DEL INSPECTOR

El NPR (Numero de Prioridad de Riesgo) que se calcula para el Inspector de botellas vacías In Line, muestra que las fallas más recurrentes tienen que ver con el ajuste de las guías y correas de manejo de botellas, este procedimiento se hace difícil debido a la variedad de formatos que manejan las diferentes presentaciones de gaseosas. Por ejemplo, una gaseosa manzana, tiene hasta 3 envases diferentes tanto en forma de la botella como en impresión de logo. Este es un procedimiento que se debe hacer con personal calificado.

Esta máquina tiene frecuencias de limpiezas altas, debido a que los transportadores alcanzan a llevar cuerpos extraños hacia el inspector que afectan las tolerancias de los conjuntos rechazadores de botellas con desperfectos, suciedad en las correas transportadoras, suciedad en los tornillos calibradores de distancias de las guías de manejo de botellas.

$$\text{CONSECUENCIA} = [(IO * FL) + CO + SHA]$$

$$\text{NPR} = C * F$$

Efecto de Falla	NPR	Frecuencia (F)	Consecuencia ©	Impacto operacional (IO)	Flexibilidad (FL)	Costo Operacional (CO)	Seguridad Ambiente e Higiene (SAH)
Evidente/No evidente: Si Está mal seleccionado el programa de envases (formato y presentación)	6	3	2	1	1	1	0
Evidente/No evidente: Si Hay fragmentos de vidrio u objetos extraños en la zona de rechazo	0		0				
Evidente/No evidente: Si Está la presión de aire suministrada más baja de 6 bar o vacila fuertemente	0		0				
Evidente/No evidente: Si Se mueven difícilmente los segmentos. Verificar el regulador de filtros para el suministro de aire comprimido para detectar agua de condensación, en caso necesario vaciarlo. Abrir la tapa de protección del sistema de rechazo. Limpiar los segmentos de fragmentos de vidrio y objetos extraños.	48	4	12	4	2	2	2
Evidente/No evidente: Si	0		0				

Está introducido incorrectamente la distancia para el sistema de rechazo en el registro de desplazamiento							
Evidente/No evidente: Si Funciona el generador de impulsos incorrectamente, velocidad diferente de cero antes de arrancar el equipo.	0		0				
Evidente/No evidente: Si No está correctamente ajustada la guía de barandas	24	4	6	4	1	2	0
Evidente/No evidente: Si Las correas transportadoras se encuentran en mal estado; alongadas de modo que pierden el paso del piñón que las acciona, con excesivo desgaste por mala lubricación o mala limpieza, excesivo desgaste por cumplimiento de vida útil.							
Evidente/No evidente: Si No está correctamente ajustada la guía de barandas							
Evidente/No evidente: Si No es correcto el ancho entre las correas de transporte							
Evidente/No evidente: Si No esta correctamente accionada la correa transportadora							
Evidente/No evidente: Si Hay fragmentos de vidrio u objetos extraños en la zona de entrada							
Evidente/No evidente: Si No es correcta la distancia entre el sensor y el envase	40	4	10	4	2	2	0
Evidente/No evidente: Si Está seleccionado el programa incorrecto de envases							
Evidente/No evidente: Si Está sucio el sensor							
Evidente/No evidente: Si Está incorrectamente ajustada la sensibilidad del sensor							

Evidente/No evidente: Si El equipo de alimentación del flash (DSD) no está conectado.							
Evidente/No evidente: Si Está sucio el trigger para el accionamiento del flash							
Evidente/No evidente: Si No funciona el generador de impulsos							
Evidente/No evidente: Si Falló la lámpara de flash							
Evidente/No evidente: Si No es correcto el ajuste vertical							
Evidente/No evidente: Si Están sucias las lentes del trigger							
Evidente/No evidente: Si Esta desajustada la sensibilidad de la barrera fotoeléctrica							
Evidente/No evidente: Si Está seleccionado el programa incorrecto de envases							
Evidente/No evidente: Si Es incorrecto el ajuste vertical y horizontal							
Evidente/No evidente: Si la presión de aire suministrada es más baja de 6 bar o vacila fuertemente							
Evidente/No evidente: Si Está la presión de aire más baja de 3 bar, en caso del DELTA-K							
Evidente/No evidente: Si Dispara el trigger delante del sistema de rechazo							
Evidente/No evidente: Si No se cuentan los envases							
Evidente/No evidente: Si Está seleccionado el programa correcto de envases	9	3	3	2	1	1	0
Evidente/No evidente: Si Es correcto el ajuste vertical, horizontal y de ancho							
Evidente/No evidente: Si							

Se cuentan todos los envases							
Evidente/No evidente: Si Se cuentan en un dispositivo de reconocimiento o inspección especialmente muchos fallos.							
Evidente/No evidente: Si Se rechazan más envases que los envases defectuosos que se contaron							
Evidente/No evidente: Si No está conectado el interruptor principal	30	3	10	4	2	2	0
Evidente/No evidente: Si No está el conmutador selector para el modo de operación en automático							
Evidente/No evidente: Si Se ha activado el stop de emergencia para todo el equipo							
Evidente/No evidente: No Está interrumpido un interruptor de seguridad de puertas							
Evidente/No evidente: No Está interrumpido un sensor de luz de seguridad							
Evidente/No evidente: No El generador de impulsos no avisa movimientos de cinta							
Evidente/No evidente: No respondió el control de aire comprimido							

Tabla 13. Análisis RPN según efectos de falla del inspector
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

7.9. ANÁLISIS RPN SEGÚN EFECTOS DE FALLA DE LA LLENADORA

De acuerdo a los valores que se le han asignado a cada uno de los parámetros que hacen parte de la ecuación para calcular el NPR, se logra identificar cuáles son los eventos de falla que más se presentan y se procede a darle valores a cada uno de las medidas de la ecuación. Con respecto a la tabla 10, los NPR más altos nos indican la falla más frecuente de la llenadora y en su contexto operacional, generan un impacto negativo.

Estos valores que se dan en cada uno de los términos de la ecuación, son valores propuestos de acuerdo a las observaciones realizadas en calificaciones de entes reguladores del correcto funcionamiento para la producción de productos alimenticios.

$$\text{CONSECUENCIA} = [(\text{IO} * \text{FL}) + \text{CO} + \text{SHA}] \quad \text{NPR} = \text{C} * \text{F}$$

Efecto de Falla	NPR	Frecuencia (F)	Consecuencia (C)	Impacto operacional (IO)	Flexibilidad (FL)	Costo Operacional (CO)	Seguridad Ambiente e Higiene (SAH)
Evidente/No evidente: Sí El rociador del tubo de venteo esta deteriorado no formando una pantalla uniforme para hacer un flujo laminar por las paredes internas de la botella a medida que se va llenado por fuerza de gravedad.	24	4	6	4	1	2	0
Evidente/No evidente: Sí No se acciona el sniff (desfogue) ubicado en la base de la válvula, permitiendo que no se desaloje el residual alojado en el tubo de venteo, después que la válvula ha sido cerrada totalmente..							
Evidente/No evidente: Sí Goma que hace sello en el centrador de picos, esta deteriorada y no hace sello permitiendo que se genere turbulencia formando espuma.							
Evidente/No evidente: Sí El tubo de venteo esta doblado, haciendo que de dañen los rociadores por impacto o, no se haga un llenado uniforme.							

Evidente/No evidente: Sí El cono del líquido esta dañado de modo que no se hace sello adecuado.							
Evidente/No evidente: Sí El piñón de maniobra se a desplazado y no esta siendo accionado correctamente, de tal manera, que la válvula puede estar quedando abierta.	20	4	5	4	1	1	0
Evidente/No evidente: Sí Los dispositivos de suspensión de las tulipas están torcidos de forma que no reciben la botella bien centrada.	36	4	9	4	2	1	0
Evidente/No evidente: Sí La temperatura del la bebida esta fuera del parámetro	0		0				
Evidente/No evidente: Sí Platinas receptoras descalibradas, generando pivote y provocando rebote de bebida.	36	4	9	4	2	1	0
Evidente/No evidente: Sí Perdida de tiempos receptores en manejo de estrellas y guías							
Evidente/No evidente: Sí Escapes por empaques de árbol central	40	4	10	4	2	2	0
Evidente/No evidente: Sí Flotadores de des-aireación y aireación, des-calibrados.							
Evidente/No evidente: Sí Falla válvula reguladora de presión producto entrada llenadora.							
Evidente/No evidente: Sí Regulador de aire contrapresión presenta falla.							
Evidente/No evidente: Sí Diferencia de altura en los receptores de tapa	40	4	10	4	2	2	0
Evidente/No evidente: Sí Conductos de aire en falla							
Evidente/No evidente: Sí Tapas defectuosas o de distinta medida							
Evidente/No evidente: Sí Disco de tolva con muelles rotos, los cuales ahuecan las tapas							

Evidente/No evidente: Sí Rodamientos en mal estado o desgaste excesivo en rueda dentada que ahueca la tapa							
Evidente/No evidente: Sí Canal conducto de tapa presenta elementos desgastados							
Evidente/No evidente: Sí Excesivo polvillo desprendido o de las tapas, Desperfectos en pintura de las tapas o, no se realiza limpieza ocasionalmente.							
Evidente/No evidente: Sí Desajuste entre componentes	9	3	3	2	1	1	0

Tabla 14. Análisis RPN según efectos de falla de la llenadora
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

7.10.IMPACTO EN LA EFICIENCIA DE LA LINEA

De acuerdo a las inquietudes planteadas en el presente trabajo de grado, obtener un mejoramiento continuo que mantenga una eficiencia promedio cuatro puntos por arriba del promedio actual y que además sea constante, es posible. El mantenimiento basado en confiabilidad encaja fácilmente dentro del mejoramiento continuo de la planta.

Como departamento de mantenimiento de maquinaria, se debe garantizar que los equipos de las líneas de producción estén trabajando de acuerdo a las características para las que fueron diseñados. Se espera que el rendimiento mecánico completo de la línea sea mayor o igual al 90 % y que la tasa de utilización de la línea completa sea mayor o igual a 75%.

El departamento de producción maneja el tiempo total pagado que hace relación al tiempo pagado en minutos que fue utilizado para realizar las actividades establecidas de producción, saneamiento, mantenimiento y paros especiales autorizados de la línea de producción.

Este tiempo de mantenimiento corresponde al tiempo pagado en minutos que está disponible la línea para que sean ejecutadas las labores de mantenimiento, de ser necesarias. Sin embargo cuando el tiempo no es autorizado, cada minuto que este para la línea por falla mecánica también tiene un costo.

En las industrias productoras de bebidas se maneja un parámetro llamado cajas convertidas, que significa llevar cada uno de los formatos de cada línea a un valor de una caja de 24 unidades y cada botella de 8 onzas con el fin de controlar los costos directos (material de empaque, agua, azúcar, gas carbónico, edulcorantes y esencias, empaque no retornable), costos que son los más representativos en la elaboración del producto final. Esta caja convertida tiene un valor común para todas las líneas de producción y se calculan para determinar cuántas cajas se producen mensualmente para promediar los valores unitarios de los costos fijos, costos directos y costos variables.

El valor con el que podemos calcular lo que se pierde en dinero por la parada de la llenadora un minuto de tiempo o, por que se baje la eficiencia mecánica un punto, se calcula con las cajas físicas reales de 12 onzas por 30 unidades en el caso de la línea 3. En las demás líneas se realiza el mismo ejercicio con los otros formatos como el de litrón bolsa bag in box, paquete de latas 237 ml y 330 ml. Este valor sale de dividir la inversión total en materia prima (costos directos), en el número de cajas reales producidas en el mes en cada una de las líneas.

De esta forma se obtienen diferentes valores por línea los cuales se promedian y se saca otro valor común para todas las líneas. Con este valor si podemos calcular lo que se está perdiendo en dinero por las eventualidades mencionadas anteriormente.

En el caso de la línea tres tenemos por un minuto de parada por maquinaria se pierde:

Velocidad de la llenadora: 750BPM

En una hora 45000 unidades

45000 unidades dividido en 30 unidades por caja = 1500 cajas por hora

1500 cajas por hora se dividen en 60 minutos = 25 cajas por minuto

25 cajas por minuto se multiplican por el valor común calculado con las cajas físicas reales.

Por un punto de eficiencia mecánica que se baje, la empresa se deja de recibir:

45000 unidades es el 100%

99% ¿cuánto es?:

Se hace una regla de tres y se obtiene un valor de 44550 unidades por hora. Se calcula la diferencia y se tiene una cantidad de 450 botellas que se dejan de producir y que equivalen a 15 cajas que se dejan de producir y que se multiplican por el valor común calculado con las cajas reales.

Con claridad se puede ver cómo afecta las fallas de maquinaria y cuanto le cuesta a la empresa. El origen de estas situaciones tiene que ver con la ejecución estricta y ordenadamente de los trabajos programados de mantenimiento. Es necesario intervenir con un programa que mejore el plan de mantenimiento actual y que ayude capacitando al talento humano que conforma el departamento de mantenimiento. De igual forma, identificando los puntos críticos como lo es el argumento de este proyecto, se debe asignar un mayor presupuesto para llevar a punto el caso específico de la llenadora.

8. MODIFICACIÓN PLAN MATTO ACTUAL LLENADORA DE BOTELLAS

LLENADORA								
Descripción Tarea	Descripción operación	Implementado			Sugerido			OBSERVACIONES
		Horas	Pers	Frec	Horas	Pers	Frec	
Mtto Mecánico Sistema Motriz Llenadora	mtto caja N° 1 1204,11,01,268/2	16	1	1 ^a	16	2	1A	Modificar cantidad de personas. Mínimo 2 personas y en determinados momentos 3 personas, por difícil manipulación del equipo, debido al peso y a al tamaño.
	mtto caja N° 2 301112,21,001/0	16	1	1 ^a	16	2	1A	Modificar cantidad de personas. Mínimo 2 personas y en determinados momentos 3 personas, por difícil manipulación del equipo, debido al peso y al tamaño.
	mtto caja N° 11 A 1204,11,01,165/3	16	1	1 ^a	8	2	6M	Este mantenimiento está planeado para hacerlo anual. En un periodo de 7 meses se ha realizado 3 veces, incluyendo la reparación de la caja de repuesto. Estos desajustes generan que se aumente la frecuencia de intervención de otras cajas. Se requiere 2 personas.
	mtto caja N° 11B 1204,11,01,165/3	16	1	1 ^a	16	1	1A	OK
	mtto caja N° 12 301112,21,004/0	16	1	1 ^a	8	2	6M	Este mantenimiento está planeado para hacerlo anual. En un periodo de 7 meses se ha realizado 3 veces, incluyendo la reparación de la caja de repuesto. Estos desajustes generan que se aumente la frecuencia de

								intervención de otras cajas. Se requiere 2 personas.
	mtto caja N° 19 1204,11,01,166/6	16	1	1ª	16	2	1A	Modificar cantidad de personas. Mínimo 2 personas y en determinados momentos 3 personas, por difícil manipulación del equipo, debido al peso y al tamaño.
	Mtto engr helicoidal 1204,01,01,009/6	16	1	1ª	16	2	1A	Modificar cantidad de personas. Mínimo 2 personas y en determinados momentos 3 personas, por difícil manipulación del equipo, debido al peso y al tamaño.
	mtto gatos elevadores tazón llenadora	8	1	1ª	16	2	1A	Se requiere dos personas mínimo para realizar este trabajo. Se debe aumentar a 16 horas para realizar este trabajo.
Mtto Mecánico Sistema Coronado Llenadora	Mantenimiento reductor tolva de tapa.	2,0	1	1ª	2,0	1	1A	No se cumple frecuencia. No se han registrado eventos, durante 2 años aproximadamente.
	revisión disco distribuidor de tapa	2,0	1	6M	4	1	3M	La frecuencia con la que se cambia el buje centrador es más alta, se requiere mecánico de ajuste en torno. Es un trabajo que no dura menos de 4 horas en promedio. Esta frecuencia se podría cumplir desde que se garantice la calidad de la mano de obra en cuanto a ajustes.
	verificar estado de los rodillos polea distribuidora	2,0	1	6M	2,0	1	6M	OK

	verificar estado de polea y correa dentada	2,0	1	6M	2,0	1	6M	OK
	revisión de pistones coronadores	16,0	1	1ª	16,0	2	1A	Mínimo 2 personas para disminuir el tiempo de intervención, por tamaño y peso
	revisión y/o cambio de plataformas	2,0	1	3M	2,0	1	3M	OK
	revisión canal distribuidor de tapa	2,0	1		2,0	1	3M	No tiene frecuencia establecida en el plan. En el periodo de estudio se realizan dos intervenciones con una separación de 3 meses. Se evalúa ajuste de tornillería, desgaste de elementos y transferencias.
	revisión y limpieza de boquillas	2,0	1		6	1	1M	No tiene frecuencia establecida en el plan. Esta verificación la hace un operario diariamente. De acuerdo como indica el plan de mantenimiento actual y lo recomendado por los fabricantes, se está hablando de inspección y limpieza que debe hacerse semanal o cada 40 horas de operación. Este procedimiento incluye bajar las boquillas cerradoras y verificar desgastes para evaluar la vida útil de los elementos cerradores. Observando la base de datos de órdenes de la línea 3, encontramos que este mantenimiento no se realiza con la frecuencia indicada. Este mantenimiento se está realizando en promedio cada 42,2 días. El tiempo

								de intervención se debe modificar a 6 horas debido a que ese es el tiempo real que actualmente se está indicando.
Mtto Mecanico Alimentador Tapa Llenadora					6	1	6M	No tiene una frecuencia establecida ni operaciones. Preventivamente se debería revisar semestralmente con una intervención de 6 horas.
Mtto Mecánico Sistema Llenado	revisión de válvulas de llenado.	8	1	3M	8	2	3M	Se requiere mínimo 2 personas por la cantidad de elementos y para cumplir con el tiempo de intervención.
	revisión y mtto de mariposas	8	1	6M	8	2	6M	Se requiere mínimo 2 personas por la cantidad de elementos y para cumplir con el tiempo de intervención.
	mtto mando de apertura y cerrado	4	1	3M	4	1	3M	OK
	mtto de flotador de ventilación y aireación	2	1	6M	4	1	6M	OK
	revisión de válvulas de desfogue	1	1	6M	1	1	6M	OK

	revisión de árbol central	4	1	1ª	4	1	1A	OK
	mtto mando de descarga. Verificar	2	1	3M	2	1	3M	OK
	revisión y/o cambio de gomas y rociadores	2	1	14D	2	1	14D	OK
Recambio empaque y sniff válvulas de llenad 3	Cambio de sniff válvulas de llenado	3	1	3M	3	1	3M	OK
	cambio de empaquetadura y resortes	3	1	3M	3	1	3M	OK
Mtto MecSist Manejo Bot Llenadora	Revisión de pistones elevadores.	1,0	1	7D	1,0	1	1M	La frecuencia del plan no se está cumpliendo. En el periodo (7m) de estudio se intervino el sistema de cilindros elevadores en 8 oportunidades de las cuales 3 fueron mantenimientos correctivos.
	inspección carrusel de la llenadora	0,5	1	6M	0,5	1	6M	OK
	inspección de pista para pistones	0,5	1	6M	0,5	1	6M	OK
	revisión de centradores de pico	8,0	1	3M	8,0	1	3M	Centradores que requieren de tareas de ajuste donde se necesita demasiado tiempo para su mantenimiento. Además presentan una vida muy avanzada y se espera que pronto sean cambiados por el

								sistema de centradores de tulipas utilizado en la llenadora N° 2, los cuales son mucho más prácticos para su mantenimiento.
	revisión de separadores de explosión	1,0	1	7D	1,0	1	7D	OK
	mtto de estrellas de entrada y salida	3,0	1	1M	3,0	1	1M	OK
	revisión tornillo sin fin	1,0	1	1M	1,0	1	1M	OK
	mantenimiento platinas de transferencia,	2,0	1	1M	2,0	1	1M	La frecuencia es correcta, pero se presenta una variación en el número de días entre mantenimientos, teniendo un dato de 17 días y otro de 55 días. El promedio de los mantenimientos realizados es de 33,3 días.
	revisar estado de duchas de lavado	0,5	1	1M	0,5	1	1M	OK
Verificación Contenido 12 OZ	verificación de contenido			1M	4	1	1M	Verificar longitud y ajuste de tubos de venteo. Esta función se realiza en conjunto con el operario. La frecuencia no se está cumpliendo y hay eventos avisados donde se registra tubos caídos en botellas en plena producción.

Sellado Coronadora	verificación sellado			7D	4	1	1D	Esta verificación la hace un operario diariamente. De acuerdo como indica el plan de mantenimiento actual y lo recomendado por los fabricantes, se está hablando de inspección y limpieza que debe hacerse semanal o cada 40 horas de operación. Este procedimiento incluye bajar las boquillas cerradoras y verificar desgastes para evaluar la vida útil de los elementos cerradores. Observando la base de datos de órdenes de la línea 3, encontramos que este mantenimiento no se realiza con la frecuencia indicada. Este mantenimiento se está realizando en promedio cada 42,2 días.
								PERDIDAS DE FRECUENCIAS
								SUGERENCIAS Y MODIFICACIONES
								OBSERVACIONES
								MTTOS QUE NO SE CUMPLEN

Tabla 15. Modificación plan mtto actual llenadora de botellas
Fuente: Leonardo Aguiar y Hender Rodríguez

En la tabla 15 se describe la modificación del plan de mantenimiento que se propone para encaminar el aumento de la eficiencia mecánica propuesta de la para la línea de producción de gaseosas nº 3. De acuerdo a la tabla de colores que se encuentra al final se puede identificar cada una de las observaciones hechas y las modificaciones que se proponen después de estudiar detalladamente las frecuencias del plan de mantenimiento actual. Cada observación se debe relacionar independientemente con una pérdida de frecuencia, con una modificación o con un mantenimiento que no se cumple.

9. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

Teniendo en cuenta la disponibilidad de la empresa y los estudios realizados por parte de los ponentes, se determina el siguiente modelo para el plan de implementación del mantenimiento planificado basado en confiabilidad:

La primera etapa se compone de la capacitación del personal por departamentos, la temática a trabajar es unificar parámetros de trabajo y de lenguaje, no solo en el departamento de mantenimiento sino en producción también, así mismo la planta genera un lenguaje y una codificación de máquinas y de fallas organizada, permitiendo que las propuestas que se realicen para optimizar tiempos y procedimientos, den mayor resultado. Inicialmente se busca generar interés por el mantenimiento centrado en confiabilidad y una vez aprobado esta iniciativa, vendría una parte de teoría que sería básicamente para conocer las herramientas necesarias y como se deben usar, para que todos aporten a la consecución de información real y de valor, de todos los aspectos que se pueden mejorar en el funcionamiento del equipo de mantenimiento de maquinaria. Esta primera etapa debe tener una intensidad horaria que se puede acomodar a la disposición de la empresa.

También dentro de las capacitaciones se debe hacer consiente a todo el personal de la importancia y la responsabilidad que tiene cada uno en el momento de manejar datos y generar o modificar ordenes de trabajo, de servicio, solicitud de materiales, requisición de materiales, proyectos de mejora, etc.

En la segunda etapa se mejorara el uso de la documentación que ya se está manejando en la empresa como lo son las hojas de inspección y el cumplimiento real de los recorridos de inspección.

En la tercera etapa se generara la rotulación de los puntos de lubricación no solo de los equipos críticos sino en todas las máquinas y/o equipos de la línea de producción con la información no solo del lubricante que se le adiciona sino también la frecuencia y la fecha en que se le realizo la última intervención, así se genera menos paradas por falta de lubricación y extiende la vida útil de los engranajes en la línea de producción.

En la cuarta etapa se empezarán a terminar los trabajos por completo en los fines de semana, porque cuando se realiza una intervención los fines de semana se realizan las pruebas de seguridad, de funcionamiento y ajustes. De esta forma se busca disminuir trabajos correctivos en las horas de producción, que generan pérdida de tiempo, bajando las eficiencias en el arranque de la semana.

Adicionalmente a las etapas propuestas en el plan de implementación se sugiere tener en cuenta para las intervenciones de las fallas registradas en las máquinas, los diagramas de toma de decisiones que se encuentran relacionados en las anexos 7 pagina 90 y anexo 8, solución de problemas de llenado.

CONCLUSIONES

- Para elevar la eficiencia promedio de la línea de producción en tres puntos de eficiencia, se debe asignar más presupuesto a la llenadora para llevarla a punto, donde las fallas más relevantes tienen que ver con el manejo de las botellas y el sistema de transmisión.
- Los datos registrados en el único sistema de almacenamiento de datos de la compañía SAP no son óptimos para realizar un análisis de confiabilidad que ayude a tomar decisiones y pueda elevar la eficiencia de la línea.
- El cumplimiento del plan de mantenimiento actual no se está cumpliendo a cabalidad por esto se están presentando fallas en los equipos críticos que afectan más del 50% de los tiempos de parada de la línea.
- Con el análisis de modos y efectos de falla realizado a los equipos críticos de la línea y teniendo en cuenta el número de prioridad de riesgo (RPN), ejecutando las modificaciones del plan de mantenimiento propuesto y utilizando el plan de implementación con las etapas propuestas, se espera recuperaran los tres puntos porcentuales en la disponibilidad operacional de la línea.
- El plan de lubricación tiene deficiencias en el cumplimiento de las frecuencias por esto se presentan fallas mecánicas. Se ha mejorado gradualmente la vida útil de las guías de las correas transportadoras y correas transportadoras pero aun así se ha encontrado lubricación defectuosa debido a puntos desconectados y fugas.
- Si se trabaja en conjunto con el operario de producción es rápido el ajuste del manejo de botellas del inspector de envase. Las fallas donde presentan estrelladas de la máquina tienen que ver con el mal manejo de las botellas.
- Al perder la frecuencia de un mantenimiento programado ya sea por debajo o por encima del tiempo establecido, no solamente se afecta el presupuesto asignado por mantenimiento de maquinaria, sino que también al ser uno de los presupuestos más altos asignados y que tiene que ver directamente con la producción del producto final, se afecta el costo unitario de cada caja producida.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos, se recomienda que para elevar la eficiencia promedio de la línea y mantenerla constante, se debe empezar por facilitar herramientas y capacitar mejor a las personas encargadas de registrar la base de datos de la operación de equipos como la Llenadora e Inspector de envase, para que sea posible identificar cual es realmente el evento que se presenta, y si es en la parte operativa o mecánica del equipo. El registro de la información de los tiempos perdidos debe ser claro y preciso. En repetidas ocasiones se encuentran incoherencias en tiempos perdidos registrados y no son claros los avisos generados de la parada y la causa de la falla.
- En la Llenadora de envase, se encuentran elementos de la transmisión principal que presentan una vida avanzada de trabajo y tienen una frecuencia de intervención que se sale de la programada en el plan de mantenimiento actual. El engranaje cónico (caja N° 11, figura N° 16 de la transmisión hacia el tornillo sin fin del manejo de botellas a la entrada y el engranaje cónico (caja N° 12 figura N° 16) de la transmisión hacia el piñón de ataque del tazón; son los elementos que mayor intervención presentan, ocasionando desajustes en los demás engranajes cónicos con los que conectan. Es necesario evaluar la reposición de estos componentes.

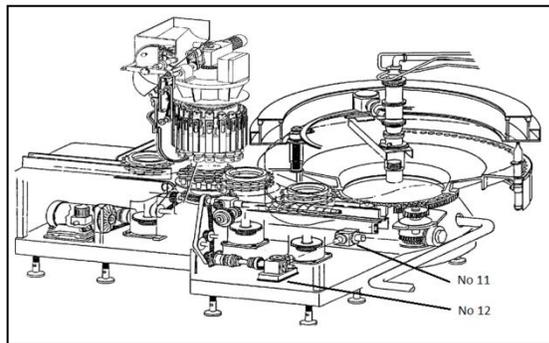


Figura 16. Llenadora H&K

Fuente: Holstein und Kappert. Catálogo de partes llenadora

- El 1% de las fallas registradas en el sistema eléctrico de la llenadora y el inspector de envase, se originan a causa de inadecuados procedimientos de limpieza, donde no protegen correctamente los equipos y donde no se supervisan adecuadamente las operaciones realizadas. Se concluye que para obtener buenos resultados de eficiencias, se debe contar plenamente con la colaboración de la protección de los equipos en los procedimientos de limpieza, porque en el momento que se daña un equipo eléctrico de forma inesperada, estos datos están siendo registrados a las máquinas.
- La frecuencia de inspección de los cilindros elevadores no se está cumpliendo con rigurosidad de acuerdo al plan, donde se indica que se debe hacer una inspección cada 7 días. Se presentan fallas como caída de espejos reflectores (tapón hembra),

desajustes en las vías de desplazamiento que llevan hasta el límite de los elementos de desgaste y en ocasiones hay fricciones entre metal con metal; produciendo mal acomodamiento de la botella. En un periodo de 7 meses, la llenadora fue intervenida 8 veces por cilindros elevadores, de las cuales 3 veces fueron mantenimientos correctivos. Se recomienda realizar los mantenimientos preventivos programados y ser estrictos en el cumplimiento de las frecuencias de intervención, garantizando las pruebas que se realizan en los equipos intervenidos previamente a la producción.

- La lubricación de los equipos se está realizando de forma desorganizada y tiene que ver con la información recibida y el cumplimiento con calidad del talento humano responsable de estas operaciones. Se debe mejorar el procedimiento de lubricación de la llenadora, donde se trabaje con un esquema o diagrama de lubricación, indicando cada uno de los puntos de lubricación de la máquina y las frecuencias establecidas. Es necesario que el lubricador encargado de ejecutar la orden de trabajo este en la capacidad de notificarla parcial o totalmente, de no ser así, no se podrá tener un control de las frecuencias y del consumo real de lubricantes.

GLOSARIO

MANTENIMIENTO: Conjunto de procesos que permiten diagnosticar, gestionar e intervenir sistemas, equipos, componentes o partes cuyo fin es preservar o restituir las condiciones que les permita desarrollar su función. Comprende un conjunto de actividades técnicas y administrativas.

FALLA DE DISEÑO: Incapacidad de funcionamiento causada por no contemplar los esfuerzos o exigencias a las que realmente está sometida la pieza, el sistema, componente o parte desde sus cálculos iniciales antes de la fabricación.

FALLA HUMANA: Acción o maniobra errada que conduce a la afectación o daño de los sistemas, equipos, componentes o partes.

CONFIABILIDAD: Probabilidad que un de un sistema, equipo, componente o parte no falle o funcione correctamente en un determinado tiempo en unas condiciones dadas y con unos rendimientos definidos.

MANTENIBILIDAD: Probabilidad de ser reparado en un tiempo predeterminado, se refiere a la variabilidad de los tiempos de reparación, que es muy grande por los numerosos factores que pueden intervenir.

DISPONIBILIDAD: Capacidad de un sistema, equipo, componentes o parte para desarrollar su función en un determinado momento, o durante un determinado período de tiempo, en condiciones y rendimiento definidos.

CICLO DE VIDA: Tiempo durante el cual un equipo, sistema, componente o parte conserva su capacidad de utilización. Es el conjunto de fases que abarcan desde su puesta en marcha hasta, que es sustituido, o es objeto de restauración o reparación (Diseño, fabricación, instalación, pruebas, mejoras, remplazo).

EQUIPO: Unidad compleja, de orden superior, integrada por conjuntos, componentes y piezas, agrupadas para formar un sistema funcional.

PLANEACIÓN DEL MANTENIMIENTO: Relación detallada de las actuaciones de mantenimiento que requiere un equipo, sistema, componente o parte y de los intervalos con que deben efectuarse. Término equivalente a plan de mantenimiento.

CURVA DE LA BAÑERA: Representación gráfica característica que relaciona la tasa de fallas de un equipo, sistema, componente o parte con su tiempo de operación.

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (TMEF): Tiempo esperado entre dos averías sucesivas de un elemento reparable. Podría considerarse cómo el tiempo esperado sin fallar o de servicio continuo. Es inverso a la tasa de fallas. Se calcula cómo el promedio aritmético de los tiempos entre fallas sucesivas.

HOJA DE VIDA: Registro de las incidencias, averías, reparaciones y actuaciones en general que conciernen a un determinado equipo, sistema, componente o parte. Equivale al término historial o ficha histórica.

COSTO DIRECTO DEL MANTENIMIENTO: Egresos generados de las actividades de mantenimiento sobre equipos, sistemas, componentes o partes tales como gastos en mano de obra técnica, materiales consumibles, repuestos, servicios contratados, costos de supervisión y otros recursos usados en la conservación de la maquinaria e instalaciones.

COSTO INDIRECTO DEL MANTENIMIENTO: Egresos generados de la administración de mantenimiento como fungibles, recursos humanos en la dirección o gestión, gastos de oficina, alquiler de software y demás recursos que hacen posible organizar el mantenimiento. El costo indirecto de mantenimiento no tiene relación alguna con los costos derivados de los trabajos propiamente sobre los equipos y generalmente se suele confundir con el costo de las fallas.

PRESUPUESTO: Valoración estimada de los gastos en mano de obra propia, materiales de repuesto y servicios contratados prevista por la organización de mantenimiento para un período, generalmente anual.

REPUESTOS DE ALTA ROTACIÓN: Toda actividad de mantenimiento requiere de cierta cantidad de repuestos, parte de estos repuestos se consideran de alta rotación, debido a que se consumen frecuentemente, y por tal razón es necesario tener una cantidad determinada para suplir los requerimientos de consumo de repuestos.

REPUESTOS DE BAJA ROTACIÓN: Son aquellos que su consumo, no es frecuente, ya sea por su larga vida útil, alto costo o su bajo requerimiento.

VIDA ÚTIL: lapso de tiempo en el cual el fabricante garantiza un normal funcionamiento bajo condiciones normales; si es efectuado correctamente su operación y mantenimiento.

BASTIDOR: estructura de un transportador.

ENGRANAJE CONICO: caja de piñones cónicos de alta velocidad.

CARRETAS: elemento ubicado en el eje conducido de un sistema de transmisión por cadena table top.

ESTRELLA: elemento que traslada la botella entre la entrada y la salida de los equipos.

TRANSFERENCIA: elementos de acero que permiten que la botella se deslice fácilmente cuando es transportada por las estrellas y cuando es entregada de una estrella a otra.

REDUCTOR: caja de piñones que transmite el movimiento reduciendo la velocidad.

BIBLIOGRAFIA

ALVARADO, Andrés. Informe final acción correctiva: Mejoramiento de la eficiencia productiva en la línea 3 Gaseosas Colombianas Sur. Bogotá D.C. Septiembre 2011.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIEROS (ACIEM). Glosario Básico de Términos de Mantenimiento en Colombia. Bogotá D.C. 1ª edición. Mayo 2012.

BRITISH STANDARD, Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. BS EN ISO 14224:2006

GÓMEZ, Iván. Introducción al Mantenimiento Estratégico. Edición 1. Colombia. 2006. pág. 120

-----,----- Edición 1 Colombia (2006), pág. 120

HOLSTEIN UND KAPPERT. Catálogo de partes llenadora.

HEUFT. Catálogo de partes Inspector de botellas vacías In Line.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486 Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008.

-----, Referencia bibliográfica, documentación, documento electrónico. NTC 4490 ICONTEC, 1998.

LONDOÑO GIRALDO, Beatriz y LÓPEZ ZAPATA, Esteban. Las estrategias competitivas de Coca-Cola y Postobón. Universidad de Antioquia. Marzo 2009.

MURILLO, William. Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en planta de alimentos. Julio 2010.

PASCUAL, Rodrigo. Gestión Moderna del Mantenimiento. Chile. 2002. Pág. 23

REFINERIA GIBRALTAR. Técnicas de Mantenimiento Industrial. España. Agosto 2004. Pág. 1.

-----,----- España. Agosto 2004. Pág. 9.

TORRES, Leandro. Mantenimiento su Implementación y Gestión. Editorial Universitas. Argentina. 2005. Pág. 137-138.

-----,----- Argentina. Editorial Universitas. 2005. Pág. 177-179.

Disponible en versión HTML en:

<http://www.historiadeantioquia.info/industrializacion-en-antioquia/resenahistorica-de-Postobón.html>

<http://www.mantenimientoplanificado.com/MANTENIMIENTO PREVENTIVO parte 1.pdf>.

<http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDeMantenimiento>.

<http://www.apvibraciones.com/pages/index/26-el-mantenimiento-predictivo?lang=es>

<http://www.mantenimientoplanificado.com>

<http://www.jupesa.com.ec/web/ensayos-no-destructivos.php>

<http://www.leonardoenergy.org/espanol/01/webinar-en-espanol>

<http://radiologia.foro.es.net/>

<http://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/Tipos+de+mantenimiento>

<http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDeMantenimiento>

<http://www.rcm-mantenimiento.appspot.com/>

<http://confiabilidad.net/articulos/el-camino-hacia-el-rcm/>

http://www.infomipyme.com/Docs/GENERAL/Offline/GDE_08.htm