

**DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA DETECCIÓN Y ELIMINACIÓN DE
FALLAS REPETITIVAS DE CORTA DURACIÓN EN EQUIPOS AUTOMÁTICOS**



AÍDA MARLENE ÁLVAREZ GUAQUEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2011

**DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA DETECCIÓN Y ELIMINACIÓN DE
FALLAS REPETITIVAS DE CORTA DURACIÓN EN EQUIPOS
AUTOMÁTICOS**

AÍDA MARLENE ÁLVAREZ GUAQUEZ

Monografía de Grado

**Presentada como requisito para optar el título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

Director

HUMBERTO ALVAREZ LAVERDE

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2011

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a DIOS por ser mi guía y fortaleza en este proceso de continuo aprendizaje.

Agradezco a mi Director de monografía, Dc. Alvarez por su valiosa dirección y colaboración.

Agradezco a mi empresa Syntofarma S.A. con la cual he crecido día a día, es mi escuela y segundo hogar. Agradezco al departamento de Ingeniería porque fue muy clave toda la información suministrada y por los tips para mejorar la realización de las actividades.

Agradezco a mi jefe Camilo Delgado por que me impulso a iniciar esta interesante especialización en un momento triste de mi existencia. Agradezco a mis compañeros de trabajo Fabio, Ricardo, José, William, Rafael, Jonathan y Jefferson por toda su enseñanza, consejos y colaboración.

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander por permitirme mirar más allá, cuestionarme, ver posibilidades de gestión en todo lo que hago y también por el amor y pasión a la Institución que siempre irradian con sus actos y palabras.

DEDICATORIA

**Dedico este esfuerzo a DIOS, a mi esposo John,
a mi hijo Camilo, a mis padres; y aprovecho
para agradecer su incondicional colaboración.
Uds. son mi motor que me impulsa a crecer
espiritual, moral e intelectualmente.**

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	16
1. MARCO CONTEXTUAL	17
1.1 LA EMPRESA	17
1.2 CUBRIMIENTO GEOGRAFICO DE LA EMPRESA	18
1.3 CADENA DE VALOR DE SYNTOFARMA	20
1.4 PRODUCTOS PRINCIPALES	21
1.5 CLIENTES REPRESENTATIVOS	22
1.6 OBJETIVOS	24
1.6.1 OBJETIVO GENERAL	24
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
2. MARCO TEÓRICO	25
2.1 CONCEPTUALIZACIÓN	25
2.2 CLASIFICACIÓN DE AVERÍAS	25
2.2.1 Debido al origen de la falla	25
2.2.2 Debido al mantenimiento en función de la capacidad de trabajo	27
2.2.3 Debido al mantenimiento en función de la forma de aparecer	27
2.3 EFECTO DE LA AVERÍAS	28
2.4 CONSECUENCIAS DE LAS AVERÍAS	29
2.4.1 Consecuencias de los fallos no evidentes	29
2.4.2 Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente	29
2.4.3 Consecuencias operacionales	29
2.4.4 Consecuencias que no son operacionales	29
2.5 FALLAS PRESENTADAS EN EQUIPOS AUTOMÁTICOS	30
2.5.1 Fallas repetitivas de corta duración	30
2.6 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	32

2.6.1 Pasos para hacer un análisis de criticidad	32
2.7 ANÁLISIS CAUSA/RAÍZ	33
2.7.1 Etapas del análisis causa raíz	34
2.7.2 Causas comunes de fallo	37
2.8 ANÁLISIS MODO EFECTO DE FALLA	37
2.8.1 Metodología del AMEF	40
2.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLA	42
2.9.1 Parámetros de escala β	43
2.9.2 Parámetros de forma α	43
2.9.3 Parámetro de forma δ	43
2.10 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD	43
2.10.1 Distribución Gama	43
2.10.2 Distribución Weibull	44
2.10.3 Distribución exponencial	44
2.10.4 Distribución Lognormal	45
2.11 CONFIABILIDAD	45
2.12 MANTENIBILIDAD	47
3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO	50
3.1 PLANTEAMIENTO DE MODELO PARA ESTUDIO DE FALLAS REPETITIVAS DE CORTA DURACIÓN EN EQUIPOS AUTÓMATICOS	50
3.1.1 Entradas	50
3.1.2 Proceso	50
3.1.3 Salidas	51
3.2 DATOS TÉCNICOS DE LA ENVASADORA ATOLLO R-24	51
3.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	52
3.3.1 Condiciones ambientales	53
3.3.2 Condiciones operacionales	53
3.4 RECOLECCIÓN DE INFORMACION	54
3.4.1 Origen de la informaión	54
3.4.2 Clasificación de la información	54

3.4.3 Información específica de mantenimiento	55
3.4.4 Fallas presentadas en la envasadora Julio	55
3.4.5 Fallas presentadas en la envasadora Agosto	58
3.4.6 Fallas presentadas en la envasadora Septiembre	60
3.5 PROCESO DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN	62
3.5.1 Análisis de criticidad	62
3.5.2 Criterios de riesgo	65
3.5.3 Evaluación criterios de riesgo	69
3.6 PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN	73
3.6.1 Proceso de planificación	73
3.6.2 Proceso de programación	74
3.6.3 Proceso de ejecución	74
4. CONCLUSIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	81

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Composición ventas Syntofarma	18
Figura 2. Cubrimiento geografico Syntofarma	19
Figura 3. Cadena de valor Syntofarma	20
Figura 4. Procesos de manufactura Syntofarma	21
Figura 5. Pareto clientes Syntofarma año 2008	22
Figura 6. Pareto clientes Syntofarma año 2009	23
Figura 7. Porcentaje debido al origen de la falla	26
Figura 8. Clasificaión de averías	27
Figura 9. Análisis de criticidad	32
Figura 10. Etapas del análisis causa raíz	35
Figura 11. Cadena de sucesos previos a una falla	39
Figura 12. Flujo de operación envasadora	51
Figura 13. Estructura del modelo planteado	53

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Moléculas por planta de producción	22
Tabla 2. Principales clientes por margen de contribución año 2008-2009	23
Tabla 3. Fallas reportadas en Julio	56
Tabla 4. Fallas reportadas en Agosto	58
Tabla 5. Fallas reportadas en Septiembre	60
Tabla 6. Codificación Fallas Funcionales y Modos de Falla	64
Tabla 7. Valores FO Fallos Ocultos	65
Tabla 8. Valores SF Seguridad Física	66
Tabla 9. Valores MA Medio Ambiente	66
Tabla 10. Valores IC Imagen Corporativa	66
Tabla 11. Valores IO Impacto Operacional	67
Tabla 12. Valores IFO Flexibilidad Operacional	67
Tabla 13. Valores FF Frecuencia de Fallas	67
Tabla 14. Valores D Detección de Fallas	68
Tabla 15. Estimación probabilística de valora criterios de severidad	69
Tabla 16. Evaluación Modos de Falla Envasadora R-24	70
Tabla 17. Modos de Falla Criticos	72
Tabla 18. Propuesta subdivisión de sistemas envasadora R-24	78

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Porcentaje de intervención operario de producción y mantenimiento Julio	56
Gráfico 2. Porcentaje de intervención operario de producción Julio	57
Gráfico 3. Porcentaje de intervención mantenimiento Julio	57
Gráfico 4. Porcentaje de intervención operario de producción y mantenimiento Agosto	58
Gráfico 5. Porcentaje de intervención operario de producción Agosto	59
Gráfico 6. Porcentaje de intervención mantenimiento Agosto	59
Gráfico 7. Porcentaje de intervención operario de producción y mantenimiento Septiembre	60
Gráfico 8. Porcentaje de intervención operario de producción Septiembre	61
Gráfico 9. Porcentaje de intervención mantenimiento Septiembre	61

ANEXOS

	pág.
Anexo A. CENTRO DE TRABAJO. Área envase automático R-24	82
Anexo B. TABLA DE CÓDIGOS. (Paradas generales del proceso)	84
Anexo C. TABLA DE PARADAS ESPECIFICAS.Efectos de fallas por equipos	86

RESUMEN

TITULO: DESARROLLO DE UN MODELO PARA LA DETECCIÓN Y ELIMINACIÓN DE FALLAS REPETITIVAS DE CORTA DURACIÓN EN EQUIPOS AUTOMÁTICOS. *

AUTOR: AIDA MARLENE ÁLVAREZ GUAQUEZ. **

PALABRA CLAVES: MODELO DE FALLAS, CRITICIDAD, MANTENIBILIDAD, CONFIABILIDAD.

DESCRIPCION: SYNTOFARMA S.A. es una compañía farmacéutica Colombia líder en maquila de medicamentos Betalactámicos en formas orales en Colombia y Latinoamérica, tiene como propósito además de cumplir con las especificaciones de los clientes destacarse por brindar un valor agregado, ser respetada y admirada en el ámbito farmacéutico por el servicio a sus clientes, los beneficios a la comunidad, el progreso de sus colaboradores y la rentabilidad para sus accionistas.

El modelo planteado surge por la necesidad de mejorar la productividad, de tomar decisiones acertadas, de optimizar la información de los procesos complementándola con datos importante de producción y mantenimiento, con el fin de evaluar eficazmente el desempeño de la envasadora automática R-24 en la planta.

El objeto del presente trabajo es presentar un modelo para detección de fallas frecuentes y generar compromisos o actividades a tener en cuenta para mejorar la productividad de la línea, teniendo en cuenta el estado real de la máquina y su historial de fallas, analizando y organizando la base de datos del departamento de Ingeniería de producción de Syntofarma como una poderosa herramienta de apoyo a la toma de decisiones gerenciales.

La finalidad es revelar el índice de criticidad de las fallas o problemas recurrentes de la máquina, lo cual, permitirá generar un programa mantenimiento proactivo que mejore efectivamente la productividad del proceso a través de la reducción de la ocurrencia de falla y eventos no deseados y minimizar su impacto en la productividad de la línea.

*Monografía

** "Facultad de Ingenierías físico-Mecánicas. Especialización Gerencia de Mantenimiento.
Director: Humberto Álvarez Laverde. Ingeniero Mecánico

SUMMARY

TITLE: DEVELOPMENT OF A MODEL TO THE DETECTION AND REMOVING OF FAULTS REPETITIVES OF A SHORT DURATION IN AUTOMATIC EQUIPMENT

AUTHOR: AIDA MARLENE ÁLVAREZGUAQUEZ.

KEYWORDS: MODEL OF FAULT. COMPLEXITY, MAINTAINABILITY, CONFIDENCITY

DESCRIPTION: Syntofarma S.A. is a Colombian pharmaceutical company It's leader in assembly of Betalactamicos medicis in oral form in Colombia and Latinoamérica, It's purpose, besides to carry out with the specification of the costumers is emphosize to offer an aggregate worth, being respected and admired in the pharmaceutical field for the service to it's clients, the benefits to the community, the progress of their employees and profitability for its shareholders.

The proposal model araises for the necessity to better the productivity, of take decisions hit the mark, of optimize the processes information complementing with important facts of production and maintenance, with the end to evaluate efficaciously the fulfilment of the automatic machine R-24 in the floor plan.

o start with this project it is important to clarify the current state against the desired end state of operational readiness in the field of technical management and maintenance processes.

The subject of this monograph is show a model to the detection of frequently faults and generate agreement or activities to take into account the real condition of the machine and it's fault's historic, analyzing and organizing the database of compartment of production's engineering of Syntofarma like a toll powerful of basis of take of management decisions.

The purpose is reveal the criterion's index of the faults or problems repetitive of the machine, to witch, permit generate a maintenance proactive program that better effectively processes productivity through of the reduction of the faults occurrence and event doesn't desire and minimize it's impact in the productivity of the line.

* Monograph

** Faculty of Engineering Physics-Mechanical, Maintenance Management Specialization. Director: Humberto Alvarez Laverde. Ingeniero Mecanico.

INTRODUCCION

La metodología de análisis de fallas es un instrumento avanzado de mantenimiento, es muy útil y exitoso para lograr grandes ahorros en el departamento de mantenimiento porque sirve para erradicar o controlar fallas reales o potenciales en los componentes de los equipos. Las fallas en lo equipos automáticos representan un costo importante en los procesos, debido a que el tiempo de parada del equipo es multiplicado por el número de personas que laboren en la línea; el costo de un minuto de falla es por lo menos diez veces superior al costo del mismo tiempo de operación normal, dependiendo de la tasa de rentabilidad bruta de la empresa.

Las fallas se clasifican en críticas, crónicas, esporádicas, degradantes, incipientes y desconocidas. Las fallas que analizaremos en el modelo planteado son las crónicas, ya que, aunque tienen un impacto relativamente bajo, cuando se totaliza en el transcurso de un periodo de tiempo y se combinan con otras fallas crónicas (Ej. Calidad, logística, entre otras), afecta de forma muy notoria la economía de la empresa.

Las consecuencias de las fallas se miden mediante la evaluación del impacto de ellas sobre: La organización, sus componentes, las máquinas y los sistemas que la componen. Es probable que las consecuencias sean más importantes que las características técnicas de las fallas en sí mismas.

1. MARCO CONTEXTUAL

1.1 LA EMPRESA

Syntofarma S.A. es una compañía farmacéutica fundada en 1993, pionera en Colombia en maquila de medicamentos betalactámicos en formas farmacéuticas sólidas orales, únicos con procesos de fabricación en plantas independientes (Penicilínicos y Cefalosporínicos), evitando la contaminación cruzada en la fabricación de estos productos, cumpliendo los estándares de BPM vigentes. Con certificación en BPM y por el Invima y norma ISO 9000

Las diferentes transformaciones que ha tenido la industria farmacéutica han permitido que Syntofarma S.A. se imponga retos en temas como la calidad y competitividad para satisfacer las necesidades del mundo cambiante y cada vez más exigente, para poder cumplir con estos objetivos la dinámica de la empresa está enfocada a realizar un análisis profundo, continuo y controlado de su productividad que es la optimización de los resultados a través de la mejor forma de integrar los insumos y recursos empleados, es decir, adquiriendo la capacidad de coordinar el sistema de tal forma que en la elaboración de productos o servicios, se pueda obtener el mayor valor agregado, con el menor consumo de recursos, reducción de costos y con la mayor generación de utilidades para la compañía.

Syntofarma S.A. es una empresa 100% colombiana que ofrece al mercado farmacéutico productos (tabletas, capsulas y polvos para reconstituir) de excelente calidad y servicios (análisis de laboratorio, estudios de estabilidad, almacenaje, etc.) competitivos. Cumple con las expectativas de los clientes y requisitos regulatorios, mejorando continuamente el sistema de gestión de calidad y asegurando resultados sociales, empresariales y económicos.

La Misión de Syntofarma S.A. es ser el maquilador preferido por excelencia y competitividad en productos Betalactámicos orales.

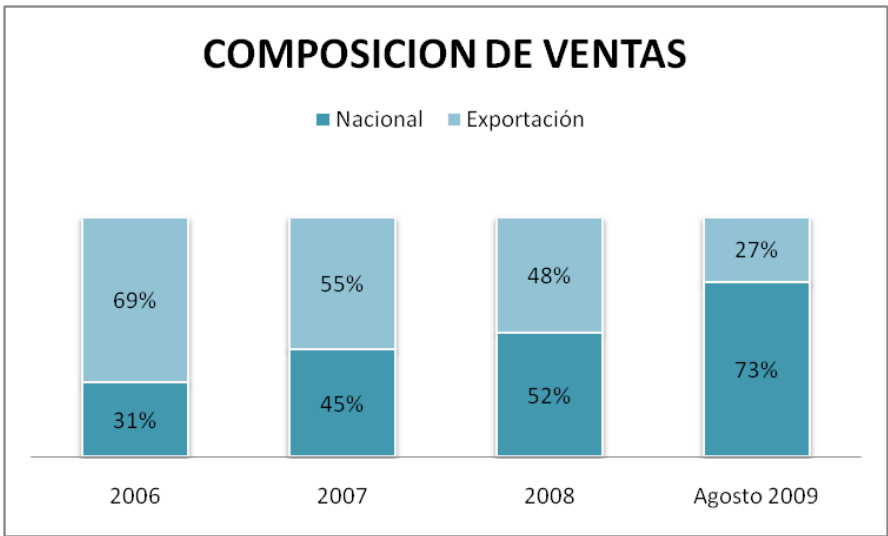
Tiene como meta al 2015 ser reconocido como el mejor y mayor maquilador de medicamentos Betalactámicos en formas orales en América Latina.

Valores de la familia Syntofarma S.A. : Compromiso con la calidad, Administración participativa, Solucionadores profesionales, Cultura de alto desempeño, Respeto por el ser humano y Supervivencia exitosa; son el conjunto de actitudes, comportamientos y conductas que promueve la compañía para cumplir con la visión.

1.2 CUBRIMIENTO GEOGRÁFICO DE LA EMPRESA

Syntofarma S.A. ha tenido un crecimiento importante en el mercado internacional, debido a que ha concentrado sus esfuerzos en cubrir e integrar países de América Latina, el 70% de la producción de medicamentos es de exportación.

Figura 1. Composición ventas Syntofarma



Fuente: La compañía

En los últimos cuatro años se evidencia la importancia que el mercado internacional a tenido en Syntofarma S.A, de una manera tal, que el comportamiento de las ventas internacionales superan las ventas nacionales.

En la siguiente figura se observa el cubrimiento de la compañía a nivel internacional.

Figura 2. Cubrimiento geográfico Syntofarma SA.



Fuente: La compañía

1.3 CADENA DE VALOR DE SYNTOFARMA

Todos los procesos de Syntofarma están destinados a la satisfacción de nuestros clientes en el cumplimiento de sus especificaciones, soportados en las funciones de los departamentos de Calidad, Mantenimiento, Innovación y Desarrollo, Abastecimiento, Talento Humano y Seguridad Industrial; bajo la dirección de los proceso de gestión.

Ahora se muestra la cadena de valor de la empresa

Figura 3. Cadena de Valor Syntofarma SA.



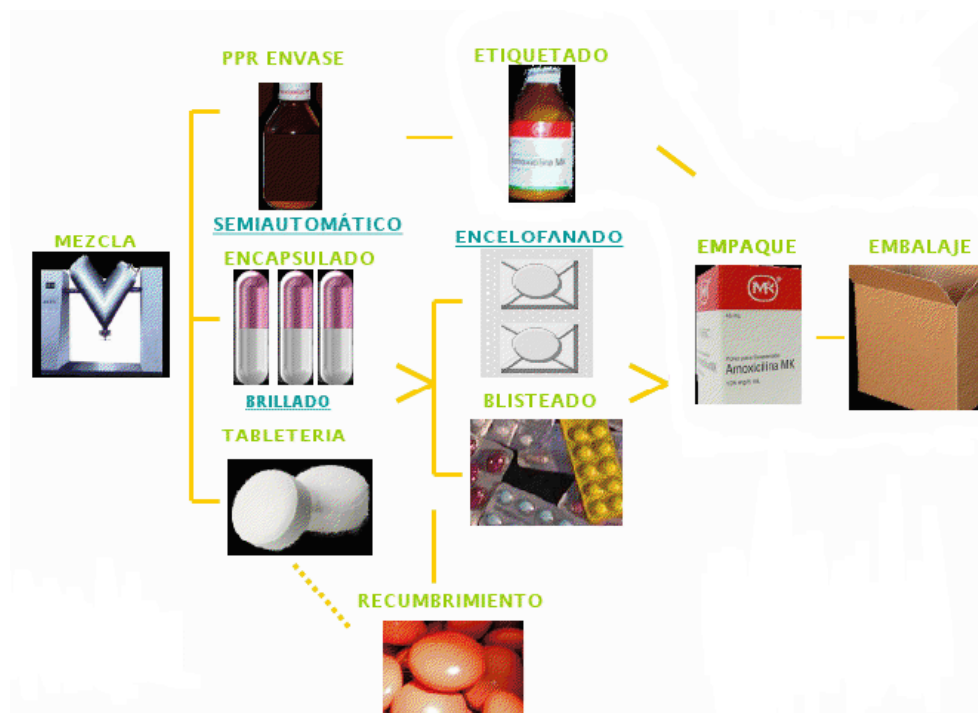
Fuente: La compañía

Syntofarma S.A. fabrica polvos para reconstituir, tabletas y capsulas que contienen principios activos de una clase específica de antibiótico conocida como Betalactámicos. Dentro de esta familia se distinguen dos grupos: Penicilínicos y Cefalosporínicos. Estos productos deben fabricarse por separado de los demás

productos conocidos en la industria farmacéutica incluso de otras familias de antibióticos existentes en el mercado. La razón es evitar que haya contaminación cruzada y respuestas alérgicas (desde leves hasta severas) en las personas que las usan por prescripción médica.

De forma específica el proceso de manufactura se realiza de la siguiente manera:

Figura 4. Procesos de manufactura Syntofarma SA.



Fuente: La compañía

1.4 PRODUCTOS PRINCIPALES

A continuación se agrupan los productos de acuerdo a las moléculas que se realizan en la empresa y se diferencian por planta de producción para determinar cuáles son los más representativos para la empresa:

Tabla 1. Moléculas por planta de producción.

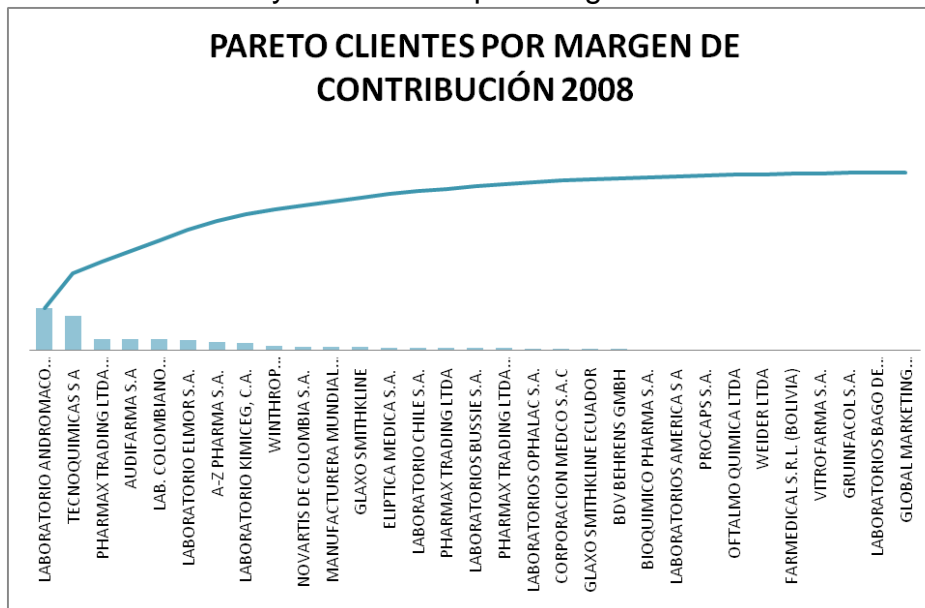
MOLÉCULA	CEFALOSPORINAS	PENICILINAS
AMOXACILINA		X
AMPICILINA		X
CEFADROXILO	X	
CEFALEXINA	X	
CEFRADINA	X	
CLOXACILINA		X
DICLOXACILINA		X
FENOXIMETILPENICILINA		X
FLUCLOXACILINA		X
SULTAMICINA		X

Fuente: Syntofarma SA

1.5 CLIENTES REPRESENTATIVOS

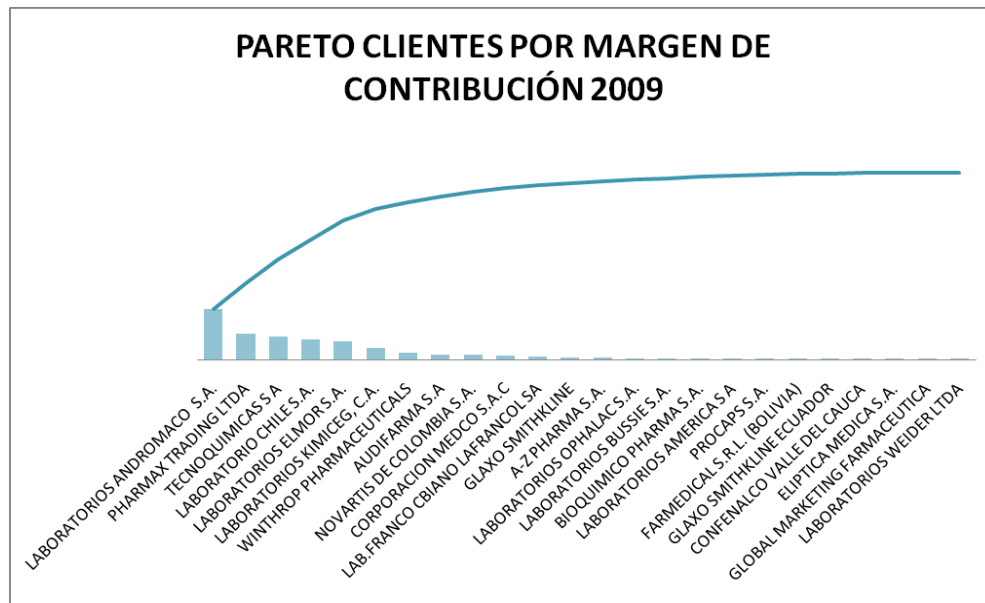
Los clientes más representativos son aquellos que le dejan mayor margen a la compañía. A continuación, por medio de la utilización de diagramas de Pareto se identifican estos clientes:

Figura 5. Pareto Clientes Syntofarma SA por margen de contribución. Año 2008.



Fuente: La compañía

Figura 6. Pareto Clientes Syntofarma SA por margen de contribución. Año 2009.



Fuente: La compañía

En resumen los principales clientes de la compañía por el margen de contribución en los dos últimos años son:

Tabla 2. Principales clientes por margen de contribución año 2008 y 2009.

CLIENTE	CONTRIBUCION
LABORATORIOS ANDROMACO S.A.	\$ 4.304.253.456
TECNOQUIMICAS S A	\$ 2.693.580.729
PHARMAX TRADING LTDA	\$ 1.324.458.636
LABORATORIO CHILE S.A.	\$ 1.093.201.513
LABORATORIOS ELMOR S.A.	\$ 833.851.728
AUDIFARMA S.A	\$ 746.348.417
PHARMAX TRADING LTDA VENEZUELA	\$ 552.245.225
LABORATORIOS KIMICEG, C.A.	\$ 549.769.726
WINTHROP PHARMACEUTICALS	\$ 532.162.510
LAB. COLOMBIANO LAFRANCOL S.A.	\$ 515.445.966
Total general	\$ 13.145.317.907

Fuente: Syntofarma SA

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo para el estudio y la eliminación de fallas repetitivas de corta duración en equipos automáticos.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Minimizar el deterioro, pérdida de capacidad productiva y funciones de los equipo automáticos.
- Aumentar la disponibilidad, confiabilidad y productividad de los equipos automáticos.
- Optimizar la confiabilidad de la información e indicadores de productividad en Syntofarma.
- Propiciar que el departamento de mantenimiento este enterado de todas las fallas presentadas en los equipos.
- Garantizar el cumplimiento de los requerimientos de las normas de Buenas Prácticas de Manufactura e ISO 9000 en cuanto a estado, funcionamiento y confiabilidad de los equipos automáticos utilizados en la planta de producción de Syntofarma..

2. MARCO TEORICO

2.1 CONCEPTUALIZACIÓN

Avería en un equipo, no es sólo el deterioro o desperfecto en cualquiera de los órganos de una máquina que impide el funcionamiento normal de ésta; sino también, un fallo que impide que el equipo mantenga el nivel productivo, ocasionando falta de calidad del producto, falta de seguridad al operador, pérdidas energéticas y contaminación ambiental.

Con lo anterior se puede deducir dos tipos de fallos: los que afectan directamente al producto (cantidad – calidad) y los que afectan al entorno (seguridad – medio ambiente), en ocasiones habrá averías que pueden ser combinación de estas dos.

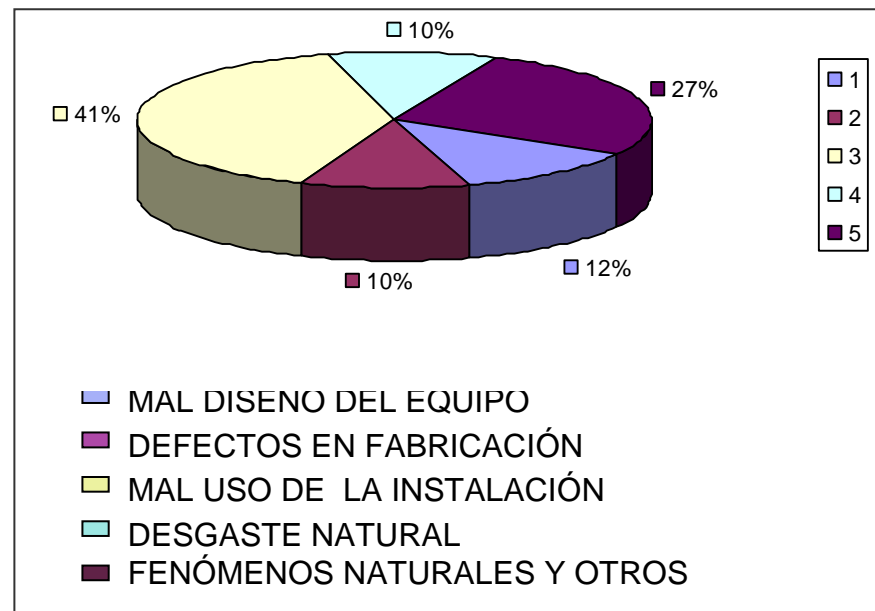
2.2 CLASIFICACIÓN DE AVERÍAS

2.2.1 Debido al origen de la falla

- Fallos debidos a un mal diseño o a errores de cálculo del equipo, circunstancias como: no conocer exactamente las condiciones en las que trabajará la máquina, despreciar efectos que luego resultan más importantes de lo que se esperaba o el exceso de simplificación en el aparato para obtener mejores precios, ocasiona errores de diseño que adquirimos con el equipo. La solución a estos fallos resulta muy difícil si el planteamiento original difiere mucho de la realidad y posiblemente, en ocasiones se debe asumir una tasa de fallos elevada.
- Fallos debidos a defectos durante la fabricación del equipo.
El descuido en los controles de calidad de los materiales y piezas que componen el equipo, pueden ocasionar un fallo potencial en el equipo. Hay posibilidad de fallo también, cuando se reemplaza elementos originales por otros de inferior calidad.

- Fallos producidos por el mal uso de la instalación.
Ocasionado muchas veces por desconocimiento del manejo del equipo debido a que se emplea en aplicaciones para las que no está diseñado y, más frecuentemente, por utilizarlo en regímenes superiores a los especificados por el diseñador.
- Fallos debido al desgaste natural y al envejecimiento.
Con estos fallos por lo general hay mayor familiaridad, se trata de roturas, desgastes, abrasiones, corrosión, fatiga, cavitación, etc.
- Fallos debido a fenómenos naturales y otras causas.
Dentro de este grupo se puede incluir los que son debidos a fenómenos meteorológicos y causas exteriores al propio equipo.

Figura 7. Porcentaje debido al origen de la falla.



Fuente: Autora monografía 2010

Desde el punto de vista de mantenimiento existen dos clasificaciones, la primera en función de la capacidad de trabajo de la instalación y la segunda en función de la forma de aparecer.

2.2.2 Debido al mantenimiento en función de la capacidad de trabajo

- Fallo total implica un paro de todo el sistema productivo. Es necesario detener el proceso inmediatamente para atender la falla, no es posible con el equipo en marcha.
- Fallo parcial afecta sólo una serie de elementos, permite dar continuación y terminar el sistema productivo y luego corregir la falla.
- La aparición de uno u otro tipo de falla depende, en gran medida, de la complejidad de la instalación y de si los diferentes sistemas están unidos en serie o en paralelo.

2.2.3 Debido al mantenimiento en función de la forma de aparecer

- Fallos progresivos son los que de una u otra manera, hacen prever su aparición. Son fallos asociados al desgaste, la abrasión, desajustes, etc., y con un seguimiento se puede llegar a establecer cuándo se producirá el fallo definitivo. En este tipo de fallos es posible verificar parámetros o variables del equipo hasta llegar a límites de inminente fallo.
- Fallos repentinos corresponden a una función aleatoria y suelen depender de que coincidan una serie de factores difíciles de predecir; tienen relación con roturas de piezas o elementos.

Figura 8. Clasificación de averías

		CAPACIDAD DE TRABAJO	
		TOTAL q1	I
FORMA DE APARECER	PROGRESIVA	I	II
	REPENTINA	III	IV

Fuente: Luis Navarro Elola. Gestión Integral del Mantenimiento

En la Figura 8. se observa la combinación de las dos clasificaciones, capacidad de trabajo y forma de aparecer, debidas al mantenimiento de lo cual se obtiene cuatro cuadrantes.

En el primer cuadrante se encuentran las averías menos complejas, las cuales afectan una parte de la instalación y es posible preverlas. Con seguimiento se pueden detectar y estar preparados para la reparación. La rapidez de actuación no es tan crítica debido a que no afecta a toda la cadena productiva. Si no se toman medidas estas averías podrán provocar otras nuevas y extenderse a más equipos. Su tendencia será de pasar al segundo y tercer cuadrante y, en el peor de los casos, al cuarto.

Las averías del cuarto cuadrante suponen un fallo total, precisan de intervención rápida y, al ser repentinas, puede sorprender sin la suficiente preparación para poder resolverla.

Los cuadrantes dos y tres representan casos intermedios entre el cuadrante uno y el cuadrante cuatro.

2.3 EFECTO DE LAS AVERÍAS

Permiten decidir la importancia de cada fallo y por lo tanto qué nivel de intervención requiere el equipo. Es importante registrar los efectos de los fallos, con el fin de tener claro que pasaría en caso de que ocurra un determinado fallo. El tener claro qué causa que falle un equipo propicia la eliminación de errores o acciones y mejora el nivel general de comprensión acerca del funcionamiento de un determinado equipo.

2.4 CONSECUENCIAS DE LAS AVERÍAS

Permite cuestionar cómo y cuánto importa una falla presentada en un equipo. Las consecuencias de cada fallo indican la necesidad de tratar de prevenirlos y la necesidad de determinar con qué esfuerzo se debe tratar de encontrar los fallos.

2.4.1 Consecuencias de los fallos no evidentes

Los fallos que no son evidentes no tienen impacto directo pero exponen a la organización a otros fallos con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Normalmente son los dispositivos de protección que no disponen de seguridad inherente y que pueden suponer la mitad de los modos de fallos de los equipos complejos modernos.

2.4.2 Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente

Un fallo tiene consecuencias sobre la seguridad si puede herir o matar a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normativas municipales, regionales o nacionales relacionadas con el medio ambiente.

2.4.3 Consecuencias operacionales

Un fallo tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuánto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

2.4.4 Consecuencias que no son operacionales

Los fallos evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la operación, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

2.5 FALLAS PRESENTADAS EN EQUIPOS AUTOMÁTICOS

En todas las empresas por lo general se presenta con frecuencia fallas repetitivas en los equipos automáticos, al analizar esta situación se observa que la gestión de mantenimiento está enfocada a resolver problemas del momento, es decir, el programa de actividades esta conducido para reaccionar a los requerimientos de la disponibilidad de la planta.

Toda falla inhabilita el equipo e impide satisfacer un estándar de ejecución deseado o programado. Las fallas repetitivas propician la pérdida de continuidad en las operaciones de un equipo, lo cual se ve reflejado en la perdida de tiempos de productividad, alto costo de producción y mantenimiento, baja calidad de producto terminado, propicia zonas de riesgo y accidentalidad.

Las fallas repetitivas se deben manejar por tiempo y frecuencia; existen fallas que se presentan con poca frecuencia pero cuando se presentan impactan en el tiempo total de un equipo, y, existen fallas que reflejan alto o bajo tiempo perdido, pero que por la alta frecuencia con que se presentan impactan fuertemente el tiempo perdido total de un equipo.

2.5.1 Fallas repetitivas de corta duración

Son eventos muy frecuentes, cuando se eliminan o se controlan se logra restaurar la funcionalidad a su punto máximo y se eleva el nivel esperado del desempeño. Son repetitivas, no son dramáticas, casi siempre son fáciles de corregir, sin embargo, son difíciles de controlar o erradicar, se aceptan como parte normal de los costos de producción. Afectan de forma inmediata la producción y/o el mantenimiento. Por lo general son las fallas presentadas en rodamientos, sellos, correas, engranajes, las interrupciones de los sistemas de control o potencia.

Cada evento de falla repetitiva tiene un impacto relativamente bajo, pero cuando se totaliza en el transcurso de un periodo de tiempo y se combina con otras fallas recurrentes, afecta de forma muy notoria la economía de la organización.

Las fallas repetitivas se caracterizan por:

- Frecuentemente ignoradas
- Fácilmente aceptadas
- Fáciles de medir
- Los paros generalmente parecen insignificantes pero el costo real es alto.
- Son fáciles de arreglar pero difíciles de eliminar.
- Son causadas por defectos escondidos en el equipo y en los métodos de trabajo

Se debe en todo momento llevar un registro de todas las fallas, en Syntofarma se diligencia ordenes de mantenimiento, el tener acceso a esta información permite mantener seguimiento de los nuevos eventos de falla y cotejarlos con una evaluación preliminar de equipos con fallas frecuentes.

Existen métodos sistemáticos de análisis de fallas que de una forma organizada representa las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema.

En el momento en que se inicie un plan de para atacar las situaciones o eventos causales de las fallas, se debe hacer un compromiso gerencial y se debe acordar una alineación entre los diferentes departamentos de la empresa con el fin de coordinar funciones que permitan la eliminación de las fallas.

Se realizará un análisis de criticidad a la envasadora automática R-24, la cual describiré más adelante en el desarrollo del modelo.

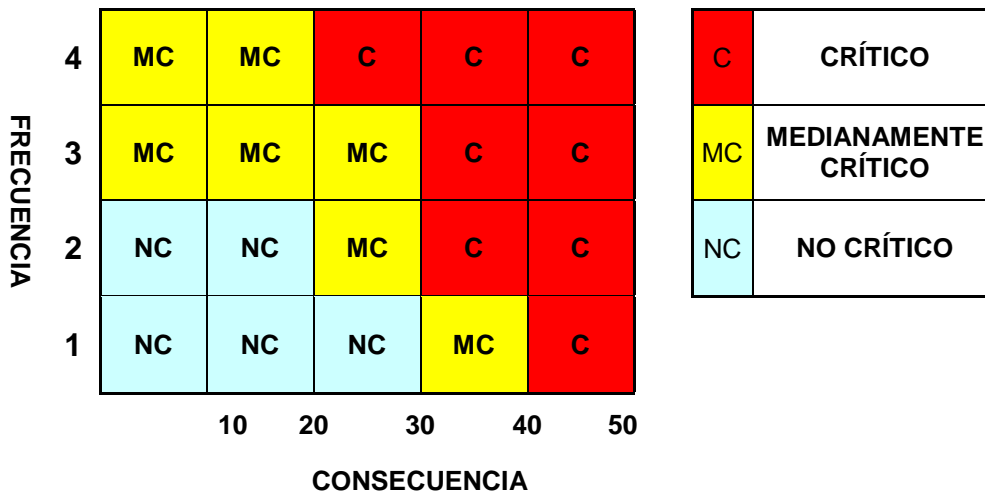
2.6 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones y optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos).

Se debe definir alcances y propósitos del análisis; establecer criterios de importancia y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas que componen la envasadora automática R-24, con el fin de conocer cuales son los más críticos, evaluado desde el punto de vista operacional y económico, para luego enfocar acciones hacia estos componentes o sistemas y aumentar la confiabilidad del equipo.

El análisis de criticidad es una técnica que permite establecer rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Posteriormente se incluyen en una matriz estos datos con el ánimo de visualizar completamente los equipos o sistemas más críticos si uno de estos fallara.

Figura 9. Análisis de criticidad.



Fuente: Introducción a la confiabilidad operacional

En la figura 9. se puede apreciar un claro ejemplo de matriz para los sistemas o componentes críticos. Mediante esta herramienta es muy probable encontrar a los eventos repetitivos presentados en la envasadora.

2.6.1 Pasos para hacer un análisis de criticidad

Generalmente los criterios establecidos para el análisis de criticidad son: seguridad, ambiente, producción, costos de operación, costos de mantenimiento, frecuencia de fallas y tiempo promedio para reparar.

1. Definir un alcance y propósito para el análisis.
2. Establecer criterios de importancia.
3. Seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de sistemas objeto del análisis.

$$\text{Criticidad} = \text{frecuencia} \times \text{consecuencia}$$

$$\text{Frecuencia} = \# \text{ de fallas (en un tiempo determinado)}$$

$$\text{Consecuencia} = ((\text{impacto operacional} \times \text{flexibilidad}) + \text{Costos Mtto} + \text{impacto SHA})$$

2.7 ANÁLISIS CAUSA/RAÍZ

Es una metodología utilizada para identificar las causas que originan las fallas o problemas, los cuales al ser corregidas evitarán la ocurrencia de los mismos. El análisis de causa raíz permite buscar la razón por la cual un sistema, instalación o equipo, componente o elemento no funciona satisfactoriamente.

El concepto de ACR es un sistema lógico y consistente para análisis de detalles de calidad no solo se aplica sobre eventos o incidentes sucedidos sino en el análisis de las operaciones actuales para su optimización y prevención. Dentro del marco de confiabilidad es la herramienta fundamental para determinar las causas fundamentales que generan una repetición de falla o en su defecto dentro de un conjunto de fallas, la anomalía de mayor peso en cuanto al impacto operacional, económico y de seguridad y ambiente. Es una herramienta sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para luego mitigarlas o suprimirlas totalmente. Se aplica generalmente en problemas puntuales para equipos críticos de un proceso o cuando existe la presencia de fallas repetitivas.

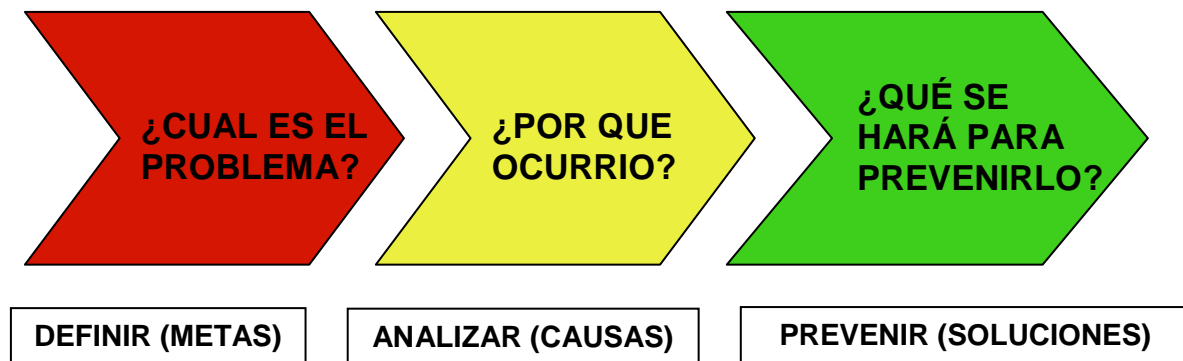
Para aplicar un Análisis Causa Raíz se debe tener una definición clara de sistema para comprender la interrelación existente entre los diversos niveles de un proceso, lo que nos permitirá a la hora de realizar un estudio, considerar todos los factores, aspectos y condiciones que están presentes en un entorno, ya que cualquiera de ellos puede generar una falla.

Normalmente cuando ocurre un fallo, este es percibido porque genera ciertas manifestaciones o fenómenos de fácil localización también llamados síntomas; lo que no ocurre con las causas del fallo, que mientras más complicado sea el sistema mayor será la dificultad de localizar el origen de dichas causas, pudiendo atacar las manifestaciones del fallo pero no en su origen, lo que se traduce en potencialidad de ocurrencia de fallos que probablemente se harán recurrentes o repetitivos.

2.7.1 Etapas del análisis causa raíz.

La resolución de problemas, la investigación de incidentes y análisis de causa raíz están conectados fundamentalmente por tres preguntas básicas:

Figura 10. Etapas del análisis causa raíz.



Fuente: Fernando Espinosa

Definición del problema. Esta etapa consiste en identificar cuál es el problema o la situación que se desea solucionar. A partir de este punto se decide o no la aplicación de la herramienta ACR en la búsqueda de mejoras para el funcionamiento de los equipos o erradicar problemas complejos que afectan la integridad de una planta y además la competitividad de la compañía.

Análisis del problema. Esta etapa consta de las fases preliminares.

Recolectar datos del fallo; este paso consiste en reunir todos los datos relacionados con el fallo o el problema estudiado. Se debe asegurar ser lo más objetivo y evitar suposiciones, puesto que solo se llegara a un resultado real contando con datos confiables. Los datos deben ser recolectados, clasificados, y analizados cuidadosamente sin obviar detalles.

Ordenar el análisis; se debe asegurar que el equipo destinado a realizar el análisis sea multidisciplinario, conformado por representantes de cada departamento involucrado, con el fin de descartar y realizar un análisis de puntos de vista o conclusiones pre-concebidas.

Analizar los datos; en este paso se debe tomar cada pieza del rompecabezas y ponerla en su lugar, para hacer esto existen diversos métodos, el árbol de fallos promueve un proceso de deducciones lógicas y disciplinadas que obliga al equipo a trabajar en reversa desde el fallo hasta las causas. Constantemente se desarrollan hipótesis de cómo un evento puede ser consecuencia de otro precedente. Cuando todas las posibilidades han sido identificadas, se debe desarrollar estrategias para verificar si, de hecho, estos eventos han ocurrido.

Para un mejor desarrollo del ACR, existen dos preguntas básicas que deben ser realizadas repetidamente hasta que todas las raíces sean localizadas. Estas preguntas son: ¿Cómo? y ¿porqué? Los ¿Cómo? Están relacionados con la forma como puede ocurrir el fallo; mientras que los ¿Por qué? Se relacionan con las causas por las cuales ella ocurre.

Comunicar los hallazgos y recomendaciones; este paso se realiza una vez completado el proceso de ACR, en este momento las soluciones a las fallas o a los eventos parecen aparentes.

Encaminar para asegurar el éxito; en este punto se propone realizar los cambios e inversiones necesarias para evitar que el evento o la falla ocurra de nuevo por la misma causa, eliminando esta y realizando un seguimiento para detectar los beneficios obtenidos.

Identificar soluciones efectivas. Esta etapa esta íntimamente ligada a los hallazgos y conclusiones obtenidos a lo largo de la aplicación del ACR al problema estudiado, donde ya localizadas las causas de fondo, se identifican las correcciones que deben realizarse para asegurar la no ocurrencia del fallo debido a la no presencia de la causa que la origina. Se debe implementar las soluciones, con el fin de, recoger los frutos de la aplicación de la metodología.

2.7.2 Causas comunes de fallos.

Existen causas comunes de fallos, estas se agrupan en tres grandes grupos:

Raíces Físicas: En este nivel se encuentran todas las manifestaciones de falla de origen físico, como son; mala condición de repuestos, conexiones inadecuadas, juntas en mal estado, etc. Generalmente en este nivel no se encuentra la causa raíz sino es un buen punto de partida.

Raíces Humanas: En este nivel se encuentran los errores cometidos por el factor humano, ya sea que incide directa o indirectamente, esto pueden ser; incorrecta instalación, no utilización de los procedimientos, no empleo de herramientas adecuadas, etc. En esta categoría es muy común encontrar las raíces de los fallos.

Raíces latentes: En este nivel se ubican todos los problemas que nunca se han presentado, pero que de todas maneras tiene cierta probabilidad de presentarse, estos pueden ser; operación inapropiada, falta de un procedimiento para realizar una actividad específica, capacitación adecuada al personal que ejecuta labores de mantenimiento, etc.

2.8 ANALISIS MODO EFECTO DE FALLA

Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) es una metodología de un equipo sistemáticamente dirigido que identifica los modos de falla potenciales en un sistema, producto u operación de manufactura causadas por deficiencias en los procesos de diseño o manufactura. También identifica características de diseño o de proceso críticas o significativas que requieren controles especiales para prevenir o detectar los modos de falla. AMEF es una herramienta utilizada para prevenir los problemas antes de que ocurran.

“El AMEF o Análisis Modal de Fallos y Efectos es un método dirigido a lograr el Aseguramiento de la Calidad, que mediante el análisis sistemático, contribuye a identificar y prevenir los modos de fallo, tanto de un producto como de un proceso, evaluando su gravedad, ocurrencia y detección, mediante los cuales, se calculará el Número de Prioridad de Riesgo, para priorizar las causas, sobre las cuales habrá que actuar para evitar que se presenten dichos modos de fallo”.

Los AMEFs han estado por mucho tiempo. Antes de que cualquier formato documentado sea elaborado, los inventores y expertos del proceso tratan de anticiparse a lo que puede estar mal en un diseño o un proceso antes de que el mismo sea desarrollado. La prueba y error así como el conocimiento de cada falla son tanto costosos como consumidores de tiempo.

Los AMEFs fueron formalmente introducidos a finales de los 40's, utilizados por la industria aeroespacial / desarrollo de cohetes, los AMEF y el todavía más detallado Análisis Crítico del Modo y Efecto de Falla (ACMEF) fueron de mucha ayuda en evitar errores sobre tamaños de muestra pequeños en la costosa tecnología de cohetes.

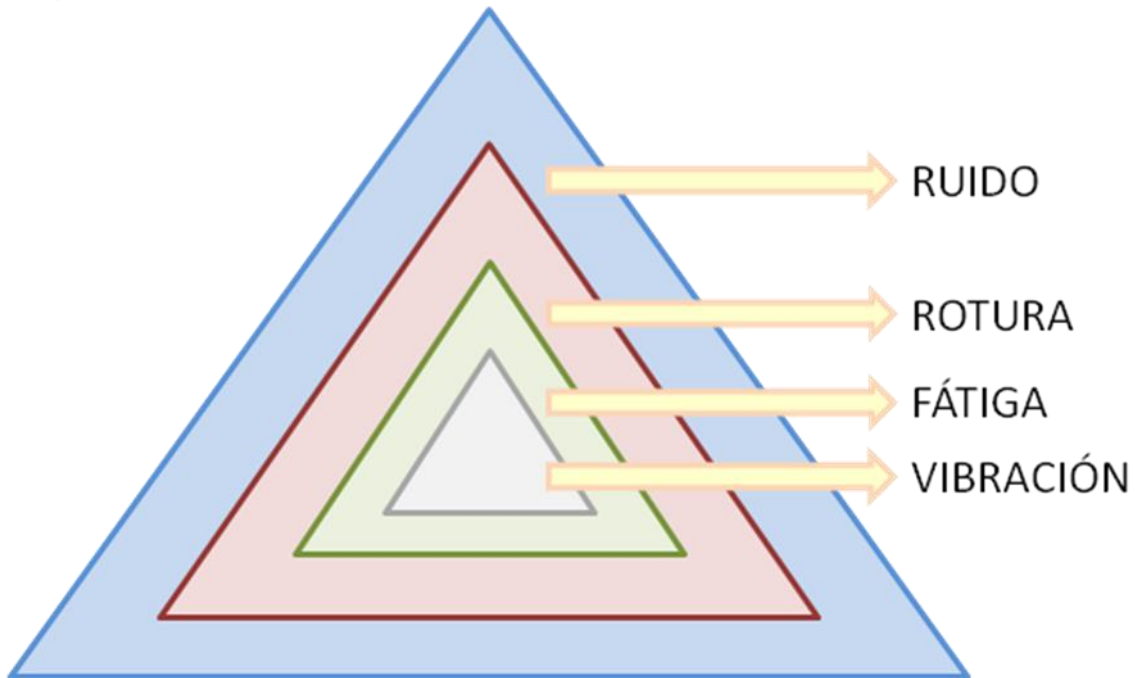
Un modo de fallo puede estar originado por una o más causas.

Éstas, pueden ser independientes entre sí, también pueden combinarse entre ellas, es decir, que el modo de fallo está condicionado a que se presenten ambas; y por último, puede que las causas estén encadenadas.

Para tratar de explicar mejor el modo de fallo tomemos un ejemplo básico como es el de la fatiga; siempre que se produce la fatiga se origina ruido (este es el efecto), entonces sería modo de fallo. En cambio, si no siempre que aparece la fatiga se produce ruido, esta sería causa.

Es muy importante definir la cadena de sucesos en el orden correcto, para una mejor comprensión del problema, por ejemplo:

Figura 11. Cadena de sucesos previos a una falla



Fuente: Autora monografía 2010

Para realizar una correcta evaluación de los modos de fallo es necesario contar con los parámetros de evaluación, estos nos ayuda a priorizar las causas y así enfocarnos en lo que mas afecta a la organización. Para esto existe el “Numero de Prioridad de Riesgo”, y este esta dado por la siguiente expresión:

$$\text{NPR} = \text{S} * \text{O} * \text{D}$$

Donde:

NPR: Numero de prioridad de Riesgo.

S: **Severidad** Impacto del fallo o gravedad.

O: **Ocurrencia** Probabilidad de falla.

D: **Detección** Probabilidad de no detección.

2.8.1 Metodología del AMEF

Los siguientes son los pasos que según varios autores describen, para la implantación de un AMEF.

- 1) Crear y formar el equipo de trabajo.
- 2) Identificar el proceso, sistema o componente.
- 3) Elaborar el diagrama de bloques funcionales y/o el diagrama de flujo
- 4) Recoger datos de fallos y clasificarlos.
- 5) Preparar el AMEF.
- 6) Implantar las acciones correctivas.
- 7) Revisar y hacer seguimiento al AMEF.

A continuación vamos a dar una breve explicación de los pasos mencionados con del fin de profundizar un poco y hacer un breve análisis.

1. Crear y formar el equipo de AMEF. Es necesario la conformación de un grupo de trabajo interdisciplinario en el que intervengan áreas como ingeniería, mantenimiento, control calidad, confiabilidad, y logística. No es aconsejable que el grupo exceda más de 6 personas, y estas deben estar capacitados en técnicas estadísticas, y de falla como el diagrama espina de pescado, causa-efecto, y análisis de problemas.

2. Identificar el proceso, sistema o componente. Debemos tener claro sobre qué vamos a realizar el AMEF, esto puede ser resultado de un análisis de criticidad o de una lluvia de ideas, es responsabilidad del grupo de trabajo establecer claramente el sistema o componente sobre el cual se va a realizar el trabajo, y también su porqué o justificación.

3. Elaborar el diagrama de flujo y/o diagrama de bloques. Primero explicaremos a que se refieren estos diagramas; el diagrama de flujo es como una fotografía del proceso; es la representación esquemática y cronológica de las operaciones que componen un proceso.

El diagrama de bloques por su parte, representa de forma esquemática las partes o subpartes que componen un sistema o componente y sus relaciones físicas o funcionales.

4. Recoger datos de fallos y clasificarlos. Antes de dar inicio al AMEF el grupo de trabajo debe tener toda la información del problema que se va a tratar durante el análisis.

5. Preparar el AMEF. El grupo de AMEF, mediante una o varias reuniones y haciendo uso de la documentación aportada por el responsable del AMEF, de sus conocimientos y de las técnicas de análisis y solución de problemas más adecuadas en cada caso, comienza la aplicación del AMEF al producto o al proceso designado.

Para ello, completa en primer lugar el encabezamiento del formato AMEF con los datos correspondientes (producto, proceso, especificación, fecha, etc.).

A continuación, y haciendo uso del método más adecuado (por ejemplo. la tormenta de ideas, el diagrama causa-efecto), se comienzan a identificar los diferentes Modos de Fallo. Para cada uno se determina:

- El efecto del fallo,
- La causa del fallo,
- La probabilidad de ocurrencia,
- La gravedad,

- La probabilidad de no detección,
- El índice de prioridad de riesgo,
- Las acciones correctivas,
- La responsabilidad de implantar las acciones correctivas;

Con la definición de las acciones correctivas concluye la etapa inicial de aplicación del AMEF.

6. Implantar las acciones correctivas. La implantación de las acciones puede estar realizada a través del área de planeación, la cual con la entrada que le da el grupo de AMEF establecerá el cumplimiento de las diferentes acciones.

7. Revisar y hacer seguimiento al AMEF. Una vez implantadas las acciones correctivas, con el objeto de mejorar el NPR, en los modos de falla seleccionados, el equipo del AMEF se debe reunir con el área de planeación y evaluar los resultados, esto con el fin hacer seguimiento y evaluar la efectividad de las acciones correctivas.

2.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FALLA

Mediante la utilización de esta herramienta podemos encontrar la frecuencia óptima de intervención de mantenimiento en los componentes o sistemas que se consideraron críticos desde el inicio, esto dependiendo del tipo de distribución a emplear.

En general, la mayoría de distribuciones usadas en Confiabilidad tienen, a lo sumo, tres parámetros:

2.9.1 Parámetro de escala β

Este es el parámetro que caracteriza a las distribuciones uniparamétricas. El parámetro de escala define cuán dispersa se encuentra la distribución (en el caso de la distribución normal, el parámetro de escala es la desviación típica).

2.9.2 Parámetro de forma α

Este parámetro define la forma de la distribución. Algunas distribuciones (como la exponencial o la normal) carecen de este parámetro, tienen una forma predeterminada que nunca varía (en el caso de la normal, ésta tiene siempre forma de campana).

2.9.3 Parámetro de localización δ

Se usa para desplazar una distribución hacia un lado u otro. Esto significa que, dada una distribución cuyo dominio habitual sea $[0, +\infty)$, la inclusión de un parámetro de δ localización cambiará el dominio a $[\delta, +\infty)$

2.10 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

2.10.1 Distribución Gamma

Esta distribución se emplea de manera extensa en una gran variedad de áreas; por ejemplo, para representar el tiempo aleatorio de falla de un sistema que falla sólo si de manera exacta los componentes fallan y la falla de cada componente ocurre con una frecuencia constante $\lambda=1/\beta$ por unidad de tiempo.

La distribución Gamma es versátil puesto que exhibe varios perfiles que dependen del valor del parámetro α , para $\alpha \leq 1$ la distribución Gamma tiene un perfil en forma de J traspuesta. Para $\alpha > 1$, presenta un pico que ocurre en $x = \beta (\alpha - 1)$.

2.10.2 Distribución Weibull

Fue establecida por el físico del mismo nombre, quien demostró, con base en una evidencia empírica, que el esfuerzo al que se someten los materiales puede modelarse de manera adecuada mediante el empleo de esta distribución. En los 25 años esta distribución se empleo como modelo para situaciones del tipo tiempo-falla y con el objetivo de lograr una amplia variedad componentes mecánicos y eléctricos.

La distribución Weibull es versátil puesto que exhibe varios perfiles que dependen del valor del parámetro α por ejemplo para $\alpha < 1$ tiene una forma de J traspuesta, y si $\alpha > 1$, la función de densidad de Weibull presenta un pico único. Si $\alpha = 3.6$ la distribución es Asimétrica, si es menor que 3.6 tiene un sesgo positivo y si es mayor a 3.6 tiene un sesgo negativo.

El análisis de Weibull es la técnica mayormente elegida para estimar una probabilidad, basada en datos medidos o asumidos. La distribución de Weibull descubierta por el sueco **Walodi Weibull**, fue anunciada por primera vez en un escrito en 1951. La distribución de Weibull es útil por su habilidad para simular un amplio rango de distribuciones como la Normal, la Exponencial, etc. Las técnicas discutidas en la distribución de Weibull son similares a las usadas con las distribuciones Normal y Log-Normal.

2.10.3 Distribución Exponencial

Se ha notado con anterioridad que la distribución exponencial (negativa) es un caso especial de los modelos Weibull y Gamma. Ya que es un caso especial de la distribución Gamma (Erlang), la variable aleatoria exponencial es el tiempo que

transcurre hasta que se da el primer evento de Poisson. Es decir, la distribución exponencial puede modelar el lapso entre dos eventos consecutivos de Poisson que ocurren de manera independiente y a una frecuencia constante. Esta distribución se emplea con bastante frecuencia con el objeto de modelar problemas del tipo tiempo-falla y como modelo para el intervalo en problemas de líneas de espera.

La distribución exponencial es conocida por no tener memoria, es decir, la probabilidad de ocurrencia de eventos presentes o futuros no depende de los que hayan ocurrido en el pasado. De esta forma, la probabilidad de que una unidad falle en un lapso específico depende nada más de la duración de éste, no del tiempo en que la unidad ha estado en operación.

La distribución exponencial se caracteriza por un parámetro β , que representa el lapso promedio de tiempo entre dos eventos independientes de Poisson. En el contexto de Confiabilidad, β recibe el nombre de tiempo promedio entre fallas, y $1/\beta$ la frecuencia de falla.

2.10.4 Distribución Lognormal

La f.d.p. de una distribución normal es no nula en todo el eje real (y no sólo en el semieje positivo). Por este motivo, el uso de la normal implicaría que el fallo puede producirse antes del instante $t = 0$. Para evitar esta inconveniencia que presenta la distribución normal, se puede utilizar en su lugar la distribución Log-normal.

2.11 CONFIABILIDAD

Es la probabilidad de que un elemento, o sistema que hacen parte de un equipo o máquina pueda desempeñar las funciones durante un determinado periodo de tiempo bajo condiciones estándares de operación.

Una explicación numérica de la confiabilidad puede ser la siguiente, extraída del libro de EE2G1 Systems Engineering Course – Clive Roberts.

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^t f(t).dt$$

$$f(t) = \frac{1}{\vartheta} e^{-\frac{t}{\vartheta}}$$

$$R(t) = \int_0^t \frac{1}{\vartheta} e^{-\frac{t}{\vartheta}} = e^{-\frac{t}{\vartheta}}$$

Donde: (ϑ) representa el tiempo medio de vida y (t) representa el periodo de tiempo que se esta estudiando.

El tiempo media de vida (θ) , es el promedio del tiempo de vida del sistema en estudio, donde para la función exponencial es el tiempo medio entre fallas (MTBF).

$$R(t) = e^{-\frac{t}{M}} = e^{-\lambda t}$$

Donde λ es la tasa de falla y M es el MTBF

La tasa de falla y el tiempo medio están relacionados por:

$$\lambda = \frac{1}{\vartheta}$$

La tasa en donde ocurren las fallas esta especificado por el intervalo de tiempo llamado tasa de falla en ese intervalo. La tasa de falla por hora se encuentra por:

$$\lambda = \frac{\text{number of failures}}{\text{total operating hours}}$$

Así pues, para aumentar el valor de nuestra $R(t)$ debemos disminuir los MTBF o MTBM. Para tal efecto debemos disminuir las fallas o paradas no programadas, y para esto hemos escogido las siguientes herramientas:

- Análisis de Criticidad
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
- Análisis Causa/efecto
- Análisis Causa/Raíz
- Análisis Estadístico de falla.

2.12 MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad es una característica de diseño e instalación, expresada como la probabilidad de que un elemento sea recuperado a una condición especificada, a lo largo de un periodo dado del tiempo empleado en el mantenimiento, cuando éste se realiza de acuerdo con los procedimientos y recursos prescritos.

La Mantenibilidad está inversamente relacionada con la duración y el esfuerzo requerido por las actividades de Mantenimiento. Puede ser asociada de manera inversa con el tiempo que se toma en lograr acometer las acciones de mantenimiento, en relación con la obtención del comportamiento deseable del sistema. Esto incluye la duración (horas) o el esfuerzo (horas-hombre) invertidos en desarrollar todas las acciones necesarias para mantener el sistema o uno de sus componentes para restablecerlo o conservarlo en una condición específica. Depende de factores intrínsecos al sistema y de factores propios de la organización de Mantenimiento. Entre otros muchos factores externos está el personal ejecutor, su nivel de especialización, sus procedimientos y los recursos

disponibles para la ejecución de las actividades (talleres, máquinas, equipos especializados, etc.). Entre los factores intrínsecos al sistema está el diseño del sistema o de los equipos que lo conforman, para los cuales el diseño determina los procedimientos de Mantenimiento y la duración de los tiempos de reparación.

El parámetro fundamental para calcular la mantenibilidad lo constituye el tiempo promedio de reparación de la fallas.

$M(t) = P$ (funcionabilidad sea recuperada en el tiempo t o antes)

$= P (TTR \leq t)$

$$= \int_0^t m(t) dt$$

Donde $M(t)$ es la función de densidad de TTR (Tiempo para reparar)

Factor de tiempo empleado por los mantenedores.

- Factores Personales, que representan la influencia de la habilidad, motivación, experiencia, autodisciplina, formación, responsabilidad y otras características similares relacionadas con el personal involucrado;
- Factores condicionales; que representan la influencia del entorno operativo y las consecuencias que ha producido el fallo en la condición física, geométrica y forma del elemento en recuperación.
- Entorno; representa la influencia de factores como temperatura, humedad, ruido, iluminación, vibración, momento del día, época del año, viento, ruido, etc. en el personal de mantenimiento durante la operación de recuperación.

Así, los diferentes tiempos empleados en la ejecución de cada ensayo individual de la tarea de mantenimiento son el resultado de la influencia de los factores

mencionados anteriormente. Por tanto la relación entre los factores influyentes y el parámetro T podría expresarse por la siguiente expresión:

$T = f(\text{factores personales, condicionales y ambientales})$

3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO

3.1 PLANTEAMIENTO DE MODELO PARA ESTUDIO DE FALLAS REPETITIVAS DE CORTA DURACIÓN EN EQUIPOS AUTOMÁTICOS

El presente modelo se propone mejorar el índice de disponibilidad para la envasadora R-24, y por lo tanto, para la línea de envase-empaque de suspensiones PPR, compuesta por ordenador de frascos, tornamesa, envasadora, grafadora, etiquetado, estuchado, embalado y entrega de producto terminado a bodega.

El equipo considerado para el análisis es la envasadora automática R-24, el cual es un equipo clave en el proceso de envasado, tanto por el nivel de productividad como por el número de personas que integran la línea; con lo cual, una parada en este equipo es evaluada por tiempos improductivos hora máquina (HM) y horas hombre (HH), es decir, 1 HM equivale a 10 HH, siempre y cuando se tenga en cuenta que se este trabajando en línea con el proceso de etiquetado-empaque.

El siguiente grafico muestra el flujo del proceso en la envasadora únicamente.

3.1.1 Entradas

Mezcla (activo más excipientes), tapas metálicas o de plástico (depende de las especificaciones de fabricación), frascos vacíos ordenados boca arriba sobre banda transportadora.

3.1.2 Proceso

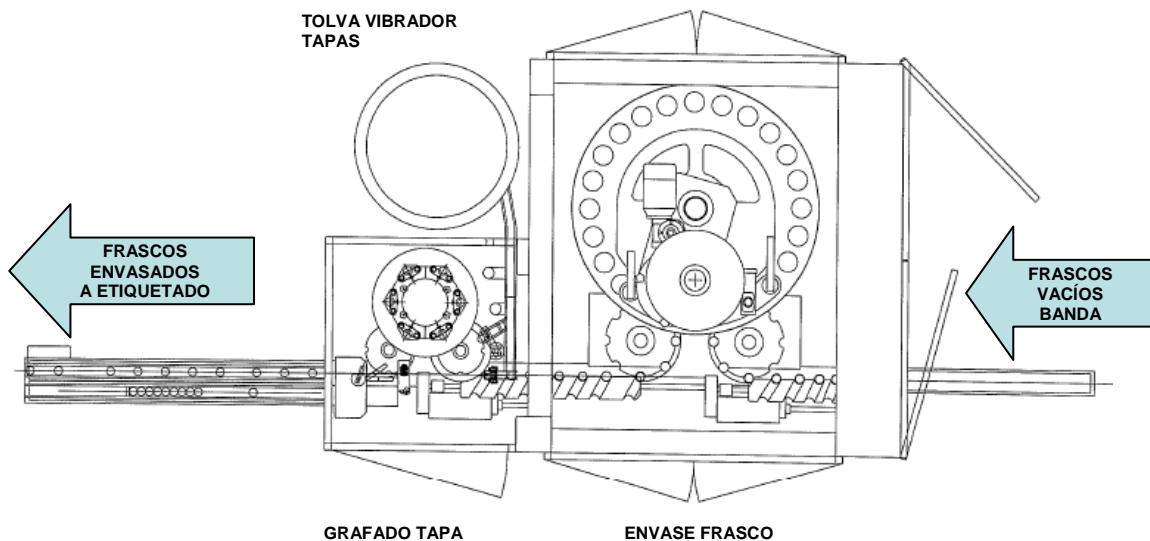
Entra el frasco vacío, es guiado y separado por un tornillo sin fin a la estrella de entrada, llega al sistema de envasado, sale de allí por medio de estrella de salida al otro tornillo sin fin que lo guía al sistema de grafado, y sale de éste por una estrella a la banda transportadora.

3.1.3 Salidas

Frasco con mezcla (cumpliendo con especificaciones de peso, cierre hermético, torque) direccionado al procedo de etiquetado por medio de banda transportadora)

Figura 12. Flujo de operación envasadora

ENVASADORA ATOLLO R-24



Fuente: Manual de operación del equipo. Syntofarma S.A.

3.2 DATOS TÉCNICOS DE LA ENVASADORA ATOLLO R-24

Tensión de alimentación:	220 Vac 3 Ph + N + T, 60 Hz
Potencia instalada:	6.5 KW
Consumo aire ciclo máquina:	200 NL/min
Presión de aire:	6 Bar
Peso:	3000 Kg
Velocidad mecánica:	Hasta 120 frascos/minuto

3.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Envasadora ATOLLO R 24 + TG V es una máquina automática de movimientos continuos para dosificar productos sólidos granulados en frascos de vidrio o plástico y para cerrarlos con tapa pilfer (metálica) ó con tapa a rosca.

Los frascos son introducidos por la cinta y transportados hacía un tornillo sinfín que los sincroniza con la sucesiva operación de dosificación. Un control de carga mínima esta instalado en la entrada para controlar la continuidad de llegada de los frascos.

Mediante una primera estrella de entrada, que mantiene el paso determinado por el sinfín, el frasco es colocado en el disco central, donde es dosificado.

La unidad de dosificado esta constituida por un dosificador volumétrico rotativo con 24 cabezales de dosificación. La tolva de carga tiene una capacidad de 40 litros aproximadamente con un sensor de nivel de producto. La capacidad de dosificación de la máquina llega hasta 120 frascos/minuto.

Sucesivamente los frascos se cierran con tapa metálica o con tapa a rosca.

En los árboles principales de la estrella de dosificación y de tapado están ubicadas juntas de seguridad que provocan la parada de la máquina en caso de anomalías durante el avance del frasco.

Las tapas son tomadas y cerradas por la estrella de tapado de 6 cabezales operativos. Una fotocélula controla la presencia de la tapa sobre el frasco, accionando el procedimiento de rechazo en caso de falta. Para los frascos cerrados correctamente, esta instalado un control de carga máxima en la salida de la máquina para permitir el avance sin acumulaciones.

Se debe tener en cuenta las condiciones ambientales y operacionales que se deben cumplir para que el equipo inicie operación sin problema.

3.3.1 Condiciones ambientales

La envasadora opera en una área cerrada con condiciones del flujo de aire controladas manteniendo una presión positiva, es decir, en el momento en que abran la puerta del área, el aire del ambiente tendrá la tendencia a salir, ya que, la condición de flujo del pasillo debe ser negativa.

La temperatura y humedad relativa son controladas. Temperatura de trabajo entre 18°C y 30°C, y la humedad relativa entre 35% y 55%.

3.3.2 Condiciones operacionales

En el área de envase laboran dos personas, una de ellas en la encargada de la operación de la envasadora, la otra persona esta pendiente del suministro de frasco a la envasadora. La envasadora se encuentra en medio de dos procesos, acondicionamiento-suministro frascos y etiquetado-empaque frasco envasados en donde laboran 10 personas

La estructura general del modelo de estudio planteado consta de tres partes:

Figura 13. Estructura del modelo planteado



Fuente: Autora monografía 2010

3.4 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.4.1 Origen de la información

En el proceso de recolección de datos, Syntofarma S.A. cuenta con una división de Ingeniería de producción, en donde se controla la productividad mediante centros de trabajo que son diligenciados por los operadores en las líneas de cada proceso. En este formato se registra el producto a procesar, número de personas que trabajarán en la línea, horas de trabajo, tiempos no productivos pero necesarios en el proceso como: aseos, alistamientos, etc.; también es posible discriminar tiempos normales y de proceso lento de trabajo.

Hay una casilla específica para el registro de paradas de tipo general, cuando son por ajuste de equipo se debe especificar el código de la parada y si se requirió de intervención por parte de personal de mantenimiento.

Ver anexo A. CENTRO DE TRABAJO área envase automático R-24

3.4.2 Clasificación de la información

Dependiendo del equipo o proceso, el departamento de Ingeniería creó códigos de paradas específicas, en conjunto con los jefes de área (Logística, producción, mantenimiento, etc.), con el fin de facilitar el registro de información por parte de los operadores y permitir que la información sea real y confiable.

En cada centro de trabajo, se adjunta una Tabla de Códigos que contempla paros generales que se puedan presentar en el proceso, como por ejemplo: paros administrativos programados (reuniones, capacitación, licencias, etc.), paros administrativos no programados (ausencia de materiales, cambio de programación, etc.), calidad (muestreos, inspecciones, etc.) entre otros.

Ver anexo B. TABLA DE CÓDIGOS (Paradas generales del proceso)

3.4.3 Información específica de mantenimiento

Para poder dar inicio al modelo debemos partir de la información real y actualizada que brindan los mismos equipos y el departamento de Ingeniería de Producción, información que debe estar filtrada para el caso puntual de paradas por fallas en la envasadora R-24.

En el caso de paradas por fallas puntuales en los equipos se creó una Tabla de Paradas Específicas por equipos que cumplen una función similar, con el fin de hacer seguimiento y eliminar la causa de las mismas. Existen dos tipos de intervenciones:

1. **DIS04.** Intervención por el operador del equipo, quien se encuentra capacitado para revisión y eliminación de algunas fallas o no conformidades en el desempeño del equipo.
2. **DIS05.** Intervención por parte de mantenimiento cuando el operador lo solicita o cuando es evidente la necesidad de una intervención correctiva.

Ver anexo C. TABLA PARADAS ESPECÍFICAS (efectos de fallas por equipo)

Para el análisis de criticidad nos basaremos en registros de información de los últimos tres meses (Julio, Agosto y Septiembre 2010)

3.4.4 Fallas presentadas en la envasadora Julio

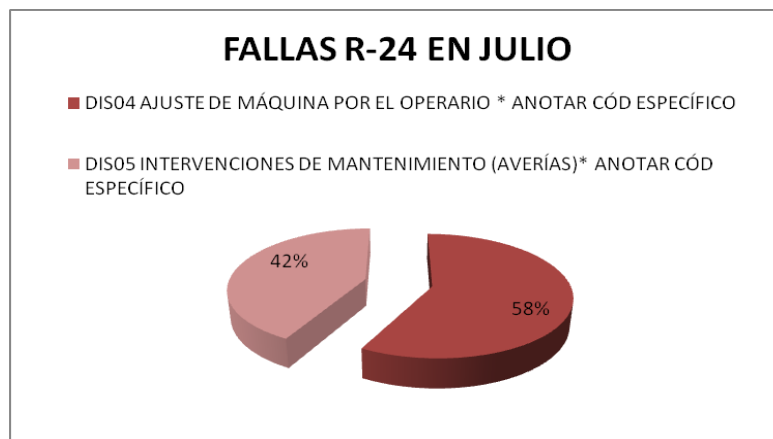
Tabla 3. Fallas reportadas en Julio

FALLAS REPORTADAS EN CENTRO DE TRABAJO ACONDICIONAMIENTO OPERADORES E INTERVENCIÓN MANTENIMIENTO		
FECHA JULIO	(Varios elementos)	
AREA DE PRODUCCION : ENVASE AUTOMÁTICO	ENVASE R24	
Rótulos de fila	TIEMPO MAQUINA PROD FRACCION	HORA/MIN
DIS04 AJUSTE DE MÁQUINA POR EL OPERARIO * ANOTAR CÓD ESPECÍFICO	16,92	
DIS E VARIACIÓN EXCESIVA DE PESO / DOBLE LLENADO	14,58	14,35
DIS E VARIACIÓN EXCESIVA DE POSICIÓN DE ETIQUETA	0,33	0,20
DIS F GRAFADO DEFECTUOSO / INSUFICIENTE / MALTRATO DE LA TAPA	0,50	0,30
DIS G MALTRATO / GOLPE / ROTURA / RAYADO DEL FRASCO	0,67	0,40
DIS K PERDIDA DE PASO DE LA MÁQUINA / BLOQUEO ESTRELLA O TORNILLO SIN FIN DE AVANCE	0,83	0,50
DIS05 INTERVENCIONES DE MANTENIMIENTO (AVERÍAS)* ANOTAR CÓD ESPECÍFICO	12,33	
DIS E VARIACIÓN EXCESIVA DE PESO / DOBLE LLENADO	5,42	5,25
DIS F GRAFADO DEFECTUOSO / INSUFICIENTE / MALTRATO DE LA TAPA	6,25	6,15
DIS I ALIMENTACIÓN O ENTREGA DE TAPA DEFICIENTE / DEFECTUOSA	0,67	0,40
Total general	29	

Fuente: Base de datos Ing. Producción Syntofarma S.A.

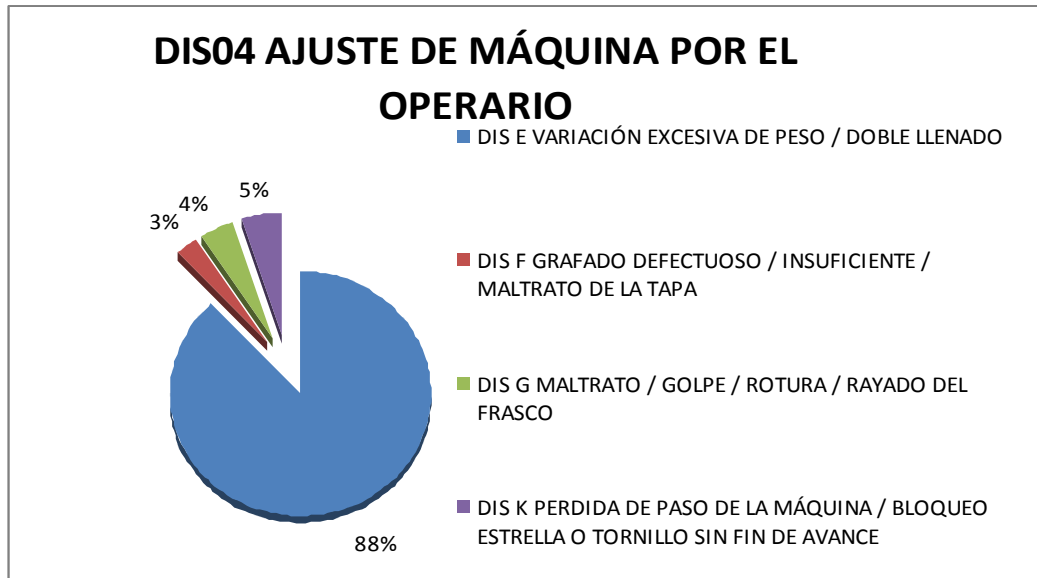
La falla **DIS E Variación excesiva de posición de etiqueta** influye en el proceso de envase y se genera en el proceso siguiente, por lo cual, ésta no la tendremos en cuenta en el análisis de criticidad.

Grafico 1. Porcentaje de intervención operario de producción y mantenimiento Julio



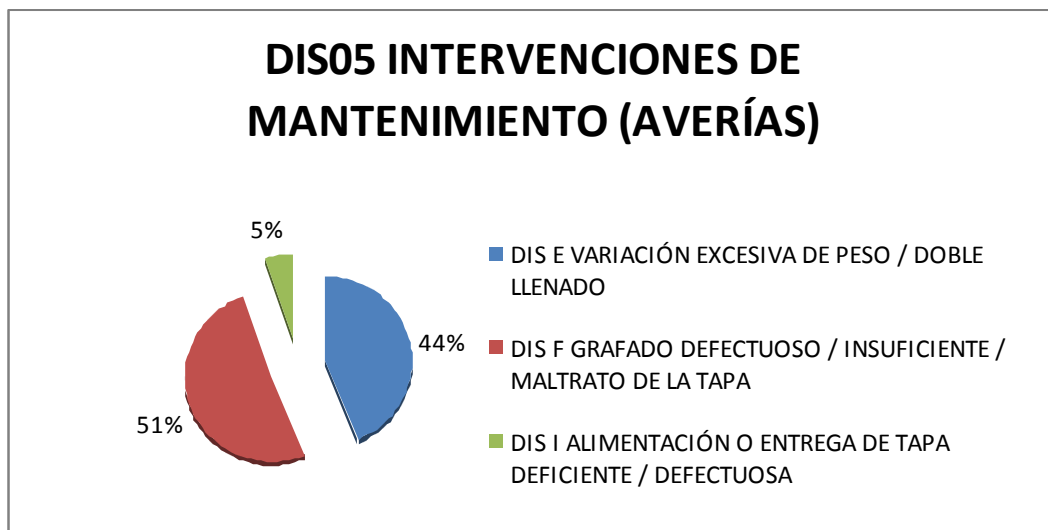
Fuente: Base de datos Ing. Producción Syntofarma S.A.

Grafico 2. Porcentaje de intervención operario de producción Julio



Fuente: Base de datos Ing. Producción Syntofarma S.A.

Grafico 3. Porcentaje de intervención de mantenimiento Julio



Fuente: Base de datos Ing. Producción Syntofarma S.A.

La mayor parte de intervención antes fallas fue realizada por el operario del equipo, la falla más frecuente e impactante fue **DIS E variación de peso**.

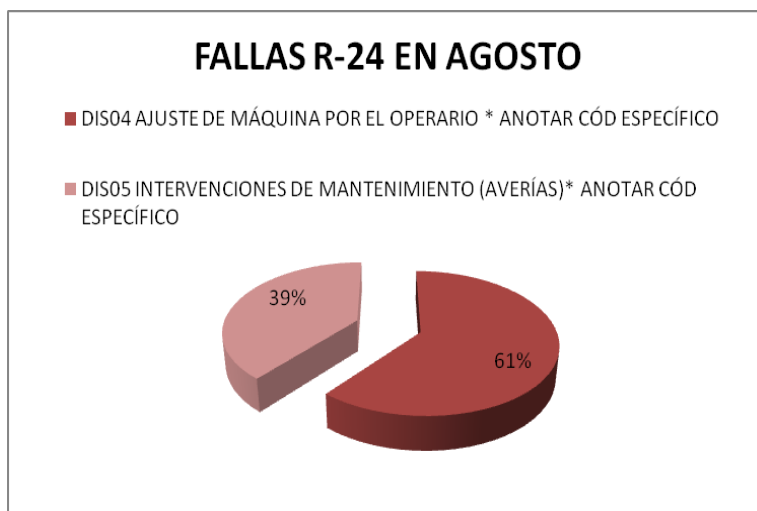
3.4.5 Fallas presentadas en la envasadora Agosto

Tabla 4. Fallas reportadas en Agosto

FALLAS REPORTADAS EN CENTRO DE TRABAJO ACONDICIONAMIENTO OPERADORES E INTERVENCIÓN MANTENIMIENTO			
FECHA AGOSTO		(Varios elementos)	
AREA DE PRODUCCION: ENVASE AUTOMATICO		ENVASE R24	
Rótulos de fila	TIEMPO MAQUINA PROD		HORA/MIN
	FRACCION		
DIS04 AJUSTE DE MÁQUINA POR EL OPERARIO * ANOTAR CÓD ESPECÍFICO	9,67		
AJUSTE DEL OGA	0,17		0,10
DIS E VARIACIÓN EXCESIVA DE PESO / DOBLE LLENADO	4,58		4,35
DIS K PERDIDA DE PASO DE LA MÁQUINA / BLOQUEO ESTRELLA O TORNILLO SIN FIN DE AVANCE	0,42		0,25
DIS P CARGA DE PRODUCTO DEFECTUOSA / INSUFICIENTE	2,75		2,45
SE SUELTA RESORTE DEL DAMPER	0,75		0,45
SENSORES DEL EQUIPO	1,00		1,00
DIS05 INTERVENCIONES DE MANTENIMIENTO (AVERÍAS)* ANOTAR CÓD ESPECÍFICO	6,17		
DIS F GRAFADO DEFECTUOSO / INSUFICIENTE / MALTRATO DE LA TAPA	2,67		2,40
DIS O DIFICULTAD EN EL TRANSPORTE DE FRASCO SOBRE BANDA TRANSPORTADORA	2,50		2,30
SENSORES DEL EQUIPO	1,00		1,00
Total general	15,83		

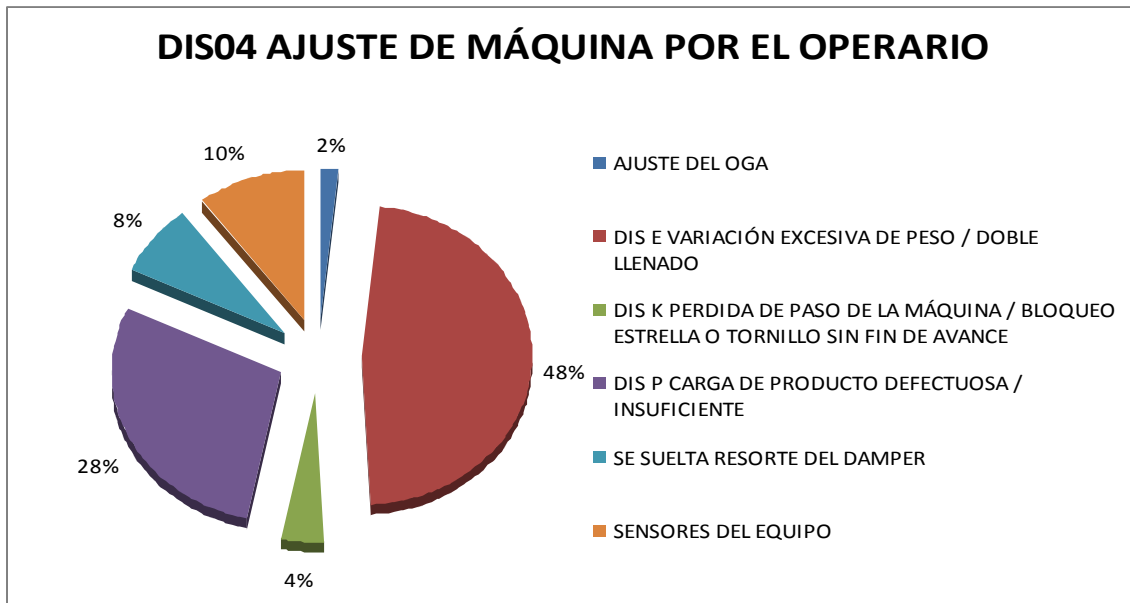
Fuente: Base de datos Ing. Producción Syntofarma S.A.

Grafico 4. Porcentaje de intervención operario de producción y mantenimiento Agosto



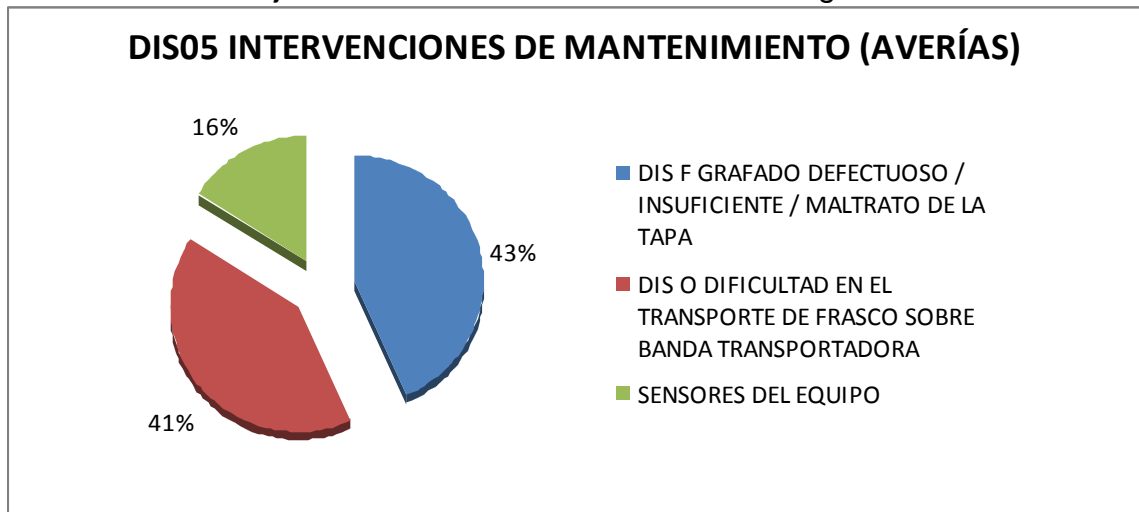
Fuente: Base de datos Ing. Producción Syntofarma S.A.

Grafico 5. Porcentaje de intervención operario de producción Agosto



Fuente: Base de datos Ing. Producción Syntofarma S.A.

Grafico 6. Porcentaje de intervención de mantenimiento Agosto



Fuente: Base de datos Ing. Producción Syntofarma S.A.

En este mes se presenta nuevamente falla **DIS E Variación excesiva de peso** y ocasionó el mayor impacto en la línea.

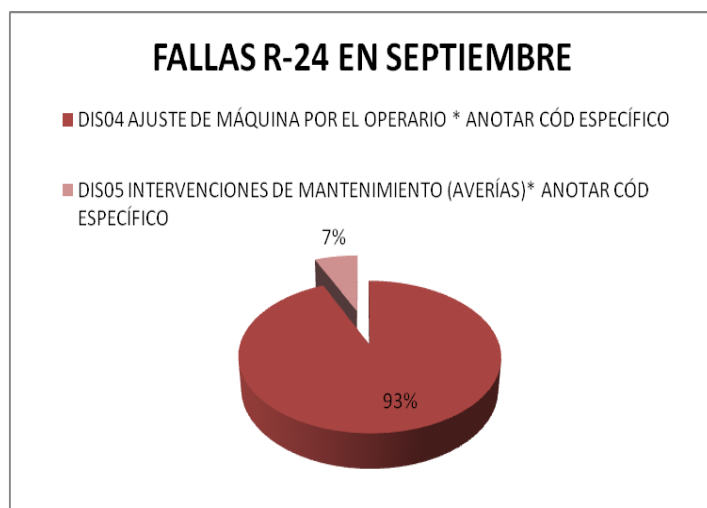
3.4.6 Fallas presentadas en la envasadora Septiembre

Tabla 5. Fallas reportadas en Septiembre

FALLAS REPORTADAS EN CENTRO DE TRABAJO ACONDICIONAMIENTO OPERADORES E INTERVENCIÓN MANTENIMIENTO	
FECHA: SEPTIEMBRE	(Varios elementos)
AREA DE PRODUCCION : ENVASE AUTOMÁTICO	ENVASE R24
Rótulos de fila	TIEMPO MAQUINA PROD. FRACCION HORA/MIN
DIS04 AJUSTE DE MÁQUINA POR EL OPERARIO * ANOTAR CÓD ESPECÍFICO	15,33
BASE DONDE LOS VAN LOS FRASCOS TEFLONES TAZAS	1,67 1,40
DIS E VARIACIÓN EXCESIVA DE PESO / DOBLE LLENADO	2,33 2,20
DIS F GRAFADO DEFECTUOSO / INSUFICIENTE / MALTRATO DE LA TAPA	3,00 3,00
DIS G MALTRATO / GOLPE / ROTURA / RAYADO DEL FRASCO	0,58 0,35
DIS J ALIMENTACIÓN DE FRASCOS DEFICIENTE / DEFECTUOSA	0,67 0,40
DIS K PERDIDA DE PASO DE LA MÁQUINA / BLOQUEO ESTRELLA O TORNILLO SIN FIN DE AVANCE	0,58 0,35
DIS Q SALIDA DE FRASCO SIN TAPA O FRASCOS VACIOS	6,00 6,00
SE ROMPREN LOS FCOS CON FRECUANCIA POR CENTRADOR DE FORMATO ANTERIOR	0,50 0,30
DIS05 INTERVENCIONES DE MANTENIMIENTO (AVERÍAS)* ANOTAR CÓD ESPECÍFICO	1,08
DIS Q SALIDA DE FRASCO SIN TAPA O FRASCOS VACIOS	1,08 1,05
Total general	16,42

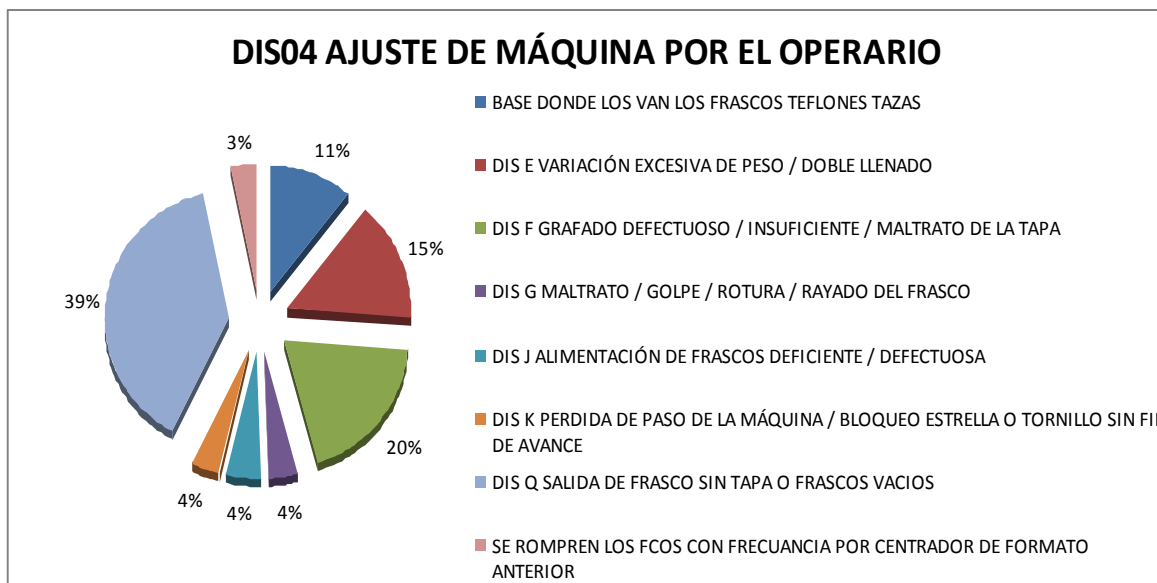
Fuente: Base de datos Ing. Prod. Syntofarma S.A.

Grafico 7. Porcentaje de intervención operario de producción y mantenimiento Septiembre



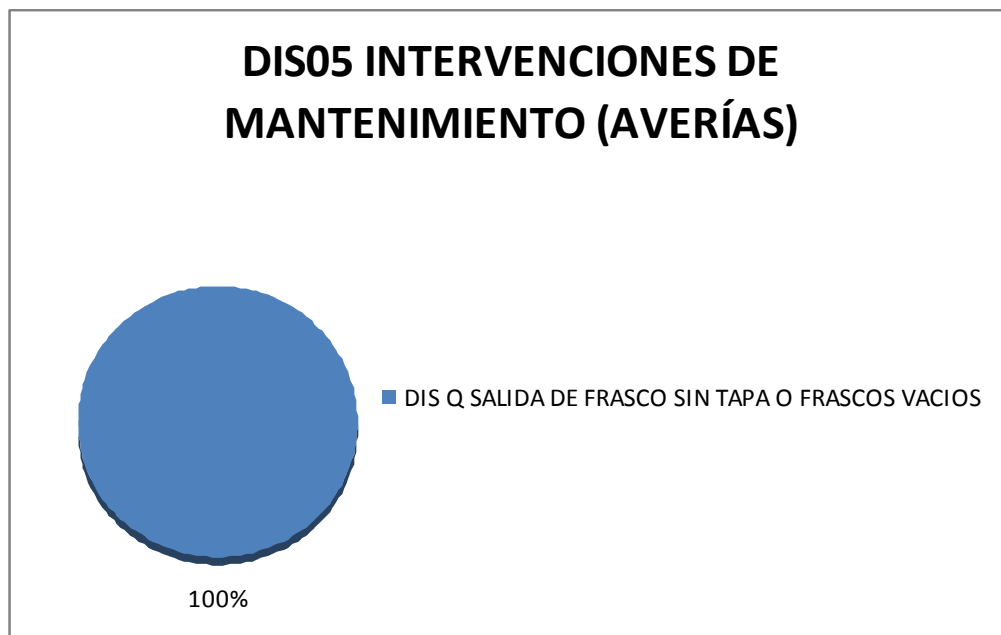
Fuente: Base de datos Ing. Producción Syntofarma S.A.

Grafico 8. Porcentaje de intervención operario de producción Septiembre.



Fuente: Base de datos Ing. Producción Syntofarma S.A.

Grafico 9. Porcentaje de intervención de mantenimiento Septiembre



Fuente: Base de datos Ing. Producción Syntofarma S.A.

En este mes se observa un número de horas máquina similar al de Agosto, aunque se presenta diferentes fallas a parte de DIS E.

Se debe tener en cuenta que estas horas máquina de parada no son las que se contabilizan en los costos de producción, estas horas son multiplicadas por el número de personas que laboran en la línea.

3.5 PROCESO DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

3.5.1 Análisis de criticidad

Este es uno de los procesos mas importante del modelo por cuanto nos permitirá identificar las causas más frecuentes y el impacto generado al equipo y al proceso productivo, para luego implementar las medidas proactivas, modificativas, preventivas o correctivas necesarias en nuestra gestión, para ello se propone el uso de herramientas como el análisis Causa Raíz y análisis de criticidad; se cuenta con la información necesaria y relevante para la identificación de las causas básicas de los problemas puntuales o recurrentes.

Para realizar el análisis de fallas se debe tener en cuenta que un modo de fallo puede estar originado por una o más causas.

Éstas, pueden ser independientes entre sí, también pueden combinarse entre ellas, es decir, que el modo de fallo está condicionado a que se presenten ambas; y por último, puede que las causas estén encadenadas.

Tabla 6. Codificación fallas funcionales y Modos de Fallas

ANÁLISIS MODO DE FALLA			
EQUIPO: ENVASADORA ATOLLO R-24		PLANTA: PENICILINAS	
FECHA: OCTUBRE 2010		REALIZADO POR: MARLENE ALVAREZ	
CÓDIGO DE FALLA FUNCIONAL	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA FUNCIONAL	CÓDIGO DEL MODO DE FALLA	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLA
A	Variación de peso excesiva / Doble llenado	A1	Embudos sin lubricación
		A2	Vibradores sucios / pegados
		A3	Apertura a destiempo del dámper de la válvula
		A4	Sensor de presencia frasco sucio o en mal estado
B	Carga de producto defectuosa / Insuficiente	B1	Mal montaje de elice distribuidora de mezcla
		B2	Tolva superior taponada / elemento extraño
		B3	Mal funcionamiento sensor media tolva
C	Se suelta resorte del dámper	C1	Calibración deficiente de válvula
		C2	Tornillo de sujeción resorte doblado
D	Lectura incorrecta de los sensores del equipo	D1	Demasiada polución en zona de lectura
		D2	Maltrato a sensores en procesos de aseo
		D3	Conectores de sensores fisurados y/o con residuos de agua con mezcla
		D4	Mal posicionamiento del sensor
E	Desgaste teflones tasas	E1	Maltrato en el desmonte y montaje
		E2	Desgaste normal por uso
		E3	Demasiada presión al asegurar tornillos de sujeción
		E4	Uso de herramienta inadecuada
F	Ajuste del Oga / Cargador de producto	F1	Ausencia de aire comprimido
		F2	Mal montaje de tolva producto
		F3	Fuga en manguera de succión
		F4	Deficiencia en programación de tiempos
G	Grafado defectuoso / maltrato de la tapa	G1	Demasiada o poca presión en rublinas del cabezal
		G2	Altura incorrecta de cabezales de grafado
		G3	Mal posicionamiento de la tapa sobre el frasco antes de entrar al sistema de grafado
		G4	Rublinas desgastadas o con bordes defectuosos
		G5	Ausencia de lubricación en rodamientos
		G6	Demasiada polución entre mecanismos del cabezal

H	Salida del frasco sin tapa al proceso de etiquetado	H1	Demasiada polución en zona de lectura
		H2	Maltrato a sensores en procesos de aseo
		H3	Alimentación deficiente de tapa
		H4	Shut del cabezal no ejerce presión sobre la tapa
I	Alimentación o entrega de tapa deficiente	I1	Bajante obstruida por elemento o tapa deformada
		I2	Señal de sobrecarga del sensor
		I3	Demasiada o poca vibración en tolva de suministro tapas
		I4	Caída de tapa en entrega a frasco
J	Maltrato / golpe / rotura / rayado del frasco	J1	Estrellas de transición desfasadas de posición de trabajo
		J2	Mal centrado de frasco en bloque dosificado
		J3	ausencia de sincronización a entrada bloque grafado
		J4	Demasiada presión en pinzas cuando cabezal asegura tapa al frasco
		J5	Perdida de paso de la máquina
K	Alimentación de frasco defectuosa / insuficiente	K1	Demasiada presión en tornillo sin fin entrada
		K2	Bajo flujo de frascos en la banda transportadora
L	Pérdida del paso de la máquina / bloqueo estrella o tronillo sin fin avance	L1	Activación de alarma sobreesfuerzo de la maquina
		L2	Frasco en posición horizontal entra a tornillo sin fin
		L3	Perdida de posición de soporte frasco en bloque dosificado
		L4	Perdida de sincronización entre tornillos sin fin y estrellas de transición
M	Dificultad en el transporte del frasco sobre la banda transportadora	M1	Guías de transporte muy abiertas
		M2	Demasiada polución sobre eslabones de banda transportadora
N	Rotura de frascos con frecuencia por centrador de formato anterior	N1	Perdida de sincronización entre tornillos sin fin y estrellas de transición

Fuente: Autora monografía 2010

Una vez establecidas las fallas funcionales y sus correspondientes modos de falla, se procede a calificar la severidad, la posibilidad de ocurrencia y la probabilidad de detección temprana de fallas, con el fin de construir el valor del RPN, con el cual se jerarquizan las tareas correctivas, modificativas y proactivas a realizar con el fin de erradicar o controlar las fallas en la envasadora.

3.5.2 Criterios de riesgo

A continuación se creará unas tablas en donde se priorice la gravedad y criticidad de las mismas y se evalúe las consecuencias y su respectivo impacto, por medio de asignación de un valor numérico (0 a 4) para cada una de las expresiones, en donde 4 representa un impacto más desfavorable sobre la línea.

TABLAS DE VALORES DE CRITERIOS DE SEVERIDAD

Tabla 7. Valores FO Fallos Ocultos

FO – FALLOS OCULTOS	VALOR
No existen falla oculta que pueda generar fallas múltiples posteriores	0
Existe una baja posibilidad de que la falla no sea detectada y ocasiona fallas múltiples posteriores	1
En condiciones normales la falla siempre será oculta y generará fallas múltiples posteriores	2
Existe una baja probabilidad de que la falla si sea detectada y ocasiona fallas múltiples posteriores	3
La falla siempre es oculta y ocasionará fallas múltiples graves en el sistema	4

Fuente: Autora monografía 2010

Las consecuencias por fallas ocultas normalmente no inciden directamente pero pueden llegar a generar paradas serias y catastróficas (generalmente en los sistemas de protección)

Tabla 8. Valores SF Seguridad Física

SF – SEGURIDAD FÍSICA	VALOR
No afecta al operador ni al equipo	0
Afecta a un operador y es posible que genere incapacidad de tipo temporal	1
Afecta a dos o más operadores y es posible que genere incapacidad de tipo temporal	2
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere notificación a entes externos de la compañía	3
Genera incapacidad permanente o la muerte a una o más personas	4

Fuente: Autora monografía 2010

Las consecuencias ambientales y de seguridad física y humana están relacionadas con las normas y leyes vigentes (contaminación, violación de seguridades, muertes, accidentes fatales, etc.)

Tabla 9. Valores MA Medio Ambiente

MA – MEDIO AMBIENTE	VALOR
No afecta al medio ambiente	0
Afecta al medio ambiente pero se puede controlar. No daña el ecosistema	1
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de seis meses	2
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en menos de tres años	3
Afecta la disponibilidad de recursos sociales y el ecosistema. Es reversible en más de tres años	4

Fuente: Autora monografía 2010

Tabla 10. Valores IC Imagen Corporativa

IC – IMAGEN CORPORATIVA	VALOR
No es relevante	0
Afecta la credibilidad de los clientes pero se maneja con argumentos	1
Afecta la planeación y programación de la línea, sin afectar fecha de entrega al cliente	2
Afecta la planeación y programación de la línea, afecta fecha de entrega al cliente pero se maneja con argumentos	3
Afecta la planeación y programación de la línea, afecta fecha de entrega al cliente y genera inversión mayor de dinero	4

Fuente: Autora monografía 2010

Las consecuencias en el impacto negativo a la Imagen Corporativa están enfocadas a incumplimiento con fechas de entrega previamente acordadas con el cliente.

Tabla 11. Valores IO Impacto Operacional

IO – IMPACTO OPERACIONAL	VALOR
No genera ningún efecto significativo sobre la producción	0
Impacta negativamente en la calidad del producto enviado a Etiquetado-empaque	1
Parada de la línea de envase automático y tiene repercusión en la línea de etiquetado-empaque	2
Retrabajo y/o revisión del proceso realizado total o parcialmente	3
Perdida de materia prima y/o empaque primario (frascos, tapas, etc.)	4

Fuente: Autora monografía 2010

Las consecuencias operacionales pueden afectar la calidad, seguridad, cantidad, atención al cliente, reprocesos, desperdicios, etc. además de la reparación.

Tabla 12. Valores IFO Criterio de severidad

IFO – FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	VALOR
Repuesto disponible de bajo costo	0
Repuesto disponible de alto costo o dificultad en fabricación	1
Repuesto no disponible de fácil consecución	2
Repuesto no disponible de difícil consecución y/o fabricación	3
No existe opción de reanudar la producción, no hay función de repuesto (desconfiguración de dispositivos de control)	4

Fuente: Autora monografía 2010

TABLA DE VALORES DE CRITERIOS DE OCURRENCIA

Tabla 13. Valores FF Frecuencia de Fallas

FF – FRECUENCIA DE FALLAS	VALOR
Poco probable una falla en el trimestre	1
Remota una falla al mes	2
Ocasional una falla en dos semanas	3
Frecuente varias fallas a la semana	4

Fuente: Autora monografía 2010

TABLA DE VALORES DE CRITERIOS DE DETECCIÓN

Tabla 14. D Valores Detección de fallas

D – DETECCIÓN DE FALLAS	VALOR
Seguro - Siempre se detectará la causa potencial, mecanismos y modos de fallo subsecuentes	1
Media - Mediana probabilidad para detectar la causa potencial, mecanismos y modos de fallo subsecuentes	2
Baja - Baja probabilidad para detectar la causa potencial, mecanismos y modos de fallo subsecuentes	3
Nula - No se puede detectar la causa potencial, mecanismos y modos de fallo subsecuentes	4

Fuente: Autora monografía 2010

NPR: Numero de prioridad de Riesgo.

$$\mathbf{NPR = S \times O \times D}$$

S: **Severidad** Impacto del fallo o gravedad.

O: **Ocurrencia** Probabilidad de falla.

D: **Detección** Probabilidad de no detección.

La calificación de severidad se realiza teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- FO – Fallas ocultas
- SF – Impacto seguridad física
- MA – Impacto medio ambiente
- IC – Impacto en imagen corporativa
- IO – Impacto operacional
- IFO – Impacto en la flexibilidad operacional

$$\mathbf{S = FO \times K_{FO} + SF \times K_{SF} + MA \times K_{MA} + IC \times K_{IC} + IO \times K_{IO} + IFO \times K_{IFO}}$$

Donde según su impacto el coeficiente de la constante K quedará así:

Tabla 15. Estimación probabilística de valor a criterios de severidad

CRITERIO DE SEVERIDAD	CONSTANTE	VALOR (%)
FO – Fallas ocultas	K_{FO}	5
SF – Impacto seguridad física	K_{SF}	20
MA – Impacto medio ambiente	K_{MA}	5
IC – Impacto en imagen corporativa	K_{IC}	20
IO – Impacto operacional	K_{IO}	30
IFO – Impacto en la flexibilidad operacional	K_{IFO}	20
SEVERIDAD (Impacto de fallo)		100

Fuente: Autora monografía 2010

A continuación la matriz de Análisis Modal de Fallos y Efectos AMFE dirigida o enfocada a lograr Disponibilidad, Confiabilidad del equipo y Aseguramiento de la Calidad, que mediante el análisis sistemático, contribuye a identificar y prevenir los modos de fallo de los diferentes sistemas que componen la envasadora, evaluando su gravedad, ocurrencia y detección, mediante los cuales, se calculará el Número de Prioridad de Riesgo, para priorizar las causas, sobre las cuales habrá que actuar para evitar que se presenten dichos modos de fallo.

3.5.6 Evaluación Criterios de Riesgo

El proceso continua con la evaluación de cada uno de los modos de falla descritos, una vez se cuenta con la evaluación se procede a su clasificación y jerarquización para determinar la prioridad de ejecución de las tareas correctivas, modificativas, preventivas o proactivas de mantenimiento.

Tabla 16. Evaluación Modos de Falla Envasadora R-24

EVALUACIÓN MODOS DE FALLA											
EQUIPO: ENVASADORA ATOLLO R-24						PLANTA : PENICILINAS					
FECHA: OCTUBRE 2010						REALIZADO POR: MARLENE ÁLVAREZ					

CÓDIGO DEL MODO DE FALLA	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLA	FO	SF	MA	IC	IO	IFO	S	FF	D	RPN
A1	Embudos sin lubricación	1	0	0	1	1	0	0,55	2	2	2,20
A2	Vibradores sucios / pegados	2	0	1	1	2	2	1,35	2	2	5,40
A3	Apertura a destiempo del dámper de la válvula	2	0	0	2	1	2	1,20	1	3	3,60
A4	Sensor de presencia frasco sucio o en mal estado	1	0	0	2	2	1	1,25	4	2	10,00
B1	Mal montaje de elice distribuidora de mezcla	3	0	1	1	2	0	1,00	1	1	1,00
B2	Tolva superior taponada / elemento extraño	4	0	0	1	2	0	1,00	1	1	1,00
B3	Mal funcionamiento sensor media tolva	2	0	0	2	2	0	1,10	2	3	6,60
C1	Calibración deficiente de válvula	4	0	0	3	1	0	1,10	4	3	13,20
C2	Tornillo de sujeción resorte doblado	3	0	0	2	1	1	1,05	3	2	6,30
D1	Demasiada polución en zona de lectura	2	0	1	1	1	0	0,65	4	1	2,60
D2	Maltrato a sensores en procesos de aseo	4	0	0	4	2	2	2,00	3	1	6,00
D3	Conectores de sensores fisurados y/o con residuos de agua con mezcla	4	0	0	4	2	2	2,00	2	2	8,00
D4	Mal posicionamiento del sensor	1	0	0	1	1	0	0,55	2	2	2,20
E1	Maltrato en el desmonte y montaje	2	0	0	2	2	0	1,10	3	2	6,60
E2	Desgaste normal por uso	1	0	0	1	2	3	1,45	2	1	2,90
E3	Demasiada presión al asegurar tornillos de sujeción	3	1	1	1	4	0	1,80	4	1	7,20
E4	Uso de herramienta inadecuada	2	2	1	1	0	0	0,75	4	2	6,00
F1	Ausencia de aire comprimido	0	0	0	4	2	0	1,40	1	1	1,40
F2	Mal montaje de tolva producto	3	1	1	2	0	0	0,80	1	2	1,60
F3	Fuga en manguera de succión	2	1	1	2	0	1	0,95	1	2	1,90
F4	Deficiencia en program. de tiempos	2	0	0	2	0	2	0,90	1	3	2,70
G1	Demasiada o poca presión en rublinas del cabezal	4	0	0	1	2	0	1,00	3	2	6,00
G2	Altura incorrecta cabezales de grafado	3	0	0	3	3	0	1,65	2	2	6,60
G3	Mal posicionamiento de tapa sobre el fco. antes de entrar al sist. de grafado	3	0	1	1	3	0	1,30	3	1	3,90

G4	Rublinas desgastadas / bordes defect.	2	0	1	2	3	3	2,05	3	1	6,15
G5	Ausencia de lubricación en rodamientos	2	0	0	2	1	0	0,80	1	3	2,40
G6	Demasiada polución entre mecanismos del cabezal	1	0	1	2	1	0	0,80	2	1	1,60
H1	Demasiada polución en zona de lectura	1	0	1	1	1	0	0,60	3	1	1,80
H2	Maltrato a sensores en proces. de aseo	4	0	0	4	2	0	1,60	4	3	19,20
H3	Alimentación deficiente de tapa	2	0	0	1	1	1	0,80	2	1	1,60
H4	Shut del cabezal no ejerce presión sobre la tapa	2	0	0	2	3	1	1,60	2	2	6,40
I1	Bajante obstruida por elemento o tapa deformada	2	0	0	1	1	0	0,60	1	1	0,60
I2	Señal de sobrecarga del sensor	2	0	0	2	2	3	1,70	1	1	1,70
I3	Demasiada o poca vibración en tolva de suministro tapas	1	0	0	2	0	0	0,45	2	2	1,80
I4	Caída de tapa en entrega a frasco	1	0	1	1	1	0	0,60	2	1	1,20
J1	Estrellas de transición desfasadas de posición de trabajo	2	0	1	3	1	0	1,05	1	1	1,05
J2	Mal centrado de frasco en bloque dosificado	1	0	1	3	3	2	2,00	1	1	2,00
J3	Ausencia de sincronización a entrada bloque grafado	2	1	1	2	4	0	1,95	1	1	1,95
J4	Demasiada presión en pinzas cuando cabezal asegura tapa al frasco	2	0	0	2	4	0	1,70	4	2	13,60
J5	Perdida de paso de la máquina	3	1	0	2	2	2	1,75	2	1	3,50
K1	Demasiada presión en tornillo sin fin entrada	2	0	0	1	2	2	1,30	1	1	1,30
K2	Bajo flujo de frascos en la banda transp.	1	0	0	1	1	0	0,55	1	1	0,55
L1	Activación de alarma sobre esfuerzo de la maquina	4	1	0	3	1	2	1,70	1	3	5,10
L2	Frasco en posición horizontal entra a tornillo sin fin	1	0	0	1	1	0	0,55	4	1	2,20
L3	Perdida de posición de soporte frasco en bloque dosificado	2	0	0	3	4	2	2,30	2	2	9,20
L4	Perdida de sincronización entre tornillos sin fin y estrellas de transición	3	0	0	2	4	1	1,95	1	1	1,95
M1	Guías de transporte muy abiertas	1	0	0	1	1	0	0,55	1	1	0,55
M2	Demasiada polución sobre eslabones de banda transportadora	1	0	1	1	1	0	0,60	2	1	1,20
N1	Perdida de sincronización entre tornillos sin fin y estrellas de transición	3	0	0	2	4	2	2,15	1	1	2,15

Fuente: Autora monografía 2010

Tabla 17. Modos de falla críticos

EVALUACIÓN MODOS DE FALLA											
EQUIPO: ENVASADORA ATOLLO R-24						PLANTA : PENICILINAS					
FECHA: OCTUBRE 2010						REALIZADO POR: MARLENE ÁLVAREZ					

CÓDIGO DEL MODO DE FALLA	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLA	FO	SF	MA	IC	IO	IFO	S	FF	D	RPN
H2	Maltrato a sensores en procesos de aseo	4	0	0	4	2	0	1,60	4	3	19,20
J4	Demasiada presión en pinzas cuando cabezal asegura tapa al frasco	2	0	0	2	4	0	1,70	4	2	13,60
C1	Calibración deficiente de válvula	4	0	0	3	1	0	1,10	4	3	13,20
A4	Sensor de presencia frasco sucio o en mal estado	1	0	0	2	2	1	1,25	4	2	10,00
L3	Perdida de posición de soporte frasco en bloque dosificado	2	0	0	3	4	2	2,30	2	2	9,20
D3	Conectores de sensores fisurados y/o con residuos de agua con mezcla	4	0	0	4	2	2	2,00	2	2	8,00
E3	Demasiada presión al asegurar tornillos de sujeción	3	1	1	1	4	0	1,80	4	1	7,20
B3	Mal funcionamiento sensor media tolva	2	0	0	2	2	0	1,10	2	3	6,60
E1	Maltrato en el desmonte y montaje	2	0	0	2	2	0	1,10	3	2	6,60
G2	Altura incorrecta de cabezales de grafado	3	0	0	3	3	0	1,65	2	2	6,60

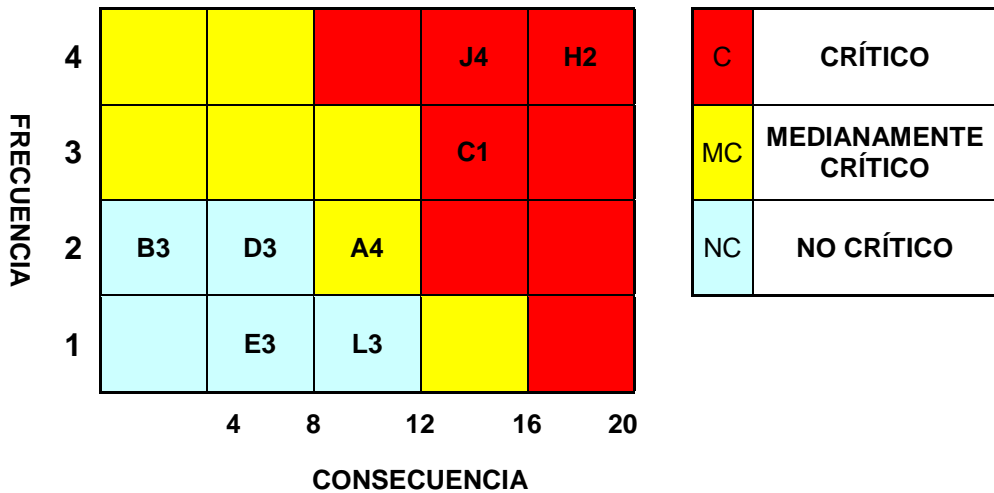
Fuente: Autora Monografía 2010

La tabla anterior muestra las diez fallas con mayor nivel de riesgo, además, es posible analizar que estas fallas repetitivas de corta duración ocasionan un impacto negativo importante en la disponibilidad, confiabilidad y productividad del equipo.

3.6 PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN

La siguiente Matriz de Criticidad fijará prioridades, con lo cual, se podrá dar curso a las acciones correctivas y tareas proactivas con mayor nivel de criticidad, en su orden jerárquico.

Figura 13. Matriz de criticidad envasadora R-24



Fuente: Autora Monografía 2010

Los tres modos de falla más críticos están son causados por manipulación inadecuada del operador, o por deficiencia en la calibración de componentes del equipo, lo cual, conlleva a un programa de entrenamiento y re-entrenamiento no solo a operadores de equipos, sino a todas las personas que laboran en la línea, esto porque todos realizan intervención de montaje, desmontaje y lavado de componentes.

3.6.1 Proceso de planificación

Este proceso se refiere a la creación de una estructura organizada en conjunto con las áreas de producción e ingeniería de producción para diseñar un programa de entrenamiento que brinde bases técnicas, operativas y de calidad que den

facultad a los operadores de manipular y manejar correctamente componentes del equipos para optimizar la vida útil del mismo.

La planificación es una forma organizada de administrar los temas a divulgar, especificar temas puntuales a tratar por cada departamento.

Se puede plantear iniciativa de áreas autónomas, donde se empodera a las personas de la línea para poder afrontar y analizar las dificultades presentadas, empezando por concientización de siempre conocer y divulgar la causa raíz de las fallas; generando a la vez un proceso de retroalimentación para aprender haciendo.

3.6.2 Proceso de programación

En este proceso se llevará a cabo la programación de cada una de las tareas generadas por el proceso de mejora del modelo planteado, categorizadas como tareas de mantenimiento programado, preventivo y predictivo. Esta programación se realizará bajo una estricta planificación por el área de planeación, mantenimiento, logística y control calidad.

Reprogramación Esta actividad se llevará a cabo siempre y cuando la tarea no se cumpla por alguna restricción en el proceso para garantizar el cumplimiento de las acciones correctivas.

Estas nuevas tareas deben ser incluidas en el programa de mantenimiento de cada sistema del equipo.

3.6.3 Proceso de ejecución

Para este proceso se tendrán en cuenta los siguientes factores que conllevan a mejorar la mantenibilidad.

- Factores Personales
- Factores Técnicos

- Capacitación

Factores Personales. Este factor contiene un grupo de características importantes sobre el recurso humano, para lograr estas ventajas en el proceso se requiere de métodos para facilitar el trabajo de mantenimiento. Para nuestro modelo podemos implementar; trabajo en equipo, lluvia de ideas, reuniones de máximo 10 minutos para el inicio y final de las actividades de trabajo y el buzón de sugerencias para el mejoramiento continuo de los procedimientos y rutas de cada proceso. Un factor que es el más importante es la capacitación, esta debe ser direccionada a las necesidades reales del personal técnico y profesional generando la motivación y fortaleciendo las debilidades de la gente.

Se proponen las siguientes actividades:

Actividades de trabajo en equipo; cada jefe de área (mantenimiento, producción e ingeniería de producción) programará una reunión de máxima duración de una (1) hora, semanalmente donde se mostraran videos del equipo, componentes, herramientas y actividades para el mejoramiento de la línea.

Lluvia de ideas; esta práctica se llevará a cabo para minimizar el liderazgo autoritario y aumentar el democrático. Es recomendable emplear esta técnica para la solución de problemas y se debe rotar el departamento que la dirija, además de esto también se recomienda documentar las diferentes sesiones y resultados. La estructura o etapas para lograr una buena práctica son:

1. Introducción: Inicie la sesión explicando los objetivos, las preguntas o los problemas que van a ser discutidos y las reglas de juego, en su conducción se recomienda:

- Promover un clima tranquilo y agradable.
- Estar seguro de que todos han entendido el tema que va a ser tratado.

- Redefinir el problema de ser necesario.

2. Generación de ideas: Dar uno o dos minutos para que los participantes piensen en el problema; solicitar, en secuencia, una idea a cada participante. En caso de que algún participante no tenga nada para que contribuir, podrá hacerlo más adelante. Se pueden hacer varios turnos para que todos tengan oportunidad de participar. Para su conducción se recomienda:

- No olvidar que todas las ideas son importantes, evitar enjuiciarlas.
- Incentivar al grupo a dar un mayor número de ideas.
- Mantener un ritmo rápido en la recolección y registro de las ideas.
- Colocar las fichas que registran las ideas en el orden de aparición

3. Revisión de las tarjetas expuestas en el panel: Preguntar si alguien tiene alguna duda y, si fuera el caso, pedir aclaración a la persona que la generó,

- El objetivo de esta etapa es tener claros todos los conceptos emitidos, sin juzgarlos.

4. Análisis y selección: Llevar al grupo a discutir las ideas y a escoger aquéllas que vale la pena considerar. Utilizar el consenso en esta selección preliminar del problema o solución. Para la conducción se recomienda:

- Ideas semejantes deben ser agrupadas; ideas sin importancia o impracticables deben eliminarse
- Cuidar para que no haya monopolio o imposición por parte de algún participante

- 5. Ordenando las ideas:** Solicitar el análisis de las tarjetas que permanecerán en el panel. Promover la priorización de las ideas, solicitando a cada participante que escoja las tres más importantes. Para la conducción se recomienda
- La votación debe ser usada apenas cuando el consenso no sea posible

Reuniones cortas: estas reuniones serán obligatorias en el departamento para la discusión de actividades de mejora, con el fin de, eliminar cada una de las dudas posibles para el inicio de las actividades y una reunión al final para concluir sugerencias

Buzón de sugerencias: cada departamento en una localización definida por el jefe de cada departamento (mantenimiento, producción e Ingeniería)

Capacitación: para este punto se recomienda el planteamiento de un programa de capacitación con objetivos definidos y con aplicación de la metodología DOFA para tener claro las estrategias corporativas con respecto al recurso humano.

Factores Técnicos. La envasadora automática Atollo R-24 es un equipo al cual se le realiza mantenimiento e inspección preventiva mensual, como es un equipo compuesto de varios sistemas, en ocasiones mantenimiento queda corto en la intervención mensual; por lo cual, se plantea dividir el equipo en subsistemas a los cuales se les realice una inspección minuciosa con disponibilidad del mismo tiempo que asigna producción para el mantenimiento.

Se debe complementar mejor la información de los centros de trabajo; en adelante el técnico que atienda la solicitud de producción debe firmar en una casilla que se creará para ello, y a la vez, debe colocar en observaciones un resumen del suceso y en lo posible la causa.

Esta división de sistemas permitirá revisar proactivamente las fallas potenciales anteriormente identificadas. La división quedaría de la siguiente manera:

Tabla 18. Propuesta subdivisión de sistemas envasadora R-24

SISTEMA	FRECUENCIA
Grupo dosificado	Semestral
Grupo grafado	Semestral
Cabezales grafado tapa pilfer	Trimestral
Cinematismos / Lubricación	Semestral
Grupo transporte / Banda y sistemas de transición	Semestral
Sistema eléctrico y control	Semestral
Grupo vibración	Trimestral

Fuente: Autora Monografía 2010

Capacitación. Este es quizá el factor más importante, los operarios de la línea deben conocer la máquina, conocer sus funciones, su modo de operación, y con la experiencia y capacitación por parte de mantenimientos acciones preventivas y correctivas que se presenten.

Mantenimiento tendrá a cargo todas las capacitaciones de nociones básicas (Neumática, Electrónica, Riesgos eléctricos, etc.), de actividades del día a día como inspección todo el tiempo al equipo tanto visual, como auditiva, olfativa, entre otras e intervenciones técnicas preventivas, proactivas o correctivas.

Como se observo en el análisis de fallas la mayor intervención al equipo fue realizada por operadores del equipo, y la mayoría de veces mantenimiento no se entero de estas anomalías; Ingeniería de Producción generará un reporte de las fallas más significativas de la semana, para así, hacer seguimiento a cada una de ellas.

4. CONCLUSIONES

El objetivo primario de mantenimiento frente a producción consiste en mantener en óptimo estado los equipos, tratando de contrarrestar la acción del uso, desgaste o envejecimiento, con el fin de brindar la máxima funcionalidad y disponibilidad de las máquinas, y a la vez que el conjunto de elementos que conforman el equipo cumplan cada uno y en grupo la función para la cual fueron diseñados.

Realizando el análisis, clasificación y organización de la información recolectada se pudo detectar que hay varias fallas de los equipos desconocidas por el departamento de mantenimiento, debido a que los operadores, en ocasiones por voluntad propia o por la presión de tiempo en los procesos, no informó e intervino el equipo en muchas ocasiones solucionando la falla pero a la par generando un falla potencial mayor.

El modelo de detección de fallas planteado pretende ser el inicio de un programa metódico y sistemático liderado por jefes de las áreas de Mantenimiento, Ingeniería y Producción, teniendo en cuenta tres factores muy importantes: personales, técnicos y capacitación, con los cuales será posible primero, hablar el mismo idioma y segundo, generar estrategias, rutinas y actividades para erradicar estas fallas y maximizar la productividad de la línea en general.

BIBLIOGRAFÍA

CLIVE Roberts. EE2G1 Systems Engineering Course 1998.

DOMINGUEZ Giraldo Gepardo. Indicadores de Gestión. Biblioteca Jurídica DIKE. Segunda Edición 1999.

GARCÍA Palencia Oliverio. Administración de Mantenimiento y Sistemas de Control. Edición U.P.T.C. 1992

KELLY A. y Harris M.J. Gestión del mantenimiento Industrial. Publicaciones Fundación REPSOL. 1998.

MORA Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Envigado, Colombia 2009. Pag. 233 – 260

NAVARRO Elola Luis, PASTOR Tejedor Ana Clara, MUGABURU Lacabrera Jaime Miguel. Gestión integral del Mantenimiento. Marcombo Boixareu Editores. 1997. Pág. 11-18

SACRISTAN Francisco Rey. Hacia la excelencia en Mantenimiento. TGP HOSHIN, S.L. Madrid 1996.

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO B

TABLA DE CÓDIGOS

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
TNT01	Tiempo normal de trabajo (incluye recepción de materiales/armar corrugados/pruebas)
TNT02	Tiempo proceso lento de trabajo*Anotar CÓDIGO
PAROS ADMINISTRATIVOS PROGRAMADOS	
PAP01	Aseo A
PAP02	Aseo B
PAP03	Aseo C
PAP04	Aseo D
PAP05	Aseo áreas comunes
PAP06	Alimentación/pausas
PAP07	Mantenimientos preventivos/Validaciones
PAP08	Reuniones
PAP09	Capacitaciones/entrenamientos
PAP10	Ensayos/pilotos desarrollo
PAP11	Simulacros/actividades extracurriculares
PAP12	Licencias de maternidad
PAROS ADMINISTRATIVOS NO PROGRAMADOS	
PAN01	Ausencia / baja presión aire comprimido
PAN02	Ausencia aire suministro / extracción en área
PAN03	Ausencia / intermitencia suministro eléctrico
PAN04	Falta de materia prima desde el proveedor
PAN05	Falta de materiales de empaque desde el proveedor
PAN06	Falta de utensilios de uso personal (guantes, tapabocas)
PAN07	Falta de tambores, canastas, estibas, herramientas de apoyo (pesas/balanzas)
PAN08	Cambio/falta de programación
PAN09	Accidentes/permisos
PAN10	Empalme entre turnos
PAN11	Verificaciones/aprobaciones por parte de supervisor/jefe
PAN12	Toma de muestras microbiológicas
PAN13	Apoyo a otras áreas
PAN14	Espera/verificación de documentación
PAN15	Falta de personal
PAN16	Falta de personal de desarrollo para elaborar pilotos/ensayos
DISPONIBILIDAD	
DIS01	Alistamiento del área/chequeo de balanzas/energizar el equipo/verificar equipos/primer ajuste de peso y de equipo
DIS02	Entrega del lote/entrega de documentación/despeje del área/organizar el área
DIS03	Cambios de formato
DIS04	Ajuste de máquina por el operario * Anotar CÓD ESPECÍFICO
DIS05	Intervenciones de mantenimiento (AVERÍAS)* Anotar CÓD ESPECÍFICO
DIS06	Rotura de elemento de sujeción / daño de rosca
DIS07	Perdida / daño de elemento o componente de equipo
DIS08	Ajustes de peso durante el proceso
PAROS EXTERNOS	
PEX01	Defectos del producto en el proceso
PEX02	Defectos del material de empaque en el proceso
PEX03	Falta de producto en proceso
PEX04	Falta de materiales de empaque en proceso
PEX05	Demora en surtir materiales
PEX06	Demora en traslados
PEX07	Demora en proceso anterior
PEX08	Demora en proceso posterior
PEX09	Humedad
PEX10	Falta de aprobados de mezclas/desintegraciones/disoluciones
PEX11	Falta de aprobados de materiales
PEX12	Chequeo de balanzas y elementos de medición por control de calidad
PEX13	Demoras por lavandería
PEX14	Demoras por vigilancia
PEX15	Confusiones en las cuentas
PEX16	Paros por locativos
CALIDAD	
CAL01	Reprocesos
CAL02	Remanentes
CAL03	Muestreos
CAL04	Inspecciones 100% durante el proceso
CAL 05	Retrabajos
CAL06	Recoger a granel

ANEXO C

TABLA PARADAS ESPECÍFICAS

CÓD	EFECTOS DE FALLA EQUIPOS DE BLISTEADO TR100, TR100LT, UPS300
DIS A	La blisteadora no se energiza
DIS B	La blisteadora no arranca después la señal de start
DIS C	La blisteadora se detiene de repente durante la operación
DIS D	Vibración / ruido excesivo de la blisteadora
DIS E	Operación forzada de la blisteadora
DIS F	Variación en el troquelado del bister (excede 0,5 mm)
DIS G	Falta de hermeticidad del blister (las pruebas se filtran)
DIS H	Formado del blister insuficiente o defectuoso (malformado)
DIS I	Troquelado del blister defectuoso
DIS J	Maltrato/doblado del blister
DIS K	Quemado de capsula durante el sellado (capsula empolvada)
DIS L	Variación en la alineación del aluminio
DIS M	Variación en la alineación del PVC/PVDC
DIS N	Disminución en el ancho del PVC/PVDC después del formado
DIS O	Codificado defectuoso / nulo / incompleto / fuera de posición
DIS P	Grafilado no uniforme (lisos)
DIS Q	Se enreda / atasca constantemente blisters en en troquel
DIS R	Se entreda / atasca constantemente tira de retal en sistema de corte retal
DIS S	Alimentacion automatica de capsulas defectuosas
DIS T	Perdida de paso (quemado/maltratado del blister en el sellado)

CÓD	EFECTOS DE FALLA EQUIPOS DE ENCAPSULADORAS Z40F
DIS A	La encapsuladora no se energiza
DIS B	La encapsuladora /equipo auxiliar no arranca después la señal de start
DIS C	La encapsuladora / equipo auxiliar se detiene de repente durante la operación
DIS D	Vibración / ruido excesivo de la encapsuladora
DIS E	Operación forzada de la encapsuladora
DIS F	Cápsula telescopiada
DIS G	Cápsula ponchada
DIS H	Variación excesiva de peso cápsula
DIS I	Apertura de cápsula defectuosa
DIS J	Cierre de cápsula incompleto (cápsulas largas)

CÓD	EFECTOS DE FALLA EQUIPOS DE TABLETERIA STOKES, MANESTY
DIS A	La tableteadora no se energiza
DIS B	La tableteadora/equipo auxiliar no arranca después la señal de start
DIS C	La tableteadora / equipo auxiliar se detiene de repente durante la operación
DIS D	Vibración / ruido excesivo de la tableteadora
DIS E	Operación forzada de la tableteadora
DIS F	El producto no fluye adecuadamente en la boca de descarga de la tolva
DIS G	Tabletas manchadas o con elementos extraños (partículas de metal)
DIS H	Calentamiento excesivo de transmisión sinfín-corona

DIS I	El sistema de embrague no funciona adecuadamente
DIS J	Expulsión de producto fuera de la torreta
DIS K	Variación excesiva de peso / dureza tableta

CÓD	EFFECTOS DE FALLA EQUIPOS DE ENVASE R24, MC2
DIS A	La envasadora no se energiza
DIS B	La envasadora / equipo auxiliar no arranca después la señal de start
DIS C	La envasadora / equipo auxiliar se detiene de repente durante la operación
DIS D	Vibración / ruido excesivo de la envasadora
DIS E	Variación excesiva de peso
DIS F	Grafado defectuoso / insuficiente / maltrato de la tapa
DIS G	Maltrato / golpe / rotura / rayado del frasco
DIS H	Exterior de frasco sucio con producto
DIS I	Alimentación o entrega de tapa deficiente / defectuosa
DIS J	Alimentación de frascos deficiente / defectuosa
DIS K	Perdida de paso de la máquina / bloqueo estrella o tornillo sin fin de avance
DIS L	Envasadora o equipo auxiliar no arranca / no se genera alarma
DIS M	Envasadora o equipo auxiliar no arranca / se genera alarma
DIS N	Envasadora o equipo auxiliar se detiene repentinamente durante la operación
DIS O	Dificultad en el transporte de frasco sobre banda transportadora
DIS P	Carga de producto defectuosa / insuficiente
DIS Q	Salida de frasco sin tapa o frascos vacíos
DIS R	Doble dosificación

CÓD	EFFECTOS DE FALLA EQUIPOS DE ETIQUETADO EUROETIK, ETIPACK
DIS A	La etiquetadora no se energiza
DIS B	La etiquetadora no arranca después la señal de start
DIS C	La etiquetadora se detiene de repente durante la operación
DIS D	Postura de etiqueta inclinada sobre el frasco
DIS E	Variación excesiva de posición de etiqueta
DIS F	Postura de etiqueta arrugada / maltratada sobre el frasco
DIS G	La etiqueta no queda totalmente adherida al frasco
DIS H	Entrega descontrolada de etiquetas
DIS I	No hay entrega de etiquetas/no avanza la tira de etiquetas ante la señal de inicio
DIS J	Cinta contraenvolvedor no se mueve
DIS K	Banda transportadora no se mueven /no avanza el envase sobre la banda
DIS L	Variación avance/salida etiqueta
DIS M	Distensión permanente bobina de etiquetas
DIS N	Rotura permanente / rasgado de la tira de etiquetas
DIS O	Caida / atascamiento de envase durante avance sobre la banda
DIS P	Codificado defectuoso / nulo / incompleto / fuera de posición
DIS Q	Etiquetadora/codificadora no arranca / no se genera alarma
DIS R	Etiquetadora/codificadora no arranca / se genera alarma

CÓD	EFFECTOS DE FALLA EQUIPOS DE ETIQUETADO EUROETIK, ETIPACK
DIS A	La codificadora no se energiza
DIS B	La codificadora no arranca después la señal de start

DIS C	La codificadora se detiene de repente durante la operación
DIS D	Variación excesiva de posición de plegadiza/sobre/blíster
DIS E	Banda transportadora no se mueve /no avanza la plegadiza/sobre/blíster sobre la banda
DIS F	Codificado defectuoso / nulo / incompleto / fuera de posición
DIS G	Codificadora no arranca / no se genera alarma
DIS H	Codificadora no arranca / se genera alarma

CÓD	EFFECTOS DE FALLA EQUIPOS DE ENCELOFANADORA UHLMAN GRATIDE
DIS A	La encelofanadora no se energiza
DIS B	La encelofanadora no arranca después la señal de start
DIS C	La encelofanadora se detiene de repente durante la operación
DIS D	Atascamiento de tableta/capsula en plato alimentador
DIS E	Atascamiento de tableta/capsula en bajante o en uñas de entrega
DIS F	Corte de sobre defectuoso (incompleto, con rebaba)
DIS G	Variación de corte sobre
DIS H	Falta de hermeticidad del sobre (las pruebas se filtran)
DIS I	Perdida de alineación de rodillos de sellado
DIS J	Variación en la alineación del aluminio

CÓD	EFFECTOS DE FALLA EQUIPOS DEL BOMBO DE RECUBRIMIENTO
DIS A	El bombo de recubrimiento no se energiza
DIS B	El bombo de recubrimiento no arranca después la señal de start
DIS C	El bombo de recubrimiento se detiene de repente durante la operación
DIS D	Operación defectuosa sistema de spray cubierta
DIS E	Variación de temperatura de calentamiento
DIS F	Suministro de aire de secado insuficiente o nulo
DIS G	Operación defectuosa agitador preparación cubierta

CÓD	EFFECTOS DE FALLA DE EMPAQUE TR100, TR100LT, UPS300
DIS A	La blisteadora no se energiza
DIS B	La blisteadora no arranca después la señal de start
DIS C	La blisteadora se detiene de repente durante la operación
DIS D	Vibración / ruido excesivo de la blisteadora
DIS E	Operación forzada de la blisteadora
DIS F	Variación en el troquelado del bister (excede 0,5 mm)
DIS G	Falta de hermeticidad del blister (las pruebas se filtran)
DIS H	Formado del blister insuficiente o defectuoso (malformado)
DIS I	Troquelado del blister defectuoso
DIS J	Maltrato/doblado del blister
DIS K	Quemado de capsula durante el sellado (capsula empolvada)
DIS L	Variación en la alineación del aluminio
DIS M	Variación en la alineación del PVC/PVDC
DIS N	Disminución en el ancho del PVC/PVDC después del formado
DIS O	Codificado defectuoso / nulo / incompleto / fuera de posición
DIS P	Grafilado no uniforme (lisos)

- DIS Q** Se enreda / atasca constantemente blisters en en troquel
- DIS R** Se entreda / atasca constantemente tira de retal en sistema de corte retal
- DIS S** Alimentacion automatica de capsulas defectuosas
- DIS T** Perdida de paso (quemado/maltratado del blister en el sellado)