

FALLAS DE LA MÁQUINA S103-LPKF DE TARJETAS ELECTRÓNICAS - SENA

JULIO CÉSAR BEDOYA PINO  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
CÓDIGO 201716753114  
CÉDULA 91512448

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN – COLOMBIA  
2017



FALLAS DE LA MÁQUINA S103-LPKF DE TARJETAS ELECTRÓNICAS - SENA

JULIO CÉSAR BEDOYA PINO  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
CÓDIGO 201716753114  
CÉDULA 91512448

DIRECTOR DE PROYECTO

ING. Ph.D. ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN - COLOMBIA  
2017

## CONTENIDO

CONTENIDO .....	4
ILUSTRACIONES .....	6
ECUACIONES .....	8
0 PRÓLOGO .....	9
0.1 INTRODUCCIÓN .....	9
0.2 OBJETIVO GENERAL .....	10
0.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
0.3.1 Uno - Metodología .....	10
0.3.2 Dos - Máquina .....	11
0.3.3 Tres - Fallas .....	11
0.3.4 Cuatro – Plan de mejoramiento .....	12
0.3.5 Cinco - Conclusiones .....	12
0.4 ESTRUCTURA DEL PROYECTO .....	12
0.5 ANTECEDENTES .....	13
0.6 JUSTIFICACIÓN .....	13
0.7 CONCLUSION DE CAPITULO 0 .....	14
1 METODOLOGÍA .....	15
1.1 OBJETIVO 1 .....	15
1.2 FALLAS .....	15
1.2.1 Metodología Análisis de Fallas .....	17
1.2.2 Análisis de los Riesgos .....	18
1.3 Conclusiones del capítulo 1 .....	20
2 MÁQUINA .....	21
2.1 OBJETIVO 2 .....	21
2.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 2 .....	21
2.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 2 .....	21
2.3.1 Estructura de la máquina .....	22
2.3.2 Carcasa .....	22
2.3.3 Vista lateral .....	24
2.3.4 Área de Trabajo .....	26
2.3.5 Depósito de herramienta .....	26
2.3.6 Cabezal de fresado – taladrado .....	27
2.3.7 Alojamiento de la herramienta .....	28
2.3.8 Cámara .....	28
2.3.9 Proceso de análisis de Falla .....	29
2.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2 .....	30
3 FALLAS .....	31
3.1 OBJETIVO 3 .....	31
3.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 3 .....	31
3.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 3 .....	31

3.4	Procedimiento fmeca y rpn .....	38
3.5	EVALUACIÓN rpn .....	51
3.6	CONCLUSIONES DEL CAPITULO 3 .....	56
4	MEJORAS .....	57
4.1	OBJETIVO 4.....	57
4.2	INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 4 .....	57
4.3	DESARROLLO DE CAPÍTULO 4 .....	57
4.4	ANÁLISIS DE FORMATOS propuestos.....	59
5	CONCLUSIONES.....	66
	BIBLIOGRAFÍA.....	67

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Secuencia lógica lineal de objeto .....	11
Ilustración 2 - Fallas crónicas frente a Fallas Esporádicas .....	16
Ilustración 3 - Modos de Fallas y sus lazos .....	17
Ilustración 4 - Condiciones estándares en fallas .....	18
Ilustración 5 - Aplicabilidad y diferencias de FMECA y RCM según falla y causa. 19	
Ilustración 6 - Máquina ProtoMat S103-LPKF .....	21
Ilustración 7 - Vista delantera .....	22
Ilustración 8 - Vista posterior .....	23
Ilustración 9 - Interfaces .....	24
Ilustración 10 - Lado derecho .....	24
Ilustración 11 - Lado izquierdo .....	25
Ilustración 12 - Mesa de vacío del ProtoMat S103 .....	26
Ilustración 13 – Depósito de Brocas .....	27
Ilustración 14 - Parte inteligente de la máquina (cabezal) .....	27
Ilustración 15 - Posición de la broca .....	28
Ilustración 16 - Proceso sistémico .....	29
Ilustración 17 - Estudios y registro de fallas de la máquina ProtoMat S103 - LPKF en el SENA .....	33
Ilustración 18 - Fallas por subsistemas máquina ProtoMat S103 - LPKF .....	35
Ilustración 19 - Fallas, modos de falla y causas de la máquina ProtoMat S103- LPKF .....	37
Ilustración 20 – Políticas de control establecidas .....	38
Ilustración 21 - Ilustración Subsistema #1 .....	39
Ilustración 22 - Placa Característica máquina ProtoMat S103-LPKF .....	40
Ilustración 23 – Datos principales máquina ProtoMat S103-LPKF .....	41
Ilustración 24 – Mordaza .....	42
Ilustración 25 – Plano área de trabajo máquina ProtoMat S103-LPKF .....	43
Ilustración 26 - SENA Salomia Ciudad de Cali .....	45
Ilustración 27 - SENA Colombo Alemán Ciudad de Barranquilla .....	46
Ilustración 28 – SENA Complejo Sur Ciudad de Bogotá .....	47
Ilustración 29 - Clasificación FMECA del Subsistema #1 .....	48
Ilustración 30 – Identificación de los roles en los grupos caza – fallas, mediante sombreros .....	49
Ilustración 31 – Rangos de severidad .....	52
Ilustración 32 – Rangos de posibilidad de ocurrencia .....	53

Ilustración 33 – Rangos de detección .....	54
Ilustración 34 – Análisis del modo y efecto de falla RPN .....	55
Ilustración 35 – Método de reducción del riesgo .....	56
Ilustración 36 – Clasificación de las fallas eliminables y controlables .....	58
Ilustración 37 – Análisis de formatos propuestos .....	60
Ilustración 38 – Formato control diario uso de la máquina .....	61
Ilustración 39 – Formato Solicitud de servicio .....	61
Ilustración 40 – Formato orden de trabajo .....	62
Ilustración 41 – Descripción del Cargo del Operador .....	63
Ilustración 42 – Medición de frecuencia .....	65

## ECUACIONES

Ecuación 1 - Cálculo del RPN .....	51
------------------------------------	----

## **0 PRÓLOGO**

Con el desarrollo de este proyecto se pretende recopilar la mayor cantidad de información posible en los modos de falla a través del histórico desde el año 2014 al 2016, donde fueron asignadas las máquinas de prototipado para PCB PROTOMAT S103-LPKF a nivel nacional en los diferentes centros de formación en el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Durante estos años los ingenieros encargados de supervisar las máquinas han localizado el 60% de los modos de fallos, ya que cuentan con constante comunicación en los diferentes centros de formación a nivel nacional.

### **0.1 INTRODUCCIÓN**

En el año 1907 el ingeniero austriaco Paul Eisler, inventa el circuito impreso implementándolo en un radio, como objetivo utilizarlo en la segunda guerra mundial; luego más tarde en el año 1949, desarrollan el proceso de auto-ensamblaje, con esto logran el desarrollo de la laminación de tarjetas y técnicas de grabado, este concepto evolucionó en el proceso estándar de fabricación de circuitos impresos usado en la actualidad.

Con esta invención logra que el ser humano requiera de máquinas y procesos productivos de líneas de equipos o fábricas, para poder desarrollar sus experimentos y poder tener un mundo totalmente tecnológico a base de tarjetas electrónicas ensambladas con componentes electrónicos.

Hoy en día a nivel mundial, se construyen máquinas que desarrollan tarjetas de circuitos impresos, con el objetivo de brindar un respaldo al área de electrónica y obtener así una mejor calidad de sus productos electrónicos. En la medida que estas máquinas trabajan diariamente, tienden a ocurrir fallas dentro de su sistema que la compone.

El análisis de fallas juega un rol esencial en el desarrollo social y económico de un país, sobre todo en los procesos donde forma parte activa del sistema laboral y la formación educativa en el área electrónica.

Se recurre a este tipo de proyectos investigativos, para determinar con antelación las variables claves de éxito del mismo, con el objetivo de analizar el control y la predicción de fallas, con el fin de erradicar o controlar fallas reales o potenciales en los elementos o equipos y minimizar sus costos en las empresas (Mora, 2012).

Las Instituciones de Educación Superior y las universidades del país, juegan un rol vital en el desarrollo a través de la realización de un portafolio académico, técnico y universitario, en diferentes áreas del análisis de fallas, como un estudio secuencial, con continuidad de otros similares en años anteriores este proyecto apunta a conocer en la actualidad y en el futuro cercano, las necesidades empresariales e institucionales en las cuales se requieren las formaciones técnicas y profesionales sobre el evento de falla en una máquina industrial (Kapur, y otros, 1977).

## **0.2 OBJETIVO GENERAL**

Compilar las fallas de la máquina de prototipo para PCB<sup>1</sup>, PROTOMAT S103-LPKF en el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) a nivel nacional con el fin de categorizar los modos de fallas.

## **0.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

### **0.3.1 Uno - Metodología**

Explicar la metodología de análisis de fallas para su aplicación. Nivel 1 - Conocer

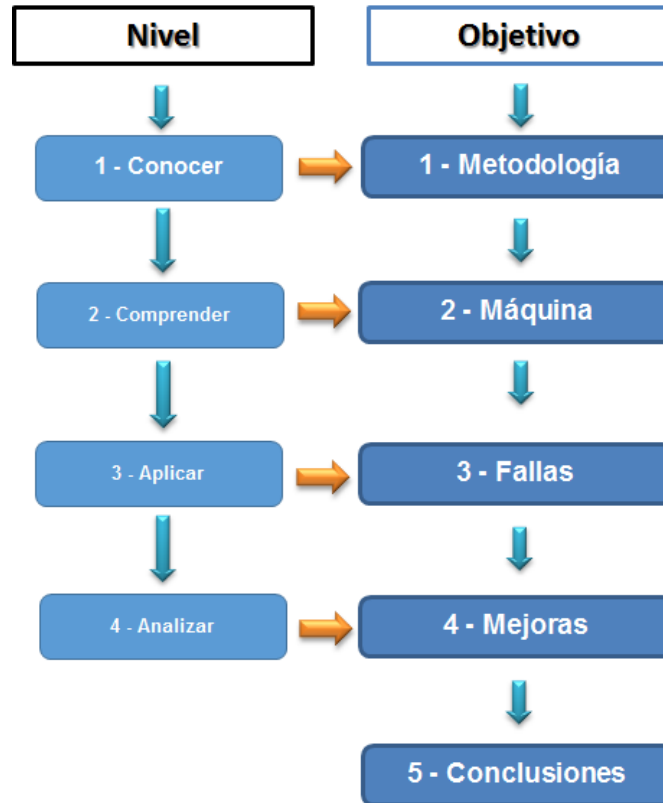
---

<sup>1</sup> PCB Printed Circuit Board

### 0.3.2 Dos - Máquina

Describir las partes de la máquina PROTOMAT S103-LPKF para consolidar los diferentes modos de fallas, para determinar las acciones de mantenimiento apropiadas, y sus fundamentos operacionales. Nivel 2 - Comprender.

Ilustración 1 - Secuencia lógica lineal de objeto



### 0.3.3 Tres - Fallas

Ilustrar todas las fallas que han presentado a nivel nacional definiéndoles: evento - causas inmediatas, causas básicas, causas raíz del problema acción de mantenimiento y políticas de control. Nivel 3 - Aplicar.

#### 0.3.4 Cuatro - Plan de mejoramiento

Presentar un plan de mejoramiento para optimizar el desempeño de la máquina PROTOMAT S103-LPKF, a partir de los resultados del análisis de fallas. Nivel 4 - Analizar.

#### 0.3.5 Cinco - Conclusiones

Establecer los principales resultados del proyecto

### 0.4 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El primer capítulo trata sobre la explicación de los fundamentos propios de la metodología de análisis de fallas RCA<sup>2</sup> & FMECA<sup>3</sup>, necesarios para la aplicación de cada modo de falla en la máquina PROTOMAT S103-LPKF.

El segundo capítulo describe el sistema de la máquina PROTOMAT S103-LPKF a ser intervenido consolidando los modos de falla RCA & FMECA, con el fin de determinar las acciones de mantenimiento apropiadas, y sus fundamentos operacionales de mantenimiento.

El tercer capítulo ilustra las fallas que se han presentado a nivel nacional definiéndolas en: eventos – causas inmediatas, causas básicas, causas raíz del problema, acción de mantenimiento y políticas de control.

En el cuarto capítulo a partir de la información obtenida en el capítulo tres se efectuarán un plan de mejoramiento para optimizar el desempeño de la máquina PROTOMAT S103-LPKF.

El quinto capítulo muestra los principales resultados sobre el desarrollo del análisis de fallas de la máquina PROTOMAT S103-LPKF.

---

<sup>2</sup> RCA: *Root Cause Analysis*

<sup>3</sup> FMECA: *Failure Mode Effect Causes Analysis*

## **0.5 ANTECEDENTES**

El servicio nacional de aprendizaje (SENA) desde el año 2010, viene modernizando los ambientes de formación a nivel nacional, con el propósito de actualizar y adecuar los laboratorios de las diferentes áreas tecnológicas, en específico el área de electrónica, con el objetivo de mejorar la formación de los aprendices y abrir la oportunidad de ofrecer servicios tecnológicos y de conocimiento al sector.

La modernización trae consigo la compra de nuevas máquinas electrónicas, permitiendo así el reemplazo de forma artesanal, la manera que se venía realizando los circuitos impresos en el desarrollo de tarjetas electrónicas en los laboratorios del área de electrónica.

En el año 2014 se adquiere la máquina PROTOMAT S103-LPKF, utilizando tecnología de punta en los ambientes de formación a nivel nacional, con lo cual brinda la oportunidad a sus aprendices mejorar la calidad, productividad y eficiencia en los procesos industriales.

Como método de implementación, es el análisis de fallas, se pretende aplicar la metodología RCA & FMECA en dicha máquina a nivel nacional en todos los centros de formación en el servicio nacional de aprendizaje (SENA), con el objetivo de lograr grandes ahorros en mantenimiento y erradicar o controlar fallas reales potenciales en los elementos o equipos (SENA, 2014).

## **0.6 JUSTIFICACIÓN**

La metodología de análisis de fallas se constituye por sí misma en uno de los instrumentos avanzados de mantenimiento más útiles y usados; por lo tanto se puede aplicar indiferente del nivel que se encuentre la empresa, brindando oportuno y efectivo mantenimiento a la maquinaria, garantizando así una continuidad de sin demoras ni contratiempos a la hora de fabricar tarjetas electrónicas.

El área de electrónica, día a día se ha convertido en un factor determinante en la era tecnológica del mundo, es por eso que al ser implementadas en máquinas modernas, se requiere que estas máquinas tengan máxima confiabilidad al ser manipuladas. Aplicando la metodología de análisis de fallas, logramos usar los tres parámetros: severidad, ocurrencia y probabilidad de detección, disminuyendo así el costo de un minuto de falla en cada máquina.

Por ende, para este proyecto se ha escogido como metodología el análisis de fallas en la máquina PROTOMAT S103-LPKF, basado en el análisis de RCA y FMECA.

## **0.7 CONCLUSION DE CAPITULO 0**

Como su nombre lo dice, esta sección aporta y describe las bases suficientes para que el lector entienda la estructura, desarrollo y alcance total del proyecto, en cuanto a objetivos, logros parciales y totales, metodologías y metas particulares.

# 1 METODOLOGÍA

## 1.1 OBJETIVO 1

Explicar la metodología de análisis de fallas para su aplicación. Nivel 1 – Conocer

## 1.2 FALLAS

Las fallas se clasifican internacionalmente en críticas, degradantes, incipientes y desconocidas según la casa OREDA, en análisis de fallas se establecen dos tipos: crónicas y esporádicas; las primeras de ellas son las verdaderamente importantes ya que los tiempos de no funcionalidad que implican son mucho más grandes en el tiempo que los períodos no productivos de las esporádicas, aun siendo estas últimas más impactantes, dramáticas y preocupantes ante las directivas, pues son más visibles (OREDA, 2002).

Las fallas esporádicas son una desviación del estándar (por lo general hacia el límite inferior), en una operación normal (por lo general en el lado bajo). No siempre dejan secuelas en la producción y/o mantenimiento, una vez desaparece la causa de la falla, todo regresa a la normalidad. Casi siempre al eliminar una falla esporádica se regresa a una situación de funcionalidad normal (que normalmente no es mejor de la que se tiene antes de que ocurra).

Estos son eventos por lo general poco frecuentes y casi nunca una falla esporádica se relaciona con otra del mismo tipo.

Las fallas crónicas 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 (solo se puede lograr al aplicar

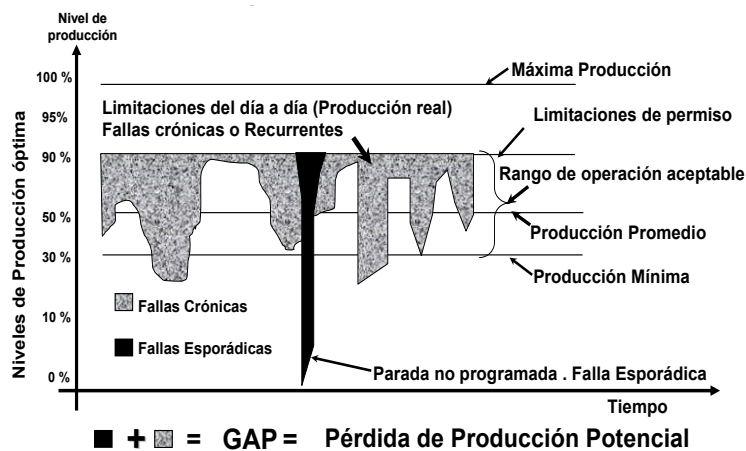
análisis de fallas con la debida componente de ingeniería), se aceptan como parte normal de los costos de producción.

Afectan de forma inmediata la producción y/o el mantenimiento. Ejemplo de ellas son las fallas que se presentan en los rodamientos, los sellos, las correas, los engranajes, las interrupciones de los sistemas de control o potencia, los problemas comunes y corrientes de la unidad de producción, etcétera.

Cada evento de falla crónica o recurrente tiene un impacto relativamente bajo, pero cuando se totaliza en el transcurso de un período de tiempo y se combina con otras fallas crónicas, afecta de forma muy notoria la economía de la empresa.

Al encontrar la causa raíz de las fallas crónicas y controlarla, se logra aumentar la productividad, elevar los índices de CMD<sup>4</sup>, mejorar la rentabilidad y el desempeño, se maximiza la productividad y por ende la competitividad, situación que no sucede en las esporádicas (Mora, 2012).

Ilustración 2 - Fallas crónicas frente a Fallas Esporádicas



(Mora, 2014)

El área bajo la curva máxima de producción marcada correspondiente a las fallas crónicas o recurrentes es mucho mayor que la línea negra debida a paradas no programadas esporádicas, es por esto entonces que se debe primero intentar

<sup>4</sup> CMD: reliability – maintainability - availability

eliminar o controlar a las fallas crónicas, pues estas inciden mucho más en la rentabilidad de la empresa.

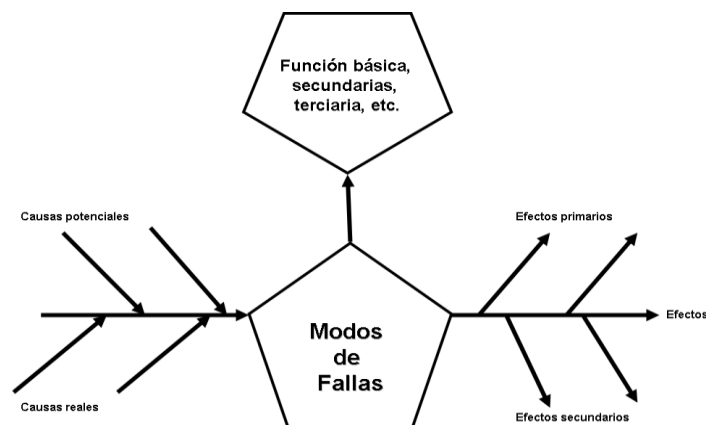
### 1.2.1 Metodología Análisis de Fallas

El propósito de la técnica de análisis de los efectos, los modos y las causas de fallas es poder conocer completamente el equipo entero mediante la identificación de los sistemas y de los componentes que lo conforman, el diseño, los procesos, los elementos y los materiales de fabricación, los ensambles y los sub-ensambles parciales, así como todos los demás aspectos pertinentes que permitan aplicar el análisis integral de fallas (Harris, 1994).

Por medio del análisis de fallas se puede detectar:

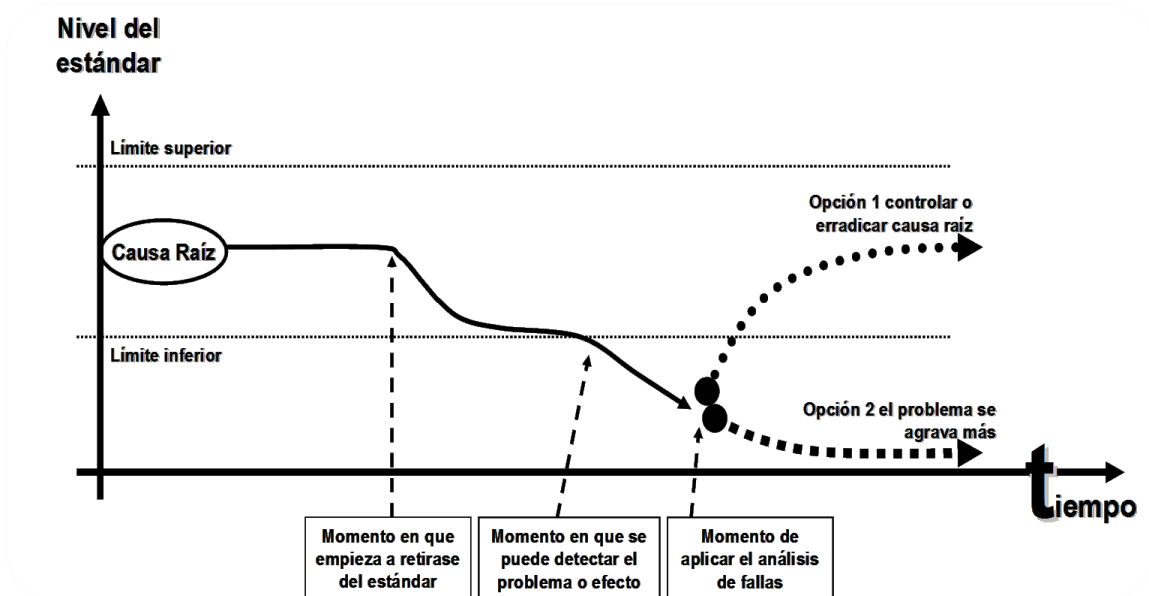
- ✓ Una forma preventiva, predicativa o anticipada cualquier anomalía que ocurra a futuro, en la funcionalidad del equipo.
- ✓ Un proceso sistémico que permite identificar las fallas potenciales o reales de diseño, de funcionamiento y de proceso antes de que estas ocurran, con la intención de eliminarlas o controlarlas para erradicar o minimizar los riesgos asociados con ellas. Su aplicación permite documentar las tareas proactivas y correctivas que controlan o eliminan las fallas.

Ilustración 3 - Modos de Fallas y sus lazos



(Mora, 2014)

Ilustración 4 - Condiciones estándares en fallas



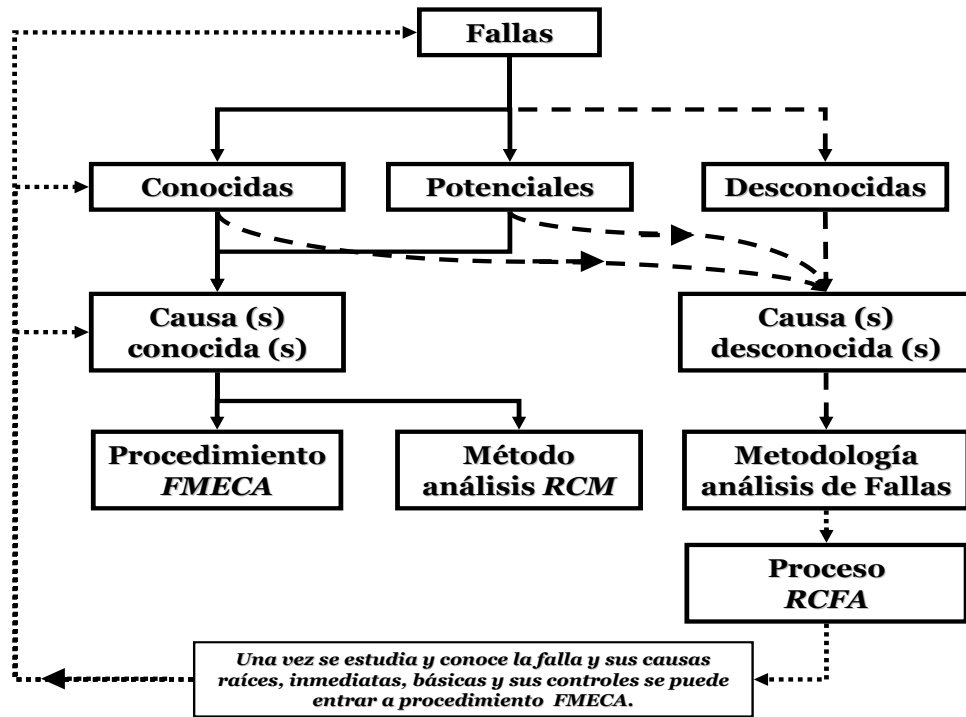
(Mora, 2014)

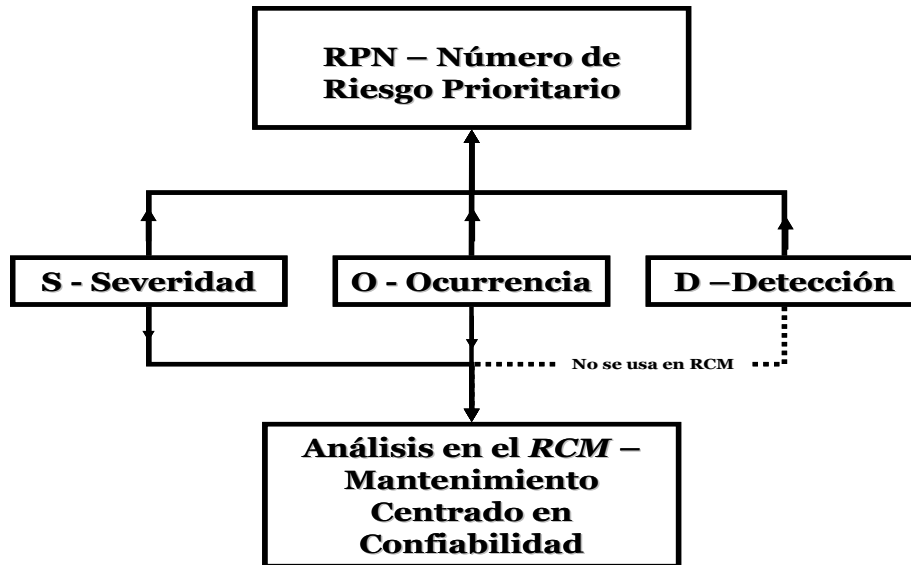
La metodología de análisis de fallas parte de la base de la presencia o detección repentina de una situación fuera del estándar, que manifiesta de alguna forma la falta de funcionalidad total o parcial de una máquina o elemento. Se describe como problema o efecto causante, a una falla que aún no se soluciona o erradica. Se puede enunciar como modo de falla a las deficiencias que se observan o se perciben en el sistema o máquina al momento de reportar la falla.

### 1.2.2 Análisis de los Riesgos

Las consecuencias de las fallas se evalúan y se les califica según severidad y la probabilidad de ocurrencia.

Ilustración 5 - Aplicabilidad y diferencias de FMECA y RCM según falla y causa





(Mora, 2014)

### 1.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1

Esta primera sección se fundamenta la técnica aplicada en el análisis de fallas para su ejecución, donde se permite establecer las herramientas necesarias para la determinación de los objetivos del mantenimiento para cada grupo de activos.

## 2 MÁQUINA

### 2.1 OBJETIVO 2

Describir las partes de la máquina PROTOMAT S103-LPKF para consolidar los diferentes modos de fallas, para determinar las acciones de mantenimiento apropiadas, y sus fundamentos operacionales. Nivel 2 - Comprender.

### 2.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 2

La siguiente sección, provee las condiciones y descripciones generales de todos los componentes que afectan la disponibilidad y conducen en fallas la máquina PROTOMAT S103-LPKF.

### 2.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 2

La máquina ProtoMat S103-LPKF contribuyen a construir la industria de la electrónica moderna, con la fabricación de prototipos y series pequeñas de placas de circuito impreso que está especialmente orientado a las necesidades del ámbito empresarial.

Ilustración 6 - Máquina ProtoMat S103-LPKF



(LPKF, 2012)

### 2.3.1 Estructura de la máquina

En principio los plóteres<sup>5</sup> de circuitos impresos de la Serie ProtoMat S, tienen la misma estructura para que su equipamiento pueda actualizarse del modo más fácil posible.

### 2.3.2 Carcasa

Ilustración 7 - Vista delantera



(LPKF, 2012)

Partes de la máquina:

- 1 - Carcasa de aislamiento acústico
- 2 - Asa de la pantalla protectora
- 3 - Pantalla de aislamiento acústico

<sup>5</sup> Es una máquina que se utiliza junto con el ordenador e imprime en forma lineal.

La máquina cuenta con una carcasa de aislamiento acústico, cuya función es aislar los ruidos en el mismo origen de las vibraciones. Mediante este aislamiento, los dispositivos se aíslan de las estructuras constructivas con instalaciones de protección acústica, lo que reduce las vibraciones y el ruido.

Ilustración 8 - Vista posterior



(LPKF, 2012)

- 1 - Toma de aire comprimido de la mesa de vacío
- 2 - Interfaces
- 3 - Tubo de extracción con conexión a la extracción de polvo

La máquina cuenta con un compresor, el cual tiene mangueras neumáticas, con el fin de extraer el polvo, después de realizar la fabricación de un circuito impreso, en la parte de posterior se encuentra el tubo de extracción que envía la viruta hacia la aspiradora.

Ilustración 9 - Interfaces



(LPKF, 2012)

1 - Puerto USB

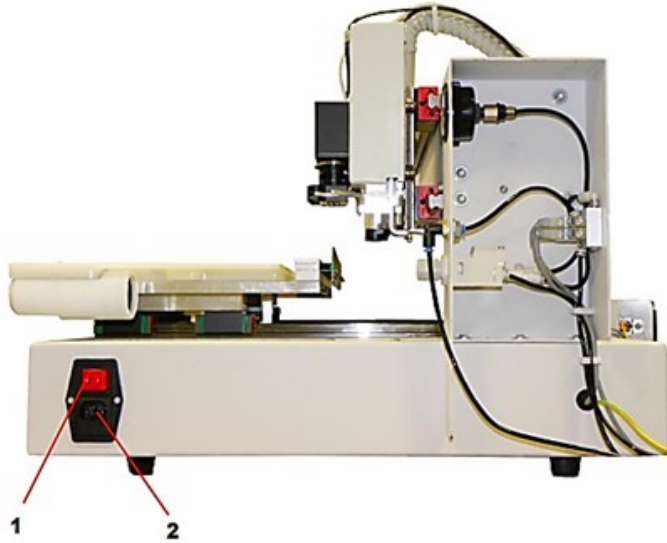
2 - Puertos LPKF (4 x SUB-D, 25 polos)

Las interfaces son los puertos de comunicación donde se comunica la máquina con el computador, el cabezal de fresado y la cámara. El software con que cuenta la máquina para la programación y visualización con el cabezal de fresado es el CircuitPro.

### 2.3.3 Vista lateral

Máquina sin carcasa de aislamiento acústico.

Ilustración 10 - Lado derecho

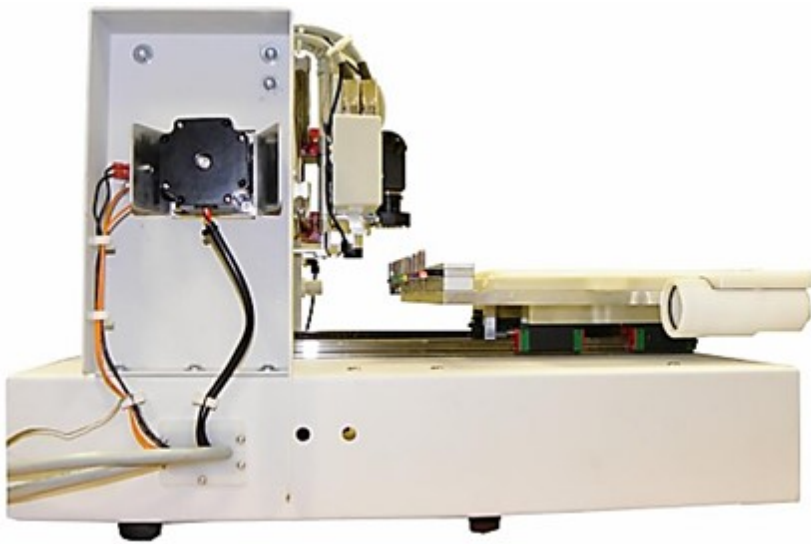


(LPKF, 2012)

1 - Interruptor de red

2 - Enchufe hembra de baja potencia

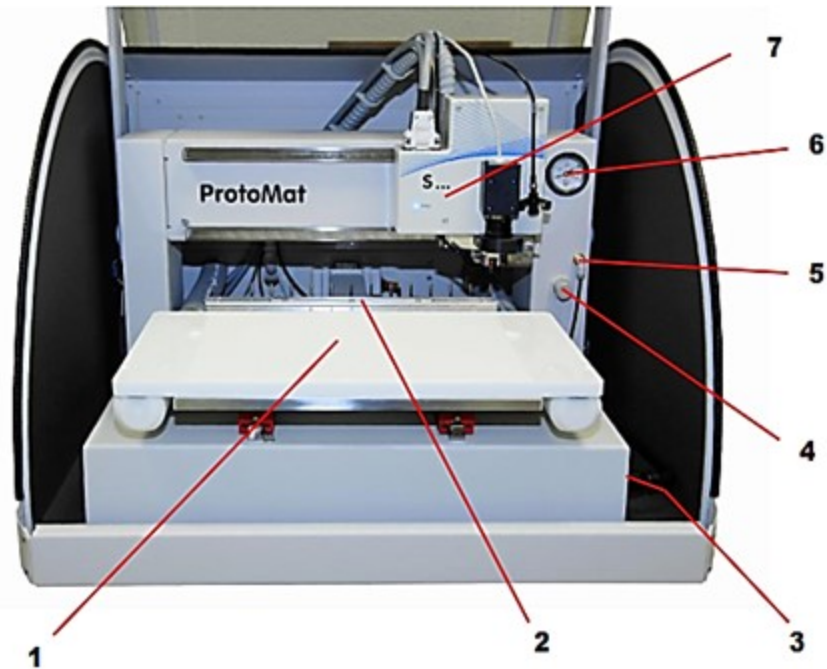
Ilustración 11 - Lado izquierdo



(LPKF, 2012)

### 2.3.4 Área de Trabajo

Ilustración 12 - Mesa de vacío del ProtoMat S103



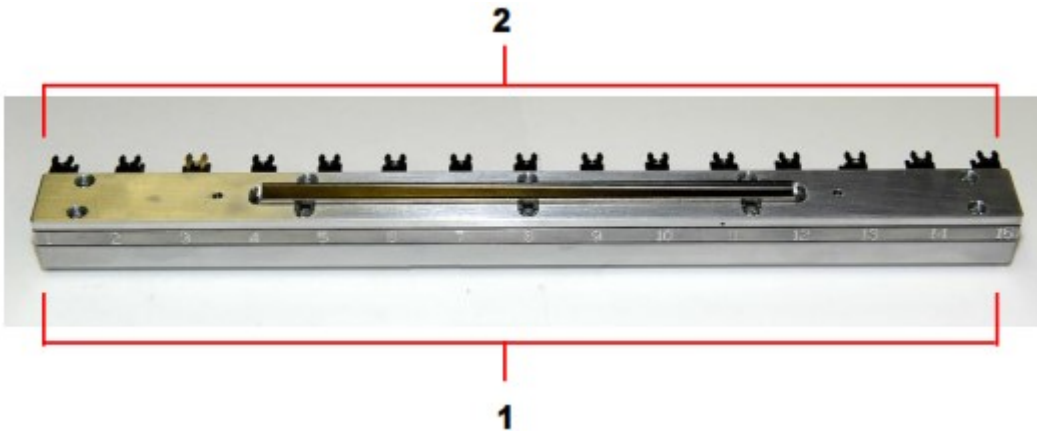
(LPKF, 2012)

- 1 - Mesa de vacío
- 2 - Depósito de herramientas
- 3 - Interruptor de red
- 4 - Regulador para el aire comprimido
- 5 - Conexión del distribuidor
- 6 - Indicador de presión
- 7 - Cabezal de fresado - taladrado

### 2.3.5 Depósito de herramienta

Las máquinas con intercambio de herramienta automático tienen un depósito de herramientas montado en la mesa de trabajo, dentro del software de la máquina se ubican las brocas a trabajar según el diseño del circuito impreso que se construyó.

Ilustración 13 - Depósito de Brocas



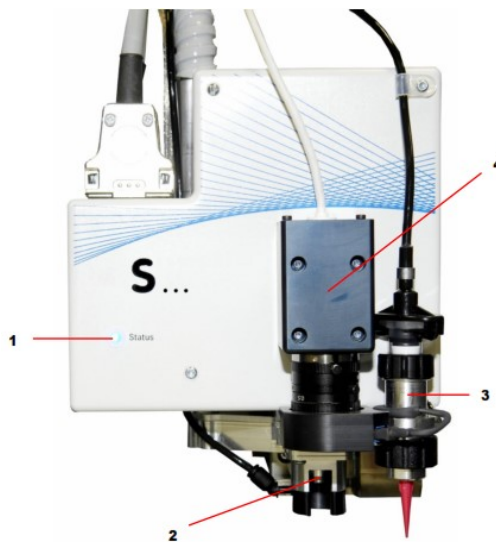
(LPKF, 2012)

1 - Número de herramienta 1 ... 15

2 - Soporte de herramienta 1 ... 15

### 2.3.6 Cabezal de fresado – taladrado

Ilustración 14 - Parte inteligente de la máquina (cabezal)



(LPKF, 2012)

1 - Led de estado

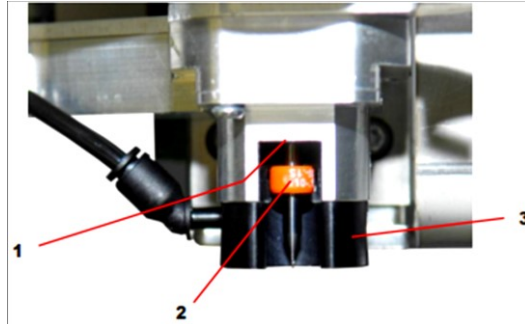
2 - Herramienta

3 - Alojamiento de la herramienta

4 - Ajuste de la profundidad de fresado (manual)

### 2.3.7 Alojamiento de la herramienta

Ilustración 15 - Posición de la broca



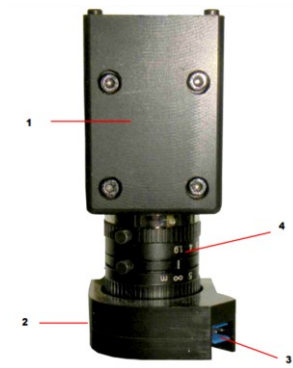
(LPKF, 2012)

1 - Alojamiento de la herramienta

2 - Herramienta

3 - Limitador de la profundidad de trabajo

### 2.3.8 Cámara



(LPKF, 2012)

1 - Cámara

2 - Piloto del collar

3 - Interfaz del distribuidor

4 - Objetivo

### 2.3.9 Proceso de análisis de Falla

El análisis de falla es una evaluación sistemática de la pieza o máquina dañada para determinar la causa raíz de la falla y usar esta información para mejorar la confiabilidad del producto.

Las causas inmediatas se refieren a los daños y hechos que se encuentran en el equipo al momento de percibir o reportar la falla. Las causas básicas son el origen de las causas inmediatas.

Una o varias causas básicas que generan el problema por medio del cual se detecta la falla y que a la vez ocasiona la pérdida de funcionalidad del sistema o elemento, recibe el nombre de causa raíz. La criticidad o grado del problema se asocia a la clase de falla. El elemento que entra en estado de falla se denomina como ítem susceptible de mantenimiento (Mora, 2012).

Ilustración 16 - Proceso sistémico

<b>Efecto o Problema</b>	Aún sin solución o solucionado controlado
<b>Falla</b>	Detección de la condición fuera del estándar
<b>Modos de Falla</b>	Deficiencias encontradas al momento de la falla
<b>Causas Inmediatas</b>	Daños encontrados al momento de la falla
<b>Causas Básicas</b>	Origen de las causas inmediatas
<b>Causa Raíz</b>	Es una causa básica que explica todos los hechos sucedidos - Fuera de estándar
<b>Políticas de Control</b>	Son los métodos o acciones para erradicar o controlar la causa raíz de la falla, las causas básicas, las inmediatas y el efecto.

(Mora, 2012)

## 2.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2

El capítulo describe las partes que constituye la máquina ProtoMat S103 – LPKF, los cuales se evidencia el conocimiento de la estructura fundamentada de cada componen que integra dicha máquina.

El análisis de fallas permite pronosticar el comportamiento probable de un sistema o componente, cómo se comporta en el tiempo y cuáles son desviaciones en el área de mantenimiento que más impactan en el proceso. De esta manera, es posible optimizar los recursos de la compañía LPKF y tener un sistema confiable, mantenible y disponible cuando sea necesario.

## **3 FALLAS**

### **3.1 OBJETIVO 3**

Ilustrar todas las fallas que han presentado a nivel nacional definiéndoles: evento, causas inmediatas, causas básicas, causas raíz del problema acción de mantenimiento y políticas de control. Nivel 3 - Aplicar.

### **3.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 3**

El capítulo ilustra los modos de falla, con el propósito de analizar los efectos, los modos y las causas de fallas, con el fin de poder conocer completamente la máquina entera, mediante la identificación del sistema y de los subsistemas y las partes que la conforman, el diseño, los procesos, los elementos y los materiales de fabricación, los ensambles y los sub-ensambles parciales, así como todos los demás aspectos pertinentes que permitan aplicar el análisis integral de fallas.

### **3.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 3**

Las consecuencias de una falla no solo son la falta de funcionalidad, en ocasiones pueden producir daños al medio ambiente, pérdidas de vida humana o animal, siniestros parciales o totales a personas, daños a bienes materiales o a servicios entre otros.

El estudio de los modos de fallas que se realizó a nivel nacional en todos los centros de formación en el SENA, fue un proceso sistémico que perduró entre los años del 2014 al 2016, por lo tanto, es de acción permanente este estudio, por lo cual se aplicó un grupo caza fallas donde se reunión de forma constante y periódica la información, con el propósito de mantener un registro activo en tiempo

real de todos los hechos, acciones, análisis de fallas, controles, registros, datos, etc.

Es importante resaltar que la metodología de fallas funciona siempre y cuando, dentro de los procesos de análisis se aplique ingeniería u otras áreas del conocimiento, con el fin de poder determinar las causas inmediatas, las básicas y la causa raíz; es imposible encontrar la fuente de los problemas con el conocimiento normal y sentido común que se maneja en forma habitual en las empresas.

Un síntoma normal en las empresas que no practican la metodología es que en la mayoría de los problemas que se evalúan, al momento de tratar de encontrar las causas escasamente se llega hasta las inmediatas y en algunos eventos hasta algunas básicas que no son exactamente la causa raíz, por lo general en estas empresas, no se dispone de tiempo para la metodología y esto sirve como excusa y barrera para no utilizar el método. (Mora, 2012).

De esta forma se obtiene un estudio y se registra las fallas que ocurre en la máquina ProtoMat S103 - LPKF en el SENA a nivel nacional. Como se observa en la ilustración No. 18.

Esta información que se ilustra en la tabla, describe el centro de formación, la regional y la ciudad en la que se distribuyeron 23 máquinas, obtenidas por las redes de formación que cuenta el SENA a partir de proyectos de formación, cumpliendo así la ley 119 de 1994, que corresponde al SENA prestar servicios tecnológicos a las empresas del país, cuyos costos serán cubiertos plenamente por los beneficiarios.

Estos servicios se prestan en función y sin afectar la formación profesional integral, para que sus organizaciones mejoren sus sistemas y procesos de producción, eleven la calidad de sus productos y sean más productivas para competir exitosamente en los mercados globalizados.

Ilustración 17 - Estudios y registro de fallas de la máquina ProtoMat S103 - LPKF en el SENA

No.	 <b>C E N T R O S D E F O R M A C I O N - S E N A - C O L O M B I A</b>						
	SIGLA	NOMBRE	CIUDAD	REGIONAL	FALLA PRESENTADA	COSTO	ACCIÓN CORRECTIVA
1	CEET	Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones	Bogotá	D.C.	No presenta falla		
2	CEAI	Electricidad y Automatización Industrial	Cali	Valle	No presenta falla		
3	CIES	Industrial, de la Empresa y los Servicios	Neiva	Huila	El motor del cabezal de frezado – taladradora no gira, para perforar en la tarjeta de cobre.	\$ 25,000,000	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
4	CTMA	Tecnología de la Manufactura Avanzada	Medellín	Antioquia	No presenta falla		
5	CAFEC	Agroindustrial y Fortalecimiento Empresarial de	Yopal	Casanare	Motor eje X, reduce su velocidad por debajo de 4000 rpm.	\$ 19,928,284	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
6	CAI	Automatización Industrial	Manizales	Caldas	No presenta falla		
7	CDTCI	Desarrollo Tecnológico de la Construcción y la	Armenia	Quindio	No presenta falla		
8	CNCA	Nacional Colombo Alemán	Barranquilla	Atlántico	El motor eje Z, no gira para desplazar la bandeja de vacío.	\$ 19,928,284	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
9	CCITC	Comercio, Industria y Turismo de Córdoba	Montería	Córdoba	No hay comunicación entre la máquina con el software Circuit Pro en el puerto USB.	\$ 19,928,284	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
10	CDITI	Diseño e Innovación Tecnológica Industrial	Dosquebradas	Risaralda	No presenta falla		
11	CIC	Industria y de la Construcción	Ibague	Tolima	El disparo en el sistema eléctrico, se pierde la operación normal de la máquina.	\$ 19,928,284	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
12	CISM	Industria y Servicios del Meta	Villavicencio	Meta	No presenta falla		
13	CIES	Industrial de la Empresa y los Servicios	Cúcuta	Norte de Santander	La potencia consumida por el extractor de polvo se encuentra por debajo de 450W.	\$ 19,928,284	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
14	CIMI	Industrial de Mantenimiento Integral	Girón	Santander	Motor cabezal-fresadora gira por debajo de 100000 RPM	\$ 25,000,000	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
15	CIMM	Industrial de Mantenimiento y Manufactura	Sogamoso	Boyaca	El interruptor de red no se activa para dar flujo de voltaje	\$ 19,928,284	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
16	CIP	Para la Petroquímica	Cartagena	Bolívar	El interruptor de red no se activa para dar flujo de voltaje	\$ 19,928,284	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
17	CIDT	Industrial y del Desarrollo Tecnológico	Barrancabermeja	Santander	La tarjeta electrónica del cabezal pierde la operación normal con el computador dejando de iluminar el led de estado.	\$ 25,000,000	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
18	CIDE	Industrial y Desarrollo Empresarial de Soacha	Soacha	Cundinamarca	No presenta falla		
19	CIEA	Industrial y Energías Alternativas	Riohacha	Guajira	La mordaza no aprieta la herramienta, al girar en el sentido de las manecillas de reloj.	\$ 19,928,284	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
20	CITS	Innovación, la Tecnología y los Servicios	Sincelejo	Sucre	Fuga en el tubo de extracción, ocasionando salida de viruta o polvo del trabajo realizado.	\$ 19,928,284	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
21	COMM	Operación y Mantenimiento Minero	Valledupar	Cesar	Disparo en el sistema eléctrico, se pierde la operación normal de la máquina	\$ 19,928,284	Se llama al proveedor para el Mantenimiento
22	CIPL	Centro Internacional de Producción Limpia	Pasto	Nariño	No presenta falla		
23	CTPI	Teleinformática y Producción Industrial	Popayán	Cauca	No presenta falla		

La mejor manera de mostrar el sistema de la máquina ProtoMat S103 – LPKF, es dividiendo la máquina en cinco subsistemas, que se organiza de tal forma que se pueda visualizar cada falla.

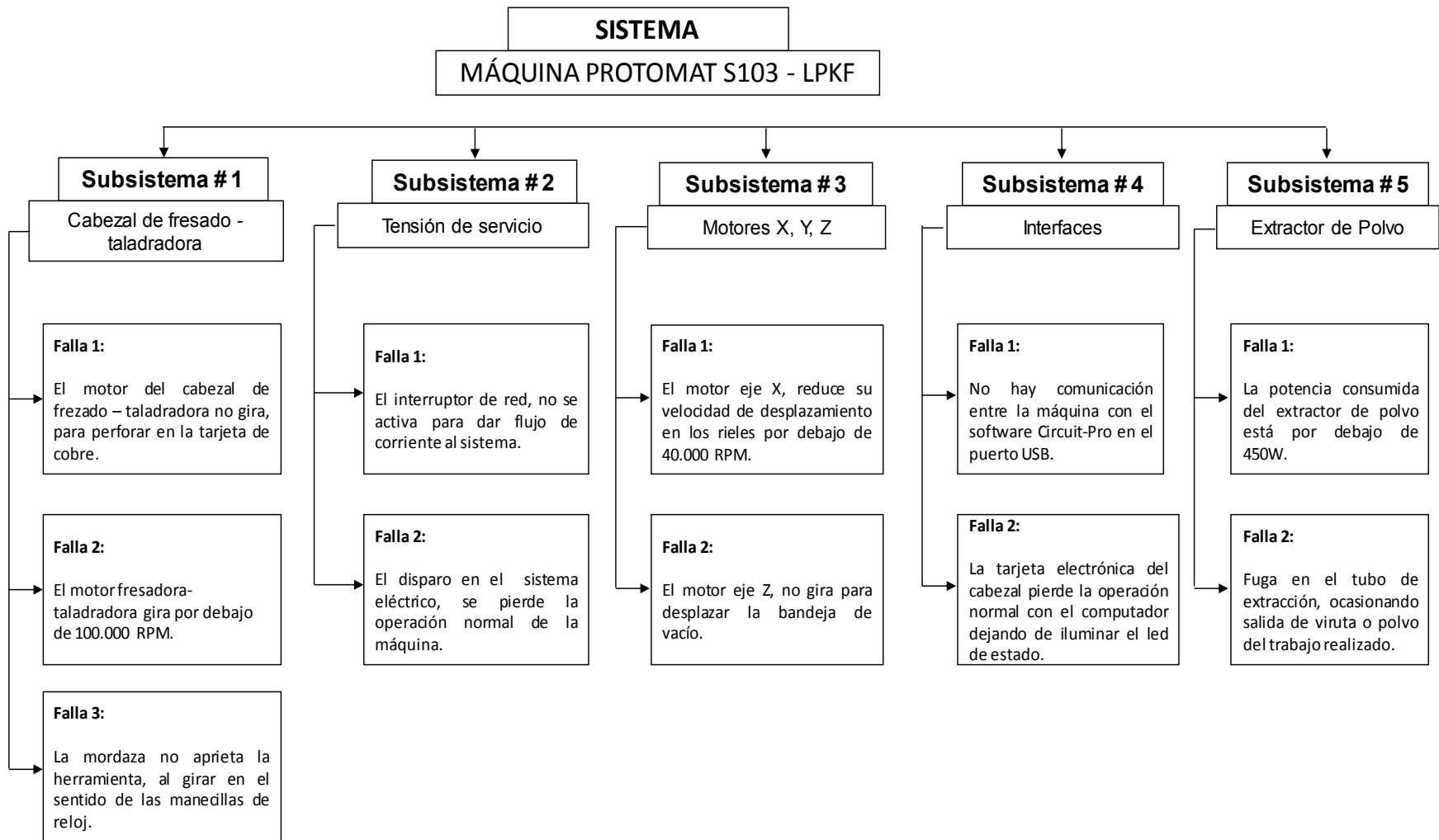
Cada falla que se presenta en una máquina, representa un riesgo potencial, por lo tanto, es esencial entender cómo se presenta, entendiendo la forma en que los equipos fallan, podremos diseñar mejores acciones correctivas o preventivas.

Para este caso las tareas son de acciones de mantenimiento. Estas acciones, son derivadas del proceso de análisis de modos de falla, de modo que a cada modo de falla le corresponde una tarea. Se puede definir entonces que un modo de falla, es como la forma en que un equipo o activo falla.

La siguiente ilustración busca identificar aquellos modos de falla que sean posibles causantes de cada falla funcional, y determinar los efectos de falla que se asocian con cada modo de falla. Así mismo presentar planes de acción que permitan obtener un resultado en un corto plazo. Se quiere demostrar al SENA que un adecuado análisis de fallas, debidamente estructurado, puede ser una implementación con éxito en cada productivo de la máquina.

El método empleado es el procedimiento del análisis de fallas, el cual presenta una serie de pasos detallados que nos facilitan encontrar las causas de los problemas. Para que este análisis funcione se necesita información minuciosa acerca de las paradas de la máquina no programada; ésta se obtiene a través de entrevistas a los instructores y aprendices técnicos en investigación, productiva o pasantía, que están relacionados con el trabajo prototipado de tarjetas de circuitos impresos construidos con la máquina ProtoMat S103 – LPKF.

Ilustración 18 - Fallas por subsistemas máquina ProtoMat S103 - LPKF



Típicamente, en los procesos que se llevan a cabo en el SENA, de la comercialización de bienes y servicios, compra de equipos o máquinas, el objetivo del proveedor es satisfacer al cliente, estas empresas se han visto en la obligación de ofrecer garantías, es decir, de comprometerse con el cliente por un período que determina de reparar o sustituir de manera total o parcial los productos o elementos que presenten defectos operacionales de construcción.

Teniendo en cuenta, que este compromiso representa tranquilidad para el consumidor, el hecho de no poder disponer del producto durante un período de reparación o sustitución, o que éste se averíe con mucha frecuencia; representa un motivo de insatisfacción, el cual se traduce como una pérdida de prestigio para el proveedor.

De esta manera, en aquellos casos en que el proveedor o servicio que se utiliza en lugares remotos o en condiciones muy críticas, la garantía pasa a un segundo plano y el interés principal del cliente, es que el producto no falle.

Por esta y todas las razones, se considera en este proyecto garantizarle al proveedor en un futuro, que las máquinas ProtoMat S103 – LPKF, cuenten con un procedimiento de gran utilidad para aumentar la confiabilidad y buscar soluciones a los problemas que puedan presentar los productos y procesos antes de que estos ocurran.

El análisis de fallas que se observa en la siguiente ilustración se tomó como referencia lo establecido en la norma internacional ISO 14224:1999 Industrias de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO/TC, 1999).

Ilustración 19 - Fallas, modos de falla y causas de la máquina ProtoMat S103-LPKF

MÁQUINA PROTOMAT S103 - LPKF								
No.	SUBSISTEMA	FALLA	MODO DE FALLA	CÓDIGO MODO DE FALLA (ISO 14224)	DESCRIPCIÓN	CAUSA RAIZ FISICA	CAUSA RAIZ HUMANA	CAUSA RAIZ ORGANIZACIONAL
1	Cabezal de Fresado-Taladradora	El motor del cabezal de fresado – taladradora no gira, para perforar en la tarjeta de cobre.	No arranca cuando se da la orden.	FTS	Incapacidad para arrancar el motor.	Bloqueo mecánico debido desde el control.	Se le dió orden de apagado sin que finalizara la rutina.	El procedimiento no lo están siguiendo.
2	Cabezal de Fresado-Taladradora	El motor gira por debajo de 100.000 RPM.	Energía de salida baja.	LOO	Velocidad de giro baja.	Deficiencia del motor por ausencia de energía eléctrica.	Programación inadecuada por falta de conocimiento de la máquina.	Ausencia de procedimiento de un formato de requisitos para la compra de equipos.
3	Cabezal de Fresado-Taladradora	La mordaza no aprieta la herramienta, al girar en el sentido de las manecillas de reloj.	Energía de salida baja	LOO	Presión de salida por debajo de la especificada.	Herramienta por debajo del límite requerido.	Planeación inadecuada por falta de conocimiento de la máquina.	Herramienta inapropiada por parte del fabricante.
4	Tensión de servicio	El interruptor de red, no se activa para dar alimentación al sistema.	Conector del interruptor gastado.	FTS	Incapacidad para activar la máquina	Desgastes del dispositivo de relevo.	Se acciona sin supervisar los comandos de control.	No se realiza el Mantenimiento preventivo adecuado.
5	Tensión de servicio	El disparo en el sistema eléctrico, se pierde la operación normal de la máquina.	Energía de salida baja, parada inesperada.	SPS	Voltaje de salida bajo.	Falta de UPS en el lugar requerido.	Las Instrucciones de operación eléctrica no fueron analizadas.	Falta de una preevaluación por parte del proveedor
6	Motorez X, Y, Z	El motor eje Z, no desplaza la bandeja de vacío.	No arranca cuando se da la orden	FTS	Incapacidad para arrancar el motor	Bloqueo mecánico debido desde el software de operación.	Se le dió orden de apagado sin que finalizara la rutina.	Ausencia de un plan de mantenimiento documentado.
7	Motorez X, Y, Z	El motor eje X, reduce su velocidad de desplazamiento en los rieles por debajo de 40.000 RPM	Energía de salida baja	LOO	Velocidad de desplazamiento baja	Bloqueo mecánico debido desde los parámetros de control.	Se le dió orden de apagado sin que finalizara la rutina.	Transferencia inadecuada de conocimiento por parte del proveedor.
8	Interfases	No hay comunicación entre el software circuitPro y la máquina por el puerto USB.	Falla al sincronizar	FTS	Interrupción inesperada	Hacer pruebas de comunicación antes de arrancar el sistemas.	No se realiza el diagnóstico adecuado.	Mala planeación del proceso de mantenimiento.
9	Interfases	La tarjeta de interfaz electrónica del cabezal pierde la operación normal con el computador dejando de iluminar el led de estado.	Lectura anormal de parámetros.	SPS	Interrupción inesperada	Bloqueo de operación de las variables operativas dentro del rango de diseño.	No revisó las instrucciones necesarias contempladas en el manual de operación del sistema.	El Programa de entrenamiento no se está haciendo.
10	Extractor de polvo	La potencia consumida del extractor de polvo está por debajo de 450W	Energía de salida baja	LOO	Potencia de salida bajo.	Falta de UPS en el lugar requerido.	No realiza una tarea de supervisión de la red eléctrica.	Desarrollo inadecuado de políticas estándares del procedimiento de operación.
11	Extractor de polvo	Salida de viruta o polvo de trabajo realizado sobre la tarjeta que se perfora.	Energía de salida baja	LOO	Fuga de partículas	Retirar después del trabajo las impurezas de polvo.	No ejecuta una tarea de limpieza periódica del extractor.	Mala planeación del proceso de compra sobre los filtros.

Con base en la información de la anterior ilustración fallas, modos de fallas y causas, se procede a establecer las políticas de control del sistema:

Ilustración 20 – Políticas de control establecidas

<b>POLITICAS DE CONTROL</b>	Se debe cambiar el cabezal completo por uno original.
	Instalar una nueva versión del software CircuitPro, para mejorar la confiabilidad de la máquina.
	Realizar un entrenamiento de mantenimiento a los instructores líderes del SENA, encargados de la máquina.
	Restricción total de acceso a la máquina, solo personal preparado y entrenado para el manejo de la máquina.
	Desarrollar Diferentes tareas de mantenimiento
	Realizar acciones preventivas a la máquina cada dos meses, en ello se incluye:  I. Lubricación de engranajes y demás elementos mecánicos que conforman el cabezal fresadora-taladrora. II. Limpieza de viruta. III. Cambios de Filtros del extractor de polvo. IV. Cambio del Portaherramientas. V. Lubricación de rieles de desplazamiento en sentido X y dirección Z de la bandeja de vacío

Con el control de la información y tareas de mantenimiento a través de un instructor líder o auxiliar en los ambientes de formación del SENA, autorizado especialmente para ello, se garantiza pureza de información que ingresa al software y confiabilidad en la máquina.

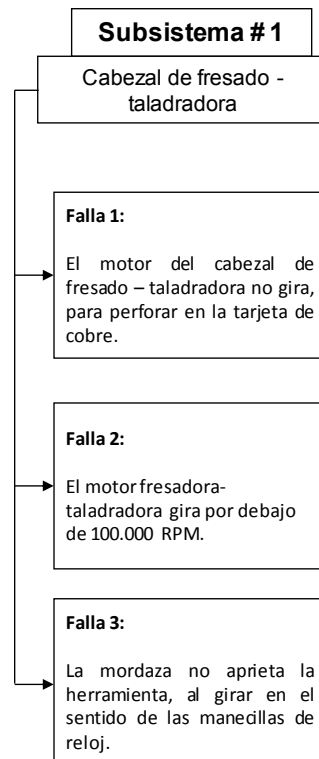
### 3.4 PROCEDIMIENTO FMECA Y RPN

El procedimiento FMECA tiene como función principal organizar todas las tareas correctivas, modificativas o proactivas a realizar el mantenimiento, después de haber realizado exhaustivamente el análisis de fallas, el método procedimental FMECA parte del concepto de que ya se conocen todas las fallas reales y

potenciales, se sabe de los modos de fallas en que se pueden presentar y se tiene un perfecto dominio de todas las funciones principales y auxiliares de los elementos o máquinas a evaluar con el procedimiento.

Para la aplicación del FMECA en el sistema de la máquina ProtoMat S103-LPKF, se procede a utilizarse dentro de los cinco subsistema, el Subsistema #1 Cabezal de fresado – taladradora; Falla 3: El motor de cabezal de fresado-taladradora no gira, para perforar en la tarjeta de cobre.

Ilustración 21 - Ilustración Subsistema #1



**A - Identificación del problema o mejora a realizar:**

El cabezal fresadora-taladradora después de realizar el trazado inicial en la tarjeta, no deposita la broca en el porta-herramienta y procede a tomar la siguiente broca, lo cual ocasiona que la broca inicial se fracture; los límites del subsistema de la falla se circunscriben en el cabezal fresadora-taladradora, tarjeta electrónica del

cabezal, software, computador y hardware. Ocurre el daño desde el año 2014, el cabezal costó en el año 2014 \$45'000.000 millones.

**B** - Beneficios económicos, técnicos, productivos, etc. De analizar el problema o mejora mediante el método de Causa Raíz de los fallos:

- La imposibilidad de desarrollar prácticas de laboratorio al personal de aprendices del área de electrónica.
- El aprendizaje se ve limitado en las competencias, por la no disposición de la máquina, lo cual afecta el desempeño profesional.
- El lucro cesante de la máquina supera los \$ 50 millones de pesos anuales por no haber podido prestar servicios a la industria durante 12 meses.
- El cambio del cabezal no influyó en el desempeño de la maquina ni afecta su confiabilidad.

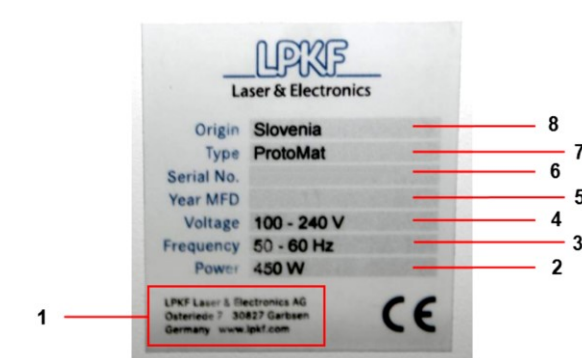
**C** - Desarrollo del análisis:

C - 1) Desviación - Subestándar - Falla

La mordaza no suelta la broca, para realizar el siguiente fresado.

C - 2) Especificación Técnica (datos, planos, fotografías, evidencias reales y verbales, cálculos, verificaciones, estudios, normas, procedimientos de calidad, otros, etc.) con que se cuenta:

Ilustración 22 - Placa Característica máquina ProtoMat S103-LPKF



La especificación técnica de la máquina se divide en 8 puntos:

- 1 - Datos del Fabricante
- 2 - Potencia absorbida en W (wattios)
- 3 - Frecuencia de red en Hz
- 4 - Rango de tensión AC
- 5 - Año de fabricación
- 6 - Número de serie
- 7 - denominación del tipo
- 8 - País de procedencia

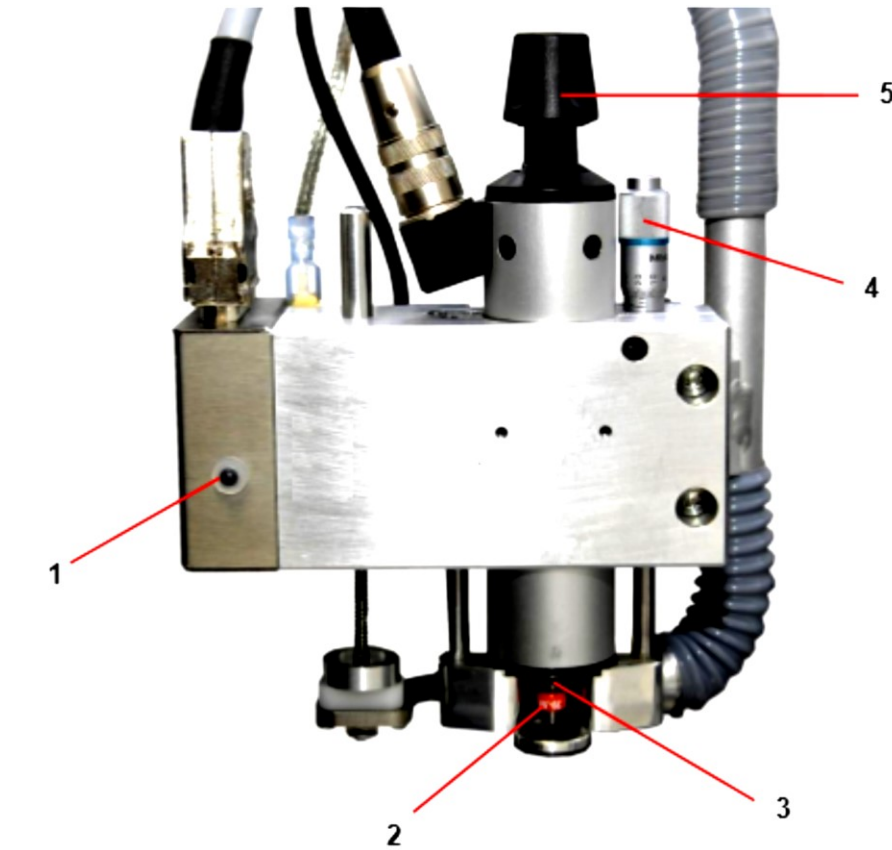
Especificación principal de Datos:

Ilustración 23 - Datos principales máquina ProtoMat S103-LPKF

Datos	Valor
Tensión de servicio	110 a 240 V AC, 50 - 60 Hz
Potencia consumida	400/450 W
Peso	aprox. 58 kg
Dimensiones	670 x 540 x 760 mm (A x H x L)
Temperatura ambiente admisible	15 a 25 °C
Humedad del aire admisible	máx. 60 %
Nivel de ruido en el puesto de trabajo	71 dB (A), sin extractor de polvo
Motor del cabezal de fresado-taladrado	motor trifásico
Rango de velocidad de giro	máx. 40.000 rpm (variable)
Velocidad de traslación	150 mm/s
Capacidad de taladrado	150 carreras por minuto
Intercambio de herramienta	manual
Alojamiento de la herramienta	3,175 mm (1/8")
Motor eje X	motor paso a paso trifásico
Motor eje Y	motor paso a paso trifásico
Motor eje Z	motor paso a paso bifásico
Ajuste de la profundidad de fresado	manual
Área de trabajo con mesa de trabajo	305 x 229 x 32,5 mm (X x Y x Z)
Área de trabajo con tablero de fibra de papel recubierto de melanina	305 x 229 x 26,5 mm (X x Y x Z)

En la anterior ilustración se observa la característica principal de la máquina ProtoMat S103-LPKF, desde el sistema eléctrico hasta su área de trabajo.

Ilustración 24 - Mordaza

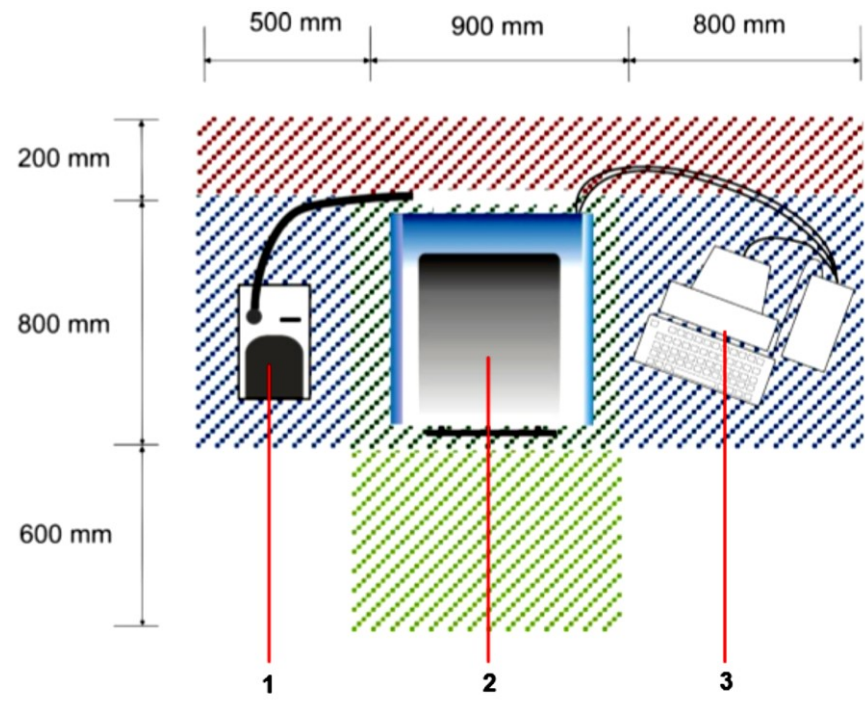


Partes de la mordaza:

- 1 - Led de estado
- 2 - Herramienta (Broca)
- 3 - Alojamiento de la herramienta
- 4 - Ajuste de la profundidad de fresado
- 5 - Abrir/cerrar mordaza

La siguiente ilustración se describe detalladamente la instalación y la puesta en marcha de la maquina ProtoMat S103-LPKF.

Ilustración 25 - Plano área de trabajo máquina ProtoMat S103-LPKF



Equipos LPKF:

- 1 - Extractor de polvo
- 2 - Máquina fresadora-taladradora
- 3 - Ordenador personal

La máquina ProtoMat S103-LPKF, debe montarse sobre una mesa de trabajo estable con una capacidad de carga de 60 kg. El área de trabajo que recomienda el fabricante es de al menos 800 x 900 mm. Las áreas marcadas en rojo son zonas de seguridad y no deben ser ocupadas por ningún objeto.

Para una mayor comprensión se diseñó una serie de formatos, con el fin de subdividir la máquina o sistema, en varios subsistemas con el objetivo de analizar los modos de fallas de cada uno del subsistema que se compone la máquina ProtoMat S103 - LPKF.

### C - 3) Procedimiento

#### C - 3 - A) Análisis de Fallas Subsistema # 1

##### CAUSA INMEDIATA 1:

Los mecanismos de la mordaza del cabezal fresadora-taladradora presentan mal funcionamiento y no libera la broca inicial.

##### CAUSA BÁSICA 1 A

Mecanismos desgastados no permiten el buen funcionamiento mecánico de la mordaza.

##### Evidencias

1A1 - Viruta presente en la bandeja de vacío.

1A2 - Ruido anormal en los mecanismos, por deterioro en los piñones.

##### CAUSA INMEDIATA 2:

El circuito neumático de la mordaza falla y no suelta la herramienta

##### CAUSA BÁSICA 2 B

Mangueras defectuosas que no permiten salida del aire hacia el cabezal.

##### Evidencias

2B1 - Mangueras que no presentan continuidad en el circuito debido a fugas visibles.

2B2 - Caídas imprevistas de presión durante el funcionamiento.

## Evidencias encontradas y procedimientos realizados:

En este orden de ideas el Funcionario de la firma alemana de la empresa LPKF procedente de Brasil encuentra como Causa Raíz del Problema, la presencia de descalibración de la máquina, lo cual ocasiona la desaparición de archivos en el lenguaje de programación del mismo; coincidiendo las evidencias reales presentadas y las potenciales; con esto entonces se procede a concluir que la Causa Raíz del Problema es la descalibración, para ello se procede ahora a establecer políticas de control o soluciones de raíz al problema presentado. A continuación, se presenta algunos informes que han presentado la empresa LPKF, de algunos mantenimientos que han hecho en diferentes centros de formación a nivel nacional del SENA.

Ilustración 26 - SENA Salomia Ciudad de Cali

**EDASIM** Colombia  
Nit: 906276964-4

**ACTA DE RECIBIDO REVISIÓN TÉCNICA**  
**INFORMACIÓN DE LA VISITA**

**Cliente:** Sena Salomia Cali  
**Dirección:** Cl# 52 # 2 bis-15  
**Ciudad y Fecha:** 03 de Agosto 2016

**Máquina y/o Procesos sujeto a revisión:**

1. S103 S/N: 2522000277
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

**REPORTE TÉCNICO**

REPORTE CLIENTE	DIAGNOSTICO	ESTADO ACTUAL
Equipo para mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se realiza lubricación de las guías del cabezal.</li><li>• Se realiza lubricación de los tornillos sin fin parte posterior e inferior de la S103.</li><li>• Se realiza el ajuste del tool holder porque se encontraba descalibrado.</li><li>• Se realiza cambio del tool holder para la calibración.</li><li>• Se revisan filtros de la máquina se cambian filtros (Aspiradora).</li><li>• Se realiza actualización del firmware y software, los cuales tenían versiones anteriores y quedan con la versión 1.800 y el SW CP2.3</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Después de realizar la calibración se hace la elaboración de una tarjeta del cliente (Doble capa) quedando bien.</li><li>• La Prototipadora queda funcionando bien.</li></ul>

EDASIM COLOMBIA Transversal 59 No. 104b-88 oficina 404 Centro Empresarial San Ángel - Bogotá - Colombia Teléfono: + 57 1 7442018 sitio web <http://www.edasim.com>

Ilustración 27 - SENA Colombo Alemán Ciudad de Barranquilla



Colombia 

NIT: 900276964-4

**ACTA DE RECIBIDO REVISIÓN TÉCNICA**  
**INFORMACIÓN DE LA VISITA**

**Cliente:** Sena Colombo Alemán Barranquilla

**Dirección:** Cl.30 # 4- 65

**Ciudad y Fecha:** 25 de Agosto 2016

**Máquina y/o Procesos sujeto a revisión:**

1. S103 S/N: 252200286

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

**REPORTE TÉCNICO**

REPORTE CLIENTE	DIAGNOSTICO	ESTADO ACTUAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipo para mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se realiza lubricación de las guías del cabezal.</li> <li>Se realiza lubricación de los tornillos sin fin parte posterior e inferior de la S103.</li> <li>Se realiza el ajuste del tool holder porque se encontraba descalibrado.</li> <li>Se revisan filtros de la máquina y de la aspiradora.</li> <li>Se realiza actualización software, El cual tenía una versión anterior.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Después de realizar la calibración se hace la elaboración de una tarjeta capa sencilla quedando bien.</li> <li>La Prototipadora queda funcionando bien.</li> </ul>

**Observaciones:** Se aconseja conectar el equipo a una UPS de 2.2 Kva, ya que este hoy en día se encuentra conectado a la toma corriente regulada.



EDASIM COLOMBIA Transversal 59 No. 104b-88 oficina 404 Centro Empresarial San Ángel - Bogotá - Colombia Teléfono: + 57 1 7442018 sitio web <http://www.edasim.com>

## Ilustración 28 - SENA Complejo Sur Ciudad de Bogotá



Colombia 

NIT: 900276964-4

### ACTA DE RECIBIDO REVISIÓN TÉCNICA INFORMACIÓN DE LA VISITA

**Cilente:** Sena Complejo Sur Bogotá

**Dirección:** Cra 30 con 22

**Ciudad y Fecha:** 25 de Octubre 2016

**Máquina y/o Procesos sujeto a revisión:**

1. S103 S/N: 2522000283

### REPORTE TÉCNICO

REPORTE CLIENTE	DIAGNOSTICO	ESTADO ACTUAL
Equipo para mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se realiza lubricación de las guías del cabezal.</li><li>• Se realiza lubricación de los tornillos sin fin parte posterior e inferior de la S103.</li><li>• Se realiza el ajuste del tool holder porque se encontraba descalibrado..</li><li>• Se revisan filtros de la máquina No se cambian porque los filtros están en buenas condiciones.</li><li>• Se realiza ajuste y calibración de la herramienta universal cutter.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Después de realizar la calibración se hace la elaboración de una tarjeta doble cara la cual queda bien.</li><li>• La Prototipadora queda funcionando bien.</li></ul>

**Observaciones:** Se aconseja conectar el equipo a una UPS de 2.2 Kva como lo recomienda el fabricante, ya que este hoy en día se encuentra conectado a la toma corriente regulada.



EDASIM COLOMBIA Transversal 59 No. 104b-80 oficina 404 Centro Empresarial San Ángel - Bogotá - Colombia Teléfono: + 57 1 7442018 sitio web <http://www.edasim.com>

### C - 3 - B) Pruebas de Validez de las Causas planteadas en el paso anterior

Debido al alto trabajo que se realizó con la máquina en donde su operación se ve comprometida a daños; se encontró que la mordaza no suelta la herramienta y procede a tratar de tomar la siguiente, sin soltar la anterior, generando la ruptura de la herramienta en la mordaza, esto se debe al ingreso de memorias USB sin control que introdujeron en el computador, según el funcionario de la firma alemana de la empresa LPKF, al detectar archivos o instrucciones de lenguaje de programación borrados.

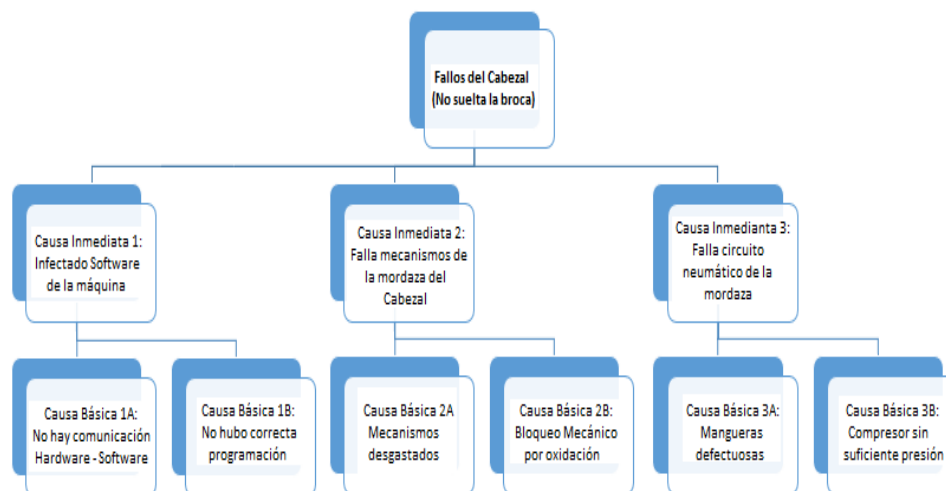
### C - 3 - C) Selección de la Causa Planteada y Probada

Dado que la máquina tuvo grandes jornadas de trabajo de fabricación de tarjetas electrónicas, el cabezal fresadora-taladradora y el portaherramientas fueron sometidos a sobre esfuerzos, los cuales se dejó de trabajar en la máquina hasta solucionar el inconveniente.

### C - 4) Bitácora de Cálculos – Técnicas utilizadas

**Síntesis:** La falla en particular se debe especialmente al descontrol del ingreso de las memorias USB de los aprendices al computador, sin tener el control o la garantía de pureza de la información de los archivos exentos de virus, que entra al software de la máquina.

Ilustración 29 - Clasificación FMECA del Subsistema #1



C - 5) Actuaciones a realizar (Política de Control) que garantice erradicación de Falla

C - 5 - A) Falla: la mordaza no suelta la broca








C - 5 - B) Causa Inmediata Única: El software CircuitPro presenta dificultades y no completa el proceso.

C - 5 - C) Causa Básica Única: No hay comunicación entre hardware y software debido a la existencia de virus que altera la configuración inicial del sistema.

C - 5 - D) Implementación de Controles:

Con la implementación de los controles, se recurre a los roles en los grupos caza - fallas GCF<sup>6</sup>, mediante sombreros debido a que los procesos de análisis de fallas se originan en las personas y se desarrollan a partir de las ideas que aportan en particular cada uno de los miembros del GCF; estos procesos de pensamiento son vitales en el análisis y se pueden guiar con los roles que las diferentes personas juegan en las reuniones (Stamatis, 1995).

Ilustración 30 - Identificación de los roles en los grupos caza – fallas, mediante sombreros

 Sombrero	Descripción	Rol
 Blanco	Neutral	Hechos, cifras, información objetiva. No hace interpretaciones ni da opiniones
 Rojo	Emotivo	Emociones y sensaciones sentimientos Así me siento con respecto a este asunto
 Negro	Crítico Negativo	Lógico negativo Señala riesgos y peligros Identifica errores
 Amarillo	Crítico Positivo	Lógico positivo constructivo optimista Abarca espectro positivo desde el lógico hasta visiones y esperanzas
 Verde	Creativo	Creatividad, Ideas nuevas. Hace falta ir más allá de lo conocido, lo obvio y lo satisfactorio El lenguaje del movimiento reemplaza al del juicio
 Azul	Facilitador	Control de los demás sombreros y pasos para pensar Define el tema. Síntesis, visión global y conclusiones Asegura el respeto por las Reglas de Juego

(Mora, 2012)

<sup>6</sup> GCF - Grupo Caza - Fallas

El hecho de usar un sombrero permite centrar y enfocar mejor el pensamiento, si se cambia de sombrero se puede reorientar la idea, si el pensamiento se precisa la argumentación del miembro caza-falla resulta más productiva (De Bono, 2003). La idea es que los miembros asuman al menos uno de los roles en las reuniones, puede ser cambiante durante la sesión y entre reunión y reunión.

De esta manera se puede constituir en el SENA un grupo caza-fallas con un número suficiente de personas (al menos nueve personas, entre principales, suplentes, permanentes e invitados), se pueden trabajar varios grupos en simultáneo que analizan fallas diferentes.

Con el control de la información y tareas a través de un Auxiliar SENA de Laboratorio, autorizado especialmente para ello, lo que garantiza pureza de la información que entra al software, por lo cual se tiene que:

**Control 1 a realizar:** capacitar a los auxiliares de laboratorio para realizar un control adecuado manejo del hardware y software de la máquina ProtoMat S103-LPKF.

**Fecha de implementación del control:** OCT 24 2017

**Control 2 a realizar:** generar planillas con un debido control, el cual pueda alertar a los instructores de los días que hay que lubricar los piñones del cabezal.

**Fecha de implementación del control:** NOV 7 2017

C - 6) Seguimiento a los diferentes controles: primero que todo generar disciplina e implantar revisiones programadas a las planillas cada mes.

**Fecha de seguimiento a control:** DIC 10 2017

C - 7) Beneficios económico y técnico logrados: para no volver a poseer los mismos problemas, se debería capacitar a los instructores y auxiliares, pasantes, practicantes de laboratorio para poder generar nuevas técnicas y programas para

un debido manejo de la máquina. Por lo tanto, se ahorrarían los costos asociados a la falla.

### 3.5 EVALUACIÓN RPN

El procedimiento *FMECA* usa tres parámetros: Severidad, Ocurrencia y Probabilidad de Detección, sin embargo, la metodología es muy similar, como también lo son las tablas para su calificación en cada uno de los tres componentes descritos (que juntos conforman la base de evaluación del *RPN*<sup>7</sup> (Stamatis, 1995)).

Una vez se establecen todas las funciones, sus fallas funcionales y sus correspondientes modos de fallas, se procede a calificar la severidad, la posibilidad de ocurrencia y la probabilidad de detección temprana de las fallas, con el fin de constituir 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.

Por lo tanto, el *RPN* lo que hace es jerarquizar cada una de las tareas a realizar en los diferentes elementos o equipos, con el fin de priorizar los esfuerzos en los equipos que más lo requieran acorde a su grado de criticidad.

Ecuación 1 - Cálculo del RPN

$$RPN = \text{Severidad} \times \text{Posibilidad de Ocurrencia} \times \text{Probabilidad de Detección} = S \times O \times D$$

El cálculo de la Severidad se realiza en dos partes, una de ellas asigna unos valores probabilísticos a cada criterio y en la segunda parte que se obtiene por análisis y discusión del GCF al utilizar las tablas internacionales de valores de los distintos criterios de severidad.

Para la aplicación de la evaluación del RPN en el sistema de la máquina ProtoMat S103-LPKF, se procede a utilizarse dentro de los cinco subsistema, el Subsistema #1 Cabezal de fresado – taladradora; Falla 3: El motor de cabezal de fresado-taladradora no gira, para perforar en la tarjeta de cobre.

---

<sup>7</sup> *RPN - Risk Priority Number – Número de Riesgo Prioritario.*

Para el desarrollo de la evaluación RPN se tiene en cuenta la definición de cada componente que compone la ecuación 1.

**Severidad:** representa la gravedad de la falla para el cliente o para una operación posterior, una vez que esta falla ha ocurrido. Se evalúa en escala del 1 a 10.

En la siguiente ilustración se menciona los rangos de severidad con su efecto y criterio.

Ilustración 31 - Rangos de severidad

<b>Efecto</b>	<b>Rango</b>	<b>Criterio</b>
No	1	Sin efecto
Muy Poco	2	Cliente no molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Poco	3	Cliente algo molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Menor	4	El cliente se siente un poco fastidiado. Efecto menor en el desempeño del artículo o sistema.
Moderado	5	El cliente se siente algo insatisfecho. Efecto moderado en el desempeño del artículo o sistema.
Significativo	6	El cliente se siente algo inconforme. El desempeño del artículo se ve afectado, pero es operable y está a salvo. Falla parcial, pero operable.
Mayor seriamente	7	El cliente está insatisfecho. El desempeño del artículo se ve afectado, pero es funcional y está a salvo. Sistema afectado.
Extremo inoperable	8	El cliente muy insatisfecho. Artículo inoperable, pero a salvo. Sistema afectado.
Serio tiempo	9	Efecto de peligro potencial. Capaz de discontinuar el uso sin perder dependiendo de la falla. Se cumple con el reglamento del gobierno en riesgo.
Peligro	10	Efecto peligroso. Seguridad relacionada - falla repentina. Incumplimiento con reglamento del gobierno.

(Reyes, 2012)

**Probabilidad de ocurrencia:** estimación de la frecuencia con la que se espera que ocurra la falla debido a las causas potenciales. Se evalúa en escala del 1 a 10.

En la siguiente ilustración se menciona los rangos de posibilidad de ocurrencia con su efecto y criterio.

Ilustración 32 - Rangos de posibilidad de ocurrencia

Efecto	Criterio	Rango	Probabilidad de Falla
Remota	Falla improbable. No existen fallas asociadas con este producto o con un producto casi idéntico.	1	< 1 en 1,500,000 $Z_{lt} > 5$
Muy Poca	Sólo fallas aisladas asociadas con este producto o con un producto casi idéntico.	2	1 en 150,000 $Z_{lt} > 4,5$
Poca	Fallas aisladas asociadas con productos similares.	3	1 en 30,000 $Z_{lt} > 4$
Moderada	Este producto o uno similar ha tenido fallas ocasionales.	4	1 en 4,500 $Z_{lt} > 3.5$
		5	1 en 800 $Z_{lt} > 3$
		6	1 en 150 $Z_{lt} > 2.5$
Alta	Este producto o uno similar han fallado a menudo.	7	1 en 50 $Z_{lt} > 2$
		8	1 en 15 $Z_{lt} > 1.5$
Muy Alta	La falla es casi inevitable.	9	1 en 6 $Z_{lt} > 1$
		10	> 1 en 3 $Z_{lt} < 1$

(Reyes, 2012)

**Probabilidad de detección:** estimación de la probabilidad de detectar, suponiendo que ha ocurrido la falla. Se evalúa en escala del 1 a 10. En la siguiente ilustración se menciona los rangos de posibilidad de detección con su rango y criterio.

### Ilustración 33 - Rangos de detección

<b>Rango</b>	<b>Criterio</b>
1	Detectado antes de la ingeniería prototipo.
2 3	Detectado antes de entregar el diseño.
4 5	Detectado antes de producción masiva.
6 7	Detectado antes del embarque.
8	Detectado después del embarque pero antes de que el cliente lo reciba.
9	Detectado en campo, pero antes de que ocurra la falla.
10	No detectable hasta que ocurra la falla en campo

(Reyes, 2012)

Para realizar el cálculo RPN, se desarrolla la siguiente tabla, con el propósito de hacer un análisis profundo del modo y efecto de falla.

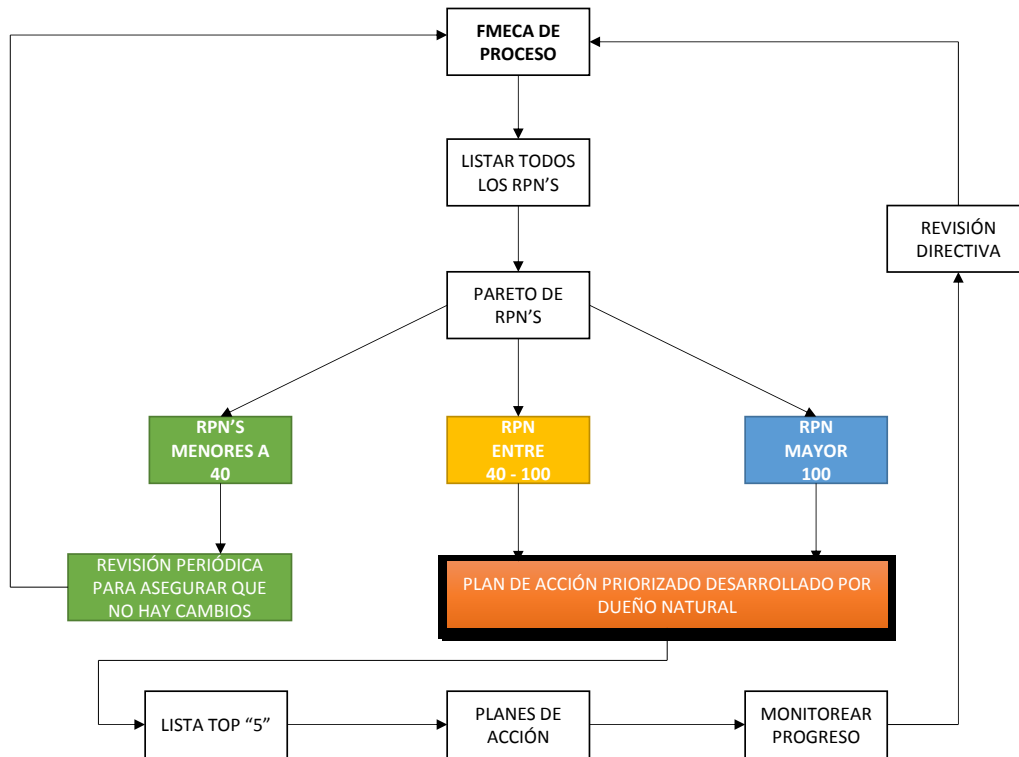
Ilustración 34 - Análisis del modo y efecto de falla RPN

Artículo / Función	Modo Potencial de Falla	Efecto(s) Potencial(es) de falla	Severidad (S)	Causa(s) Potencial(es) / Mecanismos de la falla	Ocurrencia (O)	Controles de Diseños Actuales Prevención	Controles de Diseños Actuales Detección	Detección (D)	RPN	Acción(es) Recomendada(s)	Responsable y fecha objetivo de Terminación	Resultados de Acción				
												Acciones Tomadas	S	O	D	RPN
Fresar tarjeta electrónica a una velocidad angular de 40,000 - 100,000 rpm con una resolución de fresado de 0,25 µm	El motor de cabezal de fresado-taladradora no gira, para perforar en la tarjeta de cobre.	Local: Daño a sensor de velocidad y engrane.  Máximo Próximo: Falla en la mordaza.  Con cliente: Equipo parado.	6	Causa raíz física: herramienta por debajo del límite requerido.  Causa raíz humana: planeación inadecuada por falta de conocimiento de la máquina.  Causa Raíz Organizacional: herramienta inapropiada por parte del fabricante.	3	Restricción total de acceso a la máquina, solo personal preparado y entrenado para el manejo de la máquina.	Instalar una nueva versión del software CircuitPro, para mejorar la confiabilidad de la máquina.	5	90							

Con este cálculo se logra observar que el Subsistema #1 Cabezal de fresado – taladradora; Falla 3: El motor de cabezal de fresado-taladradora no gira, para perforar en la tarjeta de cobre, tiene una evaluación de RPN de 90. En las siguientes columnas se recomienda, usar el RPN para identificar acciones futuras. Una vez que se lleva a cabo la acción, se debe recalculer el RPN.

Con el resultado del RPN en el Subsistema #1 Cabezal de fresado, podemos aplicar el método de reducción del riesgo como se muestra la siguiente ilustración.

Ilustración 35 – Método de reducción del riesgo



(Araque, 2015)

### 3.6 CONCLUSIONES DEL CAPITULO 3

Para cumplir con el objetivo propuesto, es muy importante implementar en el SENA la metodología de Análisis de Modos de Fallas (FMECA), con los equipos o máquinas con que cuenta sus laboratorios de formación, ya que esta metodología es la planeación del mantenimiento, por lo que se debe entender claramente y aplicar por personal con suficiente experiencia. El FMECA, es una metodología simple, que de forma clara y concisa nos permite entender la forma en la que opera un sistema, pero sobre todo la forma en la que falla; de esta forma podemos identificar las mejores oportunidades para el mantenimiento.

## **4 MEJORAS**

### **4.1 OBJETIVO 4**

Presentar un plan de mejoramiento para optimizar el desempeño de la máquina PROTOMAT S103-LPKF, a partir de los resultados del análisis de fallas. Nivel 4 – Analizar.

### **4.2 INTRODUCCIÓN DE CAPÍTULO 4**

El capítulo ilustra el plan de mantenimiento, con el propósito de identificar y analizar todas las actividades técnicas y administrativas que deben ejecutarse, para implementar un plan de mantenimiento que garantice la confiabilidad de las máquinas ProtoMat S103-LPK existentes en los laboratorios del área de electrónica en los diferentes centros de formación del SENA.

### **4.3 DESARROLLO DE CAPÍTULO 4**

Es importante ejecutar una planeación con el fin de determinar los pasos necesarios o requeridos antes de empezar a desarrollar el plan de mantenimiento, en esta etapa fue necesario desarrollar en el capítulo anterior un cuadro ilustrativo donde se identificó las fallas, los modos de falla y sus causas de la máquina ProtoMat S103-LPKF.

En la siguiente ilustración se registra algunas de las fallas que se clasificaron como eliminables y controlables.

Ilustración 36 - Clasificación de las fallas eliminables y controlables

MÁQUINA PROTOMAT S103 - LPKF								
No.	SUBSISTEMA	FALLA	MODO DE FALLA	CÓDIGO MODO DE FALLA (ISO 14224)	FALLA ELIMINABLE	FALLA CONTROLABLE	ACCIÓN DE MANTENIMIENTO	TIPO DE MANTENIMIENTO
1	Cabezal de Fresado-Taladradora	El motor del cabezal de fresado – taladradora no gira, para perforar en la tarjeta de cobre.	No arranca cuando se da la orden.	FTS		X	Inspeccionar las partes del motor (Rotor, engranajes, cables, bobinado, etc..).	Preventivo
2	Cabezal de Fresado-Taladradora	El motor gira por debajo de 100.000 RPM.	Energía de salida baja.	LOO		X	Reemplazar el cableado eléctrico que va hacia el motor.	Correctivo
3	Cabezal de Fresado-Taladradora	La mordaza no aprieta la herramienta, al girar en el sentido de las manecillas de reloj.	Energía de salida baja	LOO		X	Inspeccionar las partes del cabezal fresadora-taladradora.	Preventivo
4	Tensión de servicio	El interruptor de red, no se activa para dar alimentación al sistema.	Conector del interruptor gastado.	FTS		X	Reemplazar el interruptor eléctrico.	Correctivo
5	Tensión de servicio	El disparo en el sistema eléctrico, se pierde la operación normal de la máquina.	Energía de salida baja, parada inesperada.	SPS		X	Inspeccionar el flujo eléctrico desde el tomacorriente por donde se conecta la máquina.	Preventivo
6	Motorez X, Y, Z	El motor eje Z, no desplaza la bandeja de vacío.	No arranca cuando se da la orden	FTS		X	Inspeccionar las partes del motor (Rotor, engranajes, cables, bobinado, etc..).	Preventivo
7	Motorez X, Y, Z	El motor eje X, reduce su velocidad de desplazamiento en los rieles por debajo de 40.000 RPM	Energía de salida baja	LOO		X	Inspeccionar las partes del motor (Rotor, engranajes, cables, bobinado, etc..).	Preventivo
8	Interfaces	No hay comunicación entre el software circuitPro y la máquina por el puerto USB.	Falla al sincronizar	FTS		X	Inspeccionar el puerto de comunicaciones cable, tarjeta de comunicación.	Preventivo
9	Interfaces	La tarjeta de interfaz electrónica del cabezal pierde la operación normal con el computador dejando de iluminar el led de estado.	Lectura anormal de parámetros.	SPS	X		Reemplazo del Cabezal debido a que es un problema anormal de comunicación.	Correctivo
10	Extractor de polvo	La potencia consumida del extractor de polvo está por debajo de 450W	Energía de salida baja	LOO		X	Inspeccionar el consumo de potencia según el manual del fabricante y el flujo eléctrico.	Preventivo
11	Extractor de polvo	Salida de viruta o polvo de trabajo realizado sobre la tarjeta que se perfora.	Energía de salida baja	LOO	X		Reemplazo de la tubería que transporta la viruta hacia el extractor de polvo.	Correctivo

En la anterior ilustración se puede observar el análisis que presenta la máquina ProtoMat S103-LPKF, con sus respectivas fallas y su respectiva acción de mantenimiento.

Con este proyecto se logra un análisis profundo para la implementación de un sistema que le sirva al SENA, para el registro de mantenimientos, acciones de operación y controles administrativos; con toda esta información se llevaría una información completa donde se tenga un historial completo y veraz de las fallas que presenta cada una de estas máquinas en los diferentes centros de formación que tiene el SENA, con esto se lograría una mayor precisión en cuanto a fallas recurrentes, para poder hallar las causas de su ocurrencia y así poder buscar la forma de evitar que se sigan presentando.

Por otro lado, al momento de ser implementado estas acciones de mantenimiento con sus respectivos formatos técnicos planteados en este proyecto, buscarán ya sea personal capacitado dentro de los mismos ingenieros especialistas del SENA en el área de mantenimiento, y además tendrá un desarrollo de la planificación del crecimiento y la magnitud de los centros de formación en cuanto a las próximas compras de máquinas y equipos.

#### **4.4 ANÁLISIS DE FORMATOS PROPUESTOS**

Para obtener la información que permita controlar el plan de mantenimiento, se hace necesario la recomendación de utilizar diversos formatos que brinden información precisa y veraz del desarrollo de las actividades o acciones de mantenimiento.

A continuación, se analiza la utilización de estos formatos en el SENA, y se propondrán la utilización de todos aquellos que el SENA no utilice y que sean necesarios para controlar las acciones de mantenimiento.

Ilustración 37 - Análisis de formatos propuestos

FORMATO	UTILIZACIÓN		OBSERVACIONES
	SI	NO	
Ficha Técnica	X		Se utiliza, y se trabaja con el manual de la máquina.
Hoja de vida	X		Este formato, consideramos si es posible seguir con su utilización. Brinda la información que se necesita.
Control diario uso de la máquina		X	
Solicitud de Servicio		X	
Orden de trabajo		X	
Descripción de cargo Operador		X	
Medición de frecuencia		X	

Como podemos observar en la anterior ilustración, se requiere un importante plan de mantenimiento y más que todo que es un arma importante en seguridad laboral para el SENA, ya que un gran porcentaje de accidentes son causados por desperfectos en las máquinas o equipos que se pueden ser prevenidos.


Por otro lado, un buen plan de mantenimiento en una empresa es vital para lograr la prestación de servicios de alta calidad y no menos importante para el control de costos y para asegurar al cliente que el servicio solicitado se realizará en el tiempo inmediato y según las especificaciones requeridas.

Ilustración 38 - Formato control diario uso de la máquina

		SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA						
<b>FORMATO REGISTRO USO DE LA MÁQUINA</b>								
NOMBRE DE LA MÁQUINA:			UBICACIÓN:					
MARCA:		MODELO:		SERIE:				
ITEM	ID SERVICIO	FECHA	DESCRIPCIÓN DE USO	INSUMO	HORA INICIO	HORA FIN	USUARIO	OBSERVACIONES
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								


El formato de solicitud de servicio, se puede lograr un excelente manejo del mantenimiento preventivo de la máquina logrando así una acción de mejora de mantenimiento de la máquina un trabajo más eficiente.

Ilustración 39 - Formato Solicitud de servicio

		SOLICITUD DE SERVICIO					No	<input type="checkbox"/>
CENTRO DE FORMACION		REGIONAL						
AMBIENTE DE FORMACIÓN		RED DE CONOCIMIENTO						
EQUIPO		FECHA	DIA	MES	AÑO			
MARCA		SERIE	MODELO					
SOLICITADO POR		CARGO						
TIPO DE MENTENIMIENTO	PREDICTIVO	DESCRIPCION DEL TRABAJO A REALIZAR						
	PREVENTIVO							
	CORRECTIVO							

Este formato de orden de trabajo, se propone con el fin de que sea específica para el SENA, en función de la actividad, organización, cantidad y tipos de mano de obra y equipos que posee entre otras, sin embargo, existe una serie de datos comunes en cualquier rama industrial o de servicios, que deben estar presentes en este instrumento de formación, como son: número consecutivo, tipo de la actividad de mantenimiento, la prioridad, registros de historial y duración real del mantenimiento.

Ilustración 40 - Formato orden de trabajo

		<b>ORDEN DE TRABAJO</b>				No <span style="border: 1px dashed black; padding: 2px 10px;"> </span>					
<b>CENTRO DE FORMACION</b>			REGIONAL								
<b>AMBIENTE DE FORMACIÓN</b>			RED DE CONOCIMIENTO								
<b>EQUIPO</b>			FECHA		DIA		MES		AÑO		
<b>MARCA</b>			SERIE		MODELO						
<b>SOLICITADO POR</b>			CARGO								
<b>TIPO DE MENTENIMIENTO</b>	PREDICTIVO		DESCRIPCION DEL TRABAJO A REALIZAR								
	PREVENTIVO										
	CORRECTIVO										
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>MATERIALES UTILIZADOS</b>						
<b>TRABAJO REALIZADO POR</b>		Interno	Externo	<b>TIEMPO (en horas)</b>	<b>COSTO</b>	<b>DESCRIPCION</b>		<b>CANT.</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>	
<b>COSTO MANO DE OBRA .....</b>					<b>COSTO TOTAL DE MATERIALES REQUERIDOS .....</b>						
INFORME FINAL DEL TRABAJO REALIZADO						OBSERVACIONES					
<b>FECHA DE ENTREGA</b>											
<b>ENTREGADO POR</b>	<b>NOMBRE</b>					<b>RECIBIDO POR</b>	<b>NOMBRE</b>				
	<b>FIRMA</b>						<b>FIRMA</b>				

Es muy importante aprovechar los reglamentos de una empresa y más como es el SENA, que tiene su propio manual de funciones; con este diseño del formato se pretende mejorar en una acción de mantenimiento con el cuál la persona encargada sea experta o al menos tenga experiencia en el manejo de la máquina, que la empresa proveedora halla capacitado a esta persona, porque lo que se busca es que cumpla con los objetivos de verificar y coordinar el mantenimiento de la máquina y que pueda analizar el buen uso del manejo de cada parte que está compuesta la máquina para evitar que entre en falla.

Ilustración 41 - Descripción del Cargo del Operador

		SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA					
<b>FORMATO DESCRIPCIÓN DE CARGO OPERADOR</b>							
NOMBRE DE LA MÁQUINA:			UBICACIÓN:				
MARCA:		MODELO:		SERIE:			
<b>PERFIL DEL CARGO</b>							
PROPÓSITO DEL CARGO: Es el encargado del manejo de la máquina, debe contar con la experiencia en el manejo específico de la maquina asignada, es decir debe ser prudente, capaz y eficiente en la operación del mismo además de atender el mantenimiento general del equipo.							
<b>EDUCACIÓN</b>		<b>EXPERIENCIA</b>			<b>FORMACIÓN</b>		
Primaria:		Menos de 1 año:					
Bachillerato:		De 1 a 3 años:					
Superior:		Más de 3 años:					
<b>HABILIDADES:</b>							

Este formato está diseñado con el fin de anotar los resultados que se dan en una investigación técnico-administrativa, con el fin de evitar al SENA gastos innecesarios de mantenimiento por una incorrecta manipulación de la máquina por personas no capacitadas en dicha máquina.

La acción de mantenimiento que se pueda tomar a la hora de identificar los modos de fallas se puede llevar un registro de la máquina, su código y el tipo de mantenimiento a ejecutar. Las columnas están distribuidas y descritas de izquierda a derecha de la siguiente manera:

**Componentes:** Hace referencia al accesorio o componente que es parte del equipo o máquina.

**Modo de falla:** las fallas usuales que presenta la máquina durante su operación.

**Acciones para evitar la falla:** Ejecución de actividades necesarias que requiere el equipo para evitar la falla.

**Frecuencia:** período o intervalo en que se debe hacer la actividad para evitar la falla.

**Materiales y herramientas:** Son los elementos de consumo y las herramientas que requiere dicha actividad.

**Equipos que se usan para el mantenimiento:** herramientas de avanzada que requiere el mantenimiento a ejecutar.

**Mano de obra:** persona idónea para ejecutar y garantizar dicha actividad.

Ilustración 42 - Medición de frecuencia

		SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA				
<b>FORMATO MEDICIÓN DE FRECUENCIA</b>						
COMPONENTES	MODO DE FALLA	ACCIONES PARA EVITAR LA FALLA	FRECUENCIA	MATERIALES HERRAMIENTAS	EQUIPOS QUE SE USAN PARA EL MANTENIMIENTO	MANO DE OBRA

## 5 CONCLUSIONES

El proyecto desarrolla todas las etapas requeridas en el método de análisis de fallas; manifestándose en cada una de sus facetas individuales y en las diferentes fases de la implementación de sus modos de fallas, que permite llevar a cabo una cohesión de funciones y personas como profesionales del área de electrónica instructores SENA y proveedores de la empresa LPKF, que colaboraron en el desarrollo de esta etapa inicial del equipo y que posteriormente siguen su proceso lógico.

Con cada una de las funciones primaria y secundarias del equipo, con sus Fallas múltiples y específicas, con todos sus modos de Fallas, con todas las tareas planeadas (preventivas y/o predictivas) o no (correctivas o modificativas) de mantenimiento, en sus respectivos casos con su documentación completa y su priorización en la evaluación de RPN por severidad, ocurrencia y detección bajo la metodología FMECA.

La implementación del método análisis de fallas es fluida y fácil de desarrollar y de llevarla luego al FMECA, de la empresa como es en este caso el SENA, allí donde se ejecutarán todos los procesos que se planifiquen, en un plan de mantenimiento.

El plan de mantenimiento se diseñó de acuerdo a las necesidades del SENA, el cual cuenta con un sistema de información que permite llevar el registro detallado de los trabajos, materiales, repuestos, tiempo empleado y costos asumidos en la ejecución del mantenimiento de las máquinas ProtoMat S103-LPKF.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMEF@. 2005.** Análisis de Fallas. *GestioPolis*. [En línea] Libre, 2005. <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/amef.htm>.
- Barlow, Richard E y Proschan, Frank. 1996.** *Mathematical Theory of Reliability*. New York : John Wiley & Sons, Inc, 1996. ISBN 0898713692.
- Barringer@, H. Paul. 2005.** Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. *Availability, Reliability, Maintainability, and Capability*. [En línea] 2005. [Citado el: 11 de Noviembre de 2008.] <http://www.barringer1.com/lcc.htm>.
- Bazovsky, Igor. 2004.** *Reliability Theory and Practice*. s.l. : Edit. Dover Publications Incorporated, 2004. pág. 304 . ISBN: 0486438678..
- Bleazard, Dirk, Hepler, Don y Dearman, Larry. 1998.** *Equipment reliability improved at Barrick Goldstrike*. s.l. : Review Mining Engineering, 1998. Vol. 50. ISSN 0026-5187.
- Connection, Acquisition Community. 2014.** *Acquisition Community Connection*. [En línea] Defense Acquisition University, 18 de Febrero de 2014. [Citado el: 17 de Agosto de 2016.] <https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=530600>.
- Ebeling, Charles E. 2005.** *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. [ed.] Inc. Waveland Press. New York City : McGraw-Hill Science - Engineering - Math, 2005. pág. 576. ISBN: 1577663861.
- Ellis@, Herman. 1999.** Principles of the Transformation of the Maintenance Function to World-Class Standards of Performance. [En línea] 1999. <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/ezine/principles.htm>.
- ESReDa. 2001.** *ESReDa Handook on Maintenance management*. [ed.] Reliability & Data ESReDa - European Safety. Primera de 2001. Hevik - Norway : DET NORSKE VERITAS - ESReDa, 2001. pág. 255. Vol. Uno, Idioma Español. ISBN: 82-515-02705.
- ESReDa-Industrial. 1998.** *Industrial Application of Strutral Realibility Theory*. [ed.] P. Thoft-Christensen - Det Norske Veritas DNV. ESReDa - European Safety, reliability and Data. Hovik : ESReDa Working Group Report, 1998. pág. 283. Vol. ESReDa Safety Series No. 2. ISBN: 82-515-0233-0.
- Estadística aplicada a los Sistemas & Confiabilidad en los Sistemas. Forcadas, Jorge - Feliu. 1983.* 4, Medellín : Revista SAI - Revista SAI Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos – En: Revista SAI. No.4 Vol.1 – Medellín – Colombia - 1983, 1983, Vol. 1, pág. 41.
- Evans, D. W. 1975.** *Terotechnology - How can it work*. 1975.
- González, Francisco Javier - Fernández. 2004.** *Auditoría del manetenimiento e indicadores de gestión*. [ed.] S.A. ARTEGRAF. Primera. Madrid : Fundación CONFEMETAL, 2004. pág. 260. ISBN: 84-96169-36-7.
- Hiatt, Bruce. 2000.** A 13 Step Program in Establishing a World Class Maintenance Organization -. *Best Practices Maintenance USA*. [En línea] 2000. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] Email: [bhiatt@anesta.com](mailto:bhiatt@anesta.com), [bhiatt4419@aol.com](mailto:bhiatt4419@aol.com). <http://www.tpmonline.com/articles/management/13steps.htm>.
- Hughes@, Howard. 2008.** Biografía de Howard Hughes. *Biografía de Howard Hughes*. [En línea] Libre, 2008. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] <http://www.spartacus.schoolnet.co.uk/JFKhughesH.htm>.
- Idhammar@, Torbjorn. 1999.** - A New Preventive Maintenance Implementation and Training Concept -. [En línea] Libre, 1999. [Citado el: 20 de Octubre de 2000.] [http://maintenanceworld.com/Articles/reliability\\_jump\\_start.htm](http://maintenanceworld.com/Articles/reliability_jump_start.htm).
- IMM@. 2016.** The Institute of Asset Management. [En línea] 28 de 03 de 2016. [Citado el: 28 de 03 de 2016.] <https://theiam.org/>.
- iRCM Software, iRCM. 2016.** Software iRCM de RCM. 30 de 07 de 2016.
- Kapur, Kailash C. y Lamberson, Leonard R. 1977.** *Reliability in engineering design*. [ed.] Detroit, MI (USA). Dept. of Industrial Engineering and Operations Research Wayne State Univ. Primera. Detroit USA : John Wiley and Sons, Inc.,New York, 1977. pág. 606. Org Wayne State Univ., Detroit, MI (USA). Dept. of Industrial Engineering and Operations Research. ISBN-13: 978-0-471-51191-5.
- Kelly, Anthony y Harris, M. J. 1998.** *Gestión del MantenimientoIndustrial*. [ed.] S.A. Gráficas Mar-Car. Madrid : Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar – Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo, 1998. pág. 218. ISBN: 84-923506-0-1 – T.
- Knezevic, Jezdimir. 1996.** *Mantenibilidad*. Madrid : Editorial ISDEFE, 1996. ISBN: 84-89338-08-6.
- Langan, George. 1995.** *Maintenance automation – Review I.I.E. Solutions*. USA : s.n., 1995. págs. 14-17. Vol. Volumen 27.

- Leemis, Lawrence M. 1995.** *Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods*. New Jersey City : Editorial Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, 1995. ISBN: 0-13-720517-1.
- Management aspects of Terotechnology – Conference de la British Steel Corporation.* **Darnell, H y Smith, M. 1975.** [ed.] British Steel Corporation. London - England : s.n., 1975. Vol. Número 185.
- Mather, Daryl. 2005.** *The Maintenance Scorecard - Creating Strategic Advantage*. [ed.] John Carleo. New York : Industrial Press, Inc., 2005. pág. 257.
- Mendoza, Daniel Amador. 2016.** IRCMS, Una Nueva Perspectiva. <http://www.wal-eng.com/>. [En línea] 1 de 10 de 2016. <http://wal-eng.com/descargables/IRCM%20Una%20Nueva%20perspectiva%20V.2.0.pdf>.
- Moore@, Ron - Rath, Ron. 2008.** Fiabilidad, Mantenibilidad y Mantenimiento Proactivo. *La combinación de TPM y RCM. Estudio de un caso práctico*. [En línea] Libre, 2008. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] [www.alcion.es/Download/ArticulosPDF/gai/gratis/04articulo.pdf](http://www.alcion.es/Download/ArticulosPDF/gai/gratis/04articulo.pdf).
- Mora, Alberto - Gutiérrez. 2016.** *Inventarios Cero*. Primera. Bogotá : AlfaOmega Editores Internacionales, 2016. pág. 305. ISBN 978-958-778-069-7.
- . **2014.** *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Tercera. Medellín : COLDI Limitada, 2014. pág. 348. ISBN 978-958-98902-0-2.
- . **2013.** *Mantenimiento Planeación Ejecución y Control*. Bogotá : AlfaOmega Editore Internacionales, 2013. pág. 380. ISBN 978-958-6 82-769.
- Motoreléctrico@. 2016.** Motores eléctricos. *Partes de motores eléctricos*. [En línea] 20 de 10 de 2016. [Citado el: 20 de 10 de 2016.] <https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico>.
- Nakajima, Seiichi, y otros. 1991.** *Introducción al TPM Programa Para El Desarrollo*. [trad.] Traducido por Antonio Cuesta Alvarez. Madrid : Editorial Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar, 1991. ISBN: 84-87022-81-2.
- Nakajima5S@. 2005.** Total Productive Maintenance. [En línea] 2005. [http://iswww.bwl.uni-mannheim.de/Lehre/veranstaltungen/pm/Uebung/Nakajima\\_III\\_TPM](http://iswww.bwl.uni-mannheim.de/Lehre/veranstaltungen/pm/Uebung/Nakajima_III_TPM).
- NAVAIR. 1996.** *Directrices para la Aviacion Naval en el Proceso del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad*. 1996.
- Navarro, Luis - Elola, Pastor, Ana Clara - Tejedor y Mugaburu, Jaime Miguel - Lacabrera. 1997.** *Gestión Integral del Mantenimiento*. [ed.] S.A. Vanguard Grafic. Primera. Barcelona : Editores Marcombo Boixerau, 1997. pág. 112. ISBN 978-84-267-11212.
- OREDA. 1997.** Offshore Reliability Data Handbook. [En línea] 1997. [http://www.dnv.com/publications/oilgas\\_news/articles/newoffshorereliabilitydatahandbookoreda.asp](http://www.dnv.com/publications/oilgas_news/articles/newoffshorereliabilitydatahandbookoreda.asp) - 3rd. Det Norske Veritas – Sintef Industrial Management.
- . **2002.** OREDA 2002 - Offshore Reliability Data. *OREDA Offshore Reliability Data*. Fourth - 2002. Trondheim : OREDA & DNV Veritas, 2002, pág. 835.
- PAS 55-2:2008, PAS. 2008.** *Gestión de Activos - Asset Management*. London - Engliãnd : British Standard Institution, 2008. ISBN 978-0-9563934-2-5.
- PAS@55.2.2008. 2008.** *PAS 55 - 2 2008*. Londres : BSI British Standards Institution, 2008. pág. 57. Vol. Dos. ISBN 978-0-9563934-2-5.
- PAS55.1.2008, @BSI PAS. 2008.** *Pas 55 - 1: 2008 Geastión de Activos - Asset Management*. Londres : British Standards Instiotution, 2008. pág. 24. ISBN 978-0-9563934-0-1.
- Patton, Joseph D. Jr. 1995.** *Preventive Maintenance –The International Society for Measurement and Control - Instrument Society of America*. 1995. Vol. Second Edition. ISBN 1-55617-533-7.
- Peterson, Brad. 1999.** To Centralized or decentralized maintenance, central issue. *Strategic Asset Management Inc. MT-Magazine de MT-Online - Perfiles de Ingeniería*. [En línea] 1999. <http://www.camicorp.com> Email bp0439@aol.com.
- Ramakumar, Ramachandra. 1996.** *Engineering Reliability. Fundamentals and Applications*. New Jersey City : Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 1996. pág. 482. ISBN: 0132767597.
- RCM and TPM complementary rather than conflicting techniques.* **Geraghty, Tony. 1996.** USA : s.n., Junio de 1996, Journal, Vol. 63. ISSN 0141-8602.
- RCMScorecard@. 2005.** Reliability Centered Maintenance (RCM) Scorecard. *RCM Scorecard*. [En línea] Libre, 9 de Marzo de 2005. <http://www.maintenance-news.com/cgi-script/CSUpload/CSUpload.cgi?database=Reliability%20Centered%20Maintenance%20Managers'%20Forum%20Downloads.db&command=viewupload&id=1>.
- Rey, Sacristán Francisco. 2003.** *TPM - Mantenimiento Total de la Producción*. [ed.] Fundación Confemetal. Madrid : Fundación Confemetal, 2003. pág. 311. 9788495428493.

- Rocha, Gerardo Murillo. 2016.** Plan de Implantación General del RCM. *www.monografias.com*. [En línea] 1 de 10 de 2016. <http://www.monografias.com/trabajos10/implan/implan.shtml>.
- Smith, Anthony M. 1992.** *Reliability Centered Maintenance*. Primera. New York : McGraw Hill, Inc. School Education Group, 1992. ISBN 007059046X.
- Smith, Anthony M. y Hinchcliffe, Glenn R. 2003.** *RCM - Gatewayto World Class Maintenance*. Primera. Burlington : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0-7506-7461-X.
- Souris, Jean-Paul. 1992.** *El mantenimiento: fuente de beneficios – traducido por Diorki, S.A. Madrid de la obra original La maintenance, source de profits*. [trad.] S.A. Madrid de la obra original La maintenance, source de profits Traducido por Diorki. Madrid : Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1992. pág. 183. ISBN 84-7978-021-5.
- Strategic Sourcing: To make or not To make - Fabricar o Subcontratar. Venkatessan, Ravi. 1992.* [ed.] HDBR. 6, Watertown, Massachusetts. U.S.A. - Español Barcelona eSPAÑA : HDBR, Noviembre - Diciembre de 1992, Harvard Deusto Business Review, Vol. 70, pág. 9. En español Revista No. 96 de 1992 - Volumen 52 paginas 52 - 62 del año 1993 - España Barcelona. ISSN 0210-900X.
- Tavares, Lourival Augusto - Calixto, Marco A. - Gonzaga, dos Santos, Paulo R. - P. y da Silva, João Esmeraldo. 2007.** *Gestión Estratégica en Activos de Mantenimiento*. [ed.] Marco Antonio Alcántara. Primera. Mérida : Ediciones Técnicas, 2007. pág. 180.
- Thompson, G. 1980.** *Engineering design and Terotechnology*. Manchester : Department of Mechanical Engineering – UMIST, 1980. March 8 - 1980. M601QD - U.M.I.S.T. .
- Trends and perspectives in industrial Maintenance management. Thorsteinsson, Uffe, Luxhojt, James T. y Riis, Jens O. 1997.* 6, 1997, Jopurnal of Manufacturing Systems, Vol. 16.
- Trujillo@, Gerardo. 1999a.** Implementación de un programa de Mantenimineto Proactivo - Noria Latin America. *Noria Latin América*. [En línea] Libre, 1999a. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] [lubecons@gto1.telmex.com.mx](mailto:lubecons@gto1.telmex.com.mx).
- U.S. Army. 1972.** *AMCP 706-134 Maintainability Guide for Design*. Washington : U. S. Government Printing Office, 1972. ISBN: AMCP 706-134.
- US-NAVAIR. 2016.** Manual de Usuario IRCMS 6.3. [En línea] 2016.
- White, E. N. 1975.** *Terotechnology - Physical Asset Management*. [ed.] Manchester. Inglaterra : s.n., 1975. Libro en Biblioteca de la Universidad EAFIT.
- Williams, Patrick,@. 2016.** Modelo de Diagnóstico Tridimensional. [En línea] 11 de 01 de 2016. [Citado el: 11 de 01 de 2016.] <http://es.scribd.com/doc/170796959/Modelo-Diagnostico-Tridimensional-de-Patrick-Williams#scribd>.
- Wireman, Terry. 2001.** *Word class maintenance management*. País Estados Unidos de América : Industrial Press, Inc., 2001. ISBN 0-8311-3025-3.
- Yamashina, Hajime. 1995.** *Japanese manufacturing strategy and the role of total productive maintenance TPM - Journal of Quality in Maintenance Engineering*. West Yorkshire : s.n., 1995. Vol. Volumen 1. ISSN: 1355-2511.