

**DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS
TALLERES DEL CENTRO CIES SENA REGIONAL NORTE DE SANTANDER
UTILIZANDO METODOLOGÍA AMEF**

**DESIGN OF A PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN FOR WORKSHOPS AT
SENA'S CIES CENTRE IN NORTE DE SANTANDER DISTRICT USING AMEF
METHODOLOGY**

Ing. Isaac Silva Urbina *, **Ing. Mario Rodríguez Pineda ***,
MSc. Rafael Acosta Rozo **, **MSc. Pablo Gómez Monsalve****

* Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura,
Programa Ingeniería Mecatrónica.

Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia.

Autopista Internacional Vía Los Álamos Villa Antigua

+573158359794 marp.4497@gmail.com, +573166963627 isaacsilva1107@hotmail.com

** Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Grupo de Investigación CEDRUM NS.
Semillero de Investigación SEIINTAC.

Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

Calle 2N entre Avenida 4 y 5 Barrio Pescadero.

+573053251902 raacosta@sena.edu.co, +573115418608 pagomezmo@sena.edu.co

Abstract— The CIES center “Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios” (Center for Industry, Business and Services) of the SENA regional Norte de Santander is in charge of investing in the social and technical development of Colombian workers in comprehensive vocational training, with a wide range of resources of assets for your entire training line.

A preventive maintenance plan was developed for equipment in the training environments for industrial mechanical maintenance, metalworking products, diesel engines, automotive electromechanical and diesel transmission mechanics. Said maintenance plan was developed as a first stage the characterization of the equipment, identification of these, collection of technical information, leading to the elaboration of technical sheets of all the equipment. As a second stage, the equipment was classified by its maintainability and criticality, classifying the maintainable, critical and non-critical equipment. As a third stage, an FMEA analysis of critical equipment was implemented. Thus, with the identification of the main failures and the recommended actions, the protocols and schedules of the selected assets were created.

Once all this information was collected, formats for the equipment data record were created, necessary for the correct implementation of the preventive maintenance plan. Culminating with maintenance indicators to guarantee continuous improvement, thus increasing the reliability and availability of the equipment..

Keywords: Management, indicators, preventive maintenance, plan.

1. INTRODUCCIÓN

El Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, es un establecimiento público del orden nacional, patrimonio propio e independiente; Adscrito al Ministerio del Trabajo de Colombia que ofrece formación gratuita a millones de colombianos que se benefician con programas técnicos, tecnológicos y complementarios. En la región Norte de Santander específicamente en la ciudad de Cúcuta el SENA se subdivide en dos dependencias: el centro de formación para el desarrollo rural y minero “CEDRUM” y el centro de la industria, la empresa y los servicios “CIES”.

Debido a la tendencia de la mejora continua y a su vez el aumento en la demanda de colombianos que desean realizar una formación técnica o tecnológica gratuita, el centro CIES tiende a un mejoramiento continuo en la calidad de sus formaciones, influyendo en esta, una amplia dotación de equipos para obtener un incremento en la calidad de formación de los aspirantes.

Dichos equipos necesitan de un cuidado, un plan de mantenimiento que garantice, en lo posible, la vida útil de estos. Este artículo da a conocer una metodología para el correcto diseño de un plan de mantenimiento preventivo y dar a entender la importancia de la aplicación y la gestión de un plan de mantenimiento.

Con la realización de dicho plan en la entidad, se pretende aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los activos que la conforman, además de dar a conocer la reducción de gastos que se tendría si se implementa el plan en los ambientes de formación. De esta forma el centro contará con formatos útiles para la administración de estos activos, y de llegarse aplicar se espera garantizar en lo posible la vida útil de estos. Con la información recopilada se podrá alimentar la plataforma Mántum el nuevo software CMMS o GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador) que se está empezando a implementar en la entidad.

En conjunto el artículo debe de enviarse el formato de datos de los autores y de la investigación que se consigue en la página web de la revista:

http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/01_general/07102011/guia_para_autores.jsp

2. CARACTERIZACION DE EQUIPOS

Según la norma ISO 14224-2016 en su ítem 6 dice que es de un alto beneficio el poder recolectar la información y los datos de los activos, ya que incluye la oportunidad de poder optimizar los tiempos de reparaciones e inspecciones de los equipos, el contenido de los procedimientos de mantenimiento, así como las mejoras en la toma de decisiones, reducción de fallas y tendencias a un mejor rendimiento y disponibilidad. Fueron necesarias tres etapas para la caracterización de los equipos:

Etapa 1: La primera etapa constó en inventariar los activos. En esta etapa se verificó cuales maquinas estaban disponibles en cada uno de los ambientes de formación, se verificó la existencia de los códigos de inventario en cada una de las máquinas, además de su estado, funcionalidad e importancia en el ambiente de formación. Se realizaron reuniones con cada uno de los instructores a cargo (cuentadantes) para dar a conocer el proyecto a realizar y entablar una comunicación clara y disponible con los mismos. El área de almacén e inventario fue muy importante a la hora de caracterizar los equipos, debido a que ellos contenían información clave acerca de los equipos, como lo es su costo, su fecha de adquisición en la empresa, proveedor, vida útil. Finalizando con una lista de equipos que no poseían placa inventario y presentan errores en el software de inventario, los cuales se realizaron sus respectivas correcciones. Fue necesaria la creación del formato de inventario de los activos, el cual deberá estar disponible y debidamente diligenciado en cada uno de los ambientes de formación y así poder llevar un correcto orden de las máquinas y herramientas que se encuentran en cada ambiente de formación. El resultado fue de 110 equipos y 49 clases de equipos inventariados.

Figura. 1. Formato de inventario de equipos.

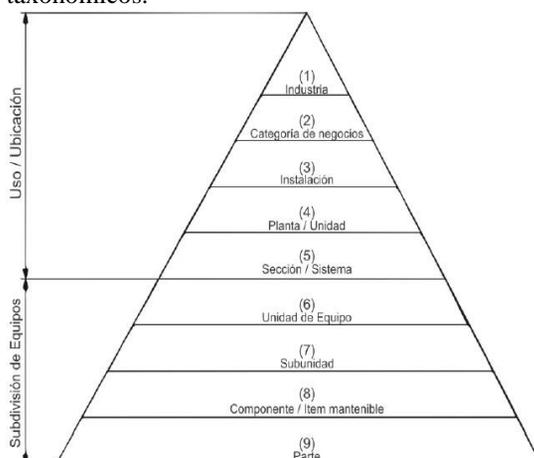
GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES							
TALLER:		FORMATO:		FECHA:		CEDULA:	
AREA:	CUENTADANTE:						
INVENTARIO DE EQUIPOS							
N°	NOMBRE DEL EQUIPO	PLACA INVENTARIO	CANTIDAD	MARCA	MODELO	SERIE	DESCRIPCIÓN
ELABORADO POR:		APROBADO POR:		FECHA:		CARGO:	

Fuente: Autores.

Etapa 2: La segunda etapa constó en la recolección de datos. Dicha recolección de datos fue basada bajo la norma ISO 12224-2016 [2] la cual menciona que la principal fuente de información es la gestión de mantenimiento de activos. Debido a que el SENA no posee un orden ni un historial de los equipos y sus mantenimientos, no fue aplicada esta parte de la normal. Según la norma cuando no se tiene la principal fuente de información, se debe proceder a la recolección de datos de fuentes externas. Dichas fuentes externas fueron los datos genéricos que proporciono el área de almacén e inventario, información compartida gracias a la heurística de los operadores de las maquinas o cuentadantes, datos de los fabricantes y proveedores. Se escanearon manuales que se tenían en físico de las máquinas y se colocó en contacto por medio de correo electrónico, llamadas telefónicas y encuentros con la mayoría de los proveedores, para solicitar información faltante de los equipos. Obtenida toda la información necesaria para cada uno de los activos, se procedió a crear las 110 fichas técnicas de todos los activos de los ambientes de formación intervenidos.

Etapa 3: Tercera etapa constó en clasificar los activos para obtener una mejor organización y a su vez categorizar los equipos y herramientas de la base de datos obtenida en la primera fase. Para dicha clasificación se aplicó la pirámide de niveles taxonómicos (figura 1) nombrada en ISO 14224-2016, la cual habla de una clasificación sistemática de los equipos en grupos genéricos basados en factores comunes como el uso y su fenomenología.

Figura 2. Clasificación taxonómica con niveles taxonómicos.



Fuente: Organización Internacional de Normalización – ISO 14224

De esta forma se organizó la información recolectada y así poder mantener la uniformidad y organización de dicha información tal como lo estipula norma ISO 14224-2016.

3. NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN DE TEXTOS

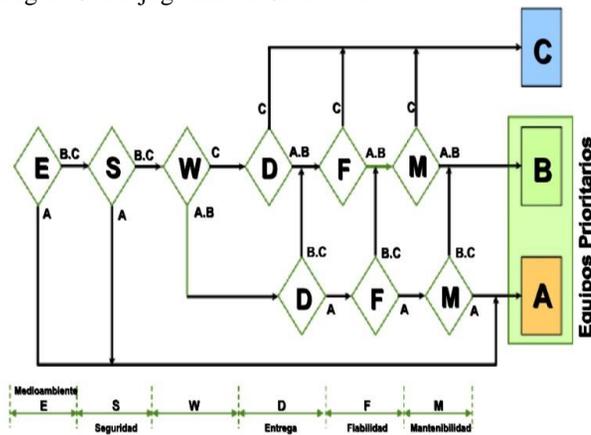
. La mantenibilidad en términos probabilísticos, Francois Monchy la define como “la probabilidad de reestablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos”.

En este caso se habla de una mantenibilidad intrínseca, donde la norma ISO 14224-2016 explica que la mantenibilidad intrínseca “sólo tiene en cuenta las características integradas diseñadas para ayudar al mantenimiento de un elemento”, se justifica el descarte de ciertos equipos, como el caso de los escáneres, por ejemplo, al ser equipos sellados y con componentes electrónicos tipo SMD dificulta el mantenimiento ya sea preventivo o correctivo. En este punto se filtró de 49 clases de equipos a 22 clases.

. Posteriormente se realizó a estas 22 clases de equipos el análisis de criticidad cualitativo. Se tiene en cuenta que lo ideal sería realizar un análisis semi-cuantitativo ya que combina aspectos del modelo cualitativo como la seguridad y el medio ambiente, y el modelo cuantitativo que evalúa la frecuencia de falla, los niveles de producción, los tiempos para reparar, costos de reparación e impacto total, sin embargo, no se realizó debido a que no se posee ningún registro de donde sacar los datos cuantitativos necesarios.

Se realizó el análisis de criticidad cualitativo aplicando el método de flujograma de Crespo en “Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos”, guiándonos del flujograma que nos ofrece eliminando la sección de calidad debido a que en este centro no se produce ningún artículo en particular.

Figura 3. Flujograma de Criticidad.



Fuente: Autores.

Para realizar este análisis se realizó una entrevista a los respectivos cuentadantes de cada taller con las siguientes aclaraciones:

- Sección de medio ambiente:

A: Es necesario recurrir a las autoridades por problemas que puedan afectar a la salud de las personas y del medio ambiente.

B: Se puede gestionar el daño al medio ambiente en el interior de la empresa.

C: El fallo no produce ningún tipo de contaminación medioambiental.

- Sección de Seguridad laboral:

A: El fallo puede producir accidente que provoque absentismo laboral temporal o permanente en el lugar de trabajo.

B: El fallo podría causar daños menores a la gente en el trabajo, pero sin producir la ausencia de trabajo.

C: Los fallos no crean consecuencias relacionadas con la seguridad de las personas.

- Sección de tiempo de trabajo:

A: El equipo trabaja más de 6 horas al día.

B: El equipo trabaja más de 2 horas y menos de 6 horas al día.

C: El equipo trabaja menos de 2 horas al día.

- Sección de mantenibilidad de activo:

A: El equipo requiere un tiempo medio de reparación de 90 minutos.

B: El equipo requiere un tiempo de reparación de entre 90 y 45 minutos.

C: El equipo requiere un tiempo medio de reparación de 45 minutos o menos.

- Sección de fiabilidad:

A: El equipo falla con frecuencia menor a 1 mes.

B: El equipo falla con frecuencia mayor a un mes y menor a 6 meses.

C: El equipo falla con frecuencia mayor a 6 meses.

Para poder tener una visión más detallada o un valor estadístico que sirva para apreciar mejor el nivel de criticidad, se aportó un puntaje a cada pregunta.

Estos valores fueron dados en rango de 0 a 100 y esto se subdivide en:

✓ C = Criticidad Baja: 0 a 30.

✓ B = Criticidad Media: 31 a 64.

✓ A = Criticidad Alta: 65 a 100.

Los puntajes de cada respuesta están ponderados de la siguiente manera para poder cumplir con las rutas del flujograma realizado:

TABLA 1: PUNTAJES ASIGNADOS.

SECCIONES	CATEGORIA	PUNTAJE
Medio Ambiente (E)	A	100
	B	16
	C	8
Seguridad Laboral (S)	A	66
	B	16
	C	8
Tiempo de Trabajo (W)	A	18
	B	16
	C	0
Paro en el ambiente de formación (D)	A	10
	B	7
	C	6
Fiabilidad (F)	A	10

Mantenibilidad (M)	B	7
	C	1
	A	10
	B	7
	C	0

Fuente: Autores

$$C = E + ((S + (W + (D + F + M) * C_2) * C_1) * C_3)$$

Ecuación (1).

Donde las variables C1, C2 y C3 están definidas por las siguientes condiciones:

- Si D, F o M es igual a su valor más bajo, es decir la criticidad de ellas es baja entonces la constante C1 será igual a 0 de lo contrario será igual a 1.
- Si D, F o M es igual a a su valor medio, es decir la criticidad es media entonces la constante C2 será igual a 1 de lo contrario será igual a 0.
- Si E es igual a su valor máximo, es decir la criticidad es alta entonces la constante C3 es igual a 0, de lo contrario será 1.

Estos puntajes fueron otorgados para cumplir con el modelo realizado (ecuación 1) del flujograma y respetar así cada camino de este.

Figura 4. Representación de las respuestas de criticidad de la fresadora CNC XK7132.



Fuente: Autores

De esta forma se puede observar que aspecto del activo posee mayor grado de criticidad (figura 4) y así poder desarrollar actividades que bajen ese nivel de criticidad.

Tabla 2. Lista de equipos críticos.

EQUIPOS	CRITICIDAD
Compresor Industrial Air	B
Torno convencional serie CY	B
Torno CNC CK6032 WHNC	B
Fresadora CNC XHS7145 WHNC	B
Fresadora CNC XK7132 WHNC	B
Fresadora Universal MRF	B
Fresadora Universal IMODRILL X6125A	B
Rectificadora de superficie cilíndrica SUPERTEC	B
Rectificadora de superficie plana PRTOH	B

Fuente: Autores

Con este análisis se filtraron las 22 clases de equipos a 9 clases.

4. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLO (AMEF)

El AMEF o FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) es una herramienta que identifican los efectos y consecuencias de los modos de fallas de cada activo en su contexto operacional.

Una vez obtenido la lista de equipos críticos se procedió a realizar el análisis AMEF para ubicar los fallos y comprender el modo, efecto y causa de estos para tomar acciones preventivas en su mantenimiento. La intención del AMEF es reconocer ¿Cuáles son las fallas que presenta un equipo respecto a sus componentes?, ¿Qué puede ocasionar esa falla?, ¿Cuál o cuáles fueron sus causas?, ¿Cuál es el impacto de esta?, ¿Cada cuánto ocurre? y ¿Qué medidas o acciones se deben tomar para prevenir estas fallas?

Bajo la normativa SAE J1739 la cual trata exclusivamente para el diseño paso a paso de esta metodología, se diseñó la tabla correspondiente para el correcto análisis en un formato entregado a la institución. Cabe destacar que existen distintos tipos de AMEF el de Sistemas, el de Procesos y el de Diseño. Para este caso el AMEF aplicado fue aplicado el AMEF de Diseño debido a su enfoque a la máquina y no a su efecto en la producción ni compatibilidad de software-hardware.

Dentro del formato para realizar el análisis, existe una columna la cual sirve para poder determinar el número de prioridad de riesgo (NPR), para calcularlo (ecuación 2) se debe obtener el nivel de severidad, ocurrencia y detección del fallo de cada componente o subsistema de cada uno de los equipos escogidos. Para ello se dio uso de las tablas ofrecidas por la normativa SAE J1739 las cuales no se muestran en este artículo

NPR = Ocurrencia * Severidad * Detección
Ecuación (2)

Tabla 3. Rango de NPR.

NPR	PRIORIDAD DE NPR
0	Sin riesgo de falla
1 – 124	Riesgo de falla bajo
125 – 499	Riesgo de falla medio
500 - 1000	Alto riesgo de falla

Fuente: Autores.

Con esta tabla se clasificaron las fallas, donde las que poseían un NPR igual o superior a los 125 se les realizó actividades de protocolos para mitigarlas. Al final muchas de estas actividades terminaban siendo compatibles para eliminar las fallas de NPR bajas.

La norma ISO 14224:2016 explica que “cada registro, por ejemplo, un evento de fallo, debe ser identificado en la base de datos por una serie de atributos (figura 5). Cada atributo describe una pieza de información, por ejemplo, modo de fallo. Las ventajas de tener un código es que facilita las consultas y análisis de datos, facilita la entrada de datos y minimiza el tamaño de la base de datos y tiempo de respuestas de las consultas”.

Figura 5. Lista de códigos de fallos por equipos.

CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CUCUTA - NORTE DE SANTANDER GESTIÓN DE MANTENIMIENTO										
MANTENIMIENTO PREVENTIVO A EQUIPOS Y MÁQUINAS DEL CENTRO CIES								FORMATO	FECHA	
LISTA DE CÓDIGOS DE FALLAS										
INFORMACIÓN DEL EQUIPO										
EQUIPO	TORNADO/C	MODELO	CÓDIGO	PLACA IDENTIFICADORA	PLACA IDENTIFICADORA	ÁREA	MECANISMO DE PRODUCTO METALMECÁNICOS	CÓDIGO DE ÁREA	133	
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN									
1A1	Caja de Velocidades	Imposibilidad de cambio de velocidad o problema al realizar cambio para cierta velocidad de avance.					Rotura de engranaje.			
2A1	Horquilla de cambio de velocidades	Los piñones no engranan.					Horquilla torcida.			
2A2							Degaste.			
3A1	Barraca	Atascamiento del carro principal.					Obstrucción en la guía por presencia de elementos.			
3B1		Deslizamiento del carro principal.					Degaste en las guías.			
4A1	Retenedores de Husillo	Desajuste del husillo					Deformación.			
4A2							Degaste.			

Fuente: Autores.

5. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLO (AMEF)

➤ PROTOCOLOS

Un protocolo es una lista de tareas a realizar en un tiempo concreto. El objetivo es garantizar el correcto desarrollo del plan de mantenimiento preventivo. Con los resultados obtenidos del AMEF se tuvo una base de lo que debe llevar cada uno de los protocolos de mantenimiento, ya que se conocen fallas de los elementos críticos de cada equipo.

Figura 6. Formato protocolos de mantenimiento.

CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CUCUTA - NORTE DE SANTANDER GESTIÓN DE MANTENIMIENTO									
LISTA DE CHEQUEO								NÚMERO	FECHA
INFORMACIÓN DEL EQUIPO									
GAMA DE EQUIPOS	ÁREA	FECHA	INSPECTOR:	FECHA	ÁREA	CÓDIGO DE ÁREA			
ITEMS	TAREA	CUMPLIMIENTO		OBSERVACIONES					
		SI	NO						
1 LIMPIEZA									
1.1									
1.2									
2 LUBRICACIÓN									
2.1									
2.2									
3 INSPECCIÓN									
3.1									
3.2									
4 CALIBRACIÓN O MEDICIÓN									
4.1									
4.2									
ELABORADO POR:								FECHA DE INSPECCIÓN	
APROBADO POR:								% DE CUMPLIMIENTO	
$\% \text{ CUMPLIMIENTO} = \frac{\text{TOTAL SI}}{\text{TOTAL ITEMS}} \times 100$									

Fuente: Autor.

Estos protocolos (figura 6) incluyen una lista de tareas a realizar para prevenir las fallas resultantes del análisis realizado, en el formato se buscó: plantear la especialidad de dichas tareas (eléctrica, mecánica, limpieza, lubricación, entre otras), recalcar si el equipo debe estar en marcha o no, mostrar una estimación del tiempo en realizar

dichas tareas y la frecuencia con la que se deben realizar, además del personal idóneo a realizar dichas tareas. Los tipos de tareas que se pueden llevar a cabo en un equipo son las siguientes: inspecciones sensoriales, lecturas y anotación de parámetros de funcionamiento con los instrumentos necesarios, tareas de lubricación, verificaciones mecánicas, verificaciones eléctricas, calibraciones, sustituciones y reacondicionamiento de piezas propensas a desgaste, entre otras.

La información recolectada para la elaboración de dichos protocolos fue tomada en primer lugar por los datos ofrecidos en los manuales de los equipos. Es importante que cuando la entidad coloque en marcha el plan de mantenimiento diseñado el área encargada del mismo, realmente los protocolos de mantenimiento propuestos debido a la heurística del mismo personal encargado y así poder garantizar la mejora continua del plan de mantenimiento.

➤ LISTA DE CHEQUEO

La lista de chequeo consta de actividades similares a los protocolos, pero de una manera más general y enfocada a la limpieza y cuidado de los activos, con intención de alcanzar a cumplir con su vida útil, recomendada por el fabricante. Para la creación del formato, se basó en la norma UNE 58921 IN, la cual habla del mantenimiento, revisión e inspección de plataformas elevadoras, hablando de la elaboración de una lista de chequeo para llevar a cabo la supervisión. También el formato para la lista de chequeo fue basado en la norma NTP 481 que habla del orden y limpieza del lugar de trabajo, la cual explica la forma en cómo se debe realizar.

Este formato (figura 7) se generalizó en uno por cada grupo o gama de equipos con la intención de que las actividades que contengan engloben todas las herramientas o máquinas de un mismo grupo. Cabe repetir que es importante que cuando la entidad coloque en marcha el plan de mantenimiento diseñado, el área encargada del mismo, realmente las listas de chequeo propuestas debido a la heurística del mismo personal.

Figura 7. Formato lista de chequeo.

INFORMACIÓN DEL EQUIPO				
GAMA DE EQUIPOS:		FECHA:	AREA:	
INSPECTOR:	FIRMA:	CUBICAJE DE AREA:		
ITEMS	TAREA	CUMPLIMIENTO		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1. LIMPIEZA				
1.1				
1.2				
2. LUBRICACIÓN				
2.1				
2.2				
3. INSPECCIÓN				
3.1				
3.2				
4. CALIBRACIÓN O MEDICIÓN				
4.1				
4.2				
ELABORADO POR:		FECHA DE INSPECCIÓN:		
APROBADO POR:		% DE CUMPLIMIENTO:		
		TOTAL N° DE TOTAL ITEMS = 100		

Fuente: Autores.

PLAN DE MANTENIMIENTO

- Formatos necesarios para el desarrollo del plan:

Con toda la información recopilada de los equipos, clasificados por su fenomenología, mantenibilidad y criticidad, con los respectivos análisis AMEF para los equipos críticos, sus respectivos protocolos y lista de chequeo. Todos estos definen el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo, quedaría únicamente el desarrollo del cronograma de actividades del plan de mantenimiento y aportar nuevos formatos para el registro y gestión del plan los cuales ayuden al cálculo de indicadores que permitirán a futuro tener datos suficientes para garantizar la mejora continua del plan de mantenimiento preventivo.

Los formatos realizados además de los anteriores fueron:

- Formato de Mantenimiento rutinario: Este posee tareas de protocolos que se deben realizar en un lapso máximo de una semana. Por lo general tareas (figura 8) que debe realizar el operador antes o después de usar el equipo.

Figura 8. Formato de Mantenimiento Rutinario.

MANTENIMIENTO RUTINARIO				
AREA:		CUBICAJE DE AREA:		FECHA:
EQUIPO:	PLATAFORMA:	FECHA:		
ACTIVIDAD	CATEGORIA DE INTERVENCIÓN	FRECUENCIA	DURACIÓN	OBSERVACIONES
REALIZADO POR:		FECHA:		
FIRMA:		FIRMA:		

Fuente: Autores.

Fuente: Autores.

➤ Indicadores

Uno de los problemas principales en un área de mantenimiento, es como medir los resultados del plan, medir los aspectos claves que definen la calidad o la eficiencia del área de mantenimiento dentro de la empresa.

Para poder controlar y medir dicho plan de mantenimiento, es sumamente necesaria la implementación de indicadores de mantenimiento. Los datos estadísticos que se pueden obtener de toda la información recopilada de los diferentes formatos anteriormente mencionados son:

- Tiempo entre fallas (TBF): Se puede obtener del registro de hoja de vida.
- Tiempo de parada (TA): Obtenido del registro de operación.
- Tiempo de reparación (TTR): Obtenido del tiempo registrado por el encargado en la orden de trabajo.
- Tiempo de operación (TO): Se obtiene del registro de operaciones.
- Número de fallos (n): Se puede obtener del registro de las órdenes de trabajo o también de la hoja de vida.
- Costo directo por mantenimiento (CD): los repuestos, insumos, mano de obra, entre otros. Recopilado del formato de inventario de repuestos y orden de trabajo.

Donde gracias a estos se pueden definir indicadores más complejos como:

Tabla 4. Tiempo Medio entre Fallos (MTBF).

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS	
PROCEDIMIENTO DE CALCULO:	$MTBF = \frac{\sum_0^n TBF_i}{n}$
UNIDAD:	Horas
SENTIDO:	Creciente
FUENTE DE INFORMACION:	Hoja de vida
META:	-----
FRECUENCIA DEL ANALISIS:	Cada 3 meses

Fuente: Autores.

Tabla 5. Tiempo Medio de Reparación (MTTR).

TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN	
PROCEDIMIENTO DE CALCULO:	$MTTR = \frac{\sum_0^n TTR_i}{n}$
UNIDAD:	Horas
SENTIDO:	Decreciente
FUENTE DE INFORMACION:	Orden de Trabajo
META:	-----
FRECUENCIA DE ANALISIS:	Cada 3 meses

Fuente: Autores.

Tabla 6. Disponibilidad (D).

DISPONIBILIDAD	
PROCEDIMIENTO DE CALCULO:	$D = \frac{\sum_0^n TBF_i}{TO} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$
UNIDAD:	Porcentual %
SENTIDO:	Creciente
FUENTE DE INFORMACION:	Registro de operaciones y Hoja de vida.
META:	100%
FRECUENCIA DE ANALISIS:	Cada 3 meses

Fuente: Autores.

Tabla 7. Disponibilidad Total (Dt).

DISPONIBILIDAD TOTAL	
PROCEDIMIENTO DE CALCULO:	$D_t = \frac{\sum \text{disponibilidad de cada equip}}{N^{\circ} \text{ de equipos}}$
UNIDAD:	Porcentual %
SENTIDO:	Creciente
FUENTE DE INFORMACION:	Registro de operaciones y Hoja de vida.
META:	100%
FRECUENCIA DE ANALISIS:	Anual

Fuente: Autores.

Tabla 8. Disponibilidad por Averías (DA).

DISPONIBILIDAD POR AVERÍAS	
PROCEDIMIENTO DE CALCULO:	
UNIDAD:	Porcentual %
SENTIDO:	Creciente
FUENTE DE INFORMACION	Registro de operaciones y Hoja de
META:	100%
FRECUENCIA DE ANALISIS:	Cada 6 meses

Fuente: Autores.

Tabla 9. Confiabilidad (C).

CONFIABILIDAD	
PROCEDIMIENTO DE CALCULO:	$C = e^{-\lambda t}$
UNIDAD:	Porcentual %
SENTIDO:	Creciente
FUENTE DE INFORMACION	Registro de operaciones y Hoja de vida.
META:	100%
FRECUENCIA DE ANALISIS:	Cada 6 meses

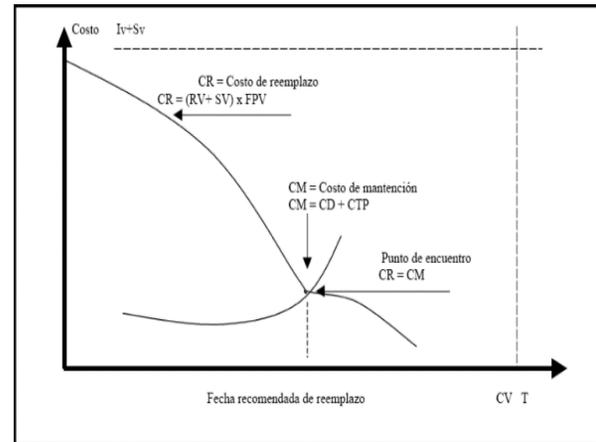
Fuente: Autores.

Otro indicador que se propone es el cálculo para el

reemplazo de los equipos (figura 14).

Esta consideración se puede desarrollar teniendo en cuenta que el costo remanente de un equipo va disminuyendo en el tiempo debido a la depreciación que sufre este, mientras que el costo global de mantenimiento va aumentando a causa de factores de obsolescencia e ineficacia del equipo en el transcurso del tiempo.

Figura 14. Curva de costo remanente y costo global de mantenimiento vs. Tiempo.



Fuente: Carlos Montilla. Fundamentos de mantenimiento industrial

Para poder desarrollar esta gráfica necesitamos realizar las siguientes ecuaciones.

- Valor remanente teórico del equipo (RV):

$$RV = VI * Fd$$

Ecuación (3)

Donde,

VI: Es el valor inicial del equipo.

Fd: Es la tasa de depreciación.

- Factor de obsolescencia, inadecuación e ineficiencia (FVP):

$$FVP = F_0 * F_i * F_e$$

Ecuación (4)

Donde,

Fo: Factor obsolescencia: Se origina como consecuencia del progreso tecnológico que tiende a producir equipos más eficientes y económicos.

Fi: Factor de inadecuación: El equipo puede resultar inadecuado cuando se produce un crecimiento en la demanda o en las necesidades de la economía, que motivan o precipitan cambios en las capacidades productivas de los equipos o en las instalaciones.

Fe: Factor de ineficiencia: La ineficiencia afecta al equipo por la influencia del desgaste de sus componentes esenciales, y en consecuencia pérdida de sus juegos y tolerancia.

Con estos valores se calcula el Costo de reemplazo del equipo.

$$CR = (RV + SV) * FVP$$

Ecuación (5)

Donde,

CR: Es el costo de reemplazo del equipo.

SV: Costo de repuestos en existencia en almacén.

RV: Valor remanente.

FVP: Factor de obsolescencia, inadecuación e ineficiencia.

Este valor entonces significa la pérdida real o costo imputable por reemplazar el equipo.

Ahora faltaría calcular el costo total del mantenimiento que se le realiza al equipo. Este se calcula con la siguiente ecuación.

$$CM = CD + CTP$$

Ecuación (6)

Donde,

CM: Es el costo Total de Mantenimiento.

CD: Costo directo por mantenimiento, es decir, los repuestos, insumos, mano de obra, entre otros.

CTP: Costo generado por el tiempo perdido por mantenimiento.

Figura 15. Formato de Indicadores.

SENA		CENTRO MULTISECTORIAL - 9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NORTE DE SANTANDER	
FORMATO DE INDICADORES			
ÁREA:	FORMATO:	REALIZADO POR:	
CÓDIGO DE ÁREA:		PLACA INVENTARIO:	
EQUIPO:			
NOMBRE DEL INDICADOR:			
DEFINICIÓN DEL INDICADOR:			
UNIDAD DE MEDIDA:			
FRECUENCIA DE MEDICIÓN: TRIMENSUAL <input type="checkbox"/> SEMESTRAL <input type="checkbox"/> ANUAL <input type="checkbox"/>			
PROCEDIMIENTO DE CALCULO:			
FECHAS DE TOMA DE DATOS:			
RANGO DEL INDICADOR		MINIMO:	2
		NORMAL:	
		META:	
PERIODO	VALOR DEL INDICADOR	GRAFICO DEL INDICADOR	
1	10		
2	7		
3	8		
4	6		
5	7		
6	9		
7	6		
8	8		
9	9		
10	5		
11	4		
12	7		
ANÁLISIS DE DATOS			
IMPACTO	CAUSAS DEL INDICADOR	ACCIONES A TOMAR	

Fuente: Autores.

Con todos estos indicadores se pueden registrar en el formato de indicadores propuesto (figura 15) donde se puede ir observando la evolución de cada indicador y así saber cómo va evolucionando el plan de mantenimiento preventivo con las acciones tomadas.

➤ Software CMMS o GMAO Mántum:

Con la necesidad de actualizarse y elaborar un plan de mantenimiento con indicadores, alertas automáticas y registro unificado de todos los equipos, el SENA recientemente ha adquirido el Software MÁNTUM CMMS (Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora) para agilizar este proceso de gestión de mantenimiento a nivel Nacional.

El software Mántum según explica en su página oficial es un software para gestión de mantenimiento, que garantiza maximizar el desempeño y optimización del uso de los recursos. Los activos tendrán una mejor operación y los colaboradores trabajarán con tranquilidad que brinda el respaldo de contar con información oportuna, en tiempo real y con el detalle técnico requerido en el mantenimiento relacionado con el cuidado de los activos .

Gracias a lo realizado en el diseño del plan de mantenimiento, cuando la entidad lo coloque en marcha, se podrá alimentar de una forma correcta el software, ya que son necesarios datos como los tiempos medio entre fallas, disponibilidad, confiabilidad, datos de la máquina, datos de las fallas, datos de los mantenimientos, entre otros.

CONCLUSIONES

Se aplicó la norma ISO 14224:2016 para la gestión de información de los activos, debido a la falta de información por parte de la institución. Dotando así al centro CIES con la caracterización de cada activo y así obtener de manera rápida y organizada las características técnicas de los mismos.

Es de gran necesidad que el centro CIES cuente con un área dedicada al mantenimiento, donde lleve consigo toda esta gestión de alta importancia ayudando a disminuir tiempos, costes, y ofrecer una formación de mejor calidad. Se deja a disposición toda una serie de formatos necesarios para poder llevar la gestión correctamente.

Tras realizar las clasificaciones por mantenibilidad y criticidad, se logró identificar los activos críticos e importantes, filtrando la lista de clases de equipos presentes a un 80%. De 49 clases de equipos en total, se filtró a 9 clases de equipos críticos.

El desarrollo de los protocolos de mantenimiento permitió gestionar las actividades preventivas y otorgar la correcta frecuencia de las mismas.

Partiendo de lo anterior, se elaboró un cronograma de mantenimiento y así garantizar el correcto funcionamiento de los equipos.

La creación de indicadores ayudará a supervisar el correcto funcionamiento del plan diseñado, con el fin de poder realizar correcciones a futuro de los análisis que engloba este plan de mantenimiento y así garantizar la mejora continua del mismo.

Gracias a la elaboración del plan y la recopilación de información, se puede empezar a aplicar el software GMAO o CMMS llamado Mántum. La aplicación de dicho software traería beneficios para una óptima gestión del área de mantenimiento estando a la vanguardia aplicando esta tecnología.

RECOMENDACIONES

El SENA actualmente contrata ocasionalmente empresas para realizar las tareas de mantenimiento correctivo. La principal recomendación es la creación de un área de mantenimiento ya que la implementación del plan no tendría futuro sin un departamento de mantenimiento dedicado a la gestión y estudio del mismo.

Al contar con el departamento de mantenimiento, este se debe encargar de aplicar, realimentar y profundizar el plan de mantenimiento elaborado.

Se debe realizar el cálculo de los indicadores de mantenimiento, ya que son de suma importancia para la verificación del buen seguimiento y diseño de la gestión de mantenimiento.

Terminar de analizar las máquinas que arrojaron baja criticidad. Se busca tener la disponibilidad total de los ambientes de formación y por ende del centro CIES. .

Tener en cuenta la norma ISO 55001, la cual es la norma para la implementación de gestión de los activos de una empresa.

REFERENCIAS

- Organización Internacional de Normalización (ISO) 14224. Industrias de petróleo y gas natural. Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. p 23.
- Organización Internacional de Normalización (ISO) 14224. Industrias de petróleo y gas natural. Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. p 27.

Organización Internacional de Normalización (ISO) 14224. Industrias de petróleo y gas natural. Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. p 30.

MONCHY, Francois. A Função Methods and tools for Maintenance, 1994.

Sociedad de Ingenieros Automotores (SAE) J- 1739. Análisis de Modo y Efectos de Fallas Potenciales en el Diseño (Diseño FMEA), Análisis de Modo y Efectos de Fallas Potenciales en los Procesos de Manufactura y Ensamble (Proceso FMEA). p 28.

Organización Internacional de Normalización (ISO) 14224. Industrias de petróleo y gas natural. Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. p. 35.

Una Norma Española (UNE) 58921 IN. Instrucciones para la instalación, manejo, mantenimiento, revisión e inspecciones de las plataformas elevadoras móviles de personal (PEMP). Noviembre 2002. p.3.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Notas Técnicas de Prevención NTP 481. España. 1998. p. 5.

MONTILLA, Carlos. Fundamentos de mantenimiento industrial, Citado por MONTEALEGRE Y., Nora E. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los laboratorios pertenecientes a la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad tecnológica de Pereira. Trabajo de grado para optar al título de ingeniería Mecánica, 2018. p. 29.

MÁNTUM CMMS. [En línea]. <<http://mantum.com.co/mantum/software/productos/mantum-cmms/>>. Citado [10 de noviembre de 2018]