

Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los talleres de soldadura, mecatrónica, hidráulica refrigeración del centro CIES del SENA de Cúcuta, Norte de Santander

Michael Molina,
m_steven_97@hotmail.com,
Universidad de
Pamplona
(UniPamplona)
2 Servicio Nacional
de Aprendizaje
(SENA)

Jeisson Martínez,
jeissonmartinez81@gmail.com,
Universidad de
Pamplona
(UniPamplona)
2 Servicio Nacional
de Aprendizaje
(SENA)

Rafael Acosta,
ingandresacostar@gmail.com,
Universidad de
Pamplona
(UniPamplona)
2 Servicio Nacional
de Aprendizaje
(SENA)

Pablo Gómez
ingpablogomez@gmail.com,
Universidad de
Pamplona
(UniPamplona)
2 Servicio Nacional
de Aprendizaje
(SENA)

Resumen— En el presente artículo tiene como objetivo describir el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los talleres de soldadura, mecatrónica, hidráulica y refrigeración del centro CIES del SENA-Cúcuta, cuyo objetivo principal fue determinar las actividades y metodología de gestión de mantenimiento a realizar en cada uno de los equipos de mayor criticidad e importancia para cada formación técnica. Se establecieron las etapas consecutivas necesarias, comenzando por el inventario, diagnóstico y fichas técnicas de los equipos en uso pertenecientes a los talleres de formación antes mencionados. La segunda etapa consistió en clasificar los equipos según su nivel de criticidad e importancia para la capacitación brindada en cada taller de formación. Fue vital implementar una metodología basada en análisis de mantenibilidad y criticidad cualitativa, lo que permitió analizar los equipos en base a siete preguntas enfocadas a evaluar ámbitos como el medio ambiente, seguridad laboral, calidad del producto/servicio, tiempo de trabajo, la entrega, la fiabilidad y la mantenibilidad. En la tercera etapa, se desarrolló el análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF), que permitió determinar los tipos de falla que puede tener cada equipo y su respectivo análisis de riesgos. Finalmente, se establecieron los protocolos y actividades de mantenimiento a realizar para cada equipo crítico, gracias al análisis AMEF y al uso de hojas de decisión implementadas bajo la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Así, se pudo determinar una metodología para la gestión del mantenimiento preventivo en los equipos más críticos de cada taller de formación, estableciendo también, el marco documental necesario para definir y gestionar cada tarea de mantenimiento a realizar.

Palabras clave— mantenibilidad, criticidad, gestión, confiabilidad, disponibilidad, indicadores, mantenimiento.

Abstract— The purpose of this article is to describe the design of a preventive maintenance plan for the welding, mechatronics, hydraulics and refrigeration workshops of the CIES center of

SENA-Cucuta, whose main objective was to determine the activities and management methodology of maintenance to be carried out in each of the most critical and important equipment for each technical training. The necessary consecutive stages were established, starting with the inventory, diagnosis and technical data sheets of the equipment in use belonging to the training workshops mentioned above. The second stage was to classify the teams according to their level of criticality and importance for the training provided in each training workshop. It was vital to implement a methodology based on the analysis of maintainability and qualitative criticality, which allowed analyzing the teams based on seven questions focused on evaluating areas such as the environment, occupational safety, product / service quality, working time, delivery, reliability and maintainability. In the third stage, the analysis of the failure modes and effects (AMEF) was developed, which allowed to determine the types of failures that each equipment can have and their respective risk analysis. Finally, the protocols and maintenance activities to be carried out for each critical team were established, thanks to the AMEF analysis and the use of decision sheets implemented under the philosophy of maintenance centered on Reliability (RCM). Thus, it was possible to determine a methodology for the management of preventive maintenance in the most critical equipment of each training workshop, also establishing the necessary documentary framework to define and manage each maintenance task to be performed.

Keywords— maintainability, criticality, management, reliability, availability, indicators, maintenance.

I. INTRODUCCIÓN

El Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios del SENA (CIES) regional Norte de Santander tiene la función de impartir formación profesional integral para el trabajo productivo en los sectores de la industria, comercio, servicios, construcción y

salud. Algunos de los programas ofrecidos actualmente por el centro CIES del SENA son: Técnica en soldadura de productos metálicos, Técnica en mantenimiento de equipos de refrigeración y Tecnología en diseño e integración de automatismos mecatrónicos.

Este centro cuenta con una amplia dotación de equipos para todas sus líneas de formación, que requieren ser mantenidos para garantizar su vida útil, disponibilidad y confiabilidad, reducir costos por reparaciones correctivas y aumentar el uso eficiente por parte de los aprendices. Así como el cumplimiento de requisitos legales, auditorías, certificaciones y acreditaciones de calidad.

Lo anterior se enmarca en el cumplimiento del decreto 249 de 2004, en el que la dirección Administrativa y Financiera del SENA establece, en el artículo 25 numeral 21-28-30, los lineamientos para que los ordenadores del gasto del SENA a nivel nacional, gestionen el plan de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos utilizados para la formación. En tal decreto, se establece, además, la concepción de la vida útil como el tiempo que el bien mueble puede ser utilizado sin que sus costos de operación (mantenimiento e insumos), sean mayores que la producción económica o de valor que genere el mismo.

Por lo cual, se muestra a continuación el desarrollo metodológico y diseño del plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los talleres de soldadura, automatismos mecatrónicos e hidráulica y refrigeración del centro CIES, bajo la metodología orientada hacia el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

II. CARACTERIZACIÓN DE EQUIPOS

Un aspecto importante para poder realizar el mantenimiento adecuado es la información recolectada sobre los equipos a mantener. En aras de formular un plan de mantenimiento que tuviera como objetivos optimizar la seguridad, disponibilidad, confiabilidad y vida útil de los equipos, se dio seguimiento a los lineamientos impuestos por la dirección Administrativa y Financiera del SENA y por la norma internacional ISO 14224 en su versión 2016, la cual trata sobre la gestión de la información del mantenimiento y la confiabilidad. Para poder caracterizar correctamente todos los equipos de cada ambiente de formación se realizaron 3 actividades principales:

A. Recolección de información de los activos

Este proceso se realizó atendiendo a la norma BS ISO 14224-2016, la cual está dirigida a la gestión de la información de mantenimiento y confiabilidad de activos mantenibles utilizados en la producción, en pro de obtener la información suficiente y de calidad para la toma de decisiones dentro de una organización.

La norma expresa la importancia de contar con una base de datos dedicada exclusivamente a las labores de mantenimiento y que, por ende, depende de un departamento de mantenimiento en la organización en la que se encuentren los equipos a

mantener. El centro CIES-Cúcuta, no cuenta con un departamento oficial encargado de la gestión del mantenimiento de sus activos, por lo tanto, se recurrió a las demás fuentes de información disponibles entre otras mencionadas por la norma, fueron: datos genéricos, manuales técnicos, proveedores, juicio experto.

En primera instancia se recolectó información a través de las bases de datos dispuestas por el coordinador logístico y de inventarios del centro de formación, adquirida desde la plataforma del SENA y tabulada en Excel en formatos previamente diseñados por los autores, para mantener la uniformidad y organización de la información tal como lo estipula la norma ISO 14224-2016 [1]. La información reunida fue plasmada en el formato de la Fig. 1.

				CENTRO MULTISECTORIAL - 9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA TIPOGRAFIA Y LOS SERVICIOS - CIES CUCUTA NOROCCIDENTE DE SANTANDER				FORMATO		FECHA	
INVENTARIO DE EQUIPOS, MAQUINAS E INSTRUMENTOS										06-07-18	
INVENTARIO DE OBJETOS A MANTENER											
AREA:		AMBIENTE DE MECATRONICA E HIDRAULICA				CUENTADANTE:		JUAN DE DIOS CAPPILLO			
CÓDIGO AREA:		121				CÉDULA:		10430263			
EQUIPOS MANTENIBLES											
NOMBRE DEL EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	PLACA INVENTARIO	CANT.	FECHA DE ADQUISICIÓN	COSTO DE ADQUISICIÓN	VIDA ÚTIL (Meses)	SERIAL	MODELO	MARCA		
EQUIPO PARA SOLDADURA ELÉCTRICA	1) SOLDADURA PORTÁTIL, MULTIPROCESO, TIPO INVERSOR, INCLUYE CABLE CONEXIÓN DE 3 METROS ELÉCTRICOS, CORDA	10542085-01100000-005	1	30/11/1999	\$ 574.000	100					
EQUIPO DE SOLDADURA	CONEXIÓN DE 3 METROS ELÉCTRICOS, CORDA	10544816 10544817 10544818	3	29/10/2004	\$ 12.480.000	100	LE-438021 LE-438022 LE-438026	MMT-304 CC CV	MILLER		
EQUIPO DE SOLDADURA	CONTROLADOR DE COORDENADAS, ACETILENO TIPO PESADO, UN VARIADOR DE FUEGO, MANGUERA OXI Y ACETILENO DE 3 METROS, MANGO MECANIZADOR, JIG DE SOLDADURA, CABLE Y	10547325	1	13/11/2003	\$ 606.655	100			MG500-BOG-PRO		
ELABORADO POR:		JESSICA HARVEY MARTÍNEZ PLÓMEZ MICHAEL STEVEN MOLINA GARCÍA				APROBADO POR:		CARLOS			

Fig. 1. Formato Inventario de objetos a mantener

B. Levantamiento de las fichas técnicas

Son los formatos en los cuales se registró la información técnica y descriptiva de cada equipo a mantener, con el fin de generar una fuente de información única y de fácil acceso a la hora de generar acciones de mantenimiento para determinado equipo o máquina. En cuanto al diseño de la ficha técnica se tuvo en cuenta el formato planteado por Sony Zambrano en su Manual práctico de Gestión de Mantenimiento [2], el formato se adecuó a la normativa documental del SENA y a la información disponible que fue recolectada para las distintas gamas de equipos encontrados en los talleres de formación, como se puede ver en la Fig. 2. El formato establece las características generales de los equipos, permitiendo añadir o eliminar las necesarias dependiendo de la cantidad de información con la que se cuenta sobre un equipo en específico.

SENA		GRUPO DE MANTENIMIENTO	
CENTRO MULTISERVICIO: CUNTA VTE STANDER - 9537		FECHA: 11-07-18	
MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA, EQUIPOS, SISTEMA ELÉCTRICOS Y ELECTRONICOS		FORMATO: 1	
FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO			
AREA:	TALLER DE SOLDADURA	CODIGO DE AREA:	121
NOMBRE DEL EQUIPO:	COMPRESOR DE 2 CILINDROS 65 PSI 250 CFH	PLACA DEL EQUIPO:	1054602
MARCA:	CAMPBELL-HAUSFELD	MODELO:	241443-04
CLIENTANTE:	CABELLO HIGUERA JUAN DE DIOS	SERIE:	RP-10-312
		CEDULA:	96125453
PROVEEDORES			
EMPRESA:	T.D. COLOMBIA GAS		
DIRECCIÓN:	Corabastos Norte ctra 7 con 180		
TELÉFONO:	3184560007		
CIUDAD:	Bogotá, Colombia		
WEB:	http://tdcolombia.com/index.php		
E-MAIL:	ventas@tdcolombia.com info@tdcolombia.com		
VALOR:	\$ 2.049.840		
FECHA DE ADQUISICIÓN:	7/04/2000		
VIDA ÚTIL:	180 meses		
MANTENIMIENTO:	SI ☐ NO ☒	PLANOS:	SI ☐ NO ☒
CARACTERÍSTICAS Y/O ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
PESO:	67.137 kg	MÁXIMA PRESIÓN:	135 Psi
ALIMENTACIÓN:	Monofásica 120V /240V	POTENCIA:	2 HP
RANGO DE AMPERAJE:	15/7.5 Amp	DIMENSIONES:	539.8 mm largo 533.4 mm ancho 774.7 mm alto
FRECUENCIA DE ENTRAZ:	60 Hz		
CAPACIDAD / TAMAÑO:	20 galones		
FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO			
El compresor de aire portátil Campbell Hausfeld de 2 hp y tanque de 20 galones (V76290) puede suministrar suficiente aire para una variedad de herramientas. Este compresor puede proporcionar hasta 5000 horas de trabajo con un motor de doble voltaje este puede operar en 120 voltios o a 240 voltios, haciéndolo mas versátil y fácil de trabajar en cualquier lugar. Las llantas de gran tamaño semi neumáticas hacen de esta unidad fácil de trasladar y maniobrar en cualquier sitio de trabajo. Diseñado para una silenciosa operación este compresor de trabajo pesado, construido en hierro colado, de dos cilindros, lubricado por aceite para una larga vida da una entrega de aire de 5.5 cfm a 90 psi.			
OBSERVACIONES			
Tener en cuenta las recomendaciones realizadas en el plan de mantenimiento. Seguir protocolos.			
REPARACIONES/ELEMENTOS INCLUIDOS		REPAROS EN Bodega	
ELABORADO POR: JORISON HARVEY MARTINEZ		APROBADO POR: ANDRÉS ACOSTA	
ELABORADO POR: MICHAEL STEVEN MULLIS DAZA		CARGO: INGENIERO TUTOR	

Fig. 2 Formato Ficha Técnica

C. Categorización de los Activos

Para realizar la categorización y organización de los equipos, máquinas y herramientas listadas en el inventario actualizado, se tomó en cuenta la norma ISO 14224-2016. En su apartado dedicado al sistema de clasificación taxonómica trata entre otras cosas sobre la gestión y organización de los equipos en grupos genéricos basados en su ubicación, principio de funcionamiento y uso. El desglose y categorización de cada equipo en sus componentes fue determinado por la complejidad del mismo y su mantenibilidad. Para lo cual fueron aplicados los niveles taxonómicos de Instalación, Planta-Unidad, Sección, Unidad de Equipo, Subunidad-Subsistema y Componente-item mantenible.

III. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICOS

A. Clasificación según su mantenibilidad

La clasificación permite depurar el listado de equipos críticos para las formaciones, ya que se encontraron equipos e instrumentos que por su composición, funcionalidad y estado, no se hacían prioritarios para analizar. Para esto, se tuvieron en cuenta criterios como la selección, hecha por el instructor a cargo, de equipos que requerían un mantenimiento inmediato o con mayor urgencia.

Según la norma[3], indica que la mantenibilidad es la capacidad de un elemento, bajo determinadas condiciones de uso, para conservar, o ser restaurado a, un estado en el que pueda realizar la función requerida, cuando el mantenimiento se realiza bajo determinadas condiciones y usando procedimientos y recursos establecidos por lo tanto, todos los equipos donde el reemplazo del mismo es mucho

más conveniente que restaurarlo a su estado funcional, se excluyó de la lista; algunos ejemplos de estos equipos son los instrumentos de medición y los bancos didácticos. Obteniendo así un total de 6 equipos mantenibles en el taller de soldadura, 4 en el taller de refrigeración y 72 equipos en el ambiente de automatismos mecatrónicos.

B. Análisis de criticidad cualitativo

Fue necesario aplicar un análisis preliminar cualitativo debido a que la entidad no contaba con registros estadísticos de los equipos ni información de mantenimiento de ningún tipo. Este análisis según Parra y Crespo [4], , hace referencia a un análisis puramente cualitativo sobre la jerarquía de equipos de producción, donde el resultado del proceso es una clasificación de los equipos en tres categorías reflejados en un flujograma. El seguimiento al flujograma se realizó a través de una serie de preguntas en el que se analizan aspectos como el medio ambiente, seguridad laboral, calidad del producto, tiempo de trabajo, la entrega, la fiabilidad y la mantenibilidad. El modelo del flujograma resultante se observa en la Fig. 3.

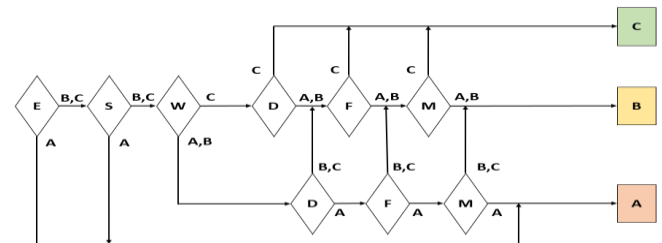


Fig. 3 Modelo de Flujograma Modificado

C. Análisis de criticidad cuantitativo propuesto

Con base al anterior análisis de criticidad, se diseñó un algoritmo matemático que permitiera modelar el sistema de preguntas numéricamente y así ponderar el peso que representa el orden de las preguntas. Los valores se determinaron en un encuentro con el instructor a cargo, donde se establecieron las condiciones que debe cumplir la ponderación. La tabla 1 muestra los valores establecidos para cada categoría de su respectivo ambiente.

Tabla I. Ponderación De Los Respectivos Ambientes.

ÁMBITO	CATEGORÍA	PUNTAJE
Medio Ambiente (E)	A	99
	B	16
	C	8
La Seguridad (S)	A	66
	B	16
	C	8
Tiempo de Trabajo (W)	A	33
	B	16
	C	0
La Entrega (D)	A	8
	B	7
	C	0
La Fiabilidad	A	8

(F)	B	7
	C	0
	A	8
La Mantenibilidad (M)	B	7
	C	0
	A	8

La letra A representa una criticidad alta, la B una criticidad media y la C una criticidad baja. Los rangos de la criticidad se muestran en la Tabla 2.

Tabla II. Puntaje De Criticidad.

CRITICIDAD	CATEGORIA	RANGO
Baja	A	0 – 33
Media	B	34 – 66
Alta	C	67 – 100

Donde la criticidad se determina por medio de la ecuación 1.

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

Ecuación 1.

Donde C1 y C2 son constantes definidas con el fin de respetar la trayectoria establecida en el flujograma y sus valores están dados por las siguientes condiciones:

• Si D o M o F es igual a cero es decir la criticidad es baja entonces la constante C1 será igual a cero (0) de lo contrario será igual a uno (1).

• Si D o M o F es igual a siete es decir la criticidad es media entonces la constante C2 será igual a cero (0) de lo contrario será igual a uno (1).

D. Análisis de modo y efecto de fallas

El AMEF (Análisis del Modo y Efecto de Fallas) que se llevó a cabo para los respectivos equipos se basó en la Norma SAE J-1739 de 1995 “Modo de falla potencial y análisis de efectos” [5]. Según la norma con este análisis se puede identificar los modos potenciales de falla de proceso de cada uno de los activos existentes en los ambientes de formación, evaluar los efectos potenciales de las fallas en los usuarios, identificar las posibles causas del proceso e identificar las variables de proceso en las que se enfocan los controles para la reducción de ocurrencia o la detección de las condiciones de falla.

Acorde a las condiciones del plan de mantenimiento, se diseñó un formato para el AMEF basado en el propuesto por la norma SAE J-1739, que se puede observar en la Fig. 4.

CENTRO MULTISECTORIAL 4037 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CUCUTA NORTE DE SANTANDER											
	ÁREA:	TALLER DE SOLDADURA		SISTEMA:	COMPRESOR		PÁGINA		1 de 1		
	CÓDIGO DE ÁREA:	121		EQUIPO:	CAMPBELL HAUFELD						
	COORDINADOR:	CARRILLO HIGUERA JUAN DE DIOS		SUBSISTEMA:	INGENIERÍA GENERAL						
	FECHA DE ELABORACIÓN:	13/07/2018		PLACA INVENTARIO:	001/017						
REALIZADO POR:		JERISON HARVEY MARTINEZ FLOREZ			APROBADO POR:		CARRILLO HIGUERA JUAN DE DIOS		FORMATO:		Version 1
COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA DE POTENCIAL	EFFECTOS DE FALLAS POTENCIALES	SEVERIDAD	CAUSAS DE FALLAS POTENCIALES	OCCURRENCIA	DISEÑO ACTUAL CONTROLES DE DETECCIÓN Y PREVENCIÓN	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE (R)
1 Bomba	Aumentar la presión que entra por medio de succión y la descarga en el tanque.	Poca potencia de bombeo - incorrectas condiciones de succión	Filtro de admisión de aire sucio o tapado. Exceso de succión en el ambiente de trabajo.	Por exceso de poca succión de la bomba por falta de flujo de aire entrante. Disminución del rendimiento de la bomba.	5	Por exceso de poca succión de la bomba por falta de flujo de aire entrante. Exceso de succión en el ambiente de trabajo.	5	Control de detección: Inspección visual y poca potencia de bombeo. Control de prevención: Limpieza del filtro.	3	Apagar y desmontar el compresor, revisar toda la presión de aire del sistema. Reemplazar el filtro.	Mecánico.
		Correas de transmisión desgastadas o sueltas.	Pérdida de eficiencia en la transmisión.	Disminución de la potencia de la bomba.	5	Disminución de la potencia de la bomba por desgaste de las correas.	5	Control de detección: Inspección visual. Control de prevención: Ajuste de correas y verificación diaria.	4	Realizar el cambio de la correa si es necesario.	Mecánico.
		Conexión eléctrica inestable, el motor no arranca a su potencia nominal.	El funcionamiento de trabajo disminuye momentáneamente. Poca potencia de funcionamiento de la bomba. No funciona en sus condiciones ideales.	Disminución de la potencia de la bomba por conexión eléctrica inestable. Disminución de la potencia de la bomba por falta de potencia nominal.	7	Disminución de la potencia de la bomba por conexión eléctrica inestable. Disminución de la potencia de la bomba por falta de potencia nominal.	7	Control de detección: Instrumentos de medición eléctrica. Control de prevención: Dispositivos de protección de la red eléctrica, activando de manera incorrecta.	7	Verificar el sistema eléctrico y solucionar problema de alimentación de la red de suministro eléctrico.	Eléctrico.

Fig. 4 Formato de Análisis de modos y efectos de fallas

E. Cálculo NPR

El NPR o Numero de Prioridad de Riesgo indica la criticidad que tiene el componente analizado y este sirve para jerarquizar los ítems de cada máquina, con el fin de que al momento de desarrollar el cronograma de mantenimiento se tenga en cuenta esta jerarquía para el orden de los mantenimientos. El valor del NPR está comprendido entre 1 – 1000 y se calcula por medio de la ecuación 2.

$$NPR = Severidad \times Ocurrencia \times Detección$$

Ecuación 2.

Donde, la severidad es la estimación de la gravedad del efecto del modo de falla potencial, la ocurrencia es la probabilidad de que una causa específica, resulte en un modo de falla y la detección es un valor para clasificar la probabilidad de encontrar la falla.

Los resultados que se pudieron obtener con esta metodología AMEF y prioridad de riesgo NPR, permitieron no solo aclarar y marcar la importancia de atención a la hora de definir el plan de mantenimiento, sino que también dieron una visión mejorada de los procesos prioritarios que realizan cada uno de los equipos y máquinas, así como comprender la importancia de mantener su estado funcional y el reconocimiento de la escala de riesgo de los posibles fallos.

IV. PLAN DE MANTENIMIENTO

Para el diseño de la gestión documental del plan de mantenimiento preventivo se realizaron una serie de etapas metodológicas que se han detallado en los puntos anteriores, que complementan y dan la base para formular las actividades de mantenimiento preventivo, a través de protocolos.

Estas actividades se enfocan, principalmente, a los equipos clasificados como críticos nivel A y B, según el análisis de criticidad realizado. A los que se les establecieron actividades de mantenimiento preventivo, así como correctivo según el caso. Para el resto de máquinas, herramientas e instrumentos de medición del inventario se plantearon actividades de chequeo programado para verificar su estado y vida útil, dado que éstas

fueron clasificadas en un nivel de criticidad bajo C y no representan riesgo considerable para el correcto desarrollo de las actividades académicas dentro de cada ambiente de formación.

A. Hojas de decisiones

Metodología propuesta por Moubray J. en su libro “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”, con la cual se pudieron determinar los siguientes aspectos para cada modo de falla de cada activo.

- ¿Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia y quién lo hará?.
- ¿Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar un rediseño?.

➤ Casos en los que se toma la decisión deliberada para dejar que las fallas ocurran. Además, Moubray [6] propone un formato de Hoja de Decisión que fue adaptado al estilo documental que se llevó para cada uno de los formatos de este plan de mantenimiento y que se puede observar en la Fig. 5.

B. Protocolos de mantenimiento

Según la empresa de mantenimiento Renovetec liderada por el ingeniero García [7], define el protocolo de mantenimiento como un listado de tareas a realizar en un tipo concreto de equipo. En el protocolo de mantenimiento se incluyen datos como la especialidad del trabajo, la frecuencia con la que se debe hacer, la duración estimada realizando la actividad, el tipo de mantenimiento y el estado del equipo en el momento: parado o en funcionamiento.

Los protocolos surgen del análisis realizado en las Hojas de decisiones detalladas anteriormente, donde se establecieron las actividades o tareas de mantenimiento recomendadas por los operarios y responsables de cada uno de los posibles modos de falla de cada equipo crítico. Para consolidar las actividades rutinarias y programadas de mantenimiento, se estableció un formato que se puede observar en la Fig. 6, es basado en el formato formulado por Sony Zambrano en su Manual de Gestión de Mantenimiento [2].

CENTRO MULTISECTORIAL-9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NORTE DE SANTANDER																				
HOJA DE DECISIONES										FORMATO:										
REALIZADO POR:					APROBADO POR:					FECHA DE APROBACIÓN										
MICHAEL STEVEN MOLINA DAZA					JUAN DE DIOS CARRILLO					20/11/2018										
JEISSON HARVEY MARTINEZ					Cuentadante Ambiente Soldadura															
INFORMACIÓN DEL EQUIPO																				
ÁREA:		TALLER DE SOLDADURA			SISTEMA:			ORTE Y RANURADO PLASMA DE AL			CRÍTICIDAD DEL EQUIPO:									
CÓDIGO DE ÁREA:		121			EQUIPO:						(A) - Crítico: ☐									
CUENTADANTE A CARGA:		JUAN DE DIOS CARRILLO			PLACA INVENTARIO:						(B) - Semicrítico: ☒									
											(C) - No Crítico: ☐									
REFERENCIA DE INFORMACIÓN		EVALUACIÓN DE LAS					CRITERIOS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA					ACCIÓN A FALTA DE		TAREA O ACTIVIDAD PROPUESTA		INTERVALO INICIAL		A REALIZARSE POR		
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4								
1	A	1	NO				NO	SI					Preventiva: Tarea de acondicionamiento cíclico. Reemplazar el filtro de aire.		Trimestral		Técnico operario			
2	A	1	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO				Correctiva: Tarea de búsqueda de fallas. Reemplazar el interruptor de presión		N/A		Técnico operario			
3	A	1	NO				NO	NO	NO	SI			Correctiva: Tarea de búsqueda de fallas. Reemplazar la válvula		N/A		Técnico operario			
4	A	1	SI	NO	NO	SI	SI						Predictiva: Tarea a condición. Reemplazar el regulador de presión.		N/A		Técnico operario			

Fig. 5 Formato Hoja de Decisiones

CENTRO MULTISECTORIAL-9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NORTE DE SANTANDER														
PROTOSCOLOS DE MANTENIMIENTO POR EQUIPOS										FORMATO:		FECHA:		
25/10/2018														
INFORMACIÓN DEL EQUIPO														
GAMA DE EQUIPOS:	Compresores	CRITICIDAD:	Crítico: ☒ Semicrítico: ☐ No Crítico: ☐	ÁREA:	Ambiente de Soldadura			CÓDIGO ÁREA:	121					
CÓDIGO DEL PROTOCOLO	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA	TIEMPO ESTIMADO	PERSONAL	REPUESTOS	INSUMOS Y MATERIALES	HERRAMIENTAS	CONDICIÓN DE OPERACIÓN	OPERANDO	PARADO	PREVENTIVO	CORRECTIVO		
1-01	Limpieza del filtro, previo al inicio de presión.	Semanal	10 minutos	Técnico Operario	NA	Material es de limpieza	NA				X	X		
1-02	Verificar dispositivos de protección eléctrica del compresor. Inspeccionar red eléctrica y cableado.	NA	10 minutos	Técnico Eléctrico	NA	NA	Herramientas eléctricas				X	X		
1-03	Revisar el compresor, ajustar la presión de aire del sistema. Revisar integridad del tanque. Solicitar reparación especializada o cambio de tanque.	NA	5 Minutos	Técnico Mecánico	NA	NA	NA				X		X	
1-04	Revisar la integridad del tanque. Limpiar y reconectar la parte soldadura.	Anual	60 Minutos	Técnico Mecánico	NA	Material es de limpieza	Herramientas mecánicas				X		X	
1-05	Inspeccionar los instrumentos de medición del compresor, ajustar sensores y acoples, limpiar filtros.	Bimensual	15 minutos	Técnico Operario	NA	Material es de limpieza	Herramientas mecánicas				X	X		

Fig. 6 Formato protocolos de mantenimiento

C. Lista de Chequeo

La lista de chequeo permite llevar control y cumplimiento de requisitos y actividades repetitivas basadas en inspección. De esta forma, el operador puede asegurarse de que el equipo opere en óptimas condiciones o por el contrario en caso de encontrar una anomalía debe generar el debido reporte a un superior directo. Para mantener en estado funcional estos equipos se tuvo en cuenta para la lista de chequeo lo siguiente:

- Las actividades deben realizarse paso a paso y hacerse con un orden establecido.
- Registrar las actividades realizadas con el fin de conocer los puntos inspeccionados.
- Dependiendo del tipo de equipo o instrumento se debe verificar o examinar artículos funcionales disponibles.
- Examinar o analizar la localización de defectos o averías.
- Verificar las causas de los defectos o averías.

La Fig. 7 muestra el formato para la lista de chequeo, el cual está basada en la norma UNE 58921 [8] “Instrucciones para la instalación, manejo, mantenimiento, revisiones e inspecciones de las plataformas elevadoras móviles de personal”.

CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA - NORTE DE SANTANDER GESTIÓN DE MANTENIMIENTO									
LISTA DE CHEQUEO								NÚMERO:	
								FORMATO:	
INFORMACIÓN DEL EQUIPO									
GAMA DE EQUIPOS	COMPRESOR	NÚMERO	ÁREA	TALLER DE SOLDADURA					
INSPECTOR	FIRMA	CÓDIGO DE ÁREA	121						
ITEMS	TAREA	CUMPLIMIENTO			OBSERVACIONES				
		SI	NO	N/A					
1. INSPECCION									
1.1	Interruptor de encendido esté en buen estado.								
1.2	Válvula de seguridad en buen estado								
1.3	Condiciones de alimentación en óptimas condiciones								
1.4	Manómetros en óptimas condiciones y funcionales								
1.5	Correa en buen estado								
1.6	Protección de motor en óptimas condiciones								
1.13	Tanque de almacenamiento de aire libre de oxidación o corrosión excesiva								
2. MEDICION									
2.1	Nivel de aceite del motor en rango mínimo								
2.2	Nivel de tensión adecuado								
ELABORADO POR:		Jeisson Harvey Martinez Flores			FIRMA DE APROBACIÓN				
APROBADO POR:		Michael Steven Molina Daza			DE CUMPLIMIENTO				
$\% \text{ CUMPLIMIENTO} = \frac{\text{TOTAL N}^\circ \text{ SI}}{\text{TOTAL ITEMS APLICABLES}} \cdot 100$									

Fig. 7 Formato de lista de chequeo

D. Cronograma de mantenimiento

Según Sony Zambrano en el manual práctico de gestión de mantenimiento [2] “todo proceso de programación debe seguir ciertos lineamientos los cuales deben estar interconectados con los objetivos y metas organizacionales”. El objetivo de la programación de mantenimiento es señalar la periodicidad de la realización de las instrucciones técnicas. En el mantenimiento programado los programas abarcan periodos de hasta un año, en el rutinario hasta semanales y en circunstancial como no se tiene una fecha fija de arranque se debe hacer el programa para un ciclo de funcionamiento. Ver Fig. 8.

Se clasificaron todas aquellas actividades catalogadas como mantenimiento rutinario, que engloba todas aquellas tareas comprendidas en un periodo de tiempo semanal, estas tareas tienen como objetivo mantener los equipos en las condiciones de operaciones recomendadas. Las actividades propuestas son de carácter preventivo e involucra distintos factores como la lubricación, inspecciones más detalladas, limpiezas, ajustes, etc. Este mantenimiento rutinario debe ser realizado por el operario de la máquina, con ayuda del formato de mantenimiento rutinario en la cual se contempla el nombre de las partes vitales del equipo, el mantenimiento rutinario diario y semanal.

		CENTRO MULTISECTORIAL - 9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES COCUTA NOROCCIDENTAL DE SANTANDER																			
		CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO																			
		TALLER DE SOLDADURA ST		EQUIPO PLACA INVENTARIO		PULCOPAC BOSCH		MODELO SERIE		IVA IVA											
AREA ORDEN DE AREA																					
ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO		RESPONSABLE		ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPT	
				1 2 3 4		1 2 3 4		1 2 3 4		1 2 3 4		1 2 3 4		1 2 3 4		1 2 3 4		1 2 3 4		1 2 3 4	
Lubricar los rodillos y ejes de la amoladora																					
Cambio de grasa en el mecanismo de engranes																					
ABORRADO POR		Jescon Harvey Ramirez Flores Michael Steven Molina Ochoa		APROBADO POR																FECHA DE APROBACION	

Fig. 8. Formato de lista de chequeo

E. Indicadores de mantenimiento

Los indicadores permiten conocer la situación actual de un equipo o sistema, elaborar informes, analizar de la evolución de la gestión del plan de mantenimiento, elaborar auditorías cuantitativas de mantenimiento que se basan en los indicadores para calcular índices de conformidad y rendimiento del plan de gestión.

Para la elección de los indicadores se tuvo en cuenta su utilidad dentro de todo el sistema de gestión de mantenimiento, así como la facilidad de adquirir la información necesaria para determinarlos.

1) Disponibilidad: Es el indicador más importante en la gestión de mantenimiento, permite determinar el grado de disponibilidad operacional de un activo o sistema. Se calcula a través de la Ecuación 4.

$$D = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas de parada por mto}}{\text{Horas Totales}}$$

Ecuación 4.

2) Disponibilidad total: Se compone por la media aritmética de la disponibilidad de cada uno de los equipos de un sistema o área. Permite determinar el grado de disponibilidad operacional de un ambiente en general. Se calcula a través de la Ecuación 5.

$$DT = \frac{\text{Disponibilidad de equipos significativos}}{\text{Nº de equipos significativos}}$$

Ecuación 5.

3) Confiabilidad: Este índice determina la probabilidad de que un activo lleve su función a cabo adecuadamente durante un periodo de tiempo y bajo condiciones establecidas. [8]. Se calcula a través de la ecuación 6.

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

Ecuación 6.

Donde:

 $R(t)$ = Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado e = Constante Neperiana ($e=2.71828$) λ = Tasa de fallas (número total de fallas por periodo de operación) t = Tiempo

4) Disponibilidad por averías: Se determina de las actividades de mantenimiento no programadas, lo que permite inferir qué tanto impacto generó las acciones correctivas en la disponibilidad de los equipos. Además, permite evaluar que las tareas de mantenimiento programadas fueron suficientes para garantizar la vida útil del equipo, y también detectar aquellas acciones de mantenimiento que deben ser incluidas en las actividades programadas, dado que generaron un alto impacto y tiempo de parada. Se calcula a través de la ecuación 7.

$$DA = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de parada por avería}}{\text{Horas totales}}$$

Ecuación 7.

5) Tiempo medio entre fallos: Este indicador permite conocer la frecuencia con la que ocurren las averías en cada uno de los equipos[5]. Se calcula a través de la ecuación 8.

$$MTBR = \frac{\text{Nº de Horas totales del rango de tiempo analizado}}{\text{Nº de averías}}$$

Ecuación 8.

6) Tiempo medio entre reparación: Este indicador permite conocer la importancia de las averías que le ocurren a un equipo, considerando el tiempo promedio que toma repararlos después de una falla[8]. Se calcula a través de la ecuación 9.

$$MTTR = \frac{\text{Nº de Horas de paro por avería}}{\text{Nº de averías}}$$

Ecuación 9.

7) Tiempo medio para la falla.

$$TMPF = \frac{\text{Nº de Horas de operación del equipo}}{\text{Nº total de averías}}$$

Ecuación 10.

V. GESTION DOCUMENTAL

La gestión documental es el conjunto de actividades administrativas y técnicas destinadas a la planificación,

manejo y organización de toda la documentación producida, y de cada una de sus etapas desarrolladas con el fin de facilitar su utilización y conservación.

Con esta gestión se evita la pérdida de los documentos y se garantiza la veracidad de la información, genera un control de los mismos y es susceptible a futuras modificaciones.

A. Bitácora de fallos

La bitácora de fallos permite registrar todos los acontecimientos previstos e imprevistos durante el desarrollo de las practicas llevadas a cabo por los estudiantes en los ambientes de soldadura, mecatrónica y refrigeración, el formato contempla solo datos relevantes para una mejora continua del plan de mantenimiento (Fig. 9).

		CENTRO MULTISECTORIAL - 9507			
		CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NORTE DE SANTANDER			
REGISTRO DE FALLAS					
ÁREA:		NÚMERO:			
CÓDIGO DE ÁREA:		FORMATO:			
REALIZADO POR:		APROBADO POR:			
FECHA	EQUIPO	PLACA	CAUSA	TIPO	RESPONSABLE

Fig. 9 Bitácora Registro de Fallos

B. Bitácora de mantenimiento

La bitácora de mantenimiento es primordial incluirla en el plan de mantenimiento, ya que ella provee información crucial para desarrollar indicadores los cuales dan a conocer que tan efectivo es el plan, para así realizar debidas correcciones o mejoras del mismo y cumplir con la ruta propuesta por el plan de mantenimiento.

[illegible]

Fig. 10 Formato de mantenimiento

C. Bitácora de calibración

Ambientes como los de soldadura, mecatrónica y refrigeración cuentan con activos los cuales requieren una calibración metrológica para su buen desempeño. Estas acciones de calibración deben ser llevadas a cabo por una empresa certificada en el área.

Para mantener un control adecuado de toda la documentación, se estableció un formato para complementar

el histórico de todas las actividades realizadas a un activo por la empresa que elaboró la calibración.

D. Bitácora de operación

Actualmente el centro CIES cuenta con equipos los cuales requieren mantenimientos basados en condición. El mantenimiento basado en condición consiste en realizar determinadas tareas de mantenimiento por horas de funcionamiento o por períodos de tiempo, por ende, es preciso conocer el tiempo de trabajo al que ha sido sometido el equipo. Para dar solución a esto se diseñó un formato como se muestra en la Fig. 12, el cual debe ser llenado cada vez que un equipo sea utilizado.

[illegible]

Fig. 11 Registros y ajustes de Calibración

[illegible]

Fig. 12 Registro de Operación

E. Orden de trabajo

La orden de trabajo es el documento en el cual se describen las características de un activo y las acciones de mantenimiento por realizar. Una orden de trabajo es de vital importancia para solicitar acciones de mantenimiento para la conservación de los activos y en el peor de los casos se realiza cuando se presenta una avería ya que se debe proceder a realizar la reparación requerida para que se coloque nuevamente en funcionamiento Fig. 13.

	CENTRO DE MULTISECTORIAL - 8537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIÉS CÚCUTA NORTE DE SANTANDER, A				
	ORDEN DE TRABAJO			FORMATO:	

DATOS DEL EQUIPO					
AREA:			NÚMERO DE CONTROL:		
NOMBRE DEL EQUIPO:			PLACA DEL EQUIPO:		
MARCA:			MODELO:		
GRADO DE URGENCIA:	EMERGENCIA	☐	SERIE:	SI ☐ NO ☐	
	URGENCIA	☐			
	PROGRAMADA	☐	COMPLETARSE SIN INTERRUPCIÓN?		
			TIPO DE MANTENIMIENTO:		
TURNO:	A ☐	B ☐	C ☐	TIPO DE SERVICIO:	
PERSONAL:	INTERNO ☐	EXTERNO ☐	SOLICITANTE:		

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO					

MANO DE OBRA			MATERIALES		
ENCARGADO	TIEMPO EN R	DESCRIPCIÓN	PARTES	UDS.	PRECIO

OBSERVACIONES	

ELABORADO POR:	FECHA DE TERMINACIÓN:
APROBADO POR:	FECHA DE APROBACIÓN:

Fig. 13 Formato Orden de Trabajo

F. Reporte de averías

El reporte de averías tiene como finalidad registrar todos los eventos o incidentes ocurrientes en un activo, para así, atender de manera correcta las necesidades de cada uno de los ambientes de formación por medio de análisis de averías.

		CENTRO MULTISECTORIAL - 9637	
		CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES	
CÚCUTA NORTE DE SANTANDER, A		REPORTE DE AVERIAS	
		NUMERO:	
		FORMATO:	
DATOS DEL USUARIO			
NOMBRE:		CARGO:	
DOCUMENTO:		DEPENDENCIA:	
DATOS DEL EQUIPO			
AREA:		CODIGO DEL AREA:	
EQUIPO:		PLACA DEL EQUIPO:	
MARCA:		MODELO:	
DETECCION DE LA FALLA			
HORA:		FECHA:	
MODULO DE FALLO:		CAUSA DEL FALLO:	
DESCRIPCION			
OBSERVACIONES			
SOLICITANTE:		FIRMA	
RESPONSABLE:		FIRMA	

Fig. 14 Formato Reporte de Averías

VI. RESULTADOS

Al no haber ninguna base documental referente a mantenimientos realizados a los equipos del Centro CIES del SENA dificultó el desarrollo del plan, lo que repercutió en agendar encuentros con el personal a cargo de los equipos y contactar con los proveedores oficiales de los mismos, para ello se establecieron estrategias que faciliten y optimicen la recolección de información basadas en la norma ISO 14224 del 2016.

Tras realizar los análisis de criticidad se llegó a la conclusión de que no hay equipos altamente críticos. Hay un total de 22 equipos equivalentes al 75,86% del total de los equipos analizados, que son catalogados como semi-críticos y 7 equipos equivalentes al 24,13% clasificado como no críticos. Lo que evidencia que, al tratarse de instrumentos y equipos destinados a la formación y utilización ocasional por parte de los aprendices, no se ven envueltos en un ambiente de gran riesgo operativo producto de alguna falla por mantenimiento y por ende los aspectos ambientales y de seguridad laboral quedan sujetos al control del instructor responsable de formar a los aprendices en el correcto uso y manipulación de los equipos, sustentado en las instrucciones dadas por el manual del fabricante, y que quedan fuera del alcance de este proyecto. El aspecto que se tuvo principalmente en cuenta fue la utilidad que se le da al mismo para el desarrollo de la formación.

VII. CONCLUSIONES

Con el desarrollo del proyecto se pudo diagnosticar el estado logístico y administrativo de la gestión de mantenimiento en el centro CIES-Cúcuta del SENA. Se encontraron varias deficiencias en gestión de actividades tanto preventivas como correctivas, un ejemplo de ello es la falta de registros históricos sobre averías, reparaciones y actividades de calibración realizadas a los equipos utilizados por los aprendices e

instructores en los talleres de formación. Este hallazgo permitió redirigir el enfoque del plan de mantenimiento que se pretendía desarrollar, ya que al no contar con información de calidad y verás, fue necesario implementar una metodología basada en normativas como ISO 14224 de 201, UNE 60706-2 de 2006 y SAE J-1739 de 1995, bajo la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

En la metodología desarrollada fue fundamental tomar en cuenta el criterio del personal a cargo de los equipos para el desarrollo del análisis de modo y efectos de fallas, ya que cuentan con la experiencia en el manejo de los mismos, lo que garantizó que se tuvieran en cuenta las necesidades principales de los talleres. Con esto se obtuvieron las bases en gestión documental y metodología de implementación, para que posteriormente sea implementado el plan de mantenimiento preventivo por el centro CIES-Cúcuta.

El sistema de gestión de mantenimiento diseñado no solo beneficiará al centro CIES, Norte de Santander, también servirá de base para las demás sedes del país que quieran optimizar sus procesos de gestión de activos. Esto genera un gran impacto ya que, esta gestión se adapta a las necesidades presentes y está desarrollado con fines de mejora continua.

VIII. RECOMENDACIONES

Cumplir con las tareas propuestas en el plan de mantenimiento con el objetivo de mejorar la condición de los ambientes y la formación impartida por el SENA.

Implementar los indicadores cada mes y así evaluar el estado de los equipos para llevar registro de la evolución del mismo tras aplicar lo propuesto en el plan de mantenimiento.

Administrar toda la información obtenida por parte de los proveedores al momento de adquirir nuevos equipos con el fin de tener las bases para incluirlos posteriormente al plan de mantenimiento.

Implementar el software de mantenimiento como "Mantum", recientemente adquirido por esta entidad, para agilizar las labores administrativas de mantenimiento y atender las necesidades que se presenten en el menor tiempo posible.

Asignar un departamento destinado únicamente a las labores de mantenimiento donde se gestionen todas las actividades y formatos desarrollados.

REFERENCIAS

- [1] Organización Internacional De Normalización, Industrias del petróleo, la petroquímica y el gas natural: recopilación e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento para equipos. Norma ISO 14224. 3 ed. 2016.
- [2] S. Zambrano y S. Leal, *Fundamentos básicos de mantenimiento*. Venezuela, Fondo editorial de la universidad del Táchira, 2005.
- [3] Normalización Española, *Mantenibilidad de equipos parte 2: Requisitos y estudios de mantenibilidad durante la fase de diseño y desarrollo*. Norma UNE

60706-2. 2006.

- [4] C. Parra y A. Crespo, *Técnicas de Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Nota técnica 5: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos*. Vol. 5. Sevilla España. Editado por Ingeman. 2012. 46 p.
- [5] *Organismo Internacional de Estandarización. Análisis de Modo y Efectos de Fallas Potenciales en los procesos de diseño, manufactura y ensamble*. Norma SAE J1739. 2009.
- [6] J. Moubray, *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II*, 3er edición, ISBN : 09539603-2-3, 2004.
- [7] S. García, *Elaboración de planes de mantenimiento basados en protocolos de mantenimiento por tipo de equipo*. [En línea]. Disponible en: <http://santiagogarciagarrido.com/index.php/actividades-de-idi/56-planes-de-mantenimiento>. [Accedido el 10 de Nov 2018].
- [8] *Normalización Española, Instrucciones para la instalación, manejo, mantenimiento, revisión e inspecciones de las plataformas elevadoras móviles de personal (PEMP)*. Norma UNE 58921 IN. 2002.