

CONSTRUCCIÓN DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO DE OPERADORES PARA DESARROLLO DE RUTINAS DE MONITOREO A CONDICIÓN

Eduardo Trujillo Hernández

Ingeniero electromecánico, Esp. en Mantenimiento Industrial, Msc. en Ingeniería,
Facilitador en metodología TPM

eduardotrujillohernández@gmail.com

Contenido

1. Introducción	1
2. El monitoreo de condiciones, ¿cuáles condiciones?.....	2
2.1 Variables a monitorear	
3. Las rutinas de intervención y la confiabilidad humana.....	4
4. ¿Qué entrenar? Definición del plan para construir y aumentar la confiabilidad humana.....	4
4.1. Etapa I: Fundamentales.....	
4.2. Etapa II: Variables, métodos e instrumentos	
5. Conclusiones y recomendaciones ...	6
6. Bibliografía	7

1. Introducción

El mantenimiento predictivo se considera el tipo de mantenimiento más ajustado a la situación del funcionamiento del activo, pues con él es posible pronosticar en buena medida el posible momento de fallo de un componente a partir de datos del estado o condición real del mismo. Desarrollar un sistema de gestión basado en mantenimiento en la condición de los activos puede garantizar que no se hagan intervenciones de más, en el momento

más preciso y sin necesitar detener la operación, incrementando la confiabilidad del activo y reflejándose ésta en una mayor disponibilidad de los activos¹.

Es cuestión aceptada como norma que el mantenimiento basado en condición esté asociado a procedimientos y equipos costosos, sin embargo ¿esto es necesaria y obligatoriamente cierto? ¿no se podría desarrollar un sistema para racionalizar los recursos y disminuir los gastos asociados a este tipo de mantenimiento?

El objetivo de este documento es presentar, de forma resumida, el proceso de construcción y puesta en marcha de un programa de entrenamiento de operadores o mantenedores de primera línea, aprovechando su presencia permanente con el activo y su conocimiento de las condiciones normales de funcionamiento, de forma que, cualquier cambio abrupto o progresivo en éstas es identificado casi en el mismo momento en que se presenta, entonces, ¿por qué no aprovechar, con el apoyo de sus jefes, estas particularidades

¹ La disponibilidad es una métrica aceptada para expresar que un activo aunque no esté produciendo puede en cualquier momento responder a la necesidad de hacerlo, sin embargo, el concepto permite incluir su uso racional u óptimo en términos energéticos, de rendimiento, emisiones a la atmósfera, etc.

para tener una gestión más eficiente del activo en su vida útil?

Conceptos clave: Gestión de activos, Sostenibilidad, Plan de mantenimiento basado en confiabilidad, Confiabilidad humana, Monitoreo de condición, Sistema de Información de Mantenimiento (SIM), Entrenamiento, Gestión de cambio.

2. El monitoreo de condiciones, ¿cuáles condiciones?

¿Podrían los operadores dar soporte en el mantenimiento de equipos por medio de la vigilancia o monitoreo de las condiciones o ésta es una labor que sólo los técnicos especializados pueden hacer?

La vigilancia se refiere a la observación y toma de datos relacionados con el desempeño del activo, de manera que se pueda pronosticar si éste se mantiene cumpliendo los parámetros y características de la operación. El concepto que mejor puede explicar el objetivo de este monitoreo es la llamada Curva P-F, en la cual se puede ir observando la tendencia al deterioro de una variable particular o del activo en general cuando se correlacionan las variables en observación.

La premisa guía para determinar si el activo está con deficiencias en su operación es a partir de la definición de los tipos de falla funcional, y soportada en tareas rutinarias de su búsqueda [1], además se deben registrar los parámetros observados, de manera que se puedan aplicar metodologías de pronósticos y desarrollar la ingeniería de confiabilidad en los activos.

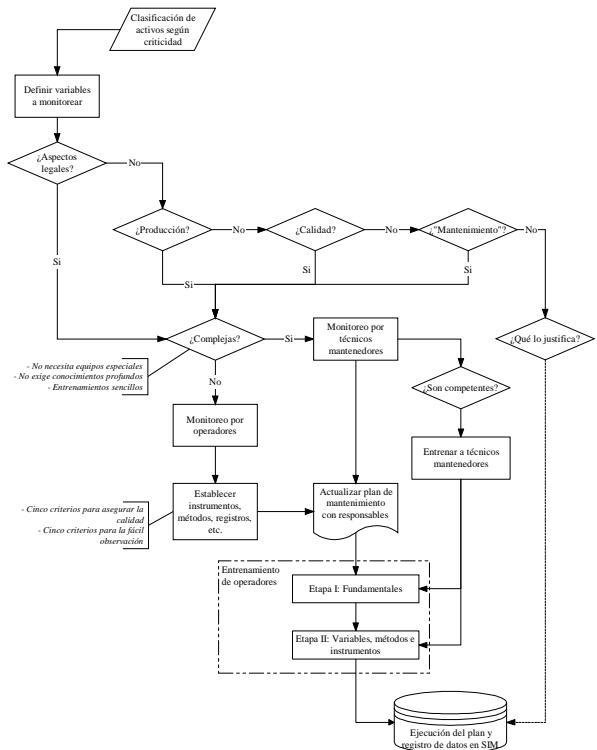
El objetivo debe ser desarrollar un sistema en el cual las personas que

intervienen los equipos (operadores y mantenedores):

- Estén atentos a los cambios que observan en éstos,
- registren la variación o cambio y más si éste supera los parámetros normales o está muy cercano a éstos,
- corregir las desviaciones o fallas menores oportunamente, y
- relacionen las desviaciones con un menor desempeño, en la mayoría de los casos progresivo, del activo.

El proceso completo de implantación de este sistema de gestión operativa del activo para mantener o aumentar su eficiencia se esquematiza en la ilustración 1.

Ilustración 1: Esquema del proceso de definición de programa de monitoreo a condición con operadores. Fuente: Autor



2.1 Variables a monitorear

El objetivo de establecer las variables, es que éstas permitan alertar anticipadamente, y si es necesario hacer mayores revisiones o inclusive programar un paro del activo para hacer intervenciones mayores, previo a una falla que normalmente deteriora más y aumenta los gastos, además de afectar el cumplimiento del programa de trabajo.

Las condiciones como el rendimiento, la calidad, los consumo de energía, aire comprimido o agua, entre otros posibles, sirven de soporte para identificar tendencias al deterioro prematuro y posteriores fallas, de manera que con una buena observación, registro y análisis de datos se programen intervenciones oportunas (punto P de la curva P-F). Sin embargo para que los registros de estas condiciones sean útiles para determinar con mayor "precisión" el momento más conveniente de intervención, y con el objetivo en mente de que sean los propios operadores quienes registren desviaciones en las variables definidas, el método de registro y análisis de datos debe ser por principio sencillo, muy gráfico y que pueda ser registrado en el SIM, de manera que la historia de los activos no se pierda y sirva para tomar decisiones respecto a estos.

El derrotero a seguir se plantea a partir de respuestas a las cuestiones como: ¿Cuáles, cuántos, en qué momento y cómo registrar los datos por parte de los operadores de forma tal que su trabajo principal, la operación, no se vea afectado?

- **¿Cuáles?:** Tomar los datos por fuera de los límites de control definidos, observando también la tendencia cuando dentro del rango.

- **¿Cuántos?:** Empíricamente, pero ajustable en el tiempo, al menos dos o tres veces durante el turno², y aun así dependiendo de la criticidad de la variable.
- **¿Cuál momento?:** Durante el turno y en cada turno³
- **¿Cómo registrar?:** Plantillas diseñadas exprofeso y en las cuales la persona sólo tenga que hacer una señal, pero que sean también tan claras que posterior al turno estos datos se puedan registrar en una base de datos del SIM⁴

Es importante destacar que es buena práctica "hacer entrega" de turno⁵, tanto los operadores entre sí como los mismos mantenedores, para compartir novedades y además es recomendable que el jefe de éstos también esté atento al comportamiento de las variables, y en este punto es muy valioso el uso de gráficos para una revisión rápida del sistema en su conjunto⁶.

² Para definir la cantidad y frecuencia de las mediciones, se puede recurrir a las técnicas de la ingeniería industrial para mediciones de métodos y tiempos

³ Comentario igual al anterior

⁴ Un buen recurso es tomar el concepto de las cartas de control estadístico de proceso. Inclusive se pueden disponer de dispositivos electrónicos como tabletas, para registrar directamente los datos y que al final del turno o del día se descarguen completamente al SIM.

⁵ La entrega de turno no deberían tardarse más de cinco minutos, porque más tiempo causa desmotivación por el deseo de salir a descansar.

⁶ Nuevamente, un mecanismo gráfico sencillo son las cartas de control de proceso.

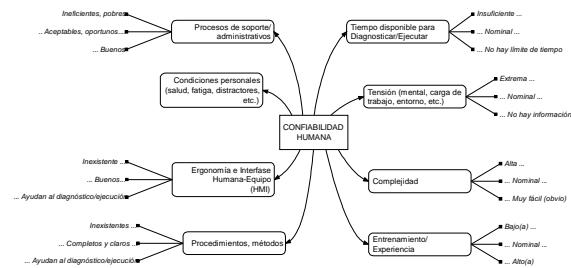
3. Las rutinas de intervención y la confiabilidad humana

Las tareas a condición son otras de las actividades del mantenimiento que se desarrollan con el objetivo de conservar la funcionalidad del activo según las condiciones definidas en el diseño⁷, registrando el comportamiento, y más importante aun, las variaciones en algunos parámetros considerados como clave en el funcionamiento y que sirven como alertas tempranas.

El desarrollo de estas tareas es por principio una búsqueda de desviaciones o fallas menores que afecten el funcionamiento del activo, aunque no lo interrumpan. Por lo tanto, la precisión y fiabilidad de los registros de estos parámetros, es fundamental y por ello el papel de los operadores en este caso es tan importante en la identificación y registro de estas desviaciones para alimentar el Sistema de información de Mantenimiento (SIM), como mecanismo para la ingeniería de confiabilidad de los activos, sin embargo ésta no es posible si las personas que los intervienen no son confiables en sí mismos para las labores que realizan, tanto en la identificación y diagnóstico de fallas como en su corrección [2]. En la ilustración 2 se relacionan los factores que afectan la confiabilidad humana en el desempeño de actividades rutinarias, teniendo claro que aumentar la confiabilidad es tarea conjunta entre los jefes y los procesos de gestión humana.

⁷ La adquisición del activo a un fabricante tiene el equivalente al diseño, ya que se toma como punto de partida satisfacer las necesidades en un proceso productivo.

Ilustración 2: Factores que afectan la confiabilidad humana. Fuente: Adaptación desde [2].



El modelo para definir rutinas, variables de condición y alertas para programar intervenciones oportunas se construye a partir de:

- Tendencia de la tendencia en el cambio de parámetros.
- Momentos particulares para observar y registrar la condición definida⁸.

4. ¿Qué entrenar? Definición del plan para construir y aumentar la confiabilidad humana

Los operadores, aunque las rutinas sean sencillas en principio, normalmente no tienen grandes conocimientos de mecánica ni electricidad⁹, por lo tanto

⁸ Importante anotar que no sólo en los momentos definidos sino también cuando sea evidente alguna desviación.

⁹ En este punto se debe recordar que la ley 19 de 1990 [3], establece que los sistemas eléctricos no deben ser intervenidos por cualquier persona (art. 11), y de acuerdo al decreto 991 de 1991 [4] (art. 3), que quienes lo deban hacer deben certificarse en alguno de los niveles o categorías según la complejidad de los activos y los niveles de tensión de trabajo de éstos. Sin embargo algunos conceptos si pueden compartirse con el propósito que si la persona observa algo fuera de lo normal

dentro del programa de entrenamiento deben considerarse estos temas como parte del proceso de construcción de un sistema basado en la condición. Sin embargo como condición base de las personas, los técnicos mantenedores deben ser competentes en técnicas de monitoreo, porque ellos mismos siguen siendo los responsables del programa de mantenimiento, dando soporte y entrenando a sus colegas, los operadores. Ellos mismos deben ser altamente confiables en sus labores (ver ilustración 2).

4.1. Etapa I: Fundamentales

Se abordan los temas básicos para garantizar no sólo la comprensión del tópico sino también de la labor a desempeñar y su impacto en todo el sistema, no sólo en el funcionamiento del activo sino abarcando la visión inclusiva más allá de la empresa: Cliente y consumidor final.

Los temas tratados:

- Cadena de valor e impacto de la labor
- Tipos de mantenedores y de mantenimiento
- Fundamentos de metrología: Longitudes, presión, temperatura, humedad relativa, entre otras que apliquen según los procesos.

4.2. Etapa II: Variables, métodos e instrumentos

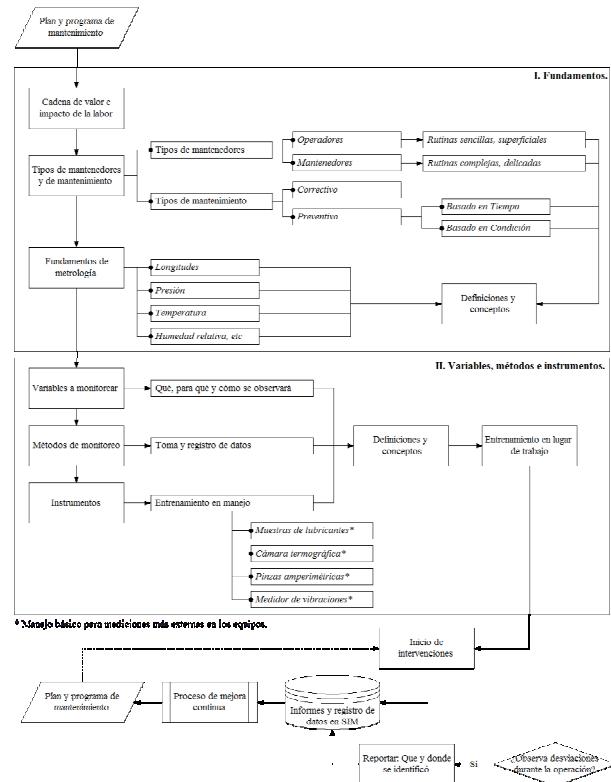
Luego de construidas las bases, se desarrollan los temas más específicos de acuerdo a las rutinas a ejecutar [5: 107-108], y que se agrupan en dos grupos:

reporte este cambio para que los expertos tomen cartas en el asunto.

- Toma y registro de datos
- Toma de muestras: Lubricantes, termofotografías, etc.

Con la ilustración 3 se resume el proceso de entrenamiento de operadores, sin embargo como se mencionó antes, el mismo camino se puede seguir primero con los técnicos mantenedores para que sean competentes en la gestión del mantenimiento mide sus activos.

Ilustración 3: Proceso de entrenamiento de operadores en tareas apoyo al monitoreo de condición. Fuente: Autor.

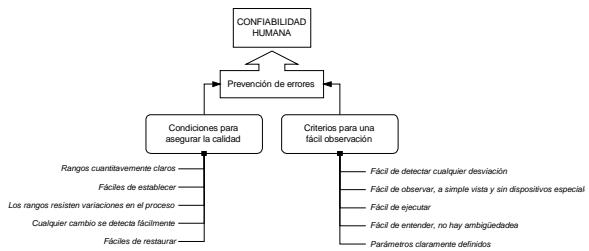


Los entrenamientos se desarrollan para cada tema y en cada etapa con el esquema de sesión teórica (por cuestiones prácticas y de aprendizaje no deberían extenderse más allá de los 20 ó máximo 30 minutos), donde se trata el marco conceptual, incluyendo el impacto de las intervenciones en los activos y en la organización, para luego hacer varias

prácticas con cada operador en el lugar de trabajo hasta que el procedimiento se haga correcta y consistentemente.

Por último, para ambos momentos del entrenamiento, lo teórico y las prácticas, es importante tener o construir unos procedimientos claros y enfocados en la ejecución sencilla, con el propósito de que éstos sean, además de ser material para el entrenamiento, referentes para identificar puntos con desviaciones y a partir de éstos, analizar con mayor precisión en el punto donde está la falla. Gotoh y Tajiri [6] documentan varias condiciones que facilitan la identificación y la restauración de cualquier desviación¹⁰ (ver ilustración 4).

Ilustración 4: Cinco condiciones para la calidad y cinco criterios de fácil observación. Fuente: Adaptación desde [6].



5. Conclusiones y recomendaciones

Las tres condiciones que fundamentan este programa son la comprensión de las razones de éste (primer pilar para apropiarse del cambio en la forma de hacer), la construcción conjunta entre varios procesos del programa (segundo pilar, para asegurar el conocimiento y el compromiso en la ejecución) y la definición de las variables o condiciones realmente críticas a monitorear (tercer

pilar para lograr el foco en las tareas del sistema).

El mayor obstáculo para implantar este programa está en los dos protagonistas, producción y mantenimiento, porque desde una parte los primeros son remisos a hacer "más cosas" y en el otro extremo están los que tienen temor de ser declarados innecesarios, por lo tanto no quieren entregar sus actividades; entonces el programa debe ser gradualmente implantado empezando con desarrollar un programa de gestión de cambio, inclusive, como se mencionó, los dos primeros temas a abordar se relacionan con comprender el aporte de la labor a la cadena de valor y los tipos de mantenimiento, de forma tal que los responsables de los procesos productivos y de soporte sean conscientes de que éstos son dependientes entre sí, no antagónicos.

Es evidente que la gestión de activos no es responsabilidad de un área o proceso, es asunto de toda la organización, por lo tanto desde la alta dirección debe haber la conciencia y el apoyo para desarrollar un programa de largo aliento para la excelencia operacional basado en la confiabilidad de las personas.

Las labores sencillas de monitoreo a condición pueden ser desarrolladas por los operadores directamente en el mismo activo y durante su operación o con interrupciones breves, con un fuerte apoyo de los procesos de soporte, entre ellos mantenimiento, normalizando las actividades y buscando siempre facilitar la tarea (ver ilustración 4), pero sin sacrificar la calidad de la ejecución. En la medida que hayan registros confiables de los comportamientos de las variables vigiladas, el ingeniero de confiabilidad y los técnicos especialistas, debidamente capacitados, analizarán y si las sospechas lo ameritan, programarán mediciones con

¹⁰ Estos sistemas son conocidos como "Sistemas a prueba de error" o del japonés, *Poka-Yoke*.

equipos más complejos para obtener más precisión y tomar decisiones respecto al activo.

Un error en el que se suele caer es terminar más preocupado por cumplir la medición y el registro que en lo que en realidad se está haciendo y para qué se está haciendo, el medio se convierte en fin, en un indicador de cumplimiento de la tarea asignada no en la fuente de información para tomar decisiones y planear la gestión de activos. Los jefes deben ocuparse de guiar y acompañar en el proceso, enfocándose en que las personas comprendan porque se deben hacer bien las rutinas, con oportunidad y que no basta con cumplirlas.

Los técnicos especialistas de mantenimiento deben enfocarse en entrenar, apoyar y facilitar el trabajo de los operadores, en ejecutar las intervenciones más complejas, en normalizar sus procedimientos y analizar las fallas cuando se presenten buscando la causa raíz y, con apoyo de los ingenieros de confiabilidad cuando los hallan, interpretar los resultados de los análisis de condición.

6. Bibliografía

[1] MOUBRAY, Jhon. RCM-II. Aladon LLC. Carolina del Norte. Edición en español 2004. 433p.

[2] GERTMAN, D.I.; BLACKMAN, H.S.; MARBLE, J.L.; BYERS, J.C. and SMITH C.L. The SPAR-H Human Reliability Analysis Method. U.S. Nuclear Regulatory Commission (Report nombre NUREG/CR-6883 INL/EXT-05-99509). Idaho Falls, Idaho. August 2005. 230p.

[3] CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 19 de 1990: Por la cual se reglamenta la Profesión de Técnico Electricista en el Territorio Nacional. Diario oficial número Bogotá, 24 enero 1990. 5p.

[4] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 991 de 1991: Por el cual se reglamenta la Ley 19 de 1990 y se dictan otras disposiciones. Diario oficial número Bogotá, 12 abril de 1991. 8p.

[5] HARTMANN, Edward H. Como instalar con éxito TPM en una planta no japonesa. International TPM Institute, Inc. 1999. EEUU. 241p.

[6] GOTOH, Fumio y TAJIRI, Masaji. Autonomous maintenance in seven steps: Implementing TPM on the shop floor. Productivity Press. 1999. 329p.

Eduardo Trujillo Hernández

Ingeniero en electromecánica, especialista en mantenimiento y magíster en ingeniería Líder y consultor interno de TPM, con amplia experiencia en procesos de entrenamiento para desarrollar la confiabilidad humana en la gestión de activos en procesos de producción, mantenimiento, seguridad, calidad y procesos administrativos.

Datos de contacto:

Teléfonos:

a. (574) 5311155 (oficina)

b. 3014032488

Direcciones:

a. Calle 32EE #78-42, Medellín.

b. Autop. Mde-Bog, km 2 vía Belén-Rionegro.

c. Colombia

eduardotrujillohernandez@gmail.com