



Desarrollado por el equipo humano de ceroaverias.com
bajo la dirección de D. Humberto Álvarez Laverde

Versión 2.0

Barcelona, 2008

PREFACIO

Este libro sobre métodos estrategias para eliminar averías y fallos en equipos ha sido posible escribirlo, gracias a la colaboración de numerosas personas con las que he compartido horas de trabajo, estudiando y resolviendo problemas de maquinaria y funcionamiento de procesos, como parte de mi trabajo en el desarrollo de proyectos TPM. Quiero destacar la colaboración de los señores Jaime Quintero Santodomingo y Carlos Ramos Mejía quienes influyeron profundamente en el desarrollo de mis ideas sobre mejora continua; con mi hermano Héctor René estudiamos conjuntamente sobre la forma de plantear soluciones en numerosos situaciones analizadas.

Este manual cubre temas variados, desde conceptos teóricos, reflexiones para la práctica y numerosas herramientas útiles para diferentes situaciones industriales. Ofrece una guía sobre las diferentes formas de encadenar las herramientas para diagnosticar y resolver problemas y averías, y que de nuestra práctica consideramos son las más habituales. No descartamos otras alternativas de combinación de herramientas que seguramente usted amable lector podrá explorar por su propia iniciativa.

Este manual puede ser empleado como base del entrenamiento de los líderes de mejoras enfocadas, operarios, supervisores y personas que por su trabajo están muy relacionados con las acciones de mejora de equipos como mecánicos y otros técnicos de mantenimiento.

Esperamos que obtenga los mejores beneficios de este manual, tanto las satisfacciones personales y los resultados para su organización. Si esto es así, consideramos que hemos logrado nuestra meta de compartir estos métodos que hemos aprendido en entrenamiento en varias empresas japonesas y que hemos practicado durante largos años.

Seguramente este manual como versión beta o inicial será sometido a mejoras. Agradecemos sus comentarios para proceder a incorporarlos a nuevas versiones las cuales haremos llegar en forma electrónica.

Un saludo en nombre del equipo ceroaverias.com y de nuestra empresa soporte Advanced Productive Solutions, S.L.

Humberto Álvarez Laverde
Director General



CAPÍTULO 2

Análisis de averías: marco teórico

¿Qué es una avería?

El diccionario de la Real Academia Española de la Lengua indica que el término *avería* es una palabra que procede del idioma árabe *al-awarriyya* que significa daño que padecen las mercaderías. Donde la palabra *daño*, es considerada como una palabra que significa *causar detrimento o echar a perder alguna cosa*.

En forma general, se puede decir que avería es el “*cese de la capacidad de una entidad para realizar su función específica*”. El término *entidad* se asume como un elemento, componente o sistema que hace parte de un equipo. La pérdida de la función puede ser considerada como total o parcial. La pérdida total de una función, conlleva a que la “entidad” no pueda realizar todas las funciones para las que se ha diseñado. Una avería parcial afecta solamente a algunas funciones de la entidad, consideradas como de importancia relativa. En este caso, el sistema donde se encuentra el elemento averiado, puede operar con deficiencias de diversa índole y no afecta a las personas o no produce daños materiales mayores.

Al definir una avería como pérdida de la función de una entidad; y si esta tiene varias clases de funciones, es necesario establecer categorías de averías. La teoría de Análisis del Valor considera que todo elemento u objeto puede tener tres tipos de funciones:

- **Funciones principales.** Son aquellas para las que el elemento fue diseñado. La función principal de una bombilla es la de proporcionar luz.
- **Funciones secundarias.** Las que cumplen funciones de apoyo a las principales. Un foco luminoso debe necesitar cierta resistencia a los golpes.
- **Funciones terciarias.** Son aquellas que cumplen funciones más relacionados con la calidad de forma o estética. La bombilla debe tener una superficie limpia.

Siguiendo la teoría del Análisis del Valor, las averías se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- **Avería crítica o mayor.** La que afecta las funciones del elemento consideradas como principales.
- **Avería parcial.** La que afecta a algunas de la funciones pero no a todas estas.
- **Avería reducida.** La que afecta al elemento, sin que pierda su función principal y secundaria.

Esta clasificación es importante para desarrollar un modelo de estudio y eliminación de averías. Una estrategia para solucionar averías, debe considerar la existencia de averías críticas, parciales y reducidas, siendo necesario, eliminar en forma prioritaria las averías críticas en primer lugar, para conseguir un aumento significativo de la fiabilidad del equipo. Esta forma de clasificar las averías invita a utilizar técnicas para priorizar, con el fin de establecer un orden lógico para eliminarlas progresivamente utilizando un sistema de mejora continua.

Averías crónicas y esporádicas

Una clasificación de averías alterna, es empleada en la industria japonesa y está relacionada con la forma de como estas, se comportan a través del tiempo. Este tipo de clasificación, es apropiada para definir también, el tipo de metodología a seguir para su estudio y eliminación.

Los problemas de los equipos se pueden clasificar, dependiendo de su presencia en el tiempo en:

- **Averías crónicas.** Afecta a un elemento de una máquina en forma sistemática o esta, permanece por largo tiempo sin que se resuelva. Una avería crónica puede ser crítica, parcial o reducida.
- **Averías esporádicas.** Afecta el elemento en forma aleatoria y puede ser crítica o parcial. Permanece corto tiempo y su efecto es significativo.
- **Avería transitoria.** Afecta durante un tiempo limitado al elemento y adquiere nuevamente su actitud para realizar la función requerida, sin haber sido objeto de algún tipo de intervención de mantenimiento.

El comportamiento de cada una de estas averías se muestra en la Figura 1.1

Averías esporádicas

Esta clase de pérdidas como indica su nombre, ocurren de repente y en forma no prevista. Las características principales de estas pérdidas son:

- Es poco frecuente su ocurrencia
- Por lo general se producen debido a la acumulación del deterioro y deficiencia en las acciones de operación y mantenimiento.
- Para solucionarlas se requieren acciones de mantenimiento planificado, mantenimiento autónomo (realizado por el operario) y mejora de la fiabilidad.
- Su aporte es importante y producen grandes desviaciones en el proceso. Por este motivo, duran poco tiempo, ya que el personal encargado actúa rápidamente para resolver esta clase de problemas.

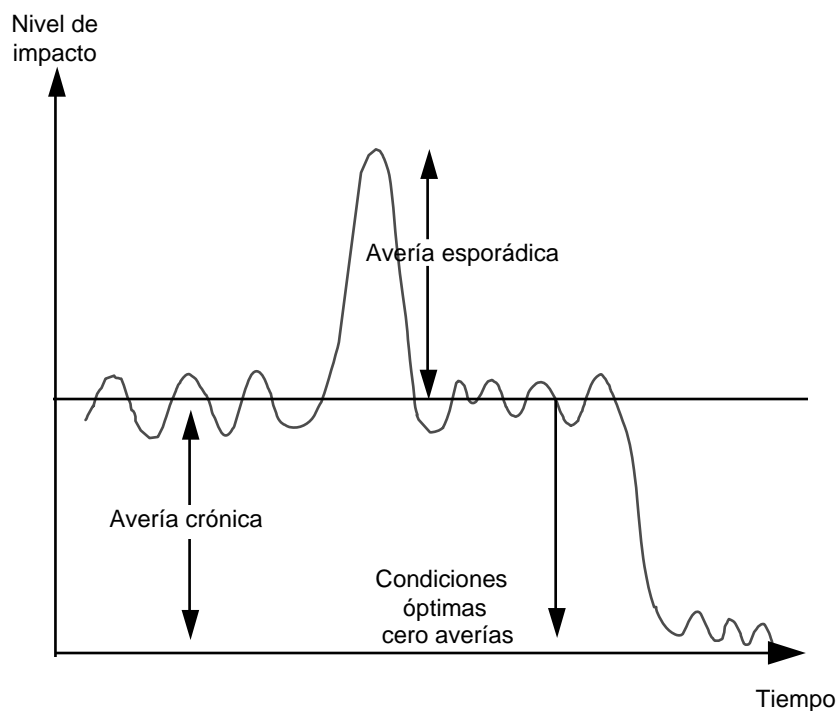


Figura 1.1 Comportamiento de las averías crónicas y esporádicas

La rotura de una cadena de una banda transportadora puede ser un ejemplo de este tipo de averías. Esta avería puede parar completamente el sistema de transporte de un producto o de algún material en una fábrica. El impacto de esta clase de averías es significativo y por lo



general este problema se produce debido a falta de acciones de mantenimiento planificado. Otros ejemplos de esta clase de averías pueden ser: despegue de la unión bimetálica de un controlador de temperatura, un fallo en el cable de conexión de las bujías de una turbina de gas, etc.

Averías crónicas

Este tipo de pérdidas están ocultas y permanecen a través del tiempo. Su efecto es relativamente reducido comparado con las averías esporádicas. Si embargo, al sumar la pérdida que produce durante todo el tiempo que permanece esta, puede llegar a ser muy importante para los resultados de la empresa. Esta clase de pérdidas, se vuelven habituales para el personal de la empresa y en la mayoría de los casos, no se aprecia debido a que las personas *“aprenden a vivir con ellas”*.

En una máquina de empacar productos en cajas de cartón, una avería crónica puede ser que la máquina cada media hora sale una caja de cartón sin pegar, debido a un fallo de un cierto dispositivo del equipo. Este problema no es dramático, pero indica que el equipo tiene un problema sistemático en su funcionamiento y es necesario investigar para evitar la pérdida de rendimiento del proceso.

Las características principales de esta clase de pérdidas son:

- El efecto puede llegar a ser reducido y su variación aparentemente es baja.
- Se presentan continuamente a lo largo del tiempo
- Por lo general, resulta de una combinación de causas múltiples y relaciones complejas entre ellas.
- Para identificar las causas se requiere de metodología y herramientas específicas para su estudio.
- Para rastrear las causas de este problema, se requiere de tiempo y un trabajo arduo.

Otro ejemplo de averías crónicas es la fuga de aceite que se presenta en los sistemas de lubricación de un grupo de equipos rotativos, o un problema de escapes de vapor en las líneas de conducción de este en una planta de procesos continuos, afectando el coste energético de la operación. Con estos problemas, el personal llega a acostumbrarse al ruido producido por los escapes de vapor y existe la creencia que la causa es la falta de apriete en juntas o el mal montaje, mientras que estudios cuidadosos indican que la causa central es el diseño deficiente de la junta empleada.

Son numerosas las causas que hacen que no se eliminen este tipo de averías. Algunas de estas causas se deben a algunas actuaciones de la dirección de la fábrica. Es frecuente escuchar en las empresas que estos problemas no se resuelven debido a las políticas de gastos establecidas por la dirección, ya que el equipo al no estar plenamente afectado, no se aprueban las inversiones necesarias para la adquisición de los recambios y el equipo se debe mantener con los recursos disponibles.

Otra causa consiste en que los estándares del equipo se han establecido con tolerancias amplias, aceptando desde el inicio una pérdida de rendimiento. En estos casos la dirección de planta no ha visto la posibilidad de mejorar continuamente las cifras y estos estándares se han asumido debido a la tradición. “El rendimiento de este equipo siempre ha sido del 80 %; porqué me debo preocupar si esta semana estamos en 81 %”, comentaba un cierto jefe de planta. En este ejemplo, el equipo se debe llevar a niveles superiores de rendimiento mediante un proceso de mejora continua. Al establecer la dirección retos superiores y requerir a sus colaboradores justificaciones con “datos”, es muy seguro que las averías crónicas salgan a la superficie.

El presidente de la Florida Power and Light, una de las mejores compañías eléctricas del mundo comentaba “cuando llegué a esta compañía, encontré que mis directivos habían aprendido a comer tostadas quemadas al desayuno”. Esta metáfora indica que los directivos de empresa se acostumbraron a tener unos ciertos niveles de rendimiento y no exploraron esos pequeños puntos que se pueden lograr al eliminar estas averías. Continuaba diciendo “uno de los hábitos que apliqué en mi empresa para eliminar esta cultura fue el de exigir hechos y datos”. Al entrar a la oficina de este directivo se encuentra un letrero que dice: *aquí no se le cree a nadie, solamente a Dios, los demás deben traer hechos y datos.*

En algunas oportunidades no se dispone de la información y se asume que estas pérdidas son debidas al azar y no se pueden manejar. Al investigar con un importante número de técnicos de mantenimiento, es frecuente escuchar el comentario de “falta de tiempo”, ya que las actividades de la rutina diaria no permiten actuar sobre esta clase de averías. Estas creencias conducen a que los problemas se mantengan y no se realicen acciones sistemáticas de mejora.

Existen tres tipos de averías crónicas. (Figura 2.2)

1. De causa simple y única. (poco probable)
2. Pueden existir varias causas independientes y cada una puede producir el problema, pero entre ellas no existe relación alguna.



3. El problema es producido por la combinación de varias causas y estas son dependientes entre sí. (situación muy frecuente)

Causas simples que cambian constantemente

Supongamos que un cierto problema es producido por diez causas potenciales. Cada vez que se presenta el problema, las causas son diferentes (dentro de estas diez). Si las acciones correctivas se toman solamente sobre unas pocas de ellas, el problema no se podrá controlar. Para resolver esta clase de problemas el equipo de estudio deberá eliminar la totalidad de posibles factores y restaurar su condición original y asegurar que las condiciones básicas se mantienen correctamente. Se entiende por *condiciones básicas* las acciones de limpieza, lubricación y ajuste o apriete necesarias.

Esta estrategia es la más apropiada para mantener el equipo en correctas condiciones, ya que la identificación de la totalidad de las posibles causas es prácticamente imposible. Un experto japonés define este proceso como *podar el césped*, esto significa que es necesario *cortar la hierba alta* para poder identificar “las rocas ocultas por la hierba”. Se eliminan los pequeños problemas para dejar al descubierto las grandes anomalías.

Combinación de causas que cambian con el tiempo

En algunos casos existen combinaciones complejas y solapamientos de las causas que generan el problema. Para hacer más compleja la situación, esta combinación cambia con el tiempo. Por ejemplo, en la fabricación de insertos para moldes de inyección de plásticos, pueden presentarse problemas debido al tipo de material, estado del plato donde se montan, vibración de la piedra de pulido, cambios en la presión del aire de la pulidora, desgaste de la piedra, etc. La combinación de estos factores puede conducir a la presencia de un defecto final de mecanizado. El equipo de estudio debe resistirse a la tentación de priorizar e identificar solamente una posible causa para resolver el problema. Debido a la complejidad de estas relaciones y a la falta de entendimiento de como se presentan los fallos crónicos se toman acciones deficientes. Por lo tanto es necesario entender en profundidad el fenómeno físico de como ocurre el problema. Esta clase de problemas requieren de una metodología de análisis que involucre un proceso de revisión de los principios físicos que producen la avería. La técnica más apropiada es el Método PM que se estudiará posteriormente.

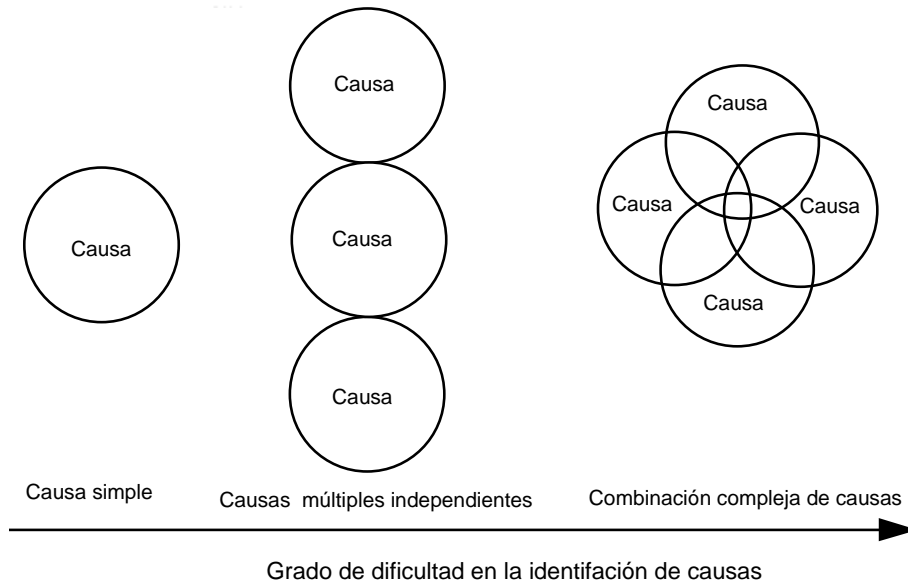


Figura 2.2 Tipos de averías crónicas

CONCEPTO DE AVERIA COMO UN PROBLEMA

Uno de los estudios más completos sobre la noción de problema y su solución lo aporta el profesor de IESE J.A. Pérez López, en su libro *Teoría de la acción humana en las organizaciones*. Este experto define “problema” en sentido general como “la existencia de una situación que no es del todo agradable para una persona (agente activo)”. Para que exista un problema se deben presentar dos tipos de elementos (Figura 2.3):

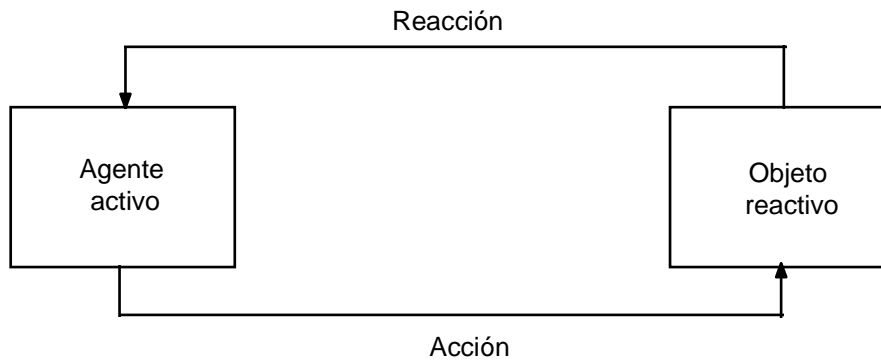


Figura 2.3 Esquema conceptual para la definición de “problema”

- Un agente activo, que es el que aprecia si la situación es agradable o no.
- Un objeto reactivo, que es el que produce la acción que agrada o no al agente activo.

En este contexto, la “Solución de Problemas” el “agente activo” actúa sobre el “objeto reactivo” para lograr incrementar su “satisfacción”. Para resolver el problema el agente activo cuenta con la posibilidad de realizar “acciones”, alguna o algunas de las cuales se estima puede provocar la “reacción”. En definitiva, la solución de un problema se entiende como *la aplicación de una acción que transforme esa situación de modo tal que esa persona a la que afecta la encuentre satisfactoria.*

Para nuestra construcción teórica, partimos del supuesto fundamental que una avería es un problema, ya que cualquier pérdida de funciones del “objeto reactivo”, afecta la satisfacción del agente activo. En un estudio de averías, el agente activo es el elemento de la organización que se ve afectado por la presencia del problema, puede ser el personal de producción, mantenimiento o usuario del equipo. El objeto reactivo es el equipo, máquina, o sistema que presenta la avería.

El proceso de análisis y eliminación de averías es la actividad de “acción” sobre el “objeto reactivo”. Este proceso implica realizar un estudio de causas, comprender el fenómeno físico que existe en el problema presentado y preparar planes de “acción” para eliminar la totalidad de causas. Como consecuencia de la ejecución del proceso de interacción y de análisis del problema, *se produce un aprendizaje* que se aprecia en los cambios que sufre el “agente activo” (operario o mecánico de mantenimiento) y la mayor satisfacción que produce el objeto reactivo a la persona.

La solución de problemas como un instrumento de aprendizaje organizacional

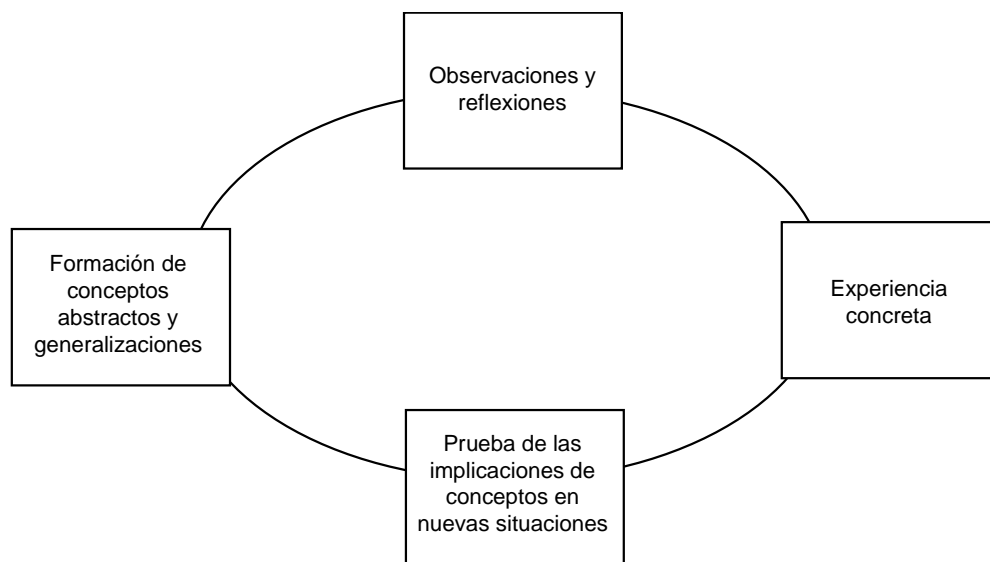
Otro fundamento teórico del modelo que presento es la forma como el proceso de eliminación de averías, se constituye en un poderoso instrumento de aprendizaje organizacional.

La escuela del aprendizaje experimental reconoce que el conocimiento es creado a través de la transformación de la experiencia. Un trabajo de campo de análisis y solución de un problema de un equipo, le permite mejorar las habilidades y la comprensión a las personas que intervienen y viven la experiencia de resolver la situación. Mientras que el aprendizaje operativo de resolver un problema se dirige hacia nuevas formas de hacer las cosas, el conceptual hace hincapié en nuevos modos de pensar sobre las cosas. Según Kolb el aprendizaje es un ciclo que relaciona la experiencia con la reflexión para formación de conceptos abstractos. (Figura 2.4)

El aprendizaje experimental es concebido como un ciclo de cuatro etapas: la experiencia es la base para la observación y la reflexión, estas observaciones son asimiladas en un nuevo grupo de

conceptos abstractos y generalizaciones de la que se deducen nuevas implicaciones para la acción. La prueba de estas ideas crea situaciones nuevas que ofrecen una nueva experiencia concreta.

Sobre la base de este planteamiento, el análisis de este ciclo aplicado a la solución de averías revela que el aprendizaje enlaza dos fenómenos distintos, ya mencionados previamente. En el ciclo resulta fácil observar que, mientras el aspecto operativo se ve representado por la experiencia concreta y prueba en las múltiples intervenciones en equipos, el abstracto se pone de manifiesto por medio de la observación cuidadosa de los fenómenos que causaron la avería, reflexión y conceptualización. Este tipo ciclo se ve claramente en la aplicación de herramientas TPM empleadas para el análisis de los fenómenos físicos que intervienen en la avería.



Fuente: Kolb (1984)

Figura 2.5 El ciclo de aprendizaje de Kolb

Otras justificaciones teóricas sobre este punto lo expresan Jaikumar y Bohn, desde una perspectiva de la dirección de operaciones. Manifiestan estos autores que la resolución de problemas proporciona el aprendizaje necesario para modificar la realización de acciones posteriores y alterar la consecución de sucesos futuros. Hayes también desde una posición más operativa, coloca al proceso de resolución de problemas en el centro del aprendizaje. De nuevo, su argumentación proviene de la creencia que las personas aprenden resolviendo problemas.

Siguiendo a estos autores se puede afirmar que el análisis y eliminación de una avería como un proceso de solución de problemas ofrece un resultado doble:

- Se resuelve el problema, esto es, se elimina la avería e incrementa la satisfacción de agente activo.



- Se mejora la capacidad de aprendizaje de la persona por medio de modificaciones en su modelo mental, pudiéndose considerar este último el más importante del proceso.

El diálogo y la conversación como instrumento de estudio y de solución de problemas

La palabra *diálogo* viene de dos raíces griegas, *dia* y *logos*, que sugieren flujo de sentidos o significados. Esta definición de la palabra contrasta con lo que normalmente pensamos que es un "diálogo", un mecánico e improductivo debate entre gente que busca defender sus puntos de vista frente a otros y que es conocido como *discusión*. El diálogo es una disciplina de pensamiento e investigación colectiva; un proceso que permite conocer mejor la situación que se estudia. *El diálogo es, pues, la raíz de toda la efectividad de la acción de un grupo.*

Durante el proceso de diálogo para la resolución de problemas, las personas aprenden a *suspender* sus intercambios a la defensiva y a investigar las razones fundamentales del problema. Sin embargo, este no es el objetivo primordial de una sesión de diálogo. Su objetivo es establecer un campo de reunión e investigación genuina, un marco donde la gente puede permitir un flujo libre de pareceres y una vigorosa exploración del origen de sus opiniones que conducen a una mayor comprensión del tema que se estudia. Todo esto conduce a un aprendizaje colectivo y socialización del conocimiento existente en todos los integrantes del equipo.

Como ha sugerido el teórico D. Bohm, durante el proceso de diálogo, la gente aprende a pensar en conjunto, no sólo en el sentido de analizar un problema común o de crear nuevos datos compartidos, sino en el sentido de ocupar una sensibilidad compartida, donde los pensamientos, emociones y acciones resultantes no pertenecen a un individuo sino al conjunto. Esto facilita que cualquier acción tomada en conjunto tenga mayor compromiso de ejecución. Desde el punto de vista del proceso de solución de problemas, este factor es fundamental, ya que de esta forma se logra el consenso y contribución de los integrantes del equipo para implantar con éxito las acciones correctivas y evitar la repetición del problema.

El diálogo busca tener gente que aprenda a pensar juntos, no sólo en el sentido de analizar un problema compartido, sino en el sentido de identificar suposiciones fundamentales y ser más perspicaces en la búsqueda de causas y de los *porqués* se presentan.

Es importante comprender la diferencia entre diálogo y discusión. El peligro de una discusión prematura es que el grupo llegue a un "falso consenso" si los miembros asumen que ellos quieren decir lo mismo en algunos términos. Sólo más tarde, descubrirán que las diferencias sutiles en el sentido de las cosas, pueden ser grandes diferencias en el momento de la acción y de la ejecución.



El diálogo, por el contrario, es un proceso básico para construir un entendimiento y aprendizaje común que permita ver los sentidos ocultos de los fenómenos expresados a través de palabras (causas de un problema). Al consentir que el desacuerdo puede existir, los sentidos se hacen cada vez más claros y el grupo va construyendo gradualmente una serie de ideas compartidas que hacen posible niveles mucho más altos de entendimiento y creatividad comunes.

En este proceso, nadie convence a nadie, sino que se construye una experiencia base que permite aprender de una forma colectiva. A medida que el grupo va alcanzando ese entendimiento colectivo, más fácil será llegar a una conclusión, y más probable será que las decisiones se ejecuten en la forma en que el grupo quiere. La técnica de mejora inventada por Ruiji Fukuda, conocida como CEDAC y muy aplicada en organizaciones industriales se fundamenta en este principio.

El experto Schein del MIT indica que la mayoría de los trabajos de comunicación y relaciones humanas enfatizan el *escuchar de forma activa*, lo cual quiere decir que se debe poner atención a todos los canales de comunicación. En contraste, el diálogo se orienta a estar en contacto con las presunciones esenciales (especialmente las nuestras particulares), que automáticamente determinan cuando elegimos hablar y lo que elegimos decir.

El diálogo está más enfocado en el proceso de pensar y como nuestras percepciones y cogniciones se han formado debido a nuestras experiencias pasadas. Si nosotros somos más conscientes de como trabaja nuestro proceso de pensamiento, actuaremos mejor de forma colectiva y también nos comunicaremos mejor. Un importante objetivo del diálogo es capacitar al grupo para alcanzar un alto nivel de consciencia y creatividad a través de una creación gradual de sentidos compartidos y un proceso de pensamiento "en común". El escuchar juega también un importante papel pero no es su principal objetivo.

Esto quiere decir, que mientras en el aprendizaje lógico el objetivo es utilizar el proceso de grupo para desarrollar las habilidades interpersonales individuales, el diálogo apunta a construir un grupo que pueda pensar de forma generativa, creativa, y, lo más importante, todos juntos. La disciplina del diálogo es primordial para el aprendizaje organizacional ya que nos obliga a promover pensamientos colectivos y comunicación.

Aplicación del diálogo en el proceso de eliminación de averías

Tomando estas reflexiones teóricas y pretendiendo llevarlas al campo del estudio de averías, la práctica de los modernos sistemas de mantenimiento como el TPM, presenta ejemplos concretos sobre la forma de aplicar el diálogo en las actividades de mejora rutinaria. El TPM emplea intensamente registros visuales o lo que algunos especialistas japoneses llaman "gestión visual de planta". Esta clase de registros en algunas empresas son llamados Tableros Kaizen, tableros MTBF,



Balanced Scorecard Cards, gráficos bandera como instrumentos que apoyan la conversación en equipos.

Estos tableros son empleados por los trabajadores para evaluar el progreso de las mejoras y cumplimiento de metas, de la misma manera como un piloto de un Airbus emplea una serie de instrumentos para evaluar el progreso de los signos vitales del avión en un viaje. Estos tableros físicamente pueden tener un tamaño entre 3 a 6 metros cuadrados de superficie y allí se presentan gráficos, hojas de planes de trabajo, indicadores de avance y logros, slogan y otro tipo de información visual que sirve para evaluar en tiempo real, la eficacia de las acciones tomadas en los diferentes trabajos.

Cuando un desprevenido visitante que llega a una empresa que posee un alto desarrollo de estos sistemas de trabajo, puede llevarse la impresión que la fábrica está repleta de “cartelera”. El objetivo no es “llenar” la planta con esta clase de información visual.

Lo significativo de estos tableros de gestión está en los procesos de conversación y diálogo que se llevan a cabo frente a estos instrumentos de control durante unos pocos minutos cada día antes de iniciar el trabajo. Durante esta corta sesión de diálogo, el equipo evalúa los resultados del turno anterior, los problemas encontrados, avance en los proyectos de mejora y tendencias en los indicadores. Al finalizar la sesión de diálogo, se establecen objetivos para la actividad diaria y tareas requeridas para mejorar la eficiencia de la planta. Con estos objetivos en mente, el trabajador podrá verificar si las acciones formuladas surten efecto y el grado de magnitud. A través de esta comprobación se confirma un o se niega una hipótesis sobre una posible causa. Esta forma de trabajo pretende llevar el pensamiento científico a nivel operativo.

Estas sesiones de diálogo traen como consecuencia que el equipo humano tenga una mayor comprensión y conocimiento de las operaciones de la planta, funcionamiento de los equipos y una mayor habilidad para comprender las situaciones anormales y las acciones para el cuidado de los equipos. El diálogo continuo, la gestión diaria y la participación son instrumentos excelentes instrumentos para mejorar la capacidad competitiva de una empresa.

Conclusión

De las formulaciones teóricas se puede concluir:

- Una avería es un problema.
- El proceso de solución de problemas permite incrementar el conocimiento individual y organizacional.

- El diálogo es un poderoso instrumento de aprendizaje y de solución de problemas.
- El diálogo conduce a compromisos superiores para la acción.
- **Observación**

Estos cuatro elementos son la base de una estrategia de mejora radical de equipos y de los procesos productivos. Desde el punto de vista práctico, un proceso de solución de problemas debe incorporar el ciclo de aprendizaje de Kolb y la utilización de procesos de diálogo como medios para incrementar la eficacia en la solución de problemas.

De las reflexiones teóricas anteriores se pueden concluir los siguientes puntos adicionales:

- Existen diferentes tipos de averías y su eliminación implica emplear diferentes enfoques de análisis y solución.
- El proceso de eliminación de averías crónicas implica un trabajo científico de investigación y de verificación de hipótesis lo cual hace que se deba abordar en una forma disciplinada.
- El proceso de eliminación de las averías requiere de un alto conocimiento de la situación y de los elementos que intervienen.
- El conocimiento se acumula y deposita en las personas; por lo tanto, se debe dar poder para que los involucrados puedan participar en la búsqueda de soluciones eficaces.
- El conocimiento se puede transferir a otros integrantes de la organización sin perderse. Esta clase de conocimiento organizacional constituye en un recurso intangible importante para la creación de capacidades competitivas
- El diálogo y un eficiente trabajo en equipo son fundamentales para lograr actuar adecuadamente sobre el problema. A través de sesiones de conversación correctamente planificadas y realizadas, el equipo de estudio puede llegar a adquirir un nivel de conocimiento superior en corto tiempo. Este trabajo en equipo fortalece el compromiso con los objetivos trazados y el auto control de las actividades que se ejecutan.
- Es necesario contar con metodologías específicas que apoyen estos principios definidos.

Se puede argumentar que el proceso de análisis y solución de averías, si se realiza siguiendo unos procedimientos rigurosos y disciplinados; si se emplea metodología específica que apoyen el razonamiento científico, este se constituye en el medio más importante para hacer del conocimiento una verdadera capacidad estratégica de las operaciones industriales. Reiterando, esto exige el empleo de métodos probados de estudio, una disciplina de registro de información y una cultura de transferencia del conocimiento para garantizar que el conocimiento adquirido será de gran valor para la compañía.

Estrategias para la eliminación de averías crónicas

De la experiencia y el trabajo de campo en diferentes organizaciones internacionales se han identificado dos tipos de estrategias seguidas para eliminar averías en plantas industriales y manufactura, estas son:

- Estrategia de calidad. Esta metodología se emplea cuando no se conoce exactamente cual es el problema, en problemas que involucran causas cualitativas y en situaciones donde es necesario realizar un procedo deductivo a partir de los datos históricos para poder identificar la avería a estudiar. Emplea en forma intensa técnicas desarrolladas en el campo de la mejora de la calidad.
- Estrategia de Mantenimiento. Esta metodología se emplea para identificar las causas profundas de problemas técnicos muy bien definidos, en los que existe solamente un dato, esto es, la avería que se tiene al frente para ser resuelta. Requiere análisis y observación directa sobre el equipo para priorizar las causas. Se emplea para analizar problemas mediante la eliminación gradual de los factores causales potenciales.

Estos dos enfoques se deben considerar complementarios y en ningún momento substitutivos. La metodología de calidad permite “navegar” dentro de los datos históricos de las averías para identificar la más crítica; la estrategia de mantenimiento toma esta y la diagnostica profundamente para eliminar las causas raíces.

En los siguientes capítulos estudiaremos con detalle cada una de estas estrategias, teniendo en cuenta que estas deben cumplir los requisitos teóricos establecidos en este capítulo y utilizar en forma combinada las estrategias de calidad y mantenimiento.

CAPÍTULO 3

Gestión de información para el análisis de averías

Introducción

La información en mantenimiento es fundamental, ya que permite conocer el estado de una planta y el comportamiento de la maquinaria a través del tiempo, facilitando la toma de decisiones en el momento en que se presente una nueva avería en el equipo. Algunos expertos consideran que más allá de la información está el “conocimiento” que ésta guarda. En las plantas industriales y en especial en la función de mantenimiento cada día crece la necesidad de conservar y emplear mejor el conocimiento producido por las experiencias pasadas como, un camino para mejorar su posición competitiva. El problema está en que las actividades de rutina y las urgencias impiden conservar y utilizar el conocimiento generado en los análisis y reparaciones realizadas en el pasado. Se puede decir que en la función de mantenimiento se “pierde el conocimiento con facilidad”, esto es, no se escribe la experiencia vivida y si se registra, no se transfiere para evitar repeticiones de la avería.

Para mejorar el funcionamiento de los equipos es importante contar con un buen registro de información y el conocimiento adquirido con las experiencias anteriores. Esto implica modificar los hábitos de trabajo, tener una nueva actitud sobre la importancia de los registros, su utilización en nuevos problemas y la transferencia de las experiencias a los demás compañeros de trabajo.

Un primer paso en la mejora de los análisis de averías es el empleo adecuado de información y la construcción de bases de datos de averías. Sin datos no es posible perseguir adecuadamente las causas de estos problemas. A continuación se estudian algunos elementos de gestión de datos de averías.

Estudio de información sobre fallos.

Las bases de datos disponibles sobre averías son de dos tipos:

- Cualitativas: ficha de análisis de averías, valoración y forma como se presentó.
- Cuantitativas: históricos sobre el funcionamiento y el tiempo de intervención.



Esta clase de información tiene objetivos diferentes. El primer grupo de información tiene que ver con los detalles sobre la forma como se presenta la avería, acciones correctivas y de prevención tomadas. La segunda está relacionada con los indicadores MTBF (tiempo medio entre fallos) y MTTR (tiempo medio para reparar) que también tienen que ver con la mejora de los equipos pero a través de las conclusiones obtenidas mediante el análisis de tendencias y manejo de un gran volumen de datos.

Sistema de gestión de datos de averías.

El sistema de gestión de datos de averías se crea para conservar el conocimiento recogido a través de las experiencias de intervención de equipos y fallos ocurridos. Un sistema de información para averías debe contener por lo menos los siguientes datos:

- Fechas y horas en que se presentó la avería
- Equipo donde se presentó la avería
- Clasificación de la clase de averías, esto es, crítica, intermedia o reducida
- La pieza que ha fallado o componente: eje, resorte, soldadura, fusible, etc.
- Forma o naturaleza de la avería: ruido, vibración, calentamiento, desgaste, etc.
- Producto que estaba procesando el equipo
- Proveedor de materias primas que se estaban transformando
- Análisis de la avería
- Acción correctiva tomada

Este tipo de información se debe consolidar en reportes diarios, semanales y mensuales con el objeto de definir la prioridad en los objetivos de actuación de mantenimiento. Los análisis de la información deben conducir a formular acciones para prevenir la repetición de esta clase de averías. Empleando técnicas de estratificación de información se puede analizar con detalle los principales problemas que presenta la planta, por ejemplo, el problema crítico en una cierta planta está en el equipo rotativo y dentro de éste los compresores verticales. La estratificación puede identificar con qué tipo de materiales, materias primas o proveedores la maquinaria presenta mayor número de fallos, en qué turno y qué operario estaba encargado de su operación. La Tabla 3.1 muestra un registro de datos de averías sugerido.



1. Planificado 2. Correctivo 3. Kaizen 4.		Registro de mantenimiento de equipos				Registro No.		
						Fecha		
Fábrica		Jefe Area		Supervisor		Preparó		
Equipo								
Caso								
Fecha y hora ocurrencia	Mes/día/hora minuto	Fecha y hora inicio trabajo	Mes/día/hora minuto	Fecha y hora finalización trabajo	Mes/día/hora minutos			
Código de producción	01 Parada producción	02 Producción no interrumpida		Tiempo de parada de producción	Horas y minutos			
Condiciones en que se presentó la avería		(¿En qué sitio y condición? Ilustrar siempre que sea posible)						
Causas y acciones correctivas tomadas		(¿Cómo se reparó, por qué ocurrió, qué se realizará en el futuro?)						
Costo de mantenimiento	Costo de piezas	Horas hombre		Costo Subcontrato				
Código de la falla. Código tipo de mantenimiento a realizar	01 Sin aceite	19 Pérdida velocidad 20 Aislamiento roto 21 Corto en terminales	30 Borne quemado 31 Falta agua 32 Perforación IC 41 Baja corriente 42 Descentrado EDC	01 Actividad manto predictivo				
	02 Aceite agotado			02 Actividad manto periódico				
	03 Error de engranaje			03 Actividad manto diario				
	04 Desalineamiento			04 Actividad manto de mejora				
	05 Error re revoluciones							
	06 Falla en presión							
	07 Fallo cabezote							
	08 Temperatura alta							
	09 Desgaste							
	10 Grieta soldadura							
	11 Superficie rayada							
	12 Doblado							
	13 Vibración							
	14 Deformación							
	15 Resorte roto							
	16 Resolte saltado							
	17 Eje suelto							
	18 Fugas fluido							
Acción correctiva permanente	Fecha del plan	Fecha		Información técnica de manto	Fecha de emisión	Fecha		
	Realizado en:	Fecha			Emitida por:			
Necesario o no necesario	Registro de mejora No.			Necesario o no necesario	Información de mantenimiento No.			
Indicadores de mantenimiento que se ven afectados			Análisis de Causas		Acción correctiva a implantar		Prevención de recurrencia	

Tabla 3.1 Ejemplo de registro de averías

Empleo del Principio de Pareto para el proceso de información de averías

Dentro de la fase de diagnóstico de averías es necesario analizar la información disponible para identificar causas y acciones correctivas. Para estudiar la información disponible se recomienda iniciar el análisis con la construcción de un Diagrama de Pareto agrupando por familia de fallos repetitivos, tipo de equipos, áreas de la planta, etc. Este diagrama permite seleccionar las averías llamadas *normales* y eliminar los fallos extrínsecos, a corregirlos en lo posible, pero no a tener en cuenta en los estudios de fiabilidad. Para este tipo de análisis se emplean tres gráficos simultáneos para facilitar su análisis. Figura 3.2

- Diagrama de Pareto por familia de avería. Este se conoce como diagrama n
- Diagrama de Pareto de tiempo de duración de la intervención y se conoce como diagrama t
- Diagrama de Pareto del producto ($n*t$)

El gráfico $n*t$ es un indicador de disponibilidad, ya que muestra cuanto tiempo se pierde por tipo o clase de avería. Este es el gráfico más importante para seleccionar las averías más críticas desde el punto de vista de impacto en las paradas por averías.

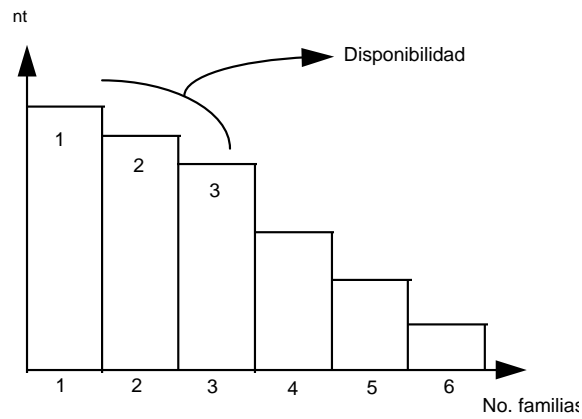
El gráfico n permite identificar los elementos, o componentes con menor fiabilidad y que exigen acciones correctivas en su diseño, inspección rigurosa, más frecuente y otras acciones preventivas.

El gráfico t permite analizar el tiempo de intervención o la **mantenibilidad**. Este gráfico de Pareto permite tomar acciones correctivas sobre el suministro de piezas, reparación en taller, mejora de métodos de montaje, establecimiento de procedimientos para la mejora de los tiempos.

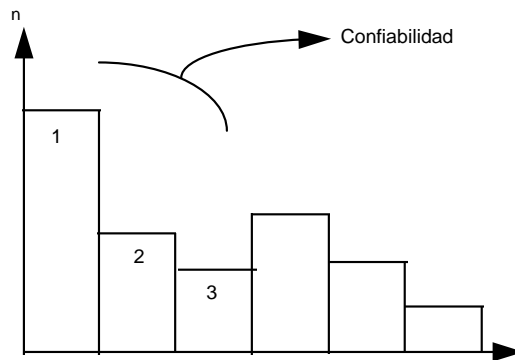
Registros cuantitativos: tablero MTBF

Uno de los indicadores más útiles para el estudio del comportamiento de los equipos es el Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF), ya que facilita evaluar la eficiencia del mantenimiento preventivo. Este indicador permite realizar estudios para la mejora de la fiabilidad y mantenibilidad. Para preparar estos indicadores se requieren adecuados reportes de mantenimiento, intervenciones, partes utilizadas, tiempos empleados, etc. Sin esta información

el diagnóstico se hace más complejo y no garantiza identificar las causas profundas del problema.



a) Gráfico Pareto (nt)



b) Gráfico Pareto (n)

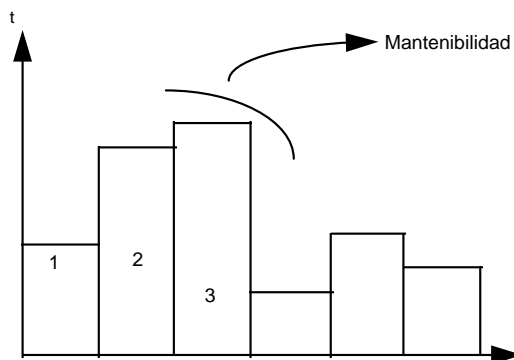


Figura 3.2 Análisis de averías empleando el principio de Pareto

Es frecuente en empresas japonesas emplear la Tabla de Análisis MTBF (Figura 3.3) como punto de partida para la identificación de la situación actual del estado del equipamiento de una planta. Estas tablas son sistemas visuales de control donde se registran las actividades de mantenimiento planificado, paradas no programadas, lubricación, limpieza y actividades relacionadas con el cuidado del equipo. Dependiendo de la facilidad que exista en planta, estos tableros se podrán ubicar en lugares visibles para que sean observados por todos los trabajadores.

Este tablero se emplea para realizar una gestión orientada a los equipos y en especial para:

- Seleccionar las áreas de mejora y reducción de las exigencias de mantenimiento
- Estimar el período de vida útil de las partes y repuestos empleados
- Seleccionar los puntos de interés para inspección, determinación y modificación de estándares de inspección.
- Seleccionar posibles trabajos de mantenimiento a ser realizados por personal exterior a la empresa
- Mejorar métodos para la puesta a punto de equipos
- Mostrar que las acciones correctivas tomadas han surtido efecto
- Motivar al personal relacionado con el área de trabajo

Características de la Tabla de Análisis MTBF

En esta clase de tablas el índice Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) se calcula en una forma rápida y aproximada de la siguiente forma:

MTBF= intervalo entre averías

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Período operacional}}{\text{Frecuencia de fallas}} = \frac{12 \text{ meses}}{3 \text{ veces}} = 4 \text{ meses}$$

Esta forma de cálculo no es exacta ya que desconoce la variabilidad o dispersión de los datos individuales. Sin embargo debido a la facilidad de esta forma de cálculo algunas empresas han estado dispuestas a asumir el error matemático. Para efectos de la construcción de la Tabla de Análisis MTBF se puede considerar como una referencia del valor real. El método de cálculo que evita estos errores emplea la distribución de Weibull y requiere de un tratamiento estadístico avanzado a través de métodos gráficos o sistemas informáticos.



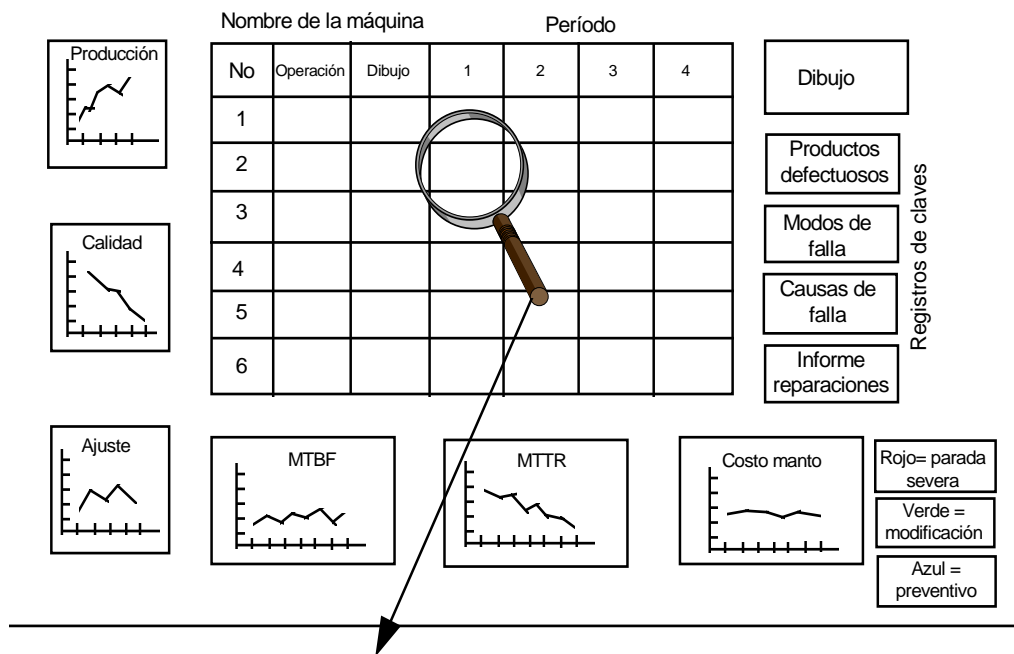
Las características de la Tabla de Análisis de MTBF son:

1. Los datos deben ser muy fáciles de interpretar a simple vista y deben estar organizados en una página. En las empresas se dificulta la investigación de los datos históricos. La posibilidad de contar con toda la información en una sola hoja permite observar completamente el comportamiento de la línea de producción y/o equipos
2. Los datos deben ser tomados como series de tiempo continuas para facilitar el análisis del comportamiento particular de un cierto componente o parte, tipo de acciones correctivas que se han tomado y su efecto, como también la frecuencia de las sucesivas paradas o averías importantes de la línea.



Tabla de Analisis MTBF

Fecha:



Mes/día	5/21	$\frac{50}{100+50}$	W H	5/18	$\frac{0}{125}$	W H	Clave de tipo de defectos
Persona encargada	P.Perez Luis Roca	(1) (k)		S. Valero J. Silva	(1) (b)		Clave de causa de falla del equipo
		192,000			160,000		Clave de síntoma
Tempo parada programada	4/17	$\frac{0}{175+175}$	B M	5/13	$\frac{0}{50}$	W S	Clave del tipo de reparación
Tiempo reparación	P.Lopez Julio Florez	(1)		M.Clemente J. Gómez	(5) (a)		
Volumen de producción		7,500			136,000		

Figura 3.3 Tabla de Análisis MTBF

- Los registros de mantenimiento y el análisis del logro de las metas debe realizarse simultáneamente. Los datos de mantenimiento se caracterizan por la información sobre la extensión de los intervalos de paradas para cualquier componente en particular. Cuando una avería ocurre es recomendable que las acciones correctivas se fundamenten en la base del análisis de las experiencias similares pasadas. Un reporte mensual de averías no podría cumplir igual propósito, ya que no incluye la información de averías pasadas superiores al mes que cubre el reporte. Por lo tanto, es necesario



que la función de mantenimiento conserve reportes que cumplan la doble función: registro y análisis.

4. Con un adecuado diseño se podrá registrar más información en una carta. En una planta se genera numerosa información, pero esta es descartada una vez se ha recogido. La información de mantenimiento tiende a ser más frecuentemente conservada y esta conlleva la mayoría de la información de la planta. Si se logra incluir datos de calidad, costes, seguridad y otros, esta Tabla se constituirá en un excelente registro de ingeniería de producción, la cual se podrá emplear para futuros diseños y construcciones.
5. Debe facilitar la concentración de las acciones de mantenimiento. Los reportes de mantenimiento usualmente no indican donde se debe concentrar el esfuerzo de mantenimiento. Si los diagramas, símbolos y otras marcas de color se emplean sobre la Tabla de análisis MTBF se pueden destacar los problemas críticos o donde pueden ocurrir con mayor frecuencia averías.
6. Se pueden comprender mejor los efectos de las acciones correctivas. Las medidas tomadas ante la presencia de averías en los equipos no es fácilmente observable inmediatamente. Es necesario esperar varias semanas y meses para observar el efecto de la intervención. Los reportes de mantenimiento frecuentemente indican lo que se realizó. Sin embargo, una Tabla de Análisis MTBF puede indicar las circunstancias que se presentaron alrededor de una cierta medida específica tomada y su efecto global. Una tabla de esta característica puede ser una herramienta muy útil para comprender el comportamiento general del equipo.

CAPÍTULO 4

Estrategia de calidad para eliminar averías crónicas

Introducción

El modelo de análisis procedente del campo de la calidad, es conocido como QC Story, Historia de Calidad o Ruta de la Calidad. Este es muy familiar dentro de las empresas industriales debido a sus reconocidas siete herramientas: diagrama de Pareto, diagrama de Causa y Efecto, histogramas, estratificación de información, hojas de chequeo o verificación, diagrama de dispersión y gráficos de control. Este tipo de técnicas han sido ampliamente utilizadas en las empresas, especialmente en aquellas situaciones donde se presentan problemas de defectos, pérdidas de producto final por incumplimiento de especificaciones o situaciones anormales en procesos productivos.

Esta metodología es potente para la reducción drástica de las pérdidas crónicas, especialmente cuando estas son altas. Sin embargo, es frecuente también lograr buenos resultados cuando se aplican en estudios para eliminar pérdidas esporádicas, siendo estas no habituales pero que tienen un alto impacto en los resultados. Con las metodologías de calidad es posible lograr una disminución de hasta un ochenta por ciento las pérdidas crónicas; sin embargo, cuando se pretende reducir el veinte por ciento restantes, es necesario recurrir a las técnicas especializadas de mantenimiento. El enfoque de calidad mostrado en la Figura 4.1, emplea como principio fundamental la estratificación de información a través de la construcción de múltiples Gráficos de Pareto para identificar los factores de mayor aporte. El plan de mejora se realiza sobre la base de eliminar los factores prioritarios identificados a través de la práctica del principio de Pareto. Los factores que permanecen o de menor aporte, se consideran como poco críticos, pero estos no se deben descuidar ya que se pueden transformar en críticos. El diagnóstico de problemas en el modelo de calidad se realiza a través del Diagrama de Causa y Efecto o espina de pescado Figura 4.2. Este diagrama permite recoger en un solo gráfico y clasificar por categorías los posibles factores causales de la avería.

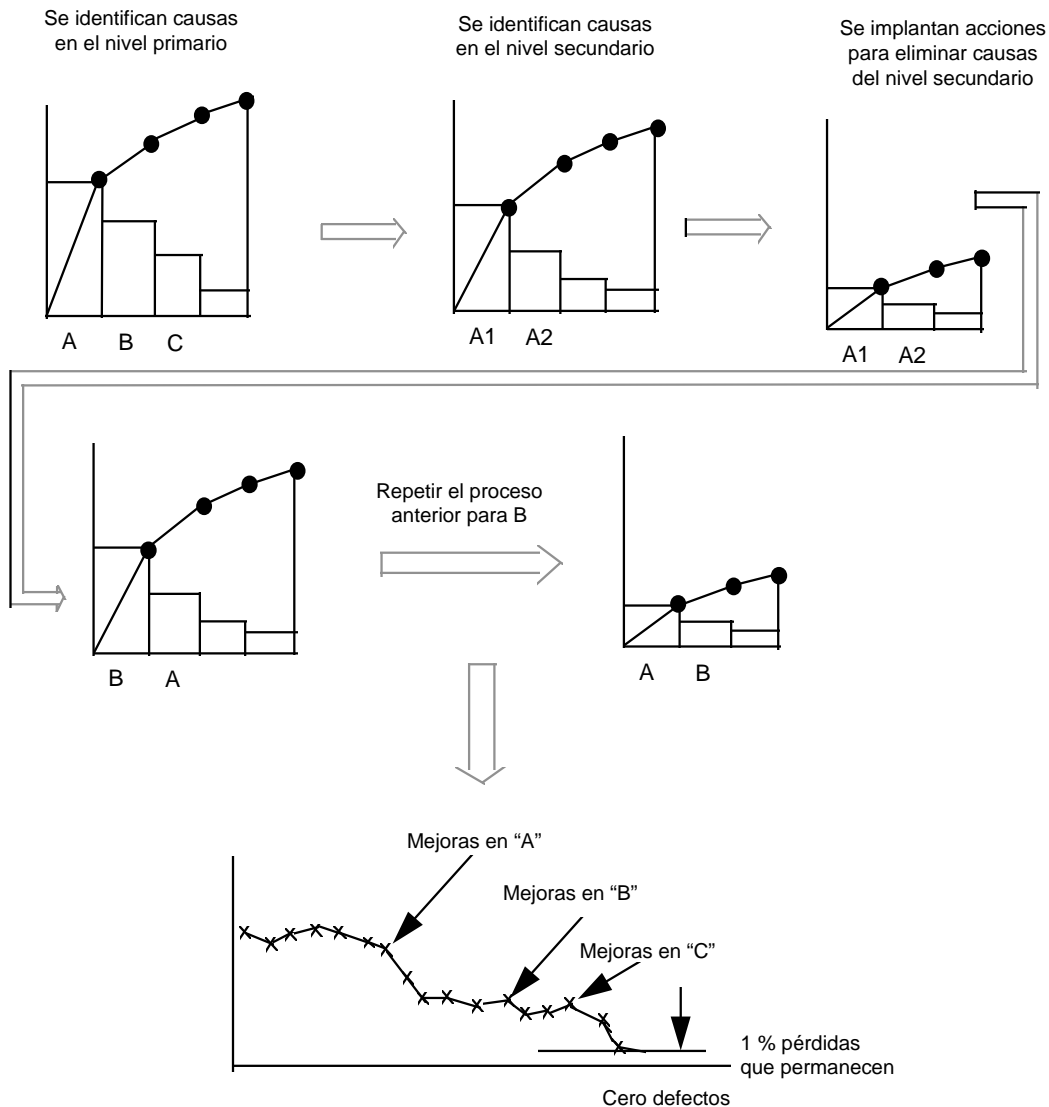
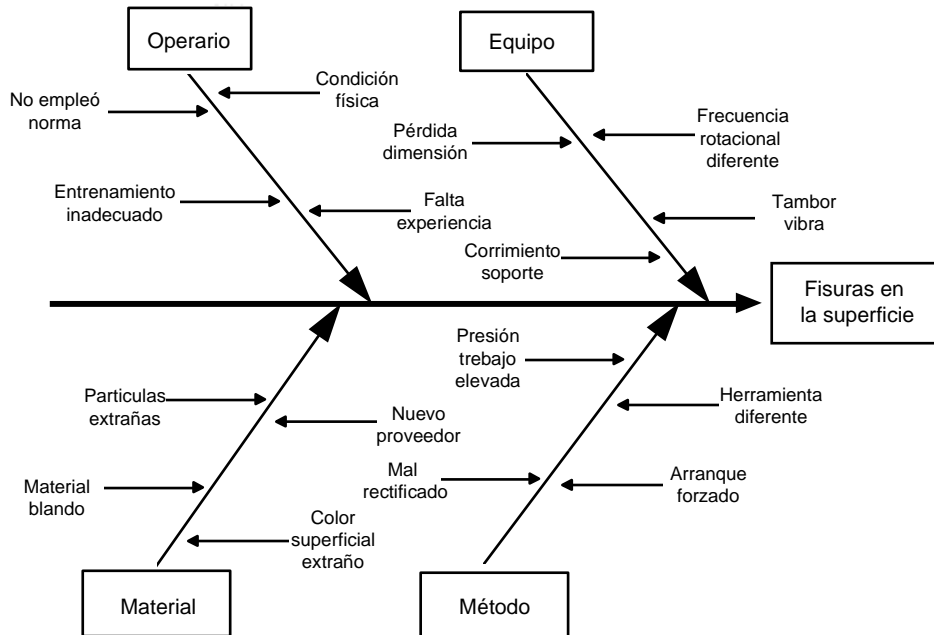


Figura 4.1. Enfoque de calidad para eliminar problemas

Este tipo de técnica es valiosa por su simplicidad, ya que requiere únicamente de una tormenta de ideas dirigida hacia las cuatro categorías del diagrama: factor humano, equipos, materias primas y método de trabajo. La dificultad puede consistir en poder priorizar del diagrama los factores más significativos o de mayor aporte al problema. Para obtener una conclusión del diagrama de Causa y Efecto se requiere de una gran experiencia y conocimiento profundo del equipo.



Equipo: rectificadora x-34s Fecha análisis: Julio 22 de 1987 Grupo: mantenimiento mecánico

Figura 4.2 Análisis de averías empleando el diagrama de Causa y Efecto

Cuando se pretende llegar a los niveles mínimos de pérdida, el diagrama de Causa y Efecto no es lo suficientemente potente debido a que quedan algunas posibles causas “triviales” sin solución. Para su eliminación se debe acudir a metodologías complementarias nacidas en el mantenimiento industrial como son el Método PM y la técnica Porqué-Porqué para identificar y estudiar la mayor cantidad de factores causales que puedan producir la avería que se estudia.

Métodos de calidad empleados para el análisis de averías

A continuación se estudian algunas de las técnicas de calidad más utilizadas en el análisis de averías de equipos:

Estratificación de información

Esta es quizás la técnica más importante en el análisis de un problema y en especial cuando se trata de problemas crónicos. La estratificación consiste en buscar "más información a la información", es como el detective que necesita buscar los indicios o pruebas (a partir de datos). Hay que escudriñar los datos para lograr solucionar el problema en forma definitiva.

Es un método de análisis de datos que permite clasificarlos teniendo en cuenta algunos factores que pueden afectarlos. Por lo general los factores que permiten clasificar la información son de tipo cualitativo como: tipo de producto, materias primas, operario, cliente, proveedor, procedencia, etc. La estratificación permite encontrar causas no tenidas en cuenta u ocultas en el proceso o en el estudio de un problema.

El proceso seguido en la estratificación se apoya en la construcción de varios diagramas de Pareto siguiendo diferentes criterios de clasificación; por ejemplo, clasificar las averías por tipo de turno, producto, materias primas puede conducir a conclusiones que no se esperaban. Es posible que un cierto día de la semana sea el más propicio para la presencia de averías. Existen ciertas averías que se presentan con mayor frecuencia en una determinada referencia de producto. El automatismo de empaque falla con más frecuencia con cierto proveedor de cajas de cartón, etc.

La estratificación ayuda a identificar el problema de una planta o equipo, ya que facilita la concentración en aquellas causas que son las de mayor impacto. Por este motivo, se recomienda emplear el principio de Pareto para identificar los factores que contribuyen a incrementar la frecuencia de la avería o su duración.

La siguiente lista presenta los criterios más frecuentes empleados para la realización de la estratificación de la información de averías. Esta lista no pretende ser exhaustiva.

- Tipo de máquina. Si la empresa posee diferentes marcas de equipos, es seguro que se puede realizar una clasificación tipo Pareto sobre la marca que más averías presenta.
- Sitio donde se encuentra la máquina. En ciertos lugares de la planta afectan el funcionamiento de los equipos, por ejemplo, calor, contaminación, humedad, polvo, etc.
- Tipo de materias primas. Si el equipo procesa diferentes tipos de materias primas, cierta clase de ellas producen más problemas a los elementos internos que otras.
- Día de la semana. Determinados días son más propensos a presentar averías por diversos motivos. El inicio de la operación, primer día de la semana, fin de semana o la proximidad a eventos especiales.
- Hora del día. Es frecuente que los equipos experimenten dificultades adicionales en ciertas horas del día. Ciertos controles no trabajan adecuadamente durante la noche en zonas donde la temperatura ambiente desciende apreciablemente.
- Operario. Algunas estadísticas tomadas de empresas que fabrican productos de consumo indican que aproximadamente el 65 % de las órdenes de trabajo que llegan a mantenimiento se deben a mala operación del equipo. Podríamos identificar con una estratificación cuál es el operario que



más problemas tiene para operar correctamente el equipo y ayudarlo a mejorar su método de trabajo.

- Tipo de producto o referencia de este. En un cierto proceso de envasado de producto en botellas se presentan un número mayor de averías con cierto tamaño o presentación del producto. La estratificación nos ayudará a identificar el tipo de producto más crítico, para posteriormente buscar sus causas.
- Zonas del equipo. En determinadas zonas del equipo se pueden encontrar concentrados los problemas. Por ejemplo, la ubicación de fugas en un reactor de un cierto producto químico. Al estratificar la ubicación se encontrará que existe una clase de fuga que se presenta con mayor frecuencia en determinado sitio.

Diagrama de Pareto

Frecuentemente el personal técnico de mantenimiento y producción debe enfrentarse a problemas que tienen varias causas o son la suma de varios problemas. El Diagrama de Pareto permite seleccionar por orden de importancia y magnitud la causa o problema que se debe investigar hasta llegar a conclusiones que permitan eliminar de raíz la causa.

La mayoría de los problemas son producidos por un número pequeño de causas, y estas son las que nos interesan descubrir y eliminar para lograr un gran efecto de mejora. A estas pocas causas que son las responsables de la mayor parte del problema se les conoce como **causas vitales**. Las causas que no aportan en magnitud o en valor al problema, se les conoce como las **causas triviales**.

Las causas triviales aunque no aportan un valor a la mejora, no significan que se deban descuidar. Se trata de eliminar en forma progresiva las causas vitales. Una vez eliminadas estas, es posible que las causas triviales se transformen en vitales.

El Diagrama de Pareto es un instrumento que permite graficar de acuerdo al grado de importancia, la contribución de las causas que se analizan o el conjunto de problemas que se pretende estudiar. Se trata de clasificar los problemas y/o causas en vitales y triviales (Figura 4.3). Para construir el diagrama de Pareto se pueden seguir los siguientes pasos:

Paso 1

En el primer paso se decide el tipo de problema que se pretende investigar. Se define el cubrimiento del análisis; por ejemplo, si se realiza en una máquina completa, en una línea de producción o a un sistema de un determinado equipo. Se decide que datos son necesarios y la forma como se deben clasificar. Este punto es fundamental, ya que se pretende preparar la información que ayude a la preparación de la estratificación.

Paso 2

Preparar una hoja de recogida de datos. Si la empresa posee un programa informático para la gestión de los datos, se debe preparar un plan para realizar las búsquedas correspondientes y la forma como se va a clasificar la información.

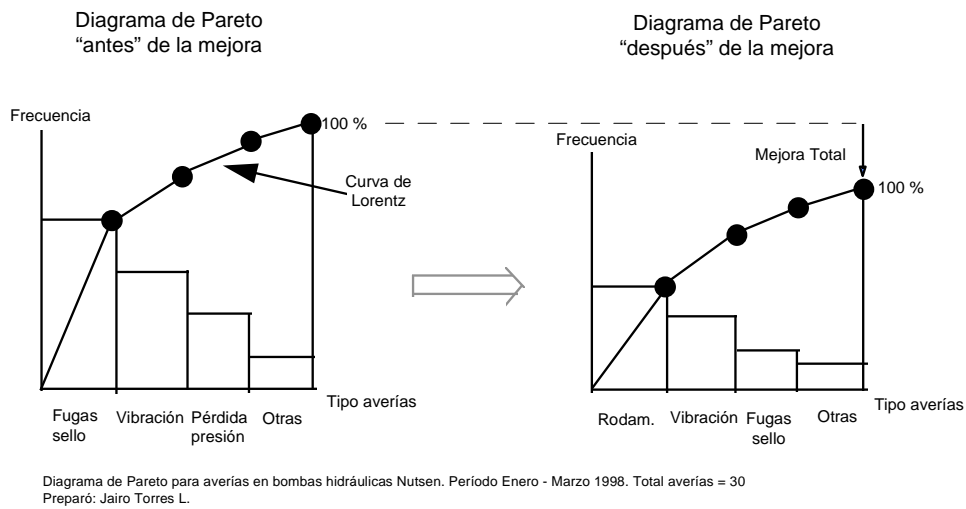


Figura 4.3. Diagrama de Pareto comparativo antes y después de la mejora

Paso 3

Clasificar de acuerdo a su magnitud la información obtenida. Se recomienda indicar con letras (A,B,C,...) los temas que se han ordenado de mayor a menor.

Paso 4

Dibujar dos ejes verticales (izquierdo y derecho) y otro horizontal.

(1) Eje vertical.

- En el eje vertical a la izquierda se marca una escala desde 0 hasta el valor total acumulado.



- En el eje vertical de la derecha se marca una escala desde 0 hasta 100%. El total acumulado corresponderá al 100 %.

(2) Eje horizontal.

Se divide este eje en un número de intervalos de acuerdo al número de clasificaciones que se pretenden realizar. Es allí donde se escribirá el tipo de avería que se ha presentado en el equipo que se estudia.

Paso 5

Construir el diagrama de barras de acuerdo a la clasificación ordenada realizada previamente con los datos.

Paso 6

Marcar con un punto los porcentajes acumulados y unirlos desde cero con líneas rectas. Se obtiene una curva acumulada conocida como la curva de Lorentz.

Paso 7

Escribir notas de información complementaria del diagrama: título, unidades, nombre de la persona que elaboró el diagrama, período comprendido y número total del datos.

Un Diagrama de Pareto es el primer paso para eliminar las averías importantes del equipo. En un análisis de Pareto los siguientes aspectos se deben tener en cuenta:

- Toda persona involucrada deberá colaborar activamente
- Se debe concentrar el estudio en la variable que mayor impacto tenga en el resultado
- Establecer una meta para la mejora

Con la cooperación de todos se podrán obtener excelentes resultados. Uno de los objetivos del Diagrama de Pareto es el de mostrar a todas las personas, que existen temas prioritarios sobre los que es necesario concentrar el esfuerzo creativo del equipo de estudio.

El Diagrama de Pareto presenta claramente la magnitud relativa de los problemas y suministra a los técnicos una base de conocimiento para los posteriores trabajos. Una sola mirada al diagrama basta para identificar cuales son las temas del diagrama que componen el mayor porcentaje del problema.



La experiencia demuestra que del diagrama de Pareto, es más fácil reducir a la mitad una variable de alto valor, que reducir a cero una variable de bajo impacto.

Diagrama de Causa y Efecto

Cuando se ha identificado el problema a estudiar, es necesario buscar las causas que producen la situación anormal. Cualquier problema por complejo que sea, es producido por factores causales que pueden contribuir en una mayor o menor proporción. Estos factores pueden estar relacionados entre sí. El Diagrama de Causa y Efecto es un instrumento eficaz para el análisis de las diferentes causas que producen el problema. Su ventaja consiste en el poder visualizar las diferentes cadenas Causa y Efecto, que pueden estar presentes en un problema, facilitando los estudios posteriores de evaluación del grado de aporte de cada una de estas causas.

Cuando se estudian problemas de averías en equipos, estas pueden ser atribuidas a múltiples factores. Cada uno de uno de los factores causales pueden contribuir positiva o negativamente al resultado. Sin embargo, algún de estos factores pueden contribuir en mayor proporción, siendo necesario recoger la mayor cantidad de causas para comprobar el grado de aporte de cada uno e identificar los que afectan en mayor proporción. Para resolver esta clase de problemas, es necesario disponer de un mecanismo que permita observar la totalidad de relaciones causa-efecto.

Un Diagrama de Causa y Efecto facilita recoger las numerosas opiniones expresadas por el equipo sobre las posibles causas que generan el problema. Se trata de una técnica que estimula la participación e incrementa el conocimiento de los participantes sobre el proceso que se estudia.

Construcción del diagrama de Causa y Efecto.

Esta técnica fue desarrollada por el Doctor Kaoru Ishikawa en 1953 cuando se encontraba trabajando con un grupo de ingenieros de la firma Kawasaki Steel Works. El resumen del trabajo lo presentó en un primer diagrama, al que le dio el nombre de Diagrama de Causa y Efecto. Su aplicación se incrementó y llegó a ser muy popular a través de la revista Gemba To QC (Control de Calidad para Supervisores) publicada por la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses (JUSE). Debido a su forma se le conoce como el diagrama de Espina de Pescado. El reconocido experto en calidad Dr. J.M. Juran publicó en su conocido Manual de Control de Calidad esta técnica dándole el nombre de Diagrama de Ishikawa.

El Diagrama de Causa y Efecto es un gráfico (Figura 4.4) con la siguiente información:

- El problema que se pretende diagnosticar
- Las causas que posiblemente producen la situación que se estudia.
- Un eje horizontal conocido como espina central o línea principal.
- El tema central que se estudia se ubica en uno de los extremos del eje horizontal. Este tema se sugiere encerrarse con un rectángulo. Es frecuente que este rectángulo se dibuje en el extremo derecho de la espina central.
- Líneas o flechas inclinadas que llegan al eje principal. Estas representan los grupos de causas primarias en que se clasifican las posibles causas del problema en estudio.
- A las flechas inclinadas o causas primarias llegan otras de menor tamaño que representan las causas que afectan a cada una de las causas primarias. Estas se conocen como causas secundarias.
- El Diagrama de Causa y Efecto debe llevar información complementaria que lo identifique. La información que se registra con mayor frecuencia es la siguiente: título, fecha de realización, área de la empresa, integrantes del equipo de estudio, etc.

Buena parte del éxito en la solución de un problema está en la correcta elaboración del Diagrama de Causa y Efecto. Cuando un equipo trabaja en el diagnóstico de un problema y se encuentra en la fase de búsqueda de las causas, seguramente ya cuenta con un diagrama de Pareto. Este diagrama ha sido construido por el equipo para identificar las diferentes características prioritarias que se van a considerar en el estudio de causa-efecto. Este es el punto de partida en la construcción del Diagrama de Causa y Efecto.

Para una correcta construcción del Diagrama de Causa y Efecto se recomienda seguir un proceso ordenado, con la participación del mayor número de personas involucradas en el tema de estudio.

El Doctor Kaoru Ishikawa sugiere la siguiente clasificación para las causas primarias. Esta clasificación es la más ampliamente difundida y se emplea preferiblemente para analizar problemas de procesos y averías de equipos; pero pueden existir otras alternativas para clasificar las causas principales, dependiendo de las características del problema que se estudia.

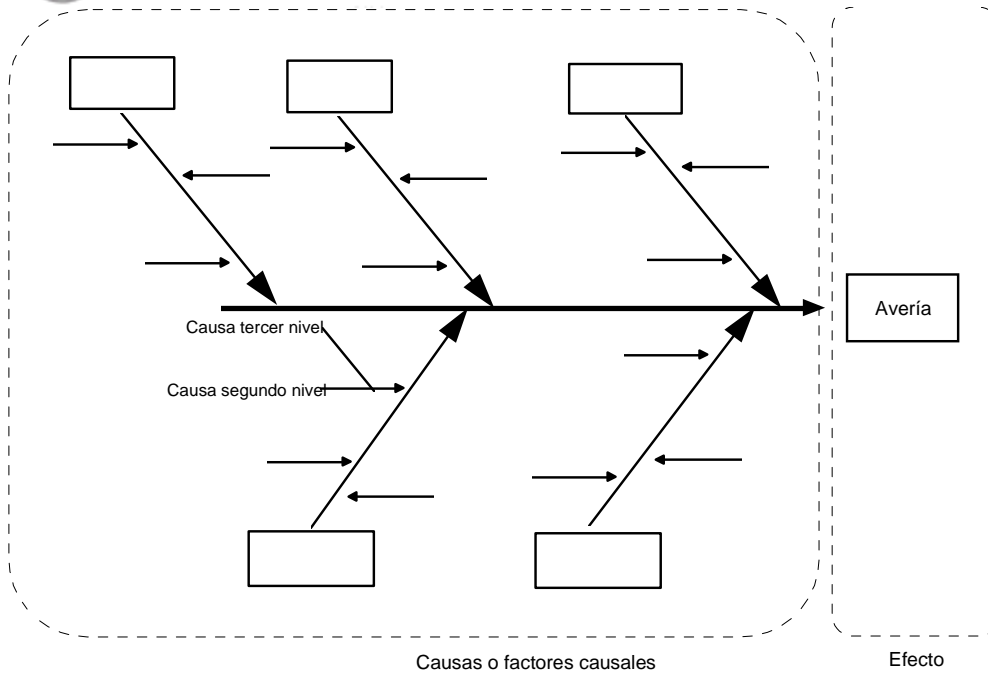


Figura 4.4. Estructura de un diagrama de Causa y Efecto.

Causas debidas a la materia prima

Se tienen en cuenta las causas que generan el problema desde el punto de vista de las materias primas empleadas para la elaboración de un producto. Por ejemplo: causas debidas a la variación del contenido mineral, pH, tipo de materia prima, proveedor, empaque, transporte etc. Estos factores causales pueden hacer que se presente con mayor severidad una cierta avería ene un equipo.

Causas debidas a los equipos

En esta clase de causas se agrupan aquellas relacionadas con el proceso de transformación de las materias primas. Por ejemplo: máquinas y herramientas empleadas, efecto de las acciones de mantenimiento, obsolescencia de los equipos, cantidad de herramientas, distribución física de estos, problemas de operación, eficiencia, etc.

Causas debidas al método

Se registran en esta espina las causas relacionadas con la forma de operar el equipo y el método de trabajo. Son numerosas las averías producidas por estrelladas de los equipos, deficiente operación y falta de cumplimiento de los estándares de capacidades máximas.

Causas debidas al factor humano

En este grupo se incluyen los factores que pueden generar el problema desde el punto de vista del factor humano. Por ejemplo, falta de experiencia del personal, salario, grado de entrenamiento, creatividad, motivación, pericia, habilidad, estado de ánimo, etc.

Debido a que no en todos los problemas se pueden aplicar las anteriores clases, se sugiere buscar otras alternativas para identificar los grupos de causas principales.

De la experiencia se ha visto la necesidad de adicionar las siguientes causas primarias:

- Causas debidas al entorno. Se incluye en este grupo aquellas causas que pueden venir de factores externos como contaminación, temperatura del medio ambiente, altura de la ciudad, humedad, ambiente laboral, etc.
- Causas debidas a las mediciones y metrología. Frecuentemente en los procesos industriales los problemas de los sistemas de medición pueden ocasionar pérdidas importantes en la eficiencia de una planta. Es recomendable crear un nuevo grupo de causas primarias para poderlas incluir en el diagrama. Por ejemplo: falta de calibración en equipos, fallos en instrumentos de medida, errores en lecturas, deficiencias en los sistemas de comunicación de los sensores, fallos en los circuitos amplificadores, etc.

El animador de la reunión es el encargado de registrar las ideas aportadas por los participantes. Es importante que el equipo se ponga de acuerdo sobre cual espina se debe registrar la idea aportada. Si se presenta discusión, es necesario llegar a un acuerdo sobre donde ubicar la idea. En situaciones en las que es difícil llegar a un acuerdo y para mejorar la comprensión del problema, se pueden registrar una misma idea en dos espinas principales. Sin embargo, se debe dejar esta posibilidad solamente para casos extremos.

Interpretación del Diagrama de Causa y Efecto.

En este paso se deben leer y obtener las conclusiones de la información recogida. Para una correcta utilización es necesario asignar el grado de importancia a cada factor y marcar los factores de particular importancia que tienen un gran efecto sobre el problema. Este paso es importante dentro de la metodología de la calidad, ya que se trata de un verdadero diagnóstico del problema. Para identificar las causas más importantes se pueden emplear los siguientes métodos:

Diagnóstico con información cualitativa

Cuando se dispone en un Diagrama de Causa y Efecto numerosa información cualitativa, opiniones o frases, es el caso de causas relacionadas con la motivación del personal, falta de capacitación, sentido de pertenencia y otras causas difícilmente cuantificables, es necesario procesar esta información a través de técnicas especiales como los Diagramas de Afinidad y Relaciones. Esta clase de técnicas facilitan el proceso de información verbal y permiten lograr una clasificación de las posibles causas del problema. Estas técnicas se estudian posteriormente.

Diagnóstico cuantitativo

Cuando el Diagrama de Causa y Efecto contiene causas que son cuantificables y para las cuales podemos tener facilidad de recolección de datos, se recomienda realizar una evaluación del grado de contribución de cada una de las posibles causas al efecto. Esta clase de estudios se realizan empleando procedimientos estadísticos simples como Diagramas de Dispersión y Papel Binomial. Este tipo de metodologías se pueden consultar en un manual especializado de estadística para la calidad.

Estas técnicas permiten evaluar en una forma fácil el grado de contribución de cada causa al efecto. Con los diferentes grados de contribución obtenidos a través del Papel Binomial y expresados en porcentaje (%), se puede construir un Diagrama de Pareto para identificar la causa que más contribuye al problema.

Diagrama de Afinidad

El Diagrama de afinidad es una técnica que permite procesar información cualitativa obtenida a partir de opiniones de las personas involucradas en un tema de estudio, ideas, sugerencias y problemas en general que son expresados en forma verbal.

Con esta técnica se puede llegar a una conclusión mediante la organización de las opiniones o experiencias generadas durante la conversación del grupo, simplemente buscando la relación natural existente entre estas ideas.

Esta técnica permite clarificar la importancia del problema, pero no lo resuelve; simplemente permite comprender la naturaleza, forma y extensión del problema. Esta técnica es una de las más importantes para el desarrollo del conocimiento y aprendizaje organizacional, por la posibilidad de analizar las diferentes relaciones existentes entre las variables que componen el problema.

El Diagrama de Afinidad fue desarrollado inicialmente en 1960 por el antropólogo japonés, Jiro Kawakita, quien a partir de la técnica estadística denominada análisis *cluster*, derivó esta técnica que denominó como método KJ.

El Diagrama de Afinidad o el método KJ es la suma de dos procesos: un proceso creativo y otro lógico que permite organizar efectivamente las ideas generadas. Usando esta técnica es posible producir y organizar hasta 100 ideas y opiniones en un período entre 40 a 50 minutos. Permite eliminar las largas y tediosas sesiones de análisis en las cuales las ideas se pierden y no son tenidas en cuenta.

Estimula la participación real de todas las personas del grupo y considera todos los aportes de las personas por fantásticos que sean. Promueve el trabajo en equipo mediante procesos creativos y facilita manejar gran cantidad de información desordenada y confusa.

Para la construcción del Diagrama de Afinidad se sugieren los siguientes pasos:

Paso 1. Definir el tema a estudiar.

En esta fase se propone el tema de estudio, se presentan las estadísticas sobre el comportamiento del problema, se revisa el diagrama de flujo del proceso y la información de los equipos. Se realiza un breve diálogo sobre la forma como se presentó la avería y algunos elementos clave detectados en el sitio donde está ubicado el equipo.

Paso 2. Recoger información verbal.

Una vez evaluada la situación actual del problema, los participantes proceden a generar ideas sobre sus posibles causas. Las ideas aportadas son registradas por escrito en dos formas:

1. Escribiendo en un cuadernillo y luego transcribiéndolas a tarjetas.
2. Escribiendo cada persona sus ideas directamente sobre las tarjetas. Se sugiere emplear tarjetas tipo Post-it (marca registrada de 3M) para facilitar su movimiento continuo de clasificación.

En ambos casos se aconseja anotar una idea por tarjeta con letra legible y grande. Las ideas deben ser frases completas y concretas para facilitar su proceso. Deben contener un verbo y su respectivo complemento. Se deben evitar opiniones muy generales como: recambios de mala calidad, problema de coste, problemas de productividad, faltan personas que realicen el mantenimiento preventivo, problemas de reparación, motivación, etc. Esta clase de opiniones posiblemente sean válidas, pero dificultan la clasificación debido a que son muy generales.

Paso 3. Crear el “caos de ideas”.

Una vez se han apuntado la totalidad de ideas en las tarjetas, se recogen estas y se mezclan. A continuación se pegan en la pizarra o en un tablero en forma aleatoria sin descartar ninguna. Este proceso el profesor Kawakita lo define como crear un “caos de ideas”. Si se observa que hay alguna tarjeta con una idea muy larga o poco legible, se le solicita a la persona que la escribió que la resuma o la mejore.

Paso 4. Clasificación de ideas.

Una vez recogidas las tarjetas se procede a agruparlas por temas afines. En este proceso pueden participar todos los integrantes del equipo o se puede nombrar un grupo reducido de personas para que realice la agrupación.

El proceso de agrupación es el siguiente:

- Se toma alguna tarjeta en forma aleatoria y se ubica en un cierto espacio libre en el tablero o pizarra.
- Se buscan las tarjetas que estén relacionadas con la anterior (sean afines) colocándolas al lado de ellas. Este proceso se repite hasta encontrar todas las relacionadas en un grupo. Evite construir varios grupos de tarjetas afines al mismo tiempo. Se recomienda no iniciar un nuevo grupo con ideas afines, hasta que se esté seguro que se han clasificados las tarjetas correspondientes al grupo anterior.

- Lo anterior se repite hasta que todas las tarjetas estén en algún grupo. Es posible encontrar tarjetas que no pueden ser ubicadas, estas solas podrán formar cada una de ellas un grupo independiente.

Se debe evitar establecer previamente los temas en que se van a agrupar las tarjetas. Prevenga la siguiente práctica: "busquemos todas las tarjetas que tienen que ver con el motor y luego las que tienen que ver con el operador". Recuerde que el tema de cada grupo se establece en forma aleatoria, tomando una tarjeta al azar del tablero donde se encuentran todas las tarjetas reunidas.

Paso 5. Establecer títulos a los grupos afines.

Una vez clasificadas las tarjetas por temas, es necesario darle un nombre a cada grupo. Se sugiere buscar un título que resuma o contenga las ideas de todas las tarjetas agrupadas en el tema afín. Esta tarjeta se ubica en la parte superior del grupo.

Se aconseja que esta tarjeta esté escrita en forma simple y en lo posible con un verbo en infinitivo. Cada grupo con tarjetas afines se encierra con una línea continua y en la parte superior se pega la tarjeta con el título establecido como lo muestra la Figura 4.5. Los grupos que tienen relaciones entre sí se pueden ubicar cerca para facilitar las relaciones posteriores.

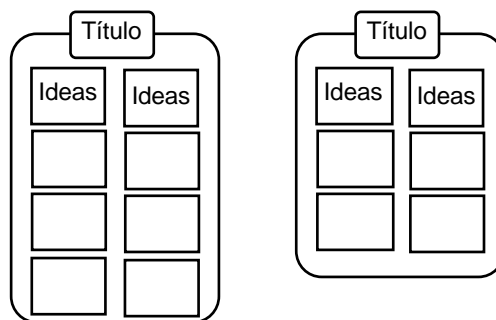


Figura 4.5 Grupos afines

Para establecer el título es necesario leer en voz alta cada tarjeta agrupada. El equipo reunido debe decidir si esta tarjeta pertenece o no al grupo afín. Este es el momento de revisar si es correcta la clasificación. Si la tarjeta no corresponde al tema, se debe retirar y se analiza si corresponde mejor a otro grupo o finalmente si no se encuentra uno, se procede a crear un nuevo grupo.

La presentación final del Diagrama de Afinidad es la mostrada en la Figura 4.6. Este Diagrama es el punto de partida para posteriores análisis

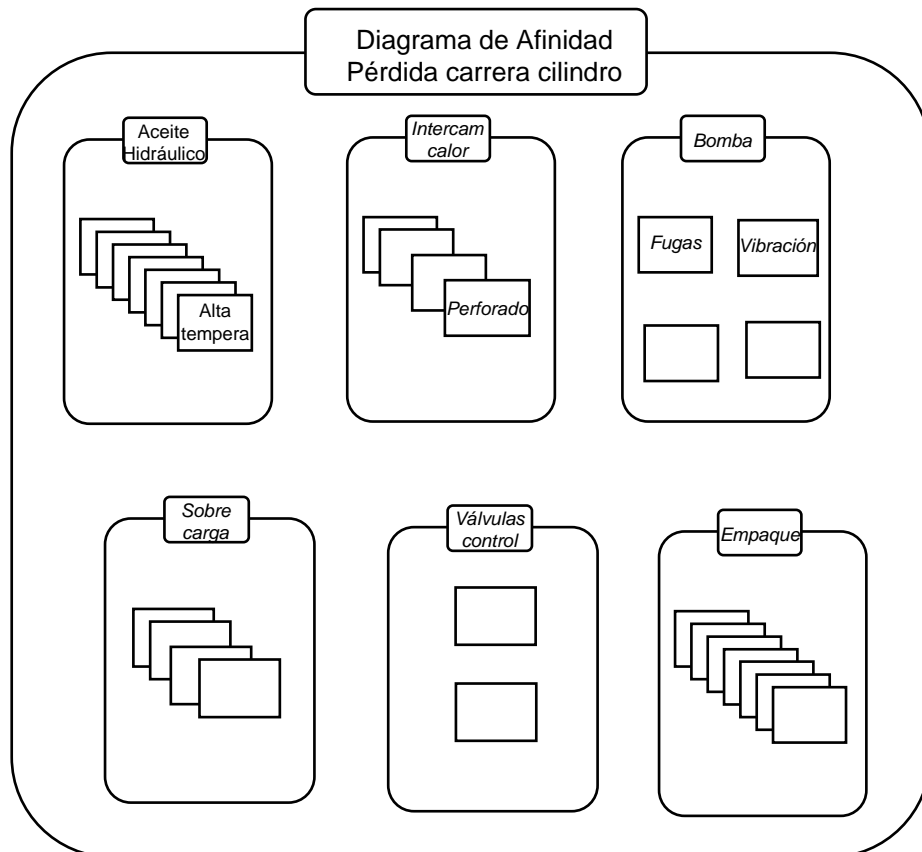


Figura 4.6 Diagrama de Afinidad

Cuándo usarlo

Se aconseja usar el Diagrama de Afinidad en las siguientes situaciones:

- Cuando las opiniones parecen ser numerosas o complejas para comprenderlas. El Diagrama de Afinidad permite construir una radiografía de la situación en estudio, facilitando la discusión y la toma de decisiones.
- Cuando se requiere un cambio importante y salir de las soluciones tradicionales. Esta técnica permite ampliar el pensamiento del equipo e identificar nuevos enfoques de ver el problema. Es una verdadera técnica de diálogo y aprendizaje organizacional.



- Cuando es necesario sustentar o justificar una solución, especialmente cuando existe escepticismo por parte de la dirección. La experiencia indica que esta técnica es útil para hacer efectiva la participación del personal en los diferentes niveles de la empresa.
- Se puede emplear para procesar la información cualitativa obtenida en investigaciones de campo sobre problemas técnicos o de equipos. Las opiniones de las personas consultadas se agrupan en temas afines para su posterior tratamiento de priorización.

Recomendaciones para su práctica

Durante el proceso de construcción se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Evite escribir ideas generales.
- No se deben descartar ideas por fantásticas que sean. Estas pueden ser muy útiles.
- No existe límite en el número de ideas por persona.
- Utilice un verbo y adjetivo calificativo para concretar la idea.
- Seleccione el tema afín en forma aleatoria. Evite agrupar por temas previamente establecidos.
- Evite títulos muy generales, esto conduce a la pérdida de información.
- Evite los grupos con numerosas tarjetas. Si en un solo grupo se encuentra más del 20% de las tarjetas del total, se debe estar seguro que todas las tarjetas corresponden a este grupo. Se debe sospechar de esta clasificación realizada. Se recomienda revisar cada tarjeta nuevamente para verificar si realmente corresponde al grupo.
- Evite tener muy pocos grupos (3, 4 ó 5).
- Aproveche la lectura de cada grupo de tarjetas en el momento de definir el título, para verificar que se encuentran solamente ideas afines.
- Establezca un título concreto.
- Encierre las tarjetas afines en un rectángulo y ubique un título en la parte superior
- Es posible incorporar una nueva tarjeta en cualquiera de fase del desarrollo de esta técnica.

Diagrama de Relaciones

El Diagrama de Relaciones es una técnica que permite entender las relaciones causa-efecto existentes entre los diferentes factores causales de un problema. Este diagrama es conocido con el nombre de diagrama de interrelaciones.

Cuando un equipo de estudio se encuentra ante un problema complejo, en los que no es fácil disponer de datos cuantitativos y se requiere probar el grado de contribución de las causas a un problema, es necesario emplear esta potente técnica ya que permite observar las relaciones entre causas en un



mapa completo. Algunos expertos japoneses definen esta técnica como el “Diagrama de Causa Efecto multidireccional”.

El diagrama de relaciones es un excelente instrumento para el aprendizaje organizacional y desarrollo de habilidades de pensamiento sistémico, ya que permite adquirir un conocimiento profundo de las diferentes variables que intervienen en el problema y la forma como interactúan entre ellas.

Esta técnica se puede aplicar cuando:

- un problema es complejo y existe dependencia entre las diferentes causas.
- se ha percibido que el tema en estudio no es una causa sino un síntoma. Se cree que existe una causa raíz que no ha sido identificada.
- existen numerosas opiniones verbales sobre el tema y es necesario priorizar estos aportes.

Construcción

Para construir un Diagrama de Relaciones se aconseja seguir los siguientes pasos:

Paso 1. Construcción del Diagrama de Afinidad.

El punto de partida es la elaboración de un Diagrama de Afinidad sobre el tema de estudio. Los títulos de cada grupo de ideas se transforman en las diferentes variables que se analizarán a través del Diagrama de Relaciones.

El equipo decide si se emplea la totalidad de títulos o escoge las tarjetas que consideran que son las más críticas para el análisis. Es posible tomar tarjetas de ideas directamente de la lluvia inicial y diferentes a los títulos. Esto depende del criterio y experiencia del equipo.

Paso 2. Preparación del diagrama de afinidad

Se recomienda pegar las tarjetas seleccionadas para el análisis en un tablero o mesa. Se distribuyen de tal forma que facilite el trazado de líneas rectas entre los diferentes títulos seleccionados. Es habitual que los practicantes de esta técnica distribuyan en forma circular las tarjetas Figura 4.7. Si no se cuenta con tarjetas o Post-it se puede elaborar este diagrama escribiendo en el tablero las ideas a relacionar.

Es conviene seleccionar un número de tarjetas entre 7 a 14 ya que cuando se dispone de numerosas tarjetas, el trabajo del equipo tomará un buen tiempo y las relaciones se hacen complejas para su estudio. Si el número es reducido, se dificulta priorizar las causas del problema que se analiza.

Paso 3.

Una vez que las tarjetas se han seleccionado y distribuido se inicia la comparación entre títulos en una secuencia lógica entre ellas.

Las preguntas que se pueden realizar para verificar la existencia de relación entre cada pareja de tarjetas son:

¿Existe relación causa efecto entre los dos títulos?
¿Si es así, cuál es la causa y cuál el efecto?

Estas preguntas se repiten durante la comparación de todas las tarjetas entre sí, pero siempre en parejas. Se debe tener el cuidado de realizar la totalidad de comparaciones.

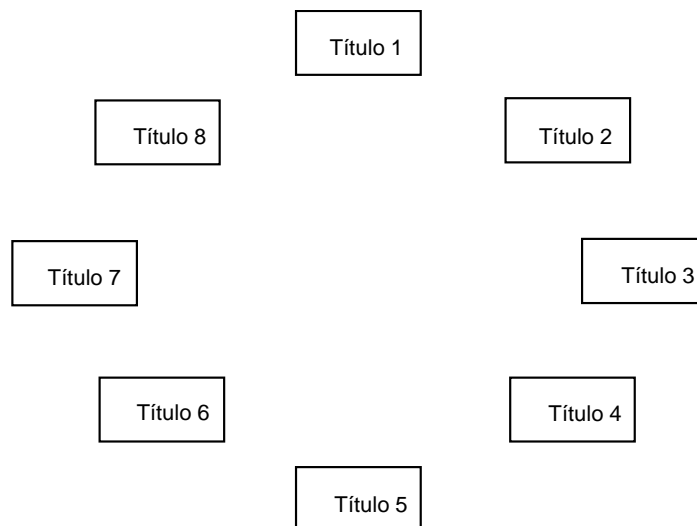


Figura 4.7 Preparación del Diagrama de Afinidad

Si existe una relación causa efecto entre una pareja de tarjetas, se trazará una flecha que sale de la tarjeta considerada como causa y llegará a la tarjeta efecto.

Existe entre cada pareja de tarjetas la posibilidad de trazar solamente una flecha. Hay que tener en cuenta que si la tarjeta A tiene una relación causa-efecto con la tarjeta B (existe una flecha dirigida de A a B) no deberá existir una relación causa-efecto inversa de la tarjeta B a la tarjeta A; pero puede existir esta posibilidad mediante otra (s) tarjetas en forma transitiva. Por lo tanto, en aquellas situaciones en que el equipo considere que existe una relación directa en ambos sentidos, debe decidir cual es la relación más fuerte o más habitual en la empresa o fábrica. Figura 4.8

Paso 4. Interpretación.

Se identifican las tarjetas con mayor número de flechas llegando. A estas tarjetas se les denomina efectos principales. Pueden haber una o más tarjetas con un alto número de flechas que le llegan a una tarjeta título. Figura 4.9

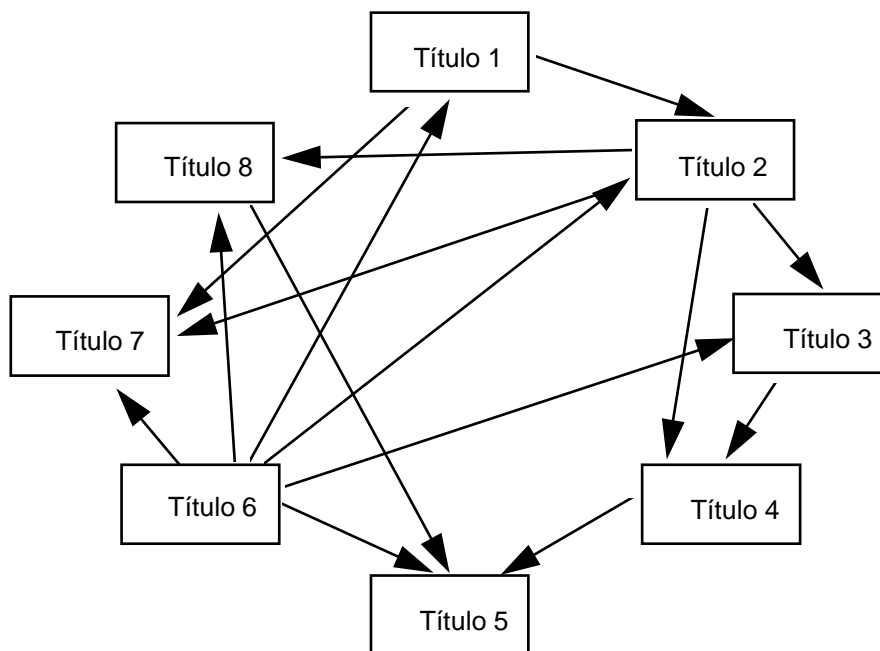


Figura 4.8 Diagrama de Relaciones completo

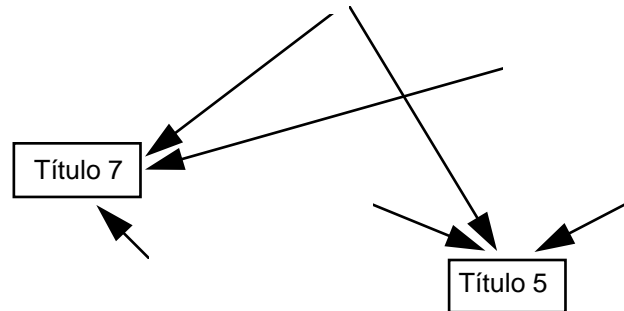


Figura 4.9 Efectos clave del problema

Se indican también la tarjeta con mayor número de flechas que salen. A esta se le llama causa central o causa clave. Ver figura 4.10. La causa clave es la que se debe más aporta al problema y sobre la que se deben formular acciones correctivas. Es posible que existan varias causas clave, pero las más interesantes para los estudios son aquellas que no dependen de ninguna otra tarjeta a las que llamaremos causas puras.

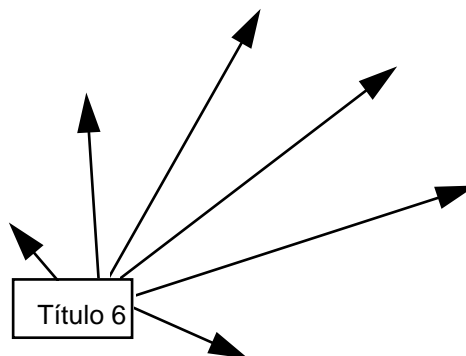


Figura. 4.10 Causa central

Es frecuente para análisis en los que intervienen un gran número de títulos, construir una tabla en la que se resume las relaciones existentes entre las distintas tarjetas. De esta forma se evita trazar numerosas flechas que dificultan la lectura. A esta matriz se le denomina de entras y salidas. Las relaciones se ubican como se muestra en la Figura 4.11.

La matriz de entradas y salidas tiene la ventaja de facilitar la construcción de Diagramas de Relaciones complejos con numerosas flechas; además, a partir de esta matriz se puede reorganizar el diagrama de relaciones para elaborar una presentación final para la dirección.

Esta matriz presenta las diferentes relaciones entre títulos. La flecha se traza saliendo del eje de las “causas” y llega a los “efectos”. Finalmente, se suman las flechas que salen de cada título (horizontal) y las que llegan (verticales). Por ejemplo: en la Figura 4.11, la causa clave es el título número 6. Los efectos clave son los títulos 5 y 7.

	Título 1	Título 2	Título 3	Título 4	Título 5	Título 6	Título 7	Título 8	Total
Título 1		↑					↑		2
Título 2			↑	↑				↑	3
Título 3				↑					1
Título 4					↑				1
Título 5									0
Título 6	↑	↑	↑		↑		↑	↑	6
Título 7									0
Título 8					↑				1
Total	1	2	2	2	3	0	2	2	

EFFECTOS

CAUSAS

Figura 4.11 Matriz de entradas y salidas

Diagrama CEDAC. (Causa Efecto con adición de cartas)

El sistema CEDAC (Cause Effect Diagram with Addition of Cards - Diagrama de Causa Efecto con Adición de Cartas), fue desarrollado por Ruiji Fukuda de la empresa Sumitomo, a quien el comité del premio Deming le otorgó el premio Nikkei por el desarrollo de este procedimiento. El CEDAC en un principio tiene similitud a el Diagrama Causa y Efecto. Sin embargo, este diagrama opera sobre una dimensión superior, ya que no solamente describe cuales son las causas de la situación que se estudia,



sino que reúne en un solo gráfico las causas y la magnitud de la contribución de estas causas. El CEDAC posee dos partes (Figura 4.12):

- Área de causas del problema que se estudia
- Área de gráficos de efectos

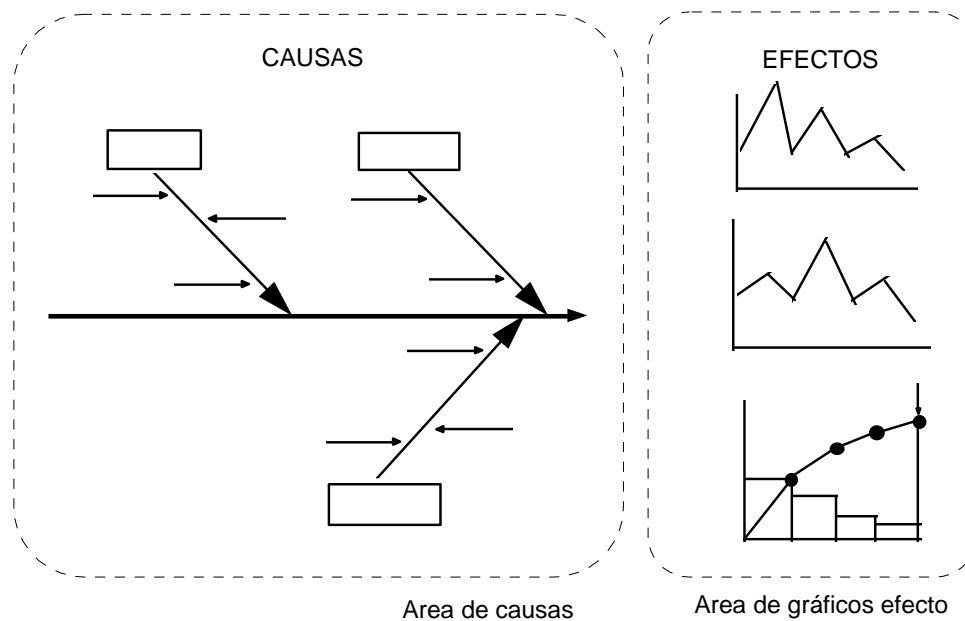


Figura 4.12. Estructura del CEDAC

En la parte derecha del Diagrama Causa y Efecto se encuentra un espacio para graficar el comportamiento de la situación que se analiza, allí se pueden graficar estadísticas, gráficos, diagramas de Pareto, etc. Estos gráficos muestran la forma como evoluciona el tema en estudio cuando se toman acciones sobre las causas.

En la parte izquierda del diagrama se registra “todo lo que sabemos y no sabemos sobre el problema” con el objeto de probar a través de la experiencia si cada factor contribuye o no. El efecto positivo o negativo de haber actuado sobre una causa se aprecia en los gráficos del extremo derecho del esquema.

La filosofía de esta técnica es diferente a la del Diagrama de Causa y Efecto. Esta técnica, aunque emplea el tradicional diagrama de espina de pescado, pretende explorar o buscar tanto factores favorables como desfavorables, logrando identificar mediante el principio de prueba y error, las causas que más contribuyen al problema que se estudia.

El CEDAC es un verdadero instrumento de gestión del conocimiento a través de la experimentación. Permite formular hipótesis sobre factores que generan el problema y posteriormente, durante el trabajo diario, se verifica si la causa que se ha seleccionado contribuye o no al problema (prueba de hipótesis). Esta forma de trabajo experimental contribuye a la acumulación de conocimientos ya que el trabajador puede evaluar directamente en la planta la validez de sus creencias o puntos de vista.

El CEDAC es un instrumento en el que cualquier persona puede aportar en tarjetas pequeñas sus opiniones y en cualquier momento. Existe un tablero expuesto permanentemente en la planta, donde se recogen estos aportes para su posterior evaluación. Esta forma de trabajo evita esperar hasta la convocatoria de una reunión para que la persona pueda exponer sus inquietudes. Adicionalmente, no se siente la presión de la reunión, se pueden expresar las ideas de una manera informal y en el momento en que se le ocurre al empleado.

El CEDAC facilita la participación y atrae la atención de todas las personas. Estimula y recoge el conocimiento de todos los involucrados. El resultado de los análisis es práctico y reduce las ideas generales que frecuentemente se aportan en el Diagrama Causa y Efecto tradicional. Permite realizar inspección directa si la causa aportada tiene o no impacto en el efecto o en el gráfico del extremo derecho del diagrama. El CEDAC favorece la integración entre el proceso de análisis y la acción. Este es posiblemente el punto más útil del CEDAC en la dirección de planta, ya que permite gestionar las actividades en forma diaria evaluando el progreso en tiempo real .

El empleo de tarjetas facilita la clasificación de los aportes y la revisión de las ideas. Se puede corregir una idea con una nueva tarjeta que se pega sobre la anterior si nuestro parecer ha cambiado. Esto hace del CEDAC un instrumento dinámico, que ante otras técnicas, lo hacen superior para el análisis de problemas complejos. El CEDAC estimula la investigación tanto de problemas como de situaciones deseables. Con esta clase de información y el análisis sistemático de los hechos, se puede conocer con mayor profundidad los procesos que producen las averías.

Ruiji Fukuda creador del método CEDAC sugiere los siguientes pasos para su utilización efectiva:

Paso 1. Definir el tema que se va a diagnosticar

Seleccionar el problema que se desea eliminar y especificar un objetivo a alcanzar.

Paso 2. Preparar el tablero CEDAC

Escribir “todo” el conocimiento posible que tenemos sobre el proceso que se investiga sobre un diagrama. Se puede construir un diagrama de espina de pescado. Sin embargo Fukuda no restringe la

posibilidad de utilizar un esquema del equipo, plano, dibujo o fotografía del equipo o componente sobre el que se trazarán las flechas de posibles factores causales del problema. Esto lo hace muy práctico, ya que al emplear esquemas o diagramas de la máquina, el grupo de análisis aprende más sobre el equipo y puede aportar ideas más específicas y detalladas sobre la causa del problema. (Figura 4.13)

Este tipo de trabajo exige un entrenamiento previo para leer el plano o diagrama del equipo. Algunas empresas utilizan los esquemas del equipo por tipo de sistemas: hidráulico, lubricación, térmico, eléctrico, etc., con el fin de estudiar las averías muy en detalle por clase de sistema.

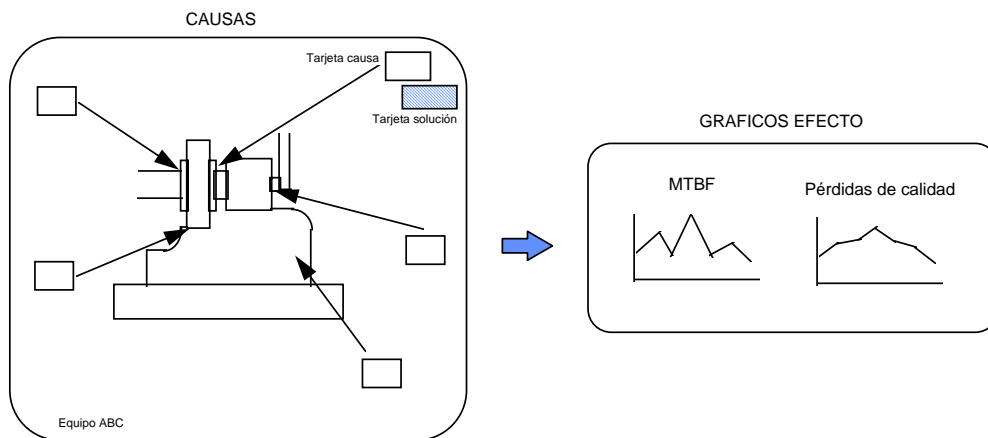


Figura 4.13 Diagrama CEDAC para el análisis de averías de equipo

Sobre el tablero CEDAC se escriben en tarjetas pequeñas cada uno de los conocimientos que se tiene o no sobre las posibles causas del problema. A partir de esta información tanto los operadores, como los técnicos de la planta, seleccionan la información necesaria para clasificarla en el diagrama CEDAC.

Paso 3. Comunicación del diagrama CEDAC

Ubicar el diagrama en un sitio visible de la planta donde las personas lo puedan observar. El propósito es el mostrar a todas las personas las causas y los efectos de las acciones que se tomen, como también, recoger la mayor cantidad de nuevas ideas de personas que no necesariamente están trabajando en el equipo que se estudia. El CEDAC es un instrumento formidable de gestión visual, ya que permanentemente se muestra a todos los empleados los efectos de las acciones tomadas y las causas potenciales estudiadas.

Paso 4. Evaluar el progreso de las acciones

Se investigan las causas en reuniones revisando la evolución de los resultados, por este motivo es útil incorporar al Diagrama CEDAC gráficos para las diferentes medidas que muestran que el problema se encuentra en proceso de eliminación total. Los gráficos más empleados en los diagramas CEDAC son:

- Gráficos de valores MTBF
- Gráficos de control de características de calidad
- Gráficos de Efectividad Global de Equipo (EGP)
- Gráficos de incrementos de disponibilidad
- Número total de paradas y otros.

Paso 5. Buscar acciones de mejora

Se seleccionan las mejores técnicas y se prepara una tarjeta con la solución. Esta tarjeta se ubica junto a la causa que se estudia. En algunas empresas emplean tarjetas de dos colores: el color amarillo para registrar las posibles causas del problema que se estudia y tarjeta de color rojo para indicar las acciones correctivas que se sugieren. Este diagrama facilita el registro de las mejoras históricas realizadas y las acciones tomadas anteriormente, lo mismo que los efectos de cada mejora.

Al participar el mayor número de personas posibles y con el método de registro de información, Fukuda considera que es más fácil descubrir aquellas causas que desconocemos y se eliminan sobre la base de mejoras paso a paso y progresivas.

Beneficios

La técnica CEDAC es un instrumento simple pero poderoso para realizar diagnósticos de problemas, en especial para aquellas averías crónicas y complejas de los equipos. Se fundamenta en la teoría de la comunicación, en especial en los trabajos de Joseph Luft y Harry Ingram quienes crearon la conocida ventana de “Joharry” que busca incrementar el conocimiento de un objeto a partir del proceso de compartir información dentro de un grupo de individuos. El principio de la ventana de Joharry es el siguiente: *Yo se algo que tu no conoces y tu conoces algo que Yo no conozco*, estas reflexiones permiten incrementar el saber necesario para la solución eficiente de un problema en equipo.

Esta técnica permite llevar el problema al sitio de trabajo y lograr la mayor participación del personal involucrado en la búsqueda de las causas y soluciones. El CEDAC trae beneficios de motivación del personal al poder comprender claramente lo que sucede en los equipos. Esta comprensión mayor de



los procesos conduce a una responsabilidad superior hacia el cuidado de los equipos. R. Fukuda sugiere emplear esta técnica como base de la implantación del TPM en plantas industriales, especialmente para identificar las deficiencias de conocimiento y formular el plan de entrenamiento futuro.

Reflexión final

Se han presentado hasta el momento algunas de las técnicas QC más divulgadas para el proceso de solución de problemas. Seguramente pueden emplearse otro tipo de técnicas más especializadas. El objetivo de la persona que estudia y practica estas técnicas es la de utilizar pocas técnicas, pero poderosas y útiles para numerosas situaciones de estudio. El reto debe ser el de lograr combinar estas técnicas y por qué no, modificarlas y adaptarlas para situaciones específicas de su empresa.

Las técnicas estudiadas son simples, sin embargo, la dificultad puede estar en la forma en que se pueden combinar para lograr el mejor diagnóstico y solución. Solo la experiencia y el continuo trabajo con ellas pueden indicar si para ciertos problemas “es mejor emplear un diagrama de Pareto o un Diagrama de Afinidad; o en este otro caso, es mejor un análisis CEDAC o un Diagrama de Relaciones”.

En los siguientes capítulos se insistirá en la lógica para “combinar” cada una de estas herramientas, pero como recomendación general, ya que el camino lo marca el tipo de problema que se pretenda estudiar y estos no se pueden agrupar para establecer combinaciones perfectas de las herramientas estudiadas y por estudiar.

Capítulo 5

Estrategia de mantenimiento para eliminar averías crónicas

Introducción

La metodología de mantenimiento para el análisis y eliminación de averías se orienta a los siguientes puntos:

Comprender y conocer el equipo profundamente.

En los últimos años se ha venido insistiendo que las empresas que pretendan mantenerse competitivas en los mercados del futuro, deberán preocuparse por mejorar el conocimiento de todo el personal y garantizar que existe un proceso de adquisición y transferencia efectiva de experiencias o conocimiento entre todos los trabajadores. Este es el punto de partida del Mantenimiento Productivo Total (TPM), ya que busca crear una organización empresarial en continuo aprendizaje y de mejora del conocimiento del personal técnico y operativo.

El TPM fue creado por el Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) para crear capacidades estratégicas competitivas en las empresas, fundamentadas en el recurso conocimiento de los trabajadores y la aplicación de un modelo de gestión integral del equipo. El TPM busca que el operario conozca lo mejor posible los equipos donde interviene diariamente, su estructura interna, funciones, restricciones, precisión y medios de seguridad, para de esta forma, pueda participar activamente en el cuidado y conservación del equipo. Sin este conocimiento no será posible identificar los factores causales más profundos. Por este motivo, las metodologías TPM se apoyan en el aprendizaje continuo a partir de la experiencia y contacto diario con los equipos.

Reflexión sobre los fenómenos.

Los fenómenos que suceden en los equipos son considerados cuidadosamente y en forma lógica. Se emplea un determinado tiempo para reflexionar sobre los fenómenos identificados y en lo posible, se verifica la hipótesis directamente sobre cada uno de los componentes de la máquina que se estudia. Se pretende evitar que el grupo humano tome decisiones con la única información tomada a partir de una tormenta de ideas. Este tipo de metodología



permite adquirir conocimiento, no solo para la eliminar los factores causales, sino que permite preparar al equipo para realizar aportes innovadores de cambio de diseño y modificaciones que permitan mejorar el rendimiento de la máquina.

Priorizar la información con cuidado y método

El experto japonés Shirose manifiesta que la priorización es necesaria para estudiar en forma ordenada una situación. Sin embargo, debido a una priorización realizada con poco conocimiento del equipo e información, se pueden descartar factores vitales para eliminar las pérdidas crónicas. En el procedimiento sugerido por el TPM se debe conocer profundamente el equipo para lograr establecer esta prioridad en los factores causales, de lo contrario, se deberá evitar la priorización y será necesario actuar en la mayoría de los factores causales posibles.

Técnicas TPM empleadas para el estudio de averías

El TPM aporta varias metodologías poderosas para cumplir con los requisitos expuestos previamente. Las técnicas de mayor utilización y que estudiaremos a continuación son las siguientes:

- Análisis PM (Physical Method). Esta técnica se concentra en el análisis de los principios físicos del problema en estudio.
- Análisis Porqué-Porqué. Esta técnica emplea un proceso deductivo que incluye verificación del equipo en estudio. Se presenta como una alternativa al conocido Diagrama de Causa Efecto
- Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE)

Análisis PM

El análisis PM es una forma diferente de pensar sobre los problemas y del contexto donde estos se presentan. Consiste en analizar los fenómenos (**P** de la palabra inglesa *Phenomena*) anormales tales como fallos del equipamiento en base a sus principios físicos y poder identificar los mecanismos (**M** de la palabra inglesa *Mechanisms*) de estos principios físicos (**P** de la palabra inglesa *Phisically*) en relación con los cuatro inputs de la producción equipos: materiales, individuos y métodos). El nombre del método PM no tiene relación alguna con mantenimiento preventivo o predictivo.



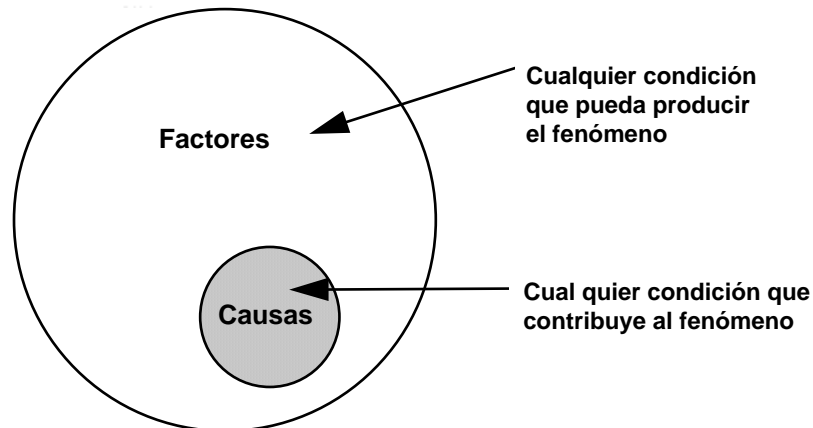
Esta técnica permite analizar las averías crónicas físicamente de acuerdo con los principios y leyes naturales que los gobiernan. Este análisis clarifica los mecanismos de su presencia y las condiciones que deben ser controladas para prevenir esta situación. El principio básico del análisis PM consiste en entender en términos precisos físicos que es lo que ocurre cuando la máquina, o sistema se avería o produce defectos de calidad y la forma como ocurren. Esta es la única forma de identificar la totalidad de factores causales y de esta manera eliminar estas pérdidas. Esta técnica considera **todos** los posibles factores en lugar de tratar de decidir cual es el que tiene mayor influencia.

Análisis de factores

Para el análisis de problemas a través del método PM es necesario comprender la diferencia entre factores y causas.

- Factor: Cualquier condición que potencialmente puede contribuir a un fenómeno.
- Causa: Cualquier factor que contribuye directamente al fenómeno.
- Factor causal: Es aquel factor que contribuye al fenómeno, pero que puede o no producirlo directamente.

Gráficamente se puede representar esta diferencia, Figura 5.1. Los diagramas de Causa Efecto y Pareto nos conducen a la búsqueda de factores, obteniendo una lista de cuales son los que producen en mayor proporción el efecto y así definir los objetivo de mejora. El método PM no prioriza unos pocos factores de alto impacto. Por qué?, debido a que es raro que una avería recurrente sea atribuible a uno a dos o a pocas causas. En lugar de priorizar, el método PM considera todos los factores que podrían influir en el problema crónico. Entonces dentro de cada factor se busca si es anormal o no, obteniendo una lista de acciones de mejora. Esta técnica es muy útil cuando ya se han logrado mejoras empleando técnicas de calidad, pero que no son suficientes para eliminar los más mínimos detalles residuales, especialmente, en problemas complejos.



Tomado de Kumio Shirose, 1995

Figura 5.1. Factores y causas de un problema

Los conceptos centrales del análisis PM son:

- No se emplea un enfoque de priorización de los factores y causas.
- Se busca lógicamente los factores causales existentes detrás del problema
- Se investigan todos los factores
- Se corrigen todas las anomalías (concepto de podar el césped)
- Se intenta corregir las anomalías en conjunto
- Se establecen o revisan los estándares para prevenir la recurrencia de las anomalías

Fundamentos del análisis físico

La investigación lógica de cómo ocurre el fenómeno en términos de principios físicos y cantidades es el fundamento de la metodología de análisis PM. Desde el punto de vista de los equipos un *análisis físico* significa emplear los principios operativos del equipo para clarificar la forma como los componentes interactúan y producen el problema o la avería crónica.

Se pretende estudiar y conocer en primer término, la forma como se presenta la desviación de la situación natural del equipo, en lugar de pretender abordar las causas de esta desviación desde el primer momento.

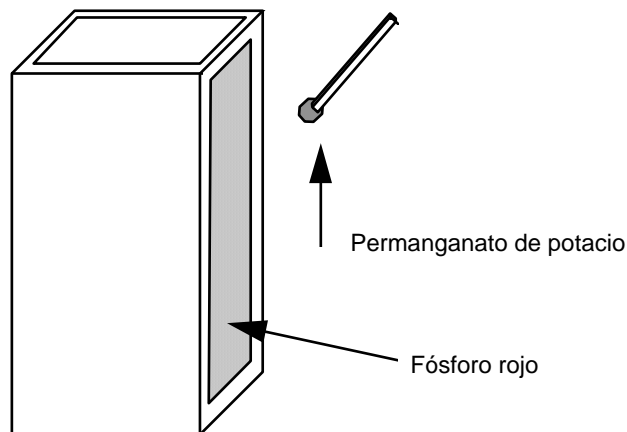
El objetivo fundamental de esta metodología es el de llegar a comprender lo mejor posible la forma como se presentó el fallo y la forma como intervinieron los diferentes elementos y conjuntos del equipo para la generación del problema.

*El análisis físico explica el **COMO** se presentó el Fenómeno en lugar del **PORQUE** se produjo.*

El análisis físico es un puente entre el fenómeno y sus causas potenciales. La práctica habitual de análisis en las industrias consiste en iniciar el estudio a partir de la identificación de las causas, saltando las dos fases anteriores.

Fenómeno - Análisis físico - Causas

Ejemplo 1. Por qué no enciende la cerilla? (Figura 5.2) (Tomado de K. Shirose)



Tomado de Kumio Shirose, 1995

Figura 5.2. Análisis físico. Caso caja de cerillas

Si no se enciende la cerilla se puede realizar un análisis físico de este fenómeno encontrando los siguientes factores:

- La cerilla puede estar húmeda
- La cerilla está gastada
- La fuerza de encendido es insuficiente
- La fuerza de encendido se aplica en un ángulo incorrecto

Existen varias razones de por qué no enciende la cerilla. Ninguna de ellas puede explicar los principios existentes de la desviación de la norma. Se ha explicado que cuando se pretende eliminar las causas crónicas no es suficiente buscar los factores causales. Antes de realizar el análisis físico se debe entender los principios de como enciende una cerilla. Esta enciende cuando existe suficiente calor por fricción entre el fósforo rojo de la caja de cerillas y el permanganato de potasio de la cabeza de la cerilla. Un correcto análisis físico de este problema podría describir el fenómeno de la siguiente forma:

Análisis físico: La cerilla no enciende debido a que el calor por fricción es insuficiente

Problema 2: El “saca puntas” no permite obtener una punta adecuada.

Del análisis de este proceso se encontraron las siguientes observaciones:

- La cuchilla del “saca puntas” está ajustada pero se encuentra gastada.
- El tamaño del orificio es superior al diámetro del lápiz
- La punta del lápiz tiene suciedad y desliza dentro del saca puntas.
- La presión que se hace durante el giro del lápiz ha sido inferior

En este ejemplo, las conclusiones obtenidas no corresponden a un análisis físico. Son únicamente factores causales. Un adecuado análisis físico de este fenómeno podría ser el siguiente:



Análisis físico.

Debido a la insuficiente presión entre el lápiz y la cuchilla no es posible que esta corte adecuadamente.

Algunas recomendaciones para la definición del análisis físico.

Es necesario tener en cuenta que solo existe un solo análisis físico para cualquier fenómeno. Cuando esta situación se presenta es posible que el equipo de estudio no ha logrado definir correctamente el fenómeno. Esto puede traer dificultades, ya que un fenómeno ampliamente definido, puede traer como consecuencia la búsqueda de numerosos factores causales y no se podrán apreciar las causas importantes. Para la realización del análisis físico se pueden seguir los siguientes pasos:

- 1) Identificar los principios operacionales. Como funciona el sistema en estudio. Es frecuente entre el personal operador encontrar buenas explicaciones físicas relacionadas con los equipos productivos, sean tornos, máquinas de corte, etc., pero también es frecuente que este personal no comprenda la forma como opera la instrumentación y los equipos de medida de esta clase de máquinas, lo cual imposibilita el análisis físico profundo.
- 2) Identificar los estándares de operación. Estos estándares tienen que ver con el funcionamiento libre de averías. Por ejemplo, las marcas visuales de montaje y conexión de bombas para evitar el giro inverso. Estas normas hacen referencia tanto a los principios operativos de los mecanismos, como estos mecanismos deben funcionar normalmente para que el fenómeno no ocurra.
- 3) Identificar los elementos que interactúan. Es necesario identificar los elementos que interactúan y los cambios que ocurren en ellos. Por ejemplo, consideremos la relación entre la posición de un buril, la pieza que se corta y como los cambios producen un resultado deficiente. Realizar un esquema de como estos elementos se mueven en relación uno de otro podrá clarificar los mecanismos existentes detrás de este fenómeno.
- 4) Cuantificar los cambios físicos. Se debe considerar ante la presencia de un fenómeno, los cambios físicos que conducen a cambios en algunas medidas físicas. Por ejemplo, la fricción o un exceso de corriente en un motor producirá un incremento de temperatura.

Ejemplo 3. No funciona la linterna del taller

El principio físico de este equipo consiste en el flujo de corriente en una resistencia (filamento) el cual produce el efecto incandescente cuando la temperatura alcanza los 1000 grados centígrados. Las condiciones operacionales que se deben cumplir son:

- La carga de la batería de la linterna debe ser lo suficientemente alta.
- Debe existir un perfecto contacto entre la batería y el filamento
- El filamento del bombillo no debe estar quemado

Del análisis físico se concluyó que: El circuito se encuentra abierto o la corriente no es lo suficientemente alta para calentar el filamento.

Algunos errores frecuentes en el análisis físico son:

- Se describe el fenómeno que se observa
- Se realiza más de un análisis físico distinto
- Se listan únicamente unos pocos factores causales
- Se olvidan algunas condiciones importantes para realizar el análisis físico

Proceso del análisis PM

Se ha explicado que el enfoque del análisis PM consiste en estratificar los fenómenos anormales adecuadamente, entender los principios operativos y analizar los mecanismos del fenómeno desde el punto de vista físico. El siguiente paso consiste en investigar todos los factores y el grado en que ellos contribuyen al problema. Todo esto es necesario para poder eliminar estos factores a través de planes de acción y sistemas de control.

Los pasos a seguir para la aplicación del análisis PM se muestran en la Figura 5.3.

Paso 1. Clarificar el fenómeno.

En primer lugar se debe comprender en forma detallada y precisa el fenómeno o tema de estudio en el equipo. Se debe estudiar el proceso de aparición del mismo, las condiciones y localización, como también la diferencia que se presenta entre equipos similares. Este

análisis se debe realizar directamente en el sitio del problema empleando la observación y reflexión. Para este paso los japoneses emplean el principio:

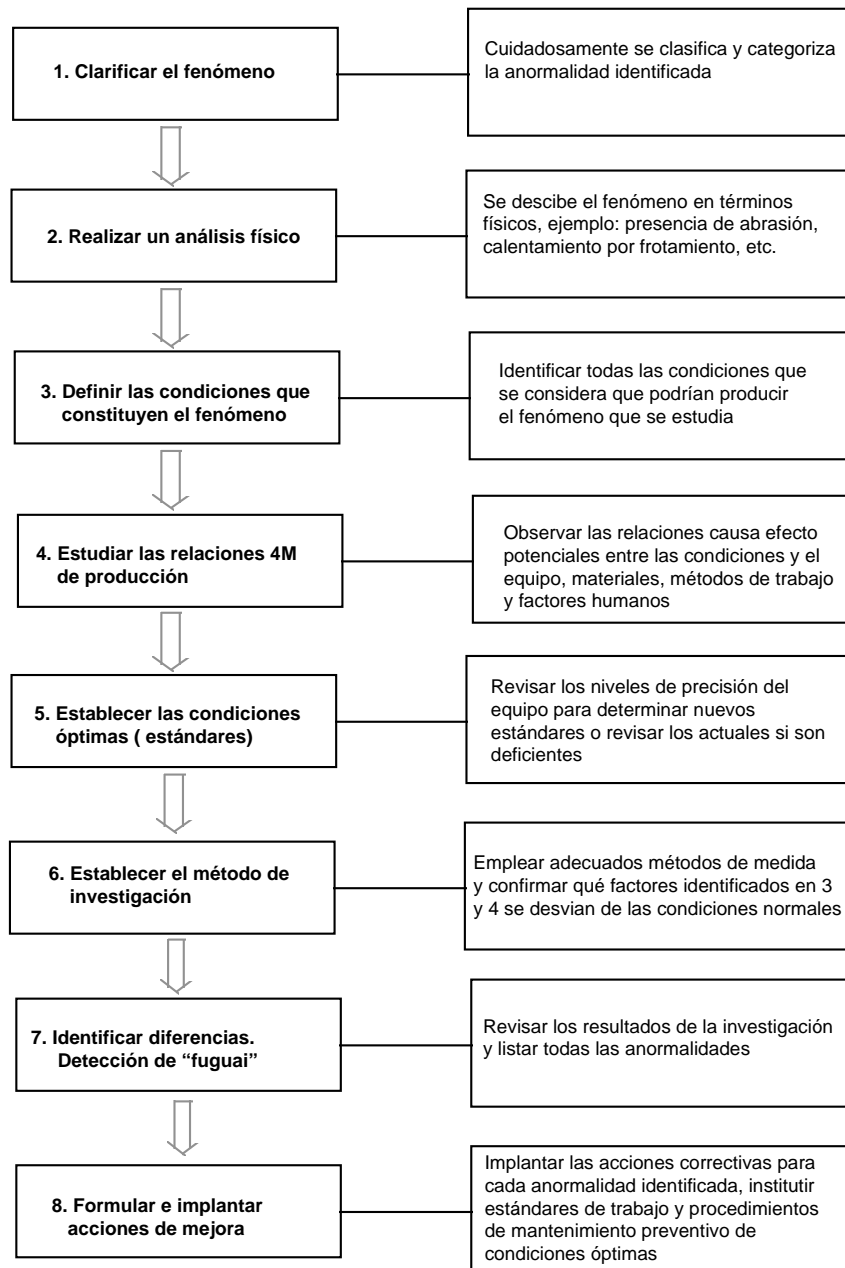


Figura 5.3. Pasos en el análisis PM

Gemba-genbutsu u observación a primera mano. Cuando se presenta un problema se recomienda ir al sitio donde se presentó el fenómeno y se realiza un examen con atención y detalle. Se escriben en una libreta o formato los hechos identificados para futuros análisis. Los técnicos de mantenimiento de empresas japonesas aplican el siguiente principio “Invierte un poco de tiempo en la reflexión y lo ganarás varias veces debido a que mejorarás la calidad de tu trabajo”. Este principio pretende evitar reparar errores cometidos durante las intervenciones de mantenimiento. Los técnicos nipones ven la avería como una oportunidad para adquirir un mayor conocimiento del equipo y no como una nueva dificultad a vencer.

Existen algunas preguntas que ayudan a observar el fenómeno:

- Durante cuál operación específica se presentó el fenómeno?
- Siempre se presenta el fenómeno bajo las mismas circunstancias?
- Se presenta a intervalos regulares o irregulares?
- Anteriormente estaba mejor o está en proceso permanente de deterioro?
- Este fenómeno ocurre en máquinas similares o distintas?
- Ocurre únicamente en ciertos turnos?
- Se presenta con determinado producto en especial?

Tenga en cuenta las siguientes recomendaciones para definir el fenómeno:

- Elimine las ideas preconcebidas. Especifique claramente los puntos a observar con el objeto de evitar errores basados en suposiciones y un pensamiento rígido.
- Observe cuidadosamente y analice el fenómeno en el sitio, en lo posible, divida mentalmente el equipo que observa en pequeñas unidades o subsistemas. Esto facilitará la observación del fenómeno.
- Clasifique adecuadamente el fenómeno que ha observado. Emplee las 5W-1H (5 palabras inglesas que comienzan por W una por H o su equivalente: quién, que, donde, cuando, cual y como)
- Identificar las diferencias entre elementos o sistemas normales y anormales.



Paso 2. Realizar el análisis físico.

Previamente se ha explicado la forma de realizar el análisis físico. A continuación recapitulamos lo visto dentro del contexto del método de análisis PM.

- Identificar los principios operativos. Revise los diagramas de la máquina y manuales para comprender los principios básicos operacionales del equipo.
- Identificar los estándares operativos. Se aconseja aprender las funciones y mecanismos que gobiernan al equipo en condiciones normales. Emplee diagramas simples de la maquinaria.
- Identificar los elementos que interactúan. Los elementos frecuentemente estudiados en el análisis físico son los equipos y las materias primas. Cualquier deterioro de esta relación conduce a problemas de calidad de producto.
- Evaluar la magnitud de los cambios físicos. Una vez se han identificado los elementos que interactúan y diagramados, es necesario cuantificar la magnitud de los cambios físicos ocurridos en esta relación. Se deben emplear unidades físicas o constantes.

Paso 3. Identificar las condiciones que producen el fenómeno.

Se identifican todas las posibles condiciones que dan lugar a la presencia del problema. Estas condiciones incluyen todos los factores causales. Como marco de referencia para la búsqueda de estas condiciones se pueden emplear las cuatro categorías conocidas como 4M:

- máquinas: precisión y fiabilidad
- métodos: verificar la relación entre el fenómeno físico y los estándares empleados
- materiales: verificar si la calidad del material tiene relación con el fenómeno
- mano de obra: verificar si el personal cumple los estándares establecidos.

Paso 4. Estudiar las relaciones existentes entre los factores causales y las 4M de producción

Este es el paso más importante de esta metodología. Se pretende listar e investigar cualquier tipo de correlación existente entre las condiciones identificadas en el paso anterior y los inputs de la producción o 4M. Se busca identificar las relaciones causa - efecto existentes entre las condiciones que dan lugar al problema y elementos específicos de maquinaria, métodos, materiales y personal. En este caso las condiciones constitutivas se asumen como *efectos* y las 4M se revisan como las posibles *causas*.

Correlaciones primarias y secundarias de las 4M

El diagrama de árbol de la figura 5.4 muestra los tres niveles de factores empleados por el análisis PM. A partir del análisis físico se ramifican las condiciones constituyentes del fenómeno. En el segundo nivel del diagrama presenta las correlaciones existentes con las 4M para cada condición; y estas se subdividen en un segundo nivel, siendo estas denominadas correlaciones secundarias.

En lo posible, los elementos 4M deben ser mensurables y expresados en términos verificables. Se deben evitar expresiones generales como la siguiente: “pieza montada deficientemente”; este tipo de comentarios no permite relacionarlo con un estándar. Una mejor designación sería: “el alineamiento de la pieza está fuera de la marca trazada como referencia”.

En esta fase se debe evitar priorizar las posibles causas primarias y secundarias. Se deben analizar la totalidad de causas debido a la complejidad existente entre los diversos factores causales. El análisis debe ser progresivo desde el mecanismo que tiene contacto directo con los materiales (una pieza que se mecaniza por ejemplo), hasta los más externos como el soporte del equipo o los sistemas de transmisión de datos a los sistemas de control.

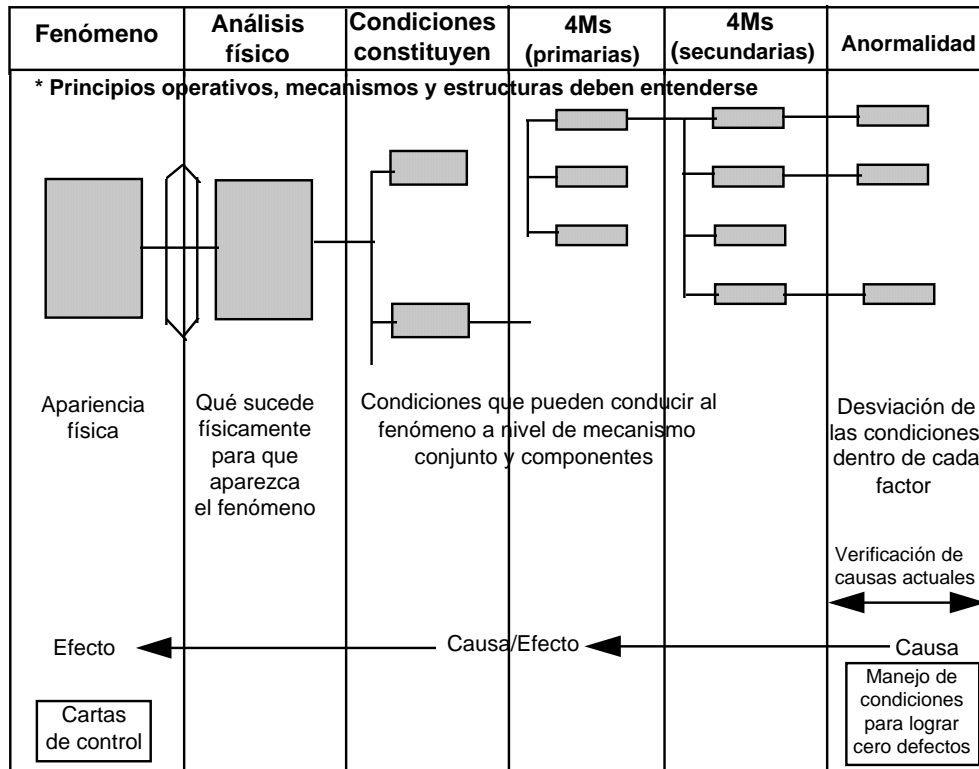


Figura 5.4. Diagrama de árbol (causa efecto) en el análisis PM

Para la obtención de las correlaciones secundarias se debe tomar cada correlación primaria y se debe reducir a sus elementos constitutivos o a nivel de componente. Se debe preguntar si cada correlación secundaria identificada realmente contribuye o corresponde a la correlación primaria.

Formato de trabajo. Buena parte de la utilidad del análisis PM y su éxito se debe al empleo de un adecuado método de trabajo. La figura 5.5 presenta un formato de trabajo.



FORMATO PARA EL ANALISIS PM						
Proceso: _____		Fecha: _____				
Estado actual: _____		Preparó: _____				
Fenómeno: _____		Jefe sección _____				
Característica de calidad: _____		Supervisor: _____				
Notas: _____						
Análisis físico	Condiciones constitutivas		Correlaciones 4M primarias		Correlaciones 4M secundarias	
	Puntos a ser ilustrados	Valores estándar	Puntos a ser ilustrados	Valores estándar	Puntos a ser ilustrados	Valores estándar

Figura 5.5 Formato para el análisis PM

Paso 5 . Establecer las condiciones óptimas (valores estándar)



En los pasos 1 a 4 se ha definido el fenómeno, se ha analizado en términos físicos y se han listado todos los factores involucrados. Ahora en este paso se van a buscar todas las anomalías dentro de estos factores con el objeto de establecer los valores estándar. Para esto será necesario preguntarnos: cuáles serían las condiciones, si están presentes, evitarían la producción del problema? Esta investigación no podrá estructurarse en base a juicios subjetivos. El equipo de estudio debe establecer un método fiable para determinar si cada causa potencial se encuentra en una situación normal o anormal. Para realizar esta actividad se deben recoger las normas o estándares y criterios establecidos para controlar el proceso donde se realiza el estudio.

Si no existe será necesario prepararlo incluyendo los principios operativos, mecanismos que se dan para que exista una deficiente operación, estructura del equipo y aspectos de la calidad del producto. Con los estándares disponibles el equipo de estudio debe establecer las fronteras entre lo que es normal y anormal. Este punto puede llegar a ser complejo debido a la dificultad de establecer la línea divisoria (Figura 5.6). Se deben establecer las condiciones ideales para cada factor causal a través de análisis o experimentación. Durante el establecimiento de los estándares o su revisión se podrán identificar los “fugai” o pérdidas en las 4M.

Etapa 6. Establecer el método de investigación

En este paso el equipo debe determinar la forma más eficiente para medir la diferencia existente entre las condiciones de los factores causales en relación con sus valores ideales establecidos en el paso 5. Se debe preparar un plan de trabajo que facilite definir las formas de lograr las mejores condiciones de medición y de forma simple.

En este paso se define el método y el plan de medición, por ejemplo, si emplearemos un analizador de vibraciones, una llave de torque para el apriete, amplificador para medir las corrientes parásitas existentes en el equipo, análisis metalográficos, galgas, reglas de alineación, etc.

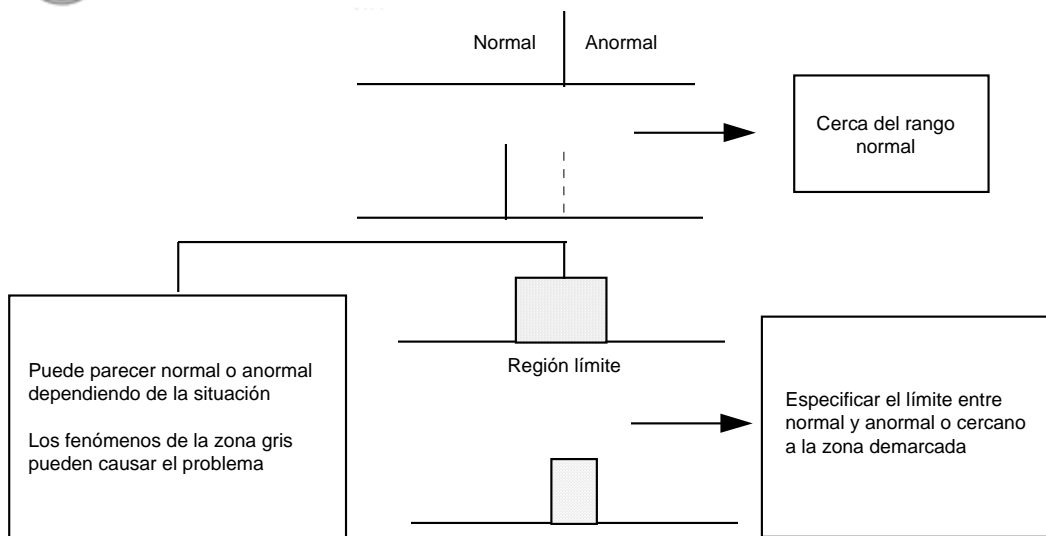


Figura 5.6 Fronteras entre normal y anormal

Paso 7. Identificar diferencias. Detección de “fugui”.

Una vez evaluados todos los factores causales y habiendo investigado sus condiciones empleando los métodos de medida, se relacionan todos los factores que se desvían del óptimo y todo tipo de deficiencias.

Se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Se deben analizar todos los posible factores
- Para decidir si es anormal se debe juzgar en relación con los estándares establecidos
- Es necesario pensar en términos de condiciones óptimas y no es condiciones justamente necesarias
- Clasificar como anormal cualquier punto que esté justo en la frontera entre lo normal y anormal.
- Se debe estar seguro de que se comprenden los factores existentes detrás de cada condición clasificada como anormal
- No piense en normal como las condiciones como se ha venido trabajando el equipo. Piense en las condiciones que **debe poseer** el equipo, en lugar de las que **ha tenido**.
- Pregunte siempre “ por qué esto pasó?” “qué factores produjeron esta situación?” este pensamiento ayudará a preparar las acciones preventivas.

Paso 8. Formular e implantar acciones de mejora

Para finalizar el proceso de análisis PM es necesario proponer acciones correctivas y de preventivas para cada anomalía identificada. Para esto se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La restauración de las piezas se debe realizar a través de mejora o modificaciones de diseño y reemplazo de componentes.
- Después de la restauración del equipo se debe implantar medidas preventivas y de mejora en tecnología
- Se debe planificar la forma como se va a medir y manejar la información sobre el avance y resultados de las mejoras alcanzadas
- Confirmar la precisión de los resultados. Observar si todos los factores causales con desviaciones del estándar se han intervenido
- Recuerde que primero se debe restaurar el equipo antes de mejorarlo tecnológicamente.
- Finalmente, estandarice las mejoras alcanzadas

Método Porqué-Porqué

Esta técnica es conocida como: “know-why”, “conocer-porqué”, “técnica porqué, porqué, porqué” o “quinto porqué”. Esta técnica se emplea para realizar estudios de las causas raíces que producen averías en el equipo. El principio fundamental de esta técnica es la evaluación sistemática de las posibles causas de la avería empleando como medio la inspección detallada del equipo, teniendo presente el análisis físico del fenómeno.

En las áreas de mantenimiento se ha utilizado para la búsqueda de factores causales. Es un método alternativo del conocido Diagrama de Causa Efecto o de Ishikawa. Esta técnica de calidad como se analizó previamente presenta el inconveniente de recoger un gran número de factores o causas, pero no prioriza entre ellas cuáles son las que verdaderamente contribuyen a la presencia de la avería. La técnica porqué - porqué evita en los análisis de averías de equipos que el grupo de estudio se desvíe e identifique causas cualitativas y complejas de verificar como causas potenciales del problema del fallo de las máquinas.

Para evitar caer durante el análisis de averías en temas como los siguientes: “es un problema de políticas de la compañía”, “debido a la falta de personal...”, “falta de capacitación del personal” “no hay repuestos”, el método Porqué-Porqué busca a través de la inspección y el



análisis físico identificar todos los posibles factores causales para lograr reconstruir el deterioro acumulado del equipo. Esta técnica es una buena compañera del método PM si se emplea previamente. En casos con alto grado de deterioro se recomienda este procedimiento.

Paso a seguir

Esta técnica emplea el formato mostrado en la Figura 5.7. Este formato incluye información general como: fenómeno que se estudia, equipo, sitio donde se presentó el fenómeno, fecha del análisis, personas que intervienen en el estudio.

El formato posee cinco columnas para realizar rondas de análisis y una columna final para escribir las acciones de mejora que se proponen y un número de filas para cubrir las diferentes causas que se estudiarán.

Procedimiento para el estudio

Una vez identificado el fenómeno en estudio (avería), se realiza un análisis físico del fenómeno en igual forma como se efectuó en el método PM. De este análisis se identifican posibles factores causales, los cuales se someterán a inspección para verificar la validez de la siguiente manera:

Paso 1. Primera pregunta

Se escribe en la parte superior de la casilla de la columna 1 y fila A la primera pregunta ¿“por qué se produce el fenómeno..... que estamos estudiando?”.

Paso 2. Primera respuesta

La respuesta a la anterior pregunta se escribe en la parte inferior de la fila A y columna 1. Pueden existir varias posibles respuestas pero el estudio se inicia con la que se considere como más viable. Se espera que el estudio cubra la totalidad de causas potenciales identificadas.



Equipo:		TABLA POR QUÉ - POR QUÉ		Fecha de análisis		Integrantes		<input type="radio"/> (OBSERVACIONES) DEBIDO AL BUEN RESULTADO EN LA INSPECCIÓN EL ANÁLISIS FINALIZA <input checked="" type="radio"/> DEBIDO AL DEFICIENTE RESULTADO DE LA INSPECCIÓN EL ANÁLISIS DEBE CONTINUAR (CONTINUAR MARCANDO) ✓		5º RONDA		IDEAS DE MEJORA	
		Sito del fenómeno		Definición del fenómeno		1º RONDA				2º RONDA		3º RONDA	
A	POR QUÉ	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
B	POR QUÉ	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
C	POR QUÉ	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
D	POR QUÉ	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
E	POR QUÉ	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
F	POR QUÉ	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
G	POR QUÉ	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
H	POR QUÉ	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
		<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Paso 3. Inspección.

Esta respuesta o hipótesis es necesario validarla, se acepta o rechaza solamente hasta que se verifique a través de la inspección del equipo en planta. Como resultado de esta inspección se pueden presentar dos alternativas de decisión:

- Debido al buen resultado de la inspección el análisis finaliza para la respuesta dada, esto es, la afirmación que se ha dado no es la causa del fenómeno. El formato posee dos pequeños círculos uno lleno y uno vacío. En caso que la inspección indique que la causa seleccionada no es la sugerida, se marcará con un símbolo de verificación (√) sobre el círculo vacío y se procede a buscar una nueva causa, la cual se escribirá en la comuna 1 y fila 2. Para no escribir nuevamente la misma pregunta de la fila 1 y columna 1, se procede a trazar una flecha vertical, la cual indica que se repite nuevamente la misma pregunta.
- En caso que la inspección arroje un resultado negativo, esto es, que la causa que se ha seleccionado si contribuye al fenómeno en estudio, se marcará con un símbolo (√) sobre el círculo intenso. Esto significa que el análisis debe continuar. En este caso, la respuesta dada en la primera columna se debe transformar en pregunta y se escribe en la siguiente columna o siguiente ronda en la misma fila. En esta segunda ronda se buscan las causas para la nueva pregunta que se plantea.

Este proceso se continúa hasta el momento en que se identifican acciones correctivas para la causa. Las acciones correctivas se registran en la columna final de “ideas de mejora”. Se espera que el diagnóstico no requiera de más de cinco rondas. Una vez finalizado este proceso se pueden seleccionar otras causas en las diferentes rondas y se repite el procedimiento. De esta forma se analizan la totalidad de posibles factores causales, obteniendo un plan general de mejora para el equipo.

Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE)

Esta es una técnica de ingeniería conocida como el análisis FMEA o (Failure Mode and Effect Analysis) usada para definir, identificar y eliminar fallos conocidas o potenciales, problemas, errores, desde el diseño, proceso y operación de un sistema, antes que este pueda afectar al cliente (Omdahl 1988; ASQC 1983). El análisis de la evaluación puede tomar dos caminos: primero, emplear datos históricos y segundo, emplear modelos estadísticos,



matemáticos, simulación ingeniería concurrente e ingeniería de confiabilidad que puede ser empleada para identificar y definir los fallos (Stamatis 1989). No significa que un modelo sea superior a otro. Ambos pueden ser eficientes, precisos y correctos si se realizan adecuadamente. Para efectos de este libro no se estudiará el segundo camino, ya que se pretende ofrecer una serie de metodologías que sean útiles para todas las personas de una empresa; mientras que las técnicas especializadas poseen algunos fundamentos matemáticos tediosos y su empleo queda restringido a aquellas personas que poseen buenas bases de estadística avanzada.

El AMFE es una de las más importantes técnicas para prevenir situaciones anormales, ya sea en el diseño, operación o servicio. Esta técnica parte del supuesto que se va a realizar un trabajo preventivo para evitar la avería, mientras que las técnicas estudiadas hasta el momento, se orientan a evaluar la situación anormal ya ocurrida. Este es el factor diferencial del proceso AMFE. Esta técnica nació en el dominio de la ingeniería de fiabilidad y se ha aplicado especialmente para la evaluación de diseños de productos nuevos.

El AMFE se ha introducido en las actividades de mantenimiento industrial gracias al desarrollo del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad o RCM -Reliability Center Maintenance- que lo utiliza como una de sus herramientas básicas. En un principio se aplicó en el mantenimiento en el sector de aviación (Plan de mantenimiento en el Jumbo 747) y debido a su éxito, se difundió en el mantenimiento de plantas térmicas y centrales eléctricas. Hoy en día, el AMFE se utiliza en numerosos sectores industriales y se ha asumido como una herramienta clave en varios de los pilares del Mantenimiento Productivo Total (TPM).

Los propósitos del AMFE son:

- Identificar los modos de fallos potenciales y conocidas
- Identificar las causas y efectos de cada modo de fallo
- Priorizar los modos de fallo identificados de acuerdo al número de prioridad de riesgo (NPR) o - frecuencia de ocurrencia, gravedad y grado de facilidad para su detección.

El fundamento de la metodología es la identificación y prevención de las averías que conocemos (se han presentado en el pasado) o potenciales (no se han presentado hasta la fecha) que se pueden producir en un equipo. Para lograrlo es necesario partir de la siguiente hipótesis:



Dentro de un grupo de problemas, es posible realizar la prioridad de ellos

Existen tres criterios que permiten definir la prioridad de las averías:

- Ocurrencia (O)
- Severidad (S)
- Detección (D)

La ocurrencia es la frecuencia de la avería. La severidad es el grado de efecto o impacto de la avería. Detección es la grado de facilidad para su identificación.

Existen diferentes formas de evaluar estos componentes. La forma más usual es el empleo de escalas numéricas llamadas *criterios de riesgo*. Los criterios pueden ser cuantitativos y/o cualitativos. Sin embargo, los más específicos y utilizados son los cuantitativos. El valor más común en las empresas es la escala de 1 a 10. Esta escala es fácil de interpretar y precisa para evaluar los criterios. El valor inferior de la escala se asigna a la menor probabilidad de ocurrencia, menos grave o severo y más fácil de identificar la avería cuando esta se presente. En igual forma un valor de 10 se asignará a las averías de mayor frecuencia de aparición, muy grave donde de por medio está la vida de una persona y existe una gran dificultad para su identificación.

La prioridad del problema o avería para nuestro caso, se obtiene a través del índice conocido como Número Prioritario de Riesgo (NPR). Este número es el producto de los valores de ocurrencia, severidad y detección. El valor NPR no tiene ningún sentido (Ford 1992) simplemente sirve para clasificar en un orden cada uno de los modos de fallo que existen en un sistema. Una vez el NPR se ha determinado, se inicia la evaluación sobre la base de definición de riesgo. Usualmente este riesgo es definido por el equipo que realiza el estudio, teniendo como referencia criterios como: menor, moderado, alto y crítico. En el mundo del automóvil (Ford 1992) se ha interpretado de la siguiente forma el criterio de riesgo:

- Debajo de un riesgo menor, no se toma acción alguna
- Debajo de un riesgo moderado, alguna acción se debe tomar



- Debajo de un alto riesgo, acciones específicas se deben tomar. Se realiza una evaluación selectiva para implantar mejoras específicas.
- Debajo de un riesgo crítico, se deben realizar cambios significativos del sistema. Modificaciones en el diseño y mejora de la confiabilidad de cada uno de los componentes.

Proceso de construcción de la tabla AMFE

La aplicación del AMFE se inicia con la definición de los objetivos de mejora de la planta y equipos. Del plan de acción formulado por los directivos de la planta teniendo en cuenta criterios como: impacto económico, coste, equipo cuello de botella, calidad de producto, seguridad, medio ambiente, etc., se seleccionan los equipos a los que se les realizará un estudio AMFE para mejorar su fiabilidad.

Para los equipos definidos se prepara su diagrama funcional. Estos diagramas se revisan con el objeto de nivelar el conocimiento de los integrantes del equipo. Todos los participantes deben entender cada sistema, el proceso y/o el servicio prestado. Este esquema permite recordar a los especialistas las relaciones existentes entre sistemas, subsistemas, componentes, procesos, ensambles y el servicio final.

Después que el equipo ha entendido el problema, se inicia la elaboración del formato establecido para el estudio. A continuación se explica cada uno de los componentes del formato sugerido para el estudio de averías. (Figura 5.8)

- Nombre del sistema (1).** Identifica el nombre del sistema que se estudia. Puede ser un conjunto de elementos, un sistema de una máquina, por ejemplo, sistema de lubricación de un ventilador de tiro forzado, o un subconjunto de un equipo.
- Nombre del componente (2).** Identifica el elemento del sistema que se estudia. Por ejemplo, la bomba del sistema de lubricación del ventilador.
- Persona responsable (2A).** Algunas veces se indica el nombre de la persona que opera el sistema como especialista. Si es un contratista externo se puede emplear este punto para indicarlo.
- Otras personas relacionadas (3).** Personas de la empresa que pueden afectar la función.

- Proveedor involucrado (4).** Nombre de proveedor de recambios especiales, otras plantas anexas, suministros exteriores, etc.
- Producto que se procesa (5).** Nombre del producto que se procesa o servicio prestado por el equipo.
- Fecha de actualización (6).** Se indica la fecha en que el sistema se actualizó o se le realizó una importante intervención de modificación.
- Preparado por (7).** Se indica el nombre de los integrantes del equipo de estudio o su líder. Es frecuente en algunas empresas incluir su número de teléfono, fax o E-mail.
- Fecha del ANFE (8).** Fecha en que se inició el estudio AMFE.
- Fecha de revisión (9).** Fecha de la última revisión.
- Función (10).** Se describe el propósito del sistema. Se incluyen las funciones primarias, secundarias y elementales, de seguridad, etc. del *elemento* que se estudia. Por ejemplo, en el caso de la bomba del sistema de lubricación se pueden describir varias funciones que cumple este elemento: mantener en movimiento el fluido a través del sistema, mantener la presión para alcanzar todos los elementos del sistema, etc.
- Modo potencial de fallo (11).** Se registran las diferentes posibilidades que tiene el componente del sistema para fallar. Para cada descripción de una función, se deben investigar los posibles fallos que pueden ocurrir. Para nuestro ejemplo, se puede presentar pérdida de flujo por escape, por problemas del fluido, vibración, etc.
- Características críticas (13).** En esta columna se indican algunos símbolos o claves para hacer referencia a controles esenciales existentes que se realizan. Por ejemplo, inspección de preventivo cada mes, inspección diaria o purga de la unidad semanal.
- Severidad (14).** Es el indicador que muestra el grado de gravedad de la fallo y el efecto que puede producir al sistema y al equipo. Si el efecto es crítico entonces la severidad es alta. De otra manera, si el efecto no es crítico, la severidad es baja. Para nuestro caso de estudio, el fallo por fuga en la bomba se puede calificar con 6 sobre una escala de 10. Este valor se ha asignado debido a que el sistema se ve afectado, pero el grado de fuga no impide que la bomba pierda radicalmente su función básica; si esto es así, el valor de



severidad puede ser de 8 o 9. Estos valores los debe establecer el equipo con criterio y de la experiencia recogida de situaciones pasadas.

- **Causas potenciales del fallo (15).** Para cada fallo se registran las posibles causas potenciales. En nuestro caso de estudio, la fuga de la bomba puede deberse al mal estado de las juntas.
- **Ocurrencia (16).** Es un valor que estima la probabilidad que cada fallo identificado se presente en el tiempo. Si la probabilidad es muy baja (poco probable que se presente en un período de tiempo) se asignará un valor de 2 o 1. Si la probabilidad es muy alta (se puede presentar repetidamente en corto tiempo) se le asignará un valor entre 7 a 10. En nuestro ejemplo, la fuga se puede presentar con cierta frecuencia en un sistema de bombeo de aceite, por lo tanto, el valor que asignamos es de 7.
- **Método de detección (17).** Indica la inspección, prueba o análisis de averías que se realiza para poder identificar el fallo. La avería de la bomba (fugas) podrá detectarse por medio visual. En otros casos se deberá identificar el fallo con métodos de prueba o de análisis como la pruebas de vibraciones.
- **Detección (18).** Es la calificación correspondiente a la facilidad o dificultad de identificación del fallo. Si es muy complicado de identificar el fallo, por ejemplo, un error de programación del software en una máquina CNC o una microgrieta en el circuito flexible de tablero de comando de contacto suave, se le asignará un valor de 9 o 10. Para nuestro caso de la fuga de la bomba, este es visual y no existe dificultad mayor para su identificación, se podrá asignar un valor de 2 o 3, dependiendo de la ubicación y la facilidad de inspección.
- **Número de Prioridad de Riesgo NPR (19).** Este número es el producto de los valores asignados a la severidad, ocurrencia y detección. Para el caso de la fuga en la bomba de lubricación se tendrá un NPR de $6 \times 7 \times 2 = 84$. Este valor por sí solo no indica nada. Este se tiene que valorar en relación con las restantes averías con el objeto de clasificarlas en categorías. El NPR define la prioridad de la avería.
- **Acción correctiva sugerida (20).** El AMFE debe poseer acciones correctivas para “mejorar” los valores de NPR, severidad o ocurrencia. Las actividades más comunes para la mejora del NPR implican mejorar de la fiabilidad, mejorar el mantenimiento de las condiciones básicas del equipo (limpieza, lubricación, aprietes y ajustes), incorporar



instrumentos de detección de fallos, duplicar algunos elementos, modificar frecuencias de mantenimiento, establecer nuevas tecnologías de inspección, etc.

- **Área responsable de la acción correctiva (21).** Se indica la persona o el área responsable para la puesta en marcha de los planes previstos de mejora del equipamiento.
- **Acción tomada (22).** Esta columna incluye las acciones correctivas tomadas por el responsable y si se ejecutan de acuerdo al programa.
- **NPR revisado (23).** Se calcula nuevamente el valor de NPR para evaluar el impacto de las acciones correctivas tomadas. Con los valores obtenidos, se pueden clasificar nuevamente cada una de los fallos. Algunas no consideradas previamente pueden llegar a ser prioritarias en esta segunda evaluación.
- **Firmas de aprobación (24).** Los directivos técnicos responsables del AMFE firman el documento como aprobación de su contenido y compromiso para apoyar las acciones emprendidas.

Como resultado final el AMFE presenta las averías clasificadas en base al número NPR. A partir de este momento, se debe iniciar el estudio de cada una de los fallos con el objeto de disminuir el valor NPR empleando técnicas como Porqué-Porqué, método PM o Diagramas de Afinidad y Relaciones.

Se concluye que la técnica AMFE, desde el punto de vista de la estrategia de análisis y solución de averías, es muy útil para establecer el punto de partida o el problema a ser estudiado con otro tipo de técnicas. Como resultado final se podrá alcanzar una mejora significativa en la fiabilidad del equipo, ya que muestra los puntos más relevantes a mejorar. Similar razonamiento es el seguido en la tecnología RCM o Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad, pero las averías críticas identificadas son sometidas a diferentes estrategias de mantenimiento para evitar su presencia.



ANALISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS

- (1) Nombre del elemento _____ (8) Fecha del AMFE _____
- (2) Nombre del componente _____ (9) Fecha revisión _____
- (2A) Persona responsable _____ Página _____ de _____
- (3) Otras personas relacionadas _____ (4) Proveedor involucrado _____
- (5) Producto que se procesa _____ (6) Fecha de actualización _____
- (7) Preparado por _____

Función	Modo potencial de falla	Modo potencial de falla	Severidad	Causas potenciales de la falla	Ocurrencia	Método de detección	NPR	Acción correctiva sugerida	Area responsable de la acción correctiva	Resultados de la acción				
										Acción tomada	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	
DIALOGO Y TRABAJO EN EQUIPO														

(24) Firmas de aprobado _____

Capítulo 6

Estrategia para el estudio y eliminación de averías

Introducción

La eliminación sistemática de averías se puede alcanzar aplicando un método científico, utilizando herramientas especialmente desarrolladas para este propósito y una forma ordenada de trabajar, ya sea individual o en grupo. El método científico parte de la observación de los fenómenos. Se realiza una formulación teniendo en cuenta las leyes y principios físicos que gobiernan el fenómeno que se estudia y se identifican las mejores soluciones que respondan a los hechos observados. Este movimiento continuo entre la reflexión y práctica es lo que conduce a la creación del conocimiento que caracteriza a las organizaciones que “aprenden”.

Debido a que no es posible diseñar una sola forma de utilización progresiva de las técnicas estudiadas, a continuación, en cada paso de la metodología de solución de problemas se presentan las combinaciones más utilizadas de estas técnicas para realizar cada uno de los pasos. Estas combinaciones son el producto de numerosas experiencias de campo y se pueden acondicionar a diferentes empresas, sectores y problemas.

Paso 1. Selección del tema de estudio.

El tema de estudio se puede seleccionarse con diferentes criterios:

- **Objetivos superiores de la función productiva.**

A partir de los objetivos de la dirección de planta se seleccionan aquellos equipos o líneas de producción en los que se debe mejorar la disponibilidad. Los equipos o áreas seleccionadas serán estudiados para identificar sus problemas críticos e iniciar los estudios de averías específicas.

- **Problemas de calidad y entregas al mercado.**

El equipo problema se puede seleccionar a partir de las pérdidas que se generan para el cliente y el mercado. El equipo o línea con mayor impacto en la imagen de calidad y oportunidad de entregas al cliente, se puede tomar como base para realizar un análisis profundo de averías que afectan la calidad.

- **Responsabilidad ambiental.**

Es posible que el equipo crítico a estudiar sea el que mayor número de problemas ambientales tenga debido a la presencia de averías. Fugas de agentes contaminantes en los equipos pueden determinar la prioridad de estudio.

- **Seguridad.**

Los ruidos producidos por el vapor que se escapa y afecta la integridad del trabajador, sistemas de protección, sistemas contra incendio, controles y otros dispositivos de seguridad y que tengan regulación oficial especial, pueden ser seleccionados como prioritarios para el inicio de un proyecto de mejora.

Cualquiera que sean los criterios utilizados para la selección del tema se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El tema debe ser coherente con los objetivos de la planta en su conjunto.
- Debe referirse a los proceso o equipos que den lugar a las pérdidas principales tales como disminución de fiabilidad, defectos de calidad repetitivos, reclamaciones de clientes costosas, elevados honorarios de subcontratistas, extensos trabajos de rectificación o reproceso, o importantes pérdidas de materiales o contaminación, pólizas de seguros, etc.
- Se debe empezar con temas que brinden los mejores resultados en la mejora de la fiabilidad del equipo.

Es frecuente que la dirección de planta seleccione el *equipo crítico* o instalación que requiere una gestión urgente de mejora debido a su efecto en la productividad de la compañía. Por lo general el equipo crítico presenta los siguientes inconvenientes:

- 1) experimenta frecuentes paradas por averías,
- 2) no cuenta con un equipo alterno en caso de averías,
- 3) afecta significativamente los tiempos de entrega,
- 4) incrementa drásticamente los inventarios en caso de fallo,
- 5) está en las fases finales del sistema productivo donde el valor de los inventarios es superior,
- 6) implica altos niveles de riesgo de seguridad e impacto al medio ambiente.

El tema de estudio no necesariamente es el problema que se va a diagnosticar. El tema de estudio especifica donde y cuanto se debe mejorar. Su redacción puede seguir los lineamientos de la formulación de un objetivo. Por ejemplo: “incrementar el MTBF de la sección de inyección en 10 % en un año”; “aumentar la Efectividad Global de Planta en 7 puntos en el año 2004”.

En otras oportunidades el tema de estudio puede ser muy concreto, por ejemplo: “eliminar todas las fugas de compresores”. Aunque parezca estar definido el problema, esta formulación sigue siendo un tema general de estudio, aunque no sea un objetivo directo de la dirección, ya que para hablar de problema en este caso, se debe realizar un estudio previo sobre la información para identificar la causa más habitual de fuga y de esta forma especificar el problema de estudio.

Paso 2. Crear un equipo de estudio

Este será el equipo humano encargado de analizar el problema y llevar a la práctica las soluciones para evitar la presencia de la avería. Estos equipos están formados por técnicos de mantenimiento y producción. Se puede invitar a participar a trabajadores y operadores relacionados directamente con el equipo. Un factor de éxito de estos estudios es la adecuada gestión del trabajo dentro del equipo. Por este motivo el equipo debe contar con un responsable que coordine las actividades y mantenga una estrecha relación con la jefatura del área o departamento responsable. En este equipo se deben especificar las funciones y responsabilidades de cada uno de los integrantes, de lo contrario, el equipo no podrá trabajar en forma eficiente.

Paso 3. Identificar el problema y conocer su situación actual

En este paso tiene como propósito observar el estado actual del tema que se estudiará, sus antecedentes y pérdidas asociadas conocidas. La principal actividad a realizar es la de recoger y procesar la información disponible de las averías del equipo seleccionado, reparaciones previas y otras estadísticas sobre los problemas de calidad, consumos de energía, análisis de capacidad, tiempos de operación, paradas programadas, etc. Esta información se procesa para llegar a identificar el problema a estudiar. Se reitera que el tema que se define en la mayoría de los casos, no corresponde al problema que finalmente se estudiará. El tema establece un marco de referencia y sobre este se define un problema específico.

Para identificar el problema se sugieren las siguientes estrategias:

Estrategia 1. Análisis de información histórica

Técnicas: Estratificación de información y diagramas de Pareto

Para definir el problema se realiza un proceso de estratificación de la información disponible y a partir de este estudio, se podrán construir tantos gráficos de Pareto como criterios de estratificación se utilicen. La información más frecuentemente utilizada para la realización de la estratificación son las estadísticas de paradas. Esta información se puede estratificar por tipo de parada, ya sea por falta de material, operario, tipo de avería y otros motivos. La Figura 9.1 presenta el esquema lógico a seguir.

Este proceso de selección del problema se realiza con la información existente de averías ocurridas. No tiene en cuenta las averías potenciales o “nuevas” que pueden ocurrir en el futuro.

Ejemplo 1. Paradas de una máquina envasadora.

Para un cierto proceso de llenado de envases plásticos, con la información recogida sobre las causas de paradas de una máquina, se procedió a estratificarla y se obtuvieron las siguientes conclusiones: “el atascamiento del envase aportó el 22 % del tiempo del total de paradas; 12 % de paradas debido a mal tapado; rotura del envase por el pistón de llenado un 39 %; pérdida de sincronización de la leva de control el 7 % de las paradas, etc.” Finalmente el problema quedó definido como “¿Porqué el pistón de llenado rompe los envases?”

Es posible repetir nuevamente el proceso de estratificación para identificar cuál de los 8 pistones es el que más rompe los envases. Esta estratificación se hace por número de pistón. Otra estratificación posible de realizar es por el tipo de proveedor para poder identificar ¿Cuál es el proveedor del envase que más se rompe durante el proceso de llenado? Y una posibilidad adicional podría ser el tamaño de envase de mayor rotura, ya que la máquina envasa en diferentes presentaciones.

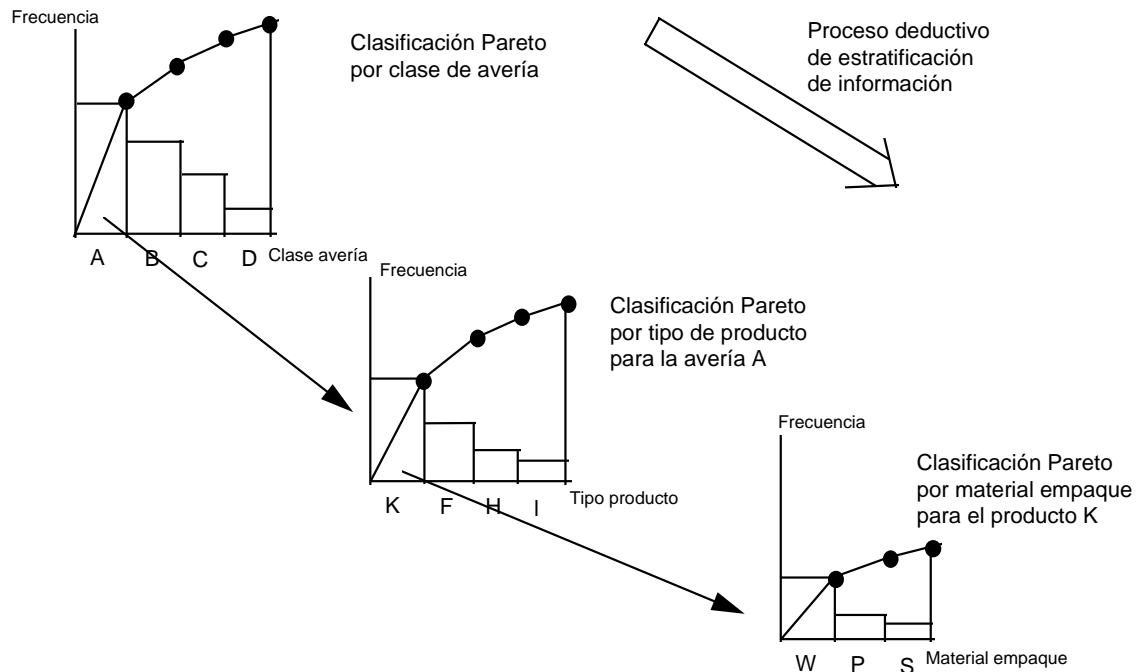


Figura 9.1 Proceso de estratificación de información para definir el problema de estudio

Ejemplo 2. Escapes de vapor en una planta de proceso continuo

En cierta planta de proceso continuo se presentaban pérdidas de vapor ocasionando un incremento en los costes de energía y producción. Para identificar el problema estratificó la información sobre los sitios donde se presentaban el mayor número de fugas de vapor. Las conclusiones del estudio de estratificación fueron las siguientes: “el 46 % de las fugas se presentaron en las uniones tipo brida en tubería, el 8 % en los instrumentos de temperatura, el 24 % en controles y reguladores, etc.” Con este estudio se llegó a definir el problema de la siguiente manera: “¿Por qué en las uniones tipo brida en tubería se presenta el mayor número de escapes de la planta?”

Es posible seguir realizando estratificaciones para acortar aún más el problema; por ejemplo, se puede realizar una estratificación por tipo de junta utilizada en la unión brida, proveedor, personas que realizaron el montaje, etc. Esta clase de estudios pueden continuar y es difícil identificar en que momento termina el paso de identificación del problema y se inicia el diagnóstico de causas, proceso este que también se puede realizar empleando la técnica de estratificación.

Estrategia 2 . Análisis de fallos en equipos críticos

Técnica: Tabla AMFE

Cuando la dirección asigna como tema de estudio la mejora de determinado equipo, se procede a realizar un AMFE para identificar las averías más críticas. Como producto final del AMFE se muestran las averías priorizadas en base al NPR. Los valores más altos de NPR y otros criterios directivos pueden definir el problema que se debe estudiar a continuación. (Figura 9.2)

Este proceso permite evaluar las averías que se han presentado en el pasado y las potenciales que pueden ocurrir en el futuro para seleccionar el problema de estudio.

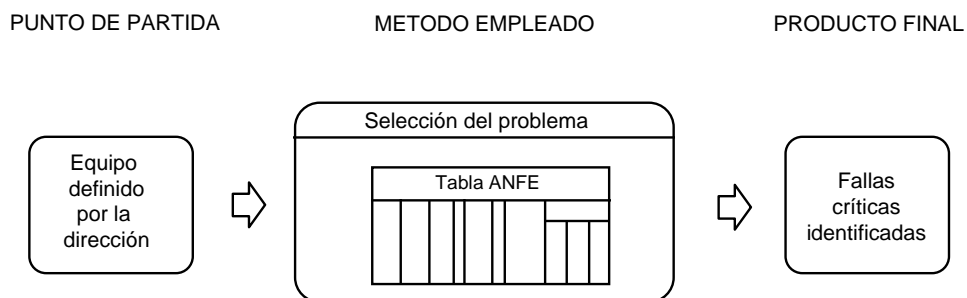


Figura 9.2 Identificación del problema empleando AMFE

Ejemplo: Averías en un autómata neumático

En una planta que produce empaques tenía problemas con la pérdida de sincronización de los pistones que preparan el producto final para su embalaje. Este equipo es cuello de botella y una parada implica retrasos en las entregas al cliente final. El tema es muy concreto, mejorar la fiabilidad del autómata. Para definir el problema se procede a realizar un análisis AMFE del sistema neumático para identificar las averías críticas y definir acciones de mejora.

Estrategia 3. Combinar la estratificación y el análisis AMFE.

Técnicas: Estratificación, diagrama de Pareto y tabla AMFE.

Se pueden encontrar situaciones, especialmente en equipos complejos, que requieren la utilización de los dos estrategias anteriores en forma secuencial. (Figura 9.3)

La forma más utilizada para combinar estas técnicas es la siguiente:

- iniciar el estudio de estratificación para identificar los sistemas del equipo que presentan más problemas, por ejemplo, sistema de lubricación, sistema eléctrico, de control, sistema de alimentación, combustión, etc.
- Para el sistema crítico identificado con la estratificación se construye una tabla para el análisis AMFE para identificar las averías críticas.

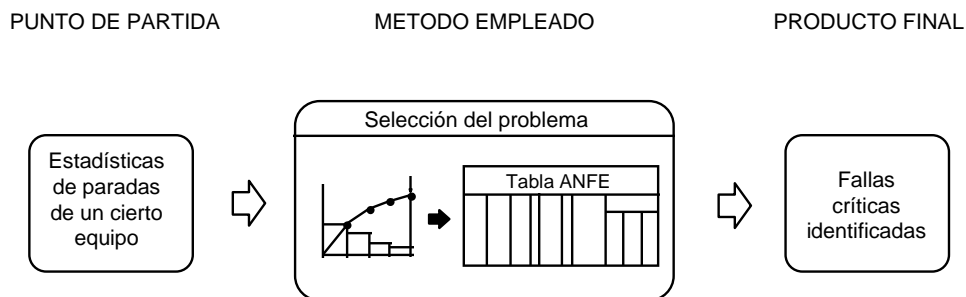


Figura 9.3 Definir problema combinando estratificación y el análisis AMFE

La estratificación de información se emplea para definir el sistema o subsistema del equipo que presenta más problemas de averías. A continuación se realiza un análisis AMFE para identificar la avería crítica a estudiar.

Paso 4: Diagnóstico del problema

Antes de utilizar técnicas analíticas para estudiar y solucionar el problema, se deben establecer y mantener las condiciones básicas que aseguren el funcionamiento apropiado del equipo. Estas condiciones básicas incluyen: limpieza, lubricación, chequeos de rutina, apriete de elementos, etc. También es importante la eliminación completa de todas aquellas deficiencias y las causas del deterioro acelerado debido a fugas, escapes, contaminación, polvo, etc.

Para el análisis de causas se deben utilizar técnicas analíticas y de observación directa. La técnicas analíticas que se utilizan dependen del tipo y la complejidad del problema que se está analizando.



Las técnicas de observación directa de los equipos y lugares de trabajo están basadas en medios visuales que van desde observación visual por parte de los operarios encargados del estudio, hasta el empleo de cámaras de vídeo. Todo esto depende de la complejidad del problema, el proceso o del equipo que se estudia.

La eliminación de las averías en planta requiere el empleo combinado de diferentes metodologías, debido a que estos problemas pueden ser producidos por relaciones complejas de varias causas. Por ejemplo, es normal encontrar en fábricas de productos de consumo, problemas de producción causados por el material de empaque que suministra un proveedor externo. Este tipo de problema requiere utilizar técnicas de control de calidad para su investigación. En procesos complejos como en petroquímica, la relación entre el proceso y equipo es multivariada y para su análisis es necesario utilizar técnicas avanzadas de ingeniería de procesos y mantenimiento. Las técnicas más frecuentemente empleadas por esta clase de especialistas son: Ingeniería de Calidad, Diseño de Experimentos, Métodos Taguchi e Ingeniería Concurrente. Cuando se trata de averías en elementos de un equipo se deberá emplear métodos específicos de mantenimiento como la técnica Porqué-Porqué y el método PM.

A continuación se estudian las combinaciones de técnicas más habituales en la industria. A cada una de estas combinaciones las hemos llamado estrategias.

Estrategia 1. Investigación deductiva

Técnicas: Estratificación y diagrama de Pareto

La estratificación, como se analizó en el paso 2, se puede emplear varias veces y en forma progresiva para identificar las causas raíces del problema. El empleo intenso de diagramas de Pareto requiere un método muy planificado y cuidadoso de toma de información que conduzca a la causa clave.

Ejemplo: Prensa de varios niveles

En determinados procesos industriales se emplean presas para la compresión de ciertos productos. Para aumentar el volumen, estas presas disponen de número de niveles o placas para comprimir varios productos al tiempo. En una planta que emplea este tipo de máquinas, se presentó un problema grave de reclamación por problemas de espesor del producto final.

El primer paso de la estratificación consistió en identificar cuál de los productos de la gama presentó más problemas de calidad. Asumamos para facilitar la explicación que el producto de



espesor 5 mm es el mayor problema. Se realizó una segunda estratificación para identificar si los cinco niveles de la prensa tenían igual comportamiento. Un diagrama de Pareto mostró que las placas 3 y 4 arrojaban un mayor número de productos defectuosos. Se procedió a realizar una tercera estratificación sobre la superficie de la placa. Se estratificó la placa del piso 4 definiendo varias zonas sobre su superficie. De estas zonas se detectó que las del centro de la placa presentaban más problemas.

Los técnicos descubrieron que la única posibilidad de este problema era un cierto pandeo de la placa, debido a la pérdida de dimensiones de unos *topes* que controlaban el espesor. Se tomó la medida correctiva de rectificar la placa y cambiar los topes. Sin esta estratificación de información habría sido imposible identificar y resolver el problema.

Estrategia 2. Procedimiento de calidad (A)

Técnicas: Diagrama de Pareto y diagrama de Causa Efecto.

Este procedimiento es el sugerido por el Dr. Kaoru Ishikawa para realizar estudios de calidad. Con algunos cuidados se puede emplear para el diagnóstico de averías de equipos.

Este procedimiento parte de un diagrama de Pareto en el que se ha identificado la avería crítica. A continuación se construye un diagrama de Causa Efecto para buscar los posibles factores causales. Este diagrama recoge numerosas opiniones de los integrantes del equipo de estudio. El objetivo siguiente consiste en elaborar un segundo diagrama de Pareto con la información disponible de las diversas causas. En algunas oportunidades la falta de datos o la dificultad para la medición de una causa imposibilita construir un diagrama cuantitativo. En estos casos, el grupo de estudio emplea criterios subjetivos para construir el diagrama de Pareto.

Este procedimiento presenta dificultades de priorización de las posibles causas si no se dispone de datos. Por lo tanto, se puede emplear en aquellos problemas simples y donde existe un buen conocimiento de la situación que se estudia, personal con amplia experiencia y facilidad de medición directa o indirecta de la causa. (Figura 9. 4)



PUNTO DE PARTIDA

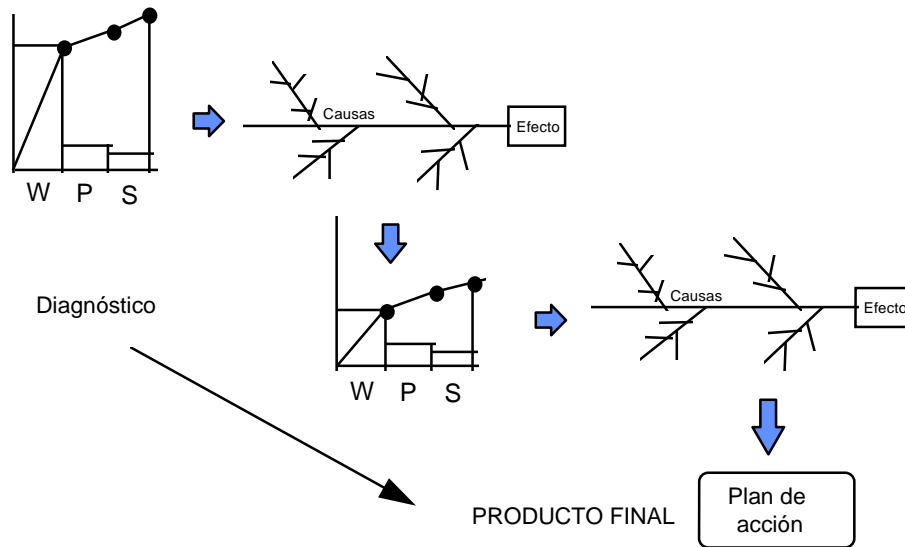


Figura 9.4 Procedimiento de calidad (A)

Cuidados a tener con el diagnóstico a través del diagrama de Causa y Efecto

Para el estudio de los problemas de averías de equipos, el análisis de factores o de calidad sin haber realizado un estudio profundo del equipo, sus mecanismos, estructura y funciones, puede conducir a soluciones superficiales. Frecuentemente la construcción del Diagrama Causa y Efecto se realiza a través de la tormenta de ideas, sin tener la posibilidad de validar y verificar a través de la inspección, si un determinado factor aportado por una persona del grupo de estudio contribuye o está presente en el problema que se estudia. De esta forma, los diagramas se hacen complejos, con numerosos factores y la priorización e identificación de estos factores es difícil debido a las relaciones complejas que existen entre estos factores.

Una práctica poco apropiada y frecuente en los estudios de averías a través del diagrama Causa y Efecto (C-E), consiste en que ciertos integrantes del equipo de estudio, buscan conclusiones relacionadas con el factor humano como las causas más importantes de la avería. Una vez construido el diagrama C-E el equipo llega a conclusiones como “ los factores causales de la pérdida está en un alto porcentaje relacionados con la falta de formación de personal, experiencia, desmotivación, presión de los superiores, etc.” No se quiere decir que estos temas no sean vitales; pero ante problemas técnicos de equipos, debido a la falta de información y al no poder priorizar los factores con datos, se especula y finalmente se evade el problema central, que en definitiva se trata de un problema técnico.

Otra situación anormal y que hay que evitar en el uso del Diagrama C-E durante el análisis de las causas, consiste en la omisión de factores causales, debido a que no se realiza una observación directa de la forma como se relacionan las variables. La falta de evaluación del problema *in situ* no permite tener la certeza de haber eliminado las causas más importantes; simplemente se eliminan algunos de los factores causales.

Se considera que esta metodología es lo suficientemente útil y brinda beneficios importantes, especialmente para mejorar el conocimiento del personal, ya que facilita un medio para el diálogo sobre los problemas de la planta. El empleo del diagrama C-E ayuda a preparar a los equipos para abordar metodologías complementarias, que requieren un mayor grado de disciplina y experiencia de trabajo en equipo. El enfoque de calidad se puede emplear como un primer paso en la mejora de problemas esporádicos, que también hay que eliminarlos; una vez alcanzadas estas mejoras y como parte del proceso de mejora continua, se podrá continuar el trabajo de eliminación de factores causales empleando otro tipo de metodologías más poderosas.

Estrategia 3. Procedimiento de calidad (B)

Técnicas: Diagrama de Afinidad y Relaciones

Esta estrategia de diagnóstico se emplea preferiblemente en aquellas situaciones donde se ha visto que las causas del problema no se pueden cuantificar o donde el factor humano juega un papel significativo. Si no hay información o “datos” existe la posibilidad de consultar al personal operativo para obtener información sobre las posibles causas. Esta clase de causas se consideran cualitativas, ya que hacen referencia a situaciones relacionadas con el factor humano de la empresa. Por ejemplo, se ha estrellado una herramienta y se ha afectado gravemente el equipo. Es posible que se haya presentado un descuido, el operador no conocía ciertos controles o no tenía la experiencia necesaria para actuar, o tenía problemas personales que afectaron su concentración, etc.

El criterio a tener en cuenta para la utilización de esta metodología es que el problema es complejo y la información disponible se puede expresar a través de frases completas u oraciones. En este caso, se procede a construir con la participación del personal un Diagrama de Afinidad sobre las causas del problema. Posteriormente se priorizan los títulos del empleando un Diagrama de Relaciones. Este procedimiento se puede repetir tantas veces como sea necesario para llegar a la causa raíz. (Figura 9.5)

PUNTO DE PARTIDA

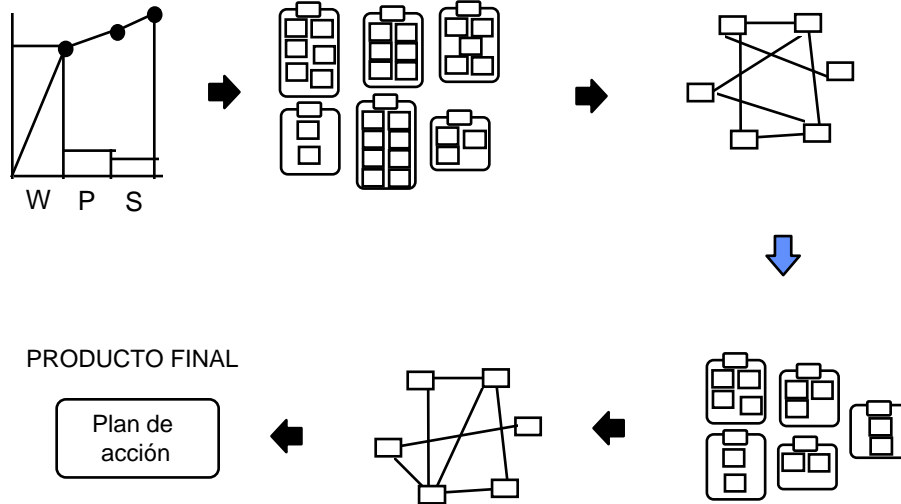


Figura 9.5 Procedimiento de calidad (B)

Cuidados a tener en el diagnóstico a través del Diagrama de Relaciones

Este diagrama es muy útil para analizar problemas complejos. Sin embargo, durante el empleo de esta técnica se deben tener algunos cuidados:

- En lo posible se debe verificar que el aporte de cada integrante sea lo más cercano a la realidad. Se debe evitar la especulación.
- El Diagrama de Relaciones identifica varias causas prioritarias, pero las restantes no necesariamente se deben descartar.
- El máximo cuidado se debe tener en el momento de seleccionar del diagrama de afinidad, las tarjetas título que se emplearán en la construcción del diagrama de relaciones. Es frecuente llegar a conclusiones equivocadas al emplear temas relacionados con factor humano como causas directas de una avería. Estas causas de tipo humano naturalmente pueden contribuir, pero ante una avería no son directamente causales. Estas pueden ser causas secundarias. Ver Figura 9.6

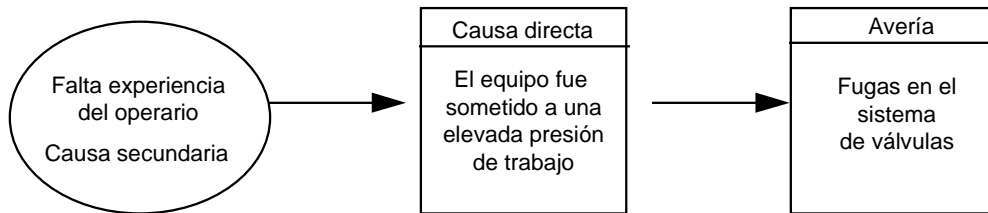


Figura 9.6 Relación del factor humano con la avería

Estrategia 4. Procedimiento CEDAC

Técnicas: Diagrama CEDAC

Esta estrategia de diagnóstico emplea, como se explicó previamente, un sistema de gestión visual para el registro de causas y acciones correctivas, las cuales se van implantando en la medida que son estudiadas. En los gráficos efecto se verifica el grado de contribución a la mejora. (Figura 9.7)

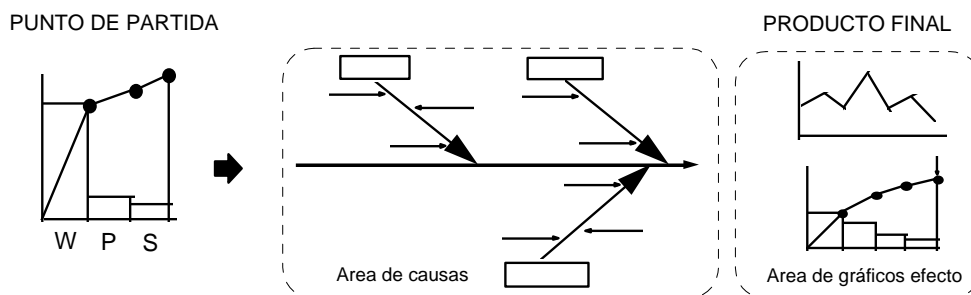


Figura 9.7 Diagnóstico mediante el procedimiento CEDAC

Estrategia 5. Estrategias de Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Técnicas: Porqué-Porqué y método PM

La estrategia de Mantenimiento Productivo Total TPM para el diagnóstico de averías se inicia con la utilización de la técnica Porqué-Porqué. Esta técnica permite reducir en forma dramática la repetición de las averías, pero no la elimina en forma definitiva. Por este motivo es necesario emplear a continuación el método PM para lograr eliminar de raíz la mayor cantidad de factores causales y alcanzar altos niveles de confiabilidad en los equipos. (Figura 9.8)

Cuando un equipo se encuentra bien mantenido y presenta una avería, se puede realizar su diagnóstico aplicando un análisis PM. Pero si el equipo se encuentra deteriorado y sus condiciones básicas están descuidadas, se considera que es más apropiado iniciar un estudio con la técnica Porqué-Porqué, antes de aplicar un análisis PM.

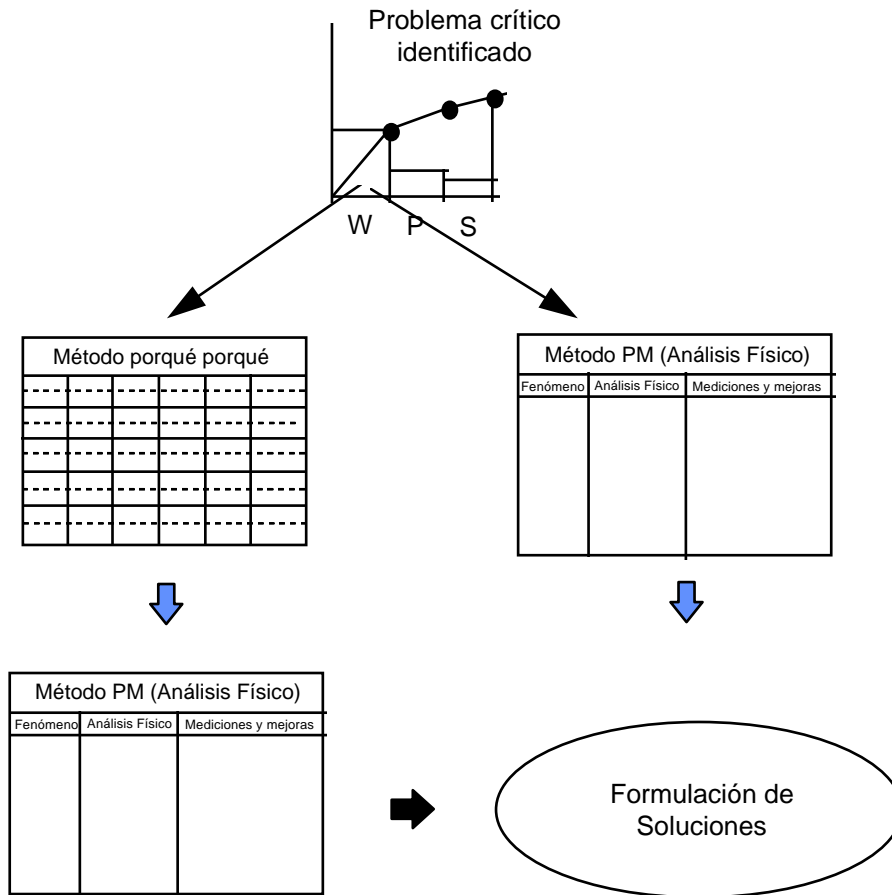


Figura 9.8 Estrategias de Mantenimiento Productivo Total

Estrategia 6. Diagnóstico en equipos avanzados o complejos

Cuando se trata de equipos nuevos, complejos o donde el deterioro acumulado es mínimo, se recomienda emplear directamente el método PM. En algunas empresas japonesas emplean en forma sistemática la combinación de AMFE y método PM para eliminar problemas del equipo que afectan la calidad del producto (Mantenimiento de Calidad). Este diagnóstico puede llegar a ser sofisticado y lo realizan especialmente los ingenieros de proceso y mantenimiento. (Figura 9.9)



ceroaverias.com

PUNTO DE PARTIDA

Problema
en un equipo
avanzado



Tabla ANFE									



Método PM (Análisis Físico)		



PUNTO DE FINAL

Nuevo plan
mantenimiento

Figura 9.9 Diagnóstico de equipos complejos

Resumen

Se puede concluir que cada problema puede estudiarse y diagnosticarse empleando y combinando una variedad de técnicas. Es importante tener en cuenta que se pueden llegar a *recomendar* algunas estrategias para el empleo sistemático de las técnicas de solución de problemas. Sin embargo, estas estrategias sugeridas no cubren todas las posibilidades, pero de la experiencia podemos decir que son las más frecuentes. El lector podrá experimentar nuevas alternativas no estudiadas en este libro y aplicar otro tipo de técnicas de diagnóstico más sofisticadas, como la teoría del desgaste, tecnologías avanzadas de mantenimiento y estudios de lubricación, como también una técnica de reciente creación como el Triz o análisis inventivo de problemas.

La Figura 9.10 presenta un resumen general sobre como se podrían emplear las estrategias de diagnóstico presentadas.

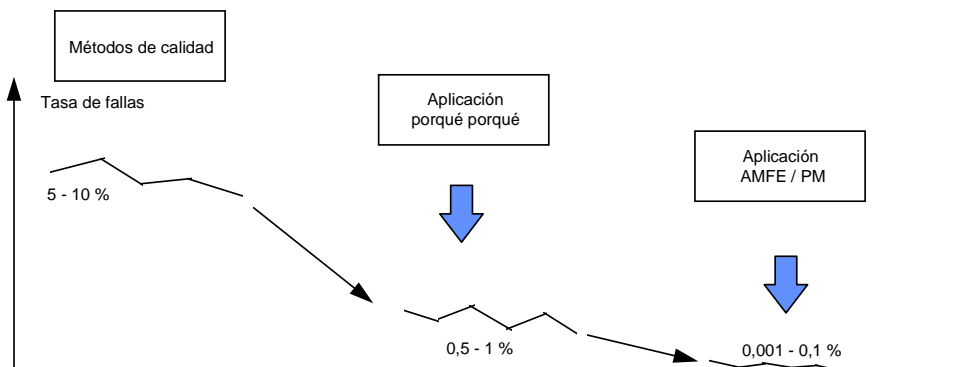


Figura 9.10 Empleo de estrategias de diagnóstico

Paso 5: Formular plan de acción

Una vez se han investigado y analizado las diferentes causas del problema, se establece un plan de acción para la eliminación de las causas críticas. Este plan debe incluir alternativas para las posibles acciones. A partir de estas propuestas se establecen las actividades y tareas específicas necesarias para lograr los objetivos formulados. Este plan debe incorporar acciones tanto para el personal especialista o miembros de soporte como ingeniería, proyectos, mantenimiento, etc., como también acciones que deben ser realizadas por los operadores del

equipo y personal de apoyo rutinario de producción como maquinistas, empacadores, auxiliares, etc.

El plan de acción debe contener indicadores de progreso y fechas en las que el personal comprometido deberá realizar actividades de auto evaluación del progreso. La figura 9.11 presenta un formato típico empleado para registrar los planes de trabajo. Estos formatos deben facilitar la aplicación de los ciclos de control siguiendo el conocido ciclo Deming o PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar).

Es frecuente en compañías con sistemas de fabricación considerados como *World Class* o de categoría mundial, emplear las metodologías de Dirección por Políticas para la evaluación de las mejoras. Estos procedimientos son muy útiles para que la dirección y el equipo de estudio pueda realizar un eficaz seguimiento a sus actividades (Y. Akao, 1991; G. Merli, 1997; H. Alvarez, 1996).

PLAN DE ACCION PARA ELIMINAR AVERIAS CRONICAS						
Preparado por: _____		División _____		Tema de estudio _____		
Breve resumen de la situación y causas.						
Objetivos	Estrategia a seguir	Puntos de control	Meta	Frecuencia de control	Documentos de control	Responsable
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

Figura 9.11 Formato para registrar planes de acción

El contenido del formato de planes de acción es el siguiente:

- *Objetivos (1)*. En esta columna se registran cada uno de los objetivos que el equipo de estudio se ha propuesto para eliminar la avería y mejorar el equipo.
- *Estrategia a seguir (2)*. Estas son las acciones específicas que se realizarán para cada uno de los objetivos. En la terminología de Dirección por Políticas estos se conocen como los “comos” para lograr el objetivo.
- *Puntos de control (3)*. Es el equivalente de índices de control o parámetro que se empleará para verificar (el proceso seguido) si el proyecto progresa de acuerdo a los resultados esperados. Por ejemplo: valores de MTBF, número de acciones de emergencia en el equipo sobre el total de actividades realizadas por mantenimiento, etc.
- *Meta (4)*. Es un valor que se propone alcanzar el equipo para cada uno de los puntos de control. Estos valores tienen que ver con los objetivos parciales que se establecen para garantizar que si se logran estos, el objetivo final establecido se logrará.
- *Frecuencia de control (5)*. Se hace referencia al tiempo previsto para realizar los controles, mensual, semanal diario, etc. Este punto no tiene relación con la fecha de inicio y finalización. Se trata de establecer la frecuencia de revisión sobre el proceso u objetivos intermedio, con el objeto de garantizar que el resultado final se logrará.
- *Documentos de control (6)*. En esta columna se indican los documentos, gráficos, informes, estadísticas, etc. que se emplearán para mostrar a la dirección que los objetivos parciales se vienen alcanzando de acuerdo al plan.
- *Responsable (7)*. Muestra el nombre de la persona responsable de las acciones parciales y estrategias.

Paso 6: Implantar mejoras

Una vez planificadas las acciones con detalle se procede a implantarlas. Es importante durante la implantación de las acciones contar con la participación de todas las personas involucradas en el proyecto incluyendo el personal operador. Las mejoras no deben ser impuestas ya que si se imponen por orden superior no contarán con un respaldo total del personal operativo involucrado.

También hay que tener en cuenta que cuando en una planta hay más de una unidad de máquina del mismo tipo, se debe implantar la mejora en una unidad, y después extender la mejora a los

restantes equipos, una vez se hayan verificado los resultados obtenidos. Una vez se ha implantado la mejora, se debe tener previsto el momento en que se tomará la información para controlar la mejora y comprobar que los objetivos propuestos se han logrado. Si no se logra la mejora propuesta, es importante planificar nuevas acciones. Los planes de mejora deben ser flexibles, de lo contrario llegarán a producir desmotivación y pérdida de interés para los integrantes de los equipos de diagnóstico.

Paso 7: Evaluar los resultados

Es muy importante que los resultados obtenidos de mejora sean publicados en una cartelera o tableros de gestión visual en toda la empresa. Esto ayudará a asegurar que cada área se beneficie de la experiencia de los grupos de mejora. El comité u oficina encargada de coordinar los estudios debe llevar un gráfico o cuadro el la cual se controlen todos los proyectos, y garantizar que todos los beneficios y mejoras se mantengan el tiempo. Es importante asegurar la permanencia de las acciones correctivas mediante verificaciones periódicas y aplicando estándares de mantenimiento.

Tableros de gestión visual

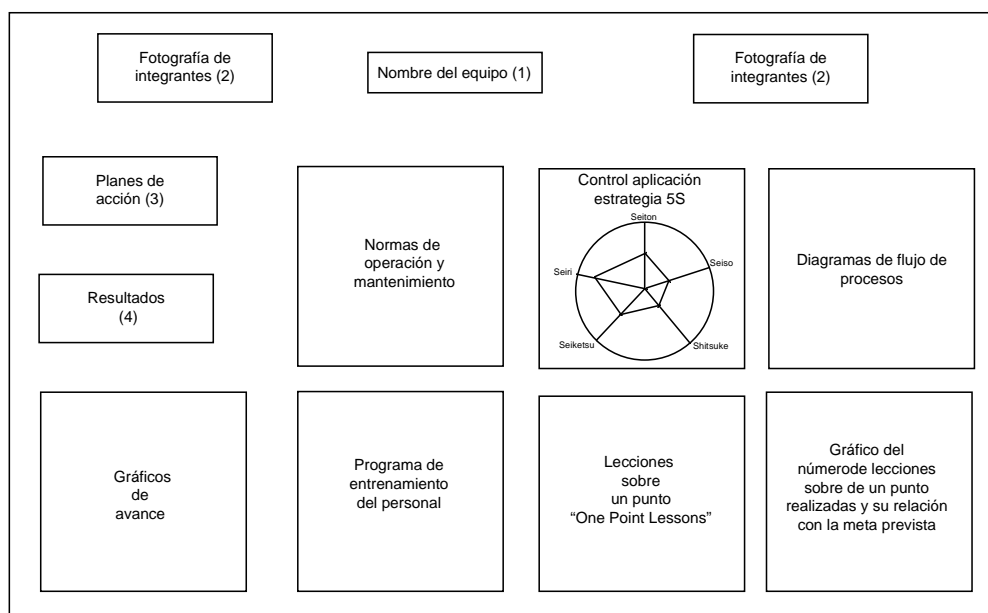
Las fabricas japonesas ofrecen numerosos ejemplos de la forma como se pueden establecer “comunidades de diálogo” frente a los tableros de control existentes en las plantas. Se busca que cada persona pueda conocer los problemas y el progreso alcanzado con las acciones implantadas. (H. Hirano). El poder de los tableros de gestión visual está en los siguientes puntos:

- La información se ha preparado para ser presentada utilizando una gran variedad de gráficos: series de tiempo, circulares, radar, barras, Pareto, etc.
- Se emplean colores para mostrar las tendencias históricas para facilitar su interpretación
- Son de gran tamaño (entre 3 a 6 metros cuadrados) para facilitar su observación a una distancia apreciable.
- Todas las personas se mantienen informadas sobre la evolución del área
- Los compromisos se registran en este tablero ejerciendo un control grupal para su cumplimiento.
- Se destacan las buenas acciones mostrando lo logros alcanzados
- Facilita la gestión en tiempo real al estar cerca del sitio de trabajo que es donde se genera la información

De acuerdo al marco teórico el aprendizaje colectivo se estimula con el proceso de conversación creativa que se realiza frente a estos tableros. Las empresas que los aplican con

éxito asignan unos pocos minutos diarios para evaluar los gráficos, sus tendencias y nuevas tareas a realizar. Es allí donde las personas se comprometen y evalúan su aporte al funcionamiento de la sección.

Existen numerosos diseños de tableros de gestión visual. La figura 9.12 presenta un modelo utilizado por autor teniendo buena aceptación en las plantas donde se ha instalado.



Diseño: Humberto Alvarez Laverde

Figura 9.12 Diseño de un tablero para gestión visual.

Paso 8. Estandarizar para evitar repetición de la avería

Este paso final pretende que las acciones correctivas se mantengan y se puedan aplicar las mejoras conseguidas a otros equipos similares. El proceso de prevención se realiza mediante la transferencia de conocimiento a todas las personas involucradas con el equipo; para realizar esta transferencia de conocimiento se emplea un informe final conocido en el TPM como "Aprender de las averías". El modelo del formato de este informe se presenta en la figura 9.13



Aprender de las averías		Jefe de sección	Supervisor	Jefe de grupo		
Informe de las acciones tomadas para evitar averías en el equipo						
Equipo/línea		Fenómeno:				
Identificación No.						
Fecha/hora del problema		Tiempo investigación		Accidental		
Fecha/hora restauración		Tiempo equipo parado		Reincidente		
Conclusiones de la investigación		Elementos investigados	Resultados de la investigación			
	Equipo/partes		Aspectos humanos			
Causas	Porqué ? 1					
	Porqué ? 2					
	Porqué ? 3					
	Porqué ? 4					
	Porqué ? 5					
Prevención reincidencia	(Acción primera)	Fecha de finalización de acción	(Acción segunda)	Fecha de finalización de acción		
Comentarios del supervisor	Puntos a tener en cuenta	Necesario ?	Fecha prevista	Fecha cumplida	Responsable	Otro
	(Lección un punto)	Sí/No				
	(Incluir manual)					
Comentarios del Jefe						

Figura 9.13 Formato informe “Aprender de las averías”

Recomendaciones finales



Antes de empezar cualquier proceso de análisis de averías se deben tener en cuenta algunas consideraciones, las cuales van a permitir realizar la mejora sin contratiempos o en una forma más eficiente. Es importante notar que estas consideraciones no son obligatorias. La preparación de las personas que van a participar en el proyecto de estudio debe ser un factor para el éxito de esta clase de proyectos. Algunos de los temas en los cuales se deben preparar son:

- Comprender plenamente la filosofía del proceso de mejora y las técnicas de análisis de causas.
- Entender el significado de las pérdidas y el impacto en la efectividad global de la planta.
- Entender bien el proceso de producción, incluyendo sus principios teóricos básicos.
- Reunir datos sobre fallos, problemas y pérdidas, y llevar gráficos de su evolución en el tiempo.
- Clarificar las condiciones básicas necesarias para asegurar el apropiado funcionamiento del equipo y definir claramente los factores que contribuyen a su estado óptimo.
- Dominar las técnicas necesarias para analizar y reducir los fallos y pérdidas.
- Mantener limpio el sitio de trabajo para facilitar la observación cuidadosa de los lugares de trabajo para descubrir lo que realmente sucede y las oportunidades de mejora.

Capítulo 7

GEMBA GEMBUTSU

(OBSERVACIÓN DIRECTA DEL PROBLEMA)

Introducción

La siguiente metodología la desarrollamos con el propósito de ayudar al personal de mantenimiento y producción, a mejorar el proceso de análisis y eliminación de averías de esporádicas que se deben resolver en forma rutinaria. Se trata de un proceso de análisis que busca resolver problemas de equipos que no dan espera para su puesta en marcha.

Esta metodología se aplica en los trabajos diarios de mantenimiento, ya que las estrategias anteriormente estudiadas generalmente toman un tiempo para su análisis y eliminación, debido a la necesidad de procesar información y realizar análisis técnicos detallados.

Principios de funcionamiento

Más que una técnica de investigación, se trata de un método de actuación frente a las averías. Sirve para desarrollar habilidades de identificación de posibles causas raíces, evitando realizar un trabajo de intervención o reparación sin considerar la totalidad de causas raíces.

Los pasos sugeridos son:

Paso 1. Prepárese para el diagnóstico

Al llegar al sitio donde se encuentra el equipo averiado se debe evaluar cada uno de los riesgos potenciales de accidentes. Se preparan medidas de seguridad para evitar posibles riesgos y problemas contra la integridad física. Emplee candados de seguridad, tarjetas “Alerta”, señales visibles que muestren que usted está trabajando en el equipo.

Paso 2. Tome información.

Realice preguntas sobre ruidos y comportamientos extraños al personal operativo que estaba trabajando con el equipo en el momento en que se presentó la avería. Consulte las hojas de vida del equipo, historia de averías pasadas o intervenciones recientes. Conozca el estado de la tensión y corriente existente en las líneas. Fechas del último mantenimiento correctivo o preventivo, etc. Con esta información podrá hacerse una idea de la clase de problema que va a enfrentar y plantee hipótesis que probará durante la inspección detallada.

Paso 3. Clarifique el fenómeno que observa.

Posiblemente una de las mejores enseñanzas que nos dejó el experto en calidad Dr. Kaoru Ishikawa es la siguiente: “cuando se estratifica la información que se posee sobre un problema, con absoluta seguridad se habrá identificado cerca de un 70 % de las causas del problema”. Cerca de seis décadas el Dr. Ishikawa practicó y enseñó este consejo. Le puedo manifestar que es muy útil esta práctica y brinda numerosas satisfacciones durante el diagnóstico de las causas, ya que permite identificar problemas ocultos que con otro tipo de técnica no se podrían identificar.

Mediante la estratificación de información usted podrá identificar mejor el problema. Tenga en cuenta los siguientes factores para estratificar la información:

- Tipo de material que estaba trabajando el equipo cuando sucedió la avería. Es posible que una de las causas raíces se deba a que se han presentado problemas con la materia prima, cambio de esta, contaminación, requisitos técnicos diferentes para su proceso, etc.
- Turno en el que se presentó el problema. Debe investigar si el turno es similar al de anteriores problemas. Estudie las estadísticas y evalúe la frecuencia de los fallos por turno, operativo, hora o día. No descarte esta posible causa ya que al estratificar podrá encontrar alguna variable que le permita mejorar su solución.
- Tipo de avería. El análisis de las estadísticas de las averías pueden conducir a identificar problemas relacionados con la disminución de la confiabilidad del equipo, reducción del Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) y problemas de diseño.
- No descarte la ubicación del equipo. Existen zonas dentro de la planta que pueden estar expuestas al tráfico de materiales, contaminación, humedad, calor o lugares con iluminación deficiente. Estos factores pueden conducir a mayores riesgos potenciales de avería.



- Tampoco descarte la posibilidad de encontrar zonas donde se concentran fisuras, rayas o deformaciones en averías ocurridas en el pasado. Esta información no se toma frecuentemente, pero es fundamental para estratificar dentro de la geometría, la zona de la pieza donde se presenta con mayor frecuencia el fallo.

Paso 4. Evalúe la apariencia física y la forma como se presentó la avería.

Frecuentemente el personal de mantenimiento decide en primer lugar y siguiendo un comportamiento de *acto reflejo* (sin meditar) retirar el componente, motor, subconjunto, etc., que considera que tiene problemas, con el objeto de llevarlo al taller para inspeccionarlo con comodidad, empleando herramientas necesarias y con detenimiento.

Esta práctica común de trabajo no permite evaluar síntomas “in situ” sobre la apariencia de la avería. Evite este tipo de prácticas deficientes. Es importante que Vd. pueda observar cualquier fenómeno extraño sobre las superficies del equipo o su entorno que le permitan mejorar su diagnóstico. Tenga en cuenta los siguientes puntos antes de retirar el equipo:

- La pérdida de dimensiones o geometría por corrimiento de algún elemento, ovalamiento, alabeo y pérdida de forma original.
- Deformaciones superficiales de los materiales
- Cambio de color en superficies, brillo o suciedad en partes deslizantes
- Partículas metálicas o de otros materiales en las superficies deslizantes
- Doblado de soportes o piezas
- Olores extraños en el equipo
- Forma como quedó atrapado el material que estaba procesando el equipo
- Fugas y escapes producidos
- Piezas como resortes saltados, elementos mecánicos en correctas condiciones pero fuera de sus soportes y el estado de los *fusibles mecánicos* que no actuaron o su estado y apariencia.
- Cambios aparentes o desplazamientos del anclaje del equipo. Observe su estado

Recuerde que nunca existe una sola causa que sea capaz de producir una avería. Esta se produce por combinación de varios factores y un número importantes de ellos se encuentran fuera del equipo.

Paso 5. Proceda a obtener conclusiones antes de desarmar el equipo averiado

Le sugiero emplear las 4M como modelo mental de análisis, seguir la búsqueda haciendo referencia a las 4M (Materas Primas, Método, Máquinas, Mano de Obra) facilita un orden para la identificación de factores causales. Siempre tenga presente en el interior de su mente estas 4M para buscar en forma ordenada las causas de la avería. Si es posible realice una lista de las posibles causas en una hoja de papel, emplee el formato que quiera, lo importante es que realice una reflexión profunda sobre el posible fenómeno que alteró la funciones del sistema que estudia.

Paso 6. Desarme cuidadosamente el equipo.

Le recomiendo marcar con marcador de tinta permanente o pintura la ubicación de ciertos componentes que Vd. ha encontrado desplazados. Esta marcación le facilitará comprender la magnitud del fallo y el posterior armado del equipo.

Tenga en cuenta las mismas observaciones de apariencia física sugeridas para el análisis cuando proceda a evaluar internamente el equipo. Durante la evaluación interna del equipo se debe tener presente cada una de las especificaciones o medidas estándar que debe tener el equipo. Mida desplazamientos y las tolerancias que ha encontrado, si son diferentes reflexione sobre las posibles causas de su desviación. Emplee el modelo 4M permanentemente.

Paso 7. Plan de acción

Realice un plan de acción que le permita llevar las condiciones anormales del equipo a sus estándares iniciales. La práctica habitual, no muy recomendada, en los profesionales de mantenimiento se orienta a realizar el cambio de los elementos deteriorados como mecanismo para resolver el problema. Esta acción en sí no garantiza la eliminación de las causas raíces.

Es posible que con este tipo de comportamientos no se logre eliminar causas externas al equipo y consideradas en las 4M. Si estas no son eliminadas se puede presentar nuevamente en corto tiempo el problema. Recuerde que las estadísticas indican que “un alto porcentaje de las averías en los equipos de manufactura se deben a una deficiente operación y falta de cuidado de las condiciones básicas del equipo, esto es, falta de limpieza, lubricación y desajustes”. (Ver S. Nakajima, TPM Plan de Desarrollo).

Concepto podar el césped

Este principio muy habitual entre los practicantes japoneses de mantenimiento sugiere que cuando se corta el césped con una máquina, esta elimina la hierba alta y dentro de esta se encuentran varias piedras ocultas las cuales inicialmente no se apreciaban. Al cortar el césped quedan al descubierto los obstáculos y se procede a removerlos.

Este principio ayuda a mejorar la calidad del mantenimiento. Se deben reparar todas las posibles anomalías del equipo, ya que este proceso permite identificar nuevas causas ocultas, que se identifican únicamente al haber eliminado las que hemos considerado como inmediatas. Durante el proceso de reparación recuerde siempre este principio.

Acciones de estandarización.

Una forma muy aceptada en la industria japonesa para la prevención de los problemas en los equipos es mediante la preparación y empleo de los estándares de operación de los equipos, estándares de Mantenimiento Autónomo, uso de controles visuales de planta y aplicación de la estrategia de las 5S en los equipos. Estas buenas prácticas deben ser asumidas como parte del plan de mejora de los equipos y eliminación de todo tipo de causas de los problemas.

Paso 8. Reportar el trabajo realizado

Posiblemente la mayor cantidad de información y conocimiento en las empresas industriales se pierde en el área de mantenimiento, especialmente en el proceso de preparación de los reportes de intervención en los equipos. Cada avería y fallo detectada es una fuente de aprendizaje, para lograr asegurar el conocimiento generado se deben preparar reportes apropiados donde se consigne como mínimo la siguiente información:

- Estado en que se encontró en equipo o componente
- Causas potenciales de la avería
- Trabajo de intervención realizado: reparaciones, cambios, repuestos y tiempo empleado.
- Comentarios del operario sobre la forma como se presentó el fallo

Esta clase de información será de utilidad para el proceso estadístico de los fallos y diagnósticos profundos para mejorar el equipo. También sirven para la preparación de indicadores como MTTR o Tiempo Medio Para Reparar y MTBF o Tiempo Medio Entre



Fallos. Con el desarrollo de tecnologías informáticas se pueden realizar diagnósticos profundos al poder procesar esta clase de información, haciendo uso de herramientas estadísticas simples y avanzadas.

Conclusión

Espero apreciado lector que estas recomendaciones le hayan ayudado a comprender mejor la forma de comportarse ante las averías de los equipos. Estas estrategias han sido utilizadas en numerosas empresas del mundo y han brindado muy buenos resultados. Los invito a que las practique y ayude a mejorar la posición competitiva de nuestras empresas.