



Mantenimiento integral organizacional

Federico Cervera Bonilla



Mantenimiento integral organizacional

Federico Cervera Bonilla





**Comité editorial de producción
educativa digital**

Jaime Quiceno G.
Ricardo Pachón V.
Fanny C. Velasco L.
Wilson Ramírez L.
Héctor Sanabria R.
Jorge Federico Vargas P.
Juan Carlos Lozano

Rector

Jaime Arias Ramírez

Vicerrector académico

Óscar Leonardo Herrera Sandoval

Vicerrector administrativo y financiero

Nelson Gnecco Iglesias

Esta es una publicación del Departamento de Ingeniería Mecánica
de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas.

Adolfo Naranjo Parra
Decano

Pedro William Pérez Orozco
Director del Departamento de Ingeniería Mecánica

ISBN (PDF): 978-958-26-0444-8
Primera edición: 2019

© Federico Cervera Bonilla
© Ediciones Universidad Central
Calle 21 n.º 5-84 (4.º piso). Bogotá, D. C., Colombia
PBX: 323 98 68, ext. 1556
editorial@ucentral.edu.co

Catalogación en la Publicación Universidad Central

Cervera Bonilla, Federico, autor.

Mantenimiento integral organizacional / Federico Cervera Bonilla -- Primera edición
-- Bogotá : Ediciones Universidad Central, 2019.

1 recurso en línea (148 páginas) : ilustraciones.

Incluye referencias bibliográficas.

ISBN: 978-958-26-0444-8 (PDF)

1. Mantenimiento productivo total 2. Mantenimiento – Administración 3. Administración de oficinas - Equipos y accesorios - Mantenimiento y reparación 4. Productividad del trabajo 5. Indicadores de gestión 6. Cambio organizacional I. Universidad Central (Bogotá, Colombia). Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas. Departamento de Ingeniería Mecánica.

658.202 – dc23

PTBUC/25-11-2019

Preparación editorial

Dirección: Héctor Sanabria Rivera
Coordinación: Nicolás Rojas Sierra
Diseño: Patricia Salinas Garzón
Diagramación: Mónica Cabiativa Daza
Corrección de textos: Deixa Moreno Castro

Publicado en Colombia - *Published in Colombia*

Prohibida la reproducción o transformación total o parcial de este material por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Introducción	7
Trayecto 1.	
Introducción al Mantenimiento Total Productivo (TPM)	9
Mantenimiento	10
Productividad	13
Personal	15
Participación total.....	21
Los cuatro objetivos del TPM	24
La gerencia por objetivos	28
Trayecto 2.	
Estrategias de gestión del Mantenimiento Total Productivo	32
Los indicadores clave de desempeño o KPI.....	33
Primer pilar: mejoras enfocadas (<i>kobetsu kaizen</i>)	39
Indicador de efectividad global de equipamiento (<i>OEE</i>)	47
Pérdidas de efectividad	50

El cuadro de mando integral o BSC.....	54
Políticas del kaizen	57
Segundo pilar: mantenimiento autónomo (<i>jishu hozen</i>)	58
Tercer pilar: mantenimiento planificado (<i>keikaku hozen</i>)	68
Reparación de averías y mantenimiento inmediato	70
Mantenimiento predeterminado (basado en el tiempo)	70
Mantenimiento basado en el uso o en la carga	71
Mantenimiento basado en condición	72
Mantenimiento predictivo	76
La cuarta generación del mantenimiento	78
Cuarto pilar: entrenamiento y educación.....	83
Quinto pilar: prevención en el mantenimiento P-M (<i>Early Equipment Management, EEM</i>)	85
Sexto pilar: calidad en el mantenimiento (<i>hinshitsu hozen</i>)	87
Séptimo pilar: TPM administrativo o TPM en las oficinas	94
Octavo pilar: salud, seguridad y ambiente	96
Trayecto 3.	
Implementación del Mantenimiento Total Productivo	99
Etapas de implementación del TPM.....	100
Etapa 1. Aplicación del primer pilar: mejoras enfocadas	104
Etapa 2. Aplicación de los pilares de mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado y calidad en el mantenimiento	120
Etapa 3. Aplicación de los pilares de administración temprana de equipos, TPM en oficinas y la sostenibilidad en recursos y tiempo de TPM	134
Bibliografía consultada	141

El mantenimiento integral organizacional nace de la necesidad de controlar el adecuado funcionamiento de los recursos físicos y de funcionamiento en las organizaciones, por medio de estrategias correctivas y preventivas.

Entre las diferentes estrategias, el Mantenimiento Total Productivo (TPM, por sus siglas en inglés) es uno de los elementos fundamentales del campo de estudio de la gestión de mantenimiento y activos físicos. Como disciplina de aplicación, emergió a mediados del siglo XX y, debido a su constante transformación, aún se mantiene como una de las alternativas vigentes para eliminar pérdidas y buscar una mejora continua a todo nivel organizacional. Así, este módulo le facilita a los lectores de múltiples líneas profesionales adquirir las competencias necesarias para planificar, identificar, actuar, verificar y mejorar continuamente los procedimientos de las organizaciones.

En el primer trayecto se encuentran aquellos hechos que marcaron las diferentes transformaciones a los métodos de trabajo, así como el origen y motivación de cada uno de los aspectos que dan nombre y sentido al TPM. En el segundo trayecto se exploran todos los pilares en los que se divide tradicionalmente el TPM, con el fin de conocer la base inicialmente propuesta y de poder aprehender

lo funcional y fundacional de esta estrategia, que pueda ser aplicado a tipo de organización. En el tercer y último trayecto, se presentan algunos casos de aplicación, que representan el uso corriente de los pilares del TPM, descritos en el segundo trayecto con sus herramientas; a partir de criterios de trabajo cotidianos en toda organización.

Trayecto 1.

Introducción al Mantenimiento Total Productivo (TPM)

El TPM es considerado una disciplina que agrupa distintos enfoques organizacionales y prioriza las buenas prácticas de manufactura a través de una serie de herramientas que tienen como objetivo principal la eliminación de pérdidas. Su origen se remonta al Japón de mediados del siglo xx, como resultado de los múltiples intentos de alcanzar la más alta calidad en sus procesos productivos y un mínimo desperdicio de recursos como tiempo y energía.

Ahora bien, el *mantenimiento* se comprende como el eje de las tareas que pueden maximizar la disponibilidad de los activos físicos de cualquier organización; la *producción* consiste en uno de los objetos principales de toda organización, que busca entregar productos con calidad y superar las expectativas del cliente; *total* se refiere al personal de la organización, sus clientes y también sus proveedores, todos incursos en la misma vía de excelencia y calidad.

Este módulo es una exploración de los conceptos y de los acontecimientos que significaron el surgimiento del TPM y sus éxitos posteriores, de los pilares en los que se cimienta este grupo de estrategias y de la presentación de algunos casos que pueden facilitar la comprensión del lector para evaluar las es-

trategias que se utilizarían para iniciar el proceso de mejora continua.

Mantenimiento

El *mantenimiento* es toda acción que permite preservar el funcionamiento de un activo físico o de restaurarlo a su correcto estado. En el caso de la industria moderna, el mantenimiento es fundamental para asegurar la continuidad de los procesos de fabricación, puesto que el uso de los equipos desencadena fenómenos de desgaste, fatiga y vibraciones. Estos pueden traducirse en daños o averías que pueden afectar el trabajo normal de un proceso de fabricación o de prestación de servicios.

En el escenario de esta necesidad emergió una forma distinta de concebir el mantenimiento con el trabajo de Nakajima (2006), desde antes de los años cincuenta del siglo xx, como se muestra en la figura 1. Sin embargo, es de anotar que estas reflexiones aún permanecen hasta nuestros días.

El *mantenimiento de averías*, que ha existido desde siempre, se comprende como aquel con el que se conserva el funcionamiento de un equipo, interviniéndolo cuando este presenta un desperfecto o falla sin ningún tipo de entrenamiento. Actuar de esta manera conduce a pérdidas económicas y de productos, así como de energía y esfuerzos administrativos, causados por falta de planeación en la intervención y paradas no programadas de la maquinaria.

Con respecto al *mantenimiento correctivo*, este surgió del entrenamiento del personal para la reparación de fallas en la maquinaria con la mínima cantidad de tiempo posible, a raíz de las condiciones que condujo el mantenimiento de averías. Muchas empresas en la actualidad funcionan de esta manera. La falta de capacitación y la necesidad imperante de bajar todo costo de intervención y mantenimiento, al máximo y sin control, se convierten en un escenario para el desarrollo de

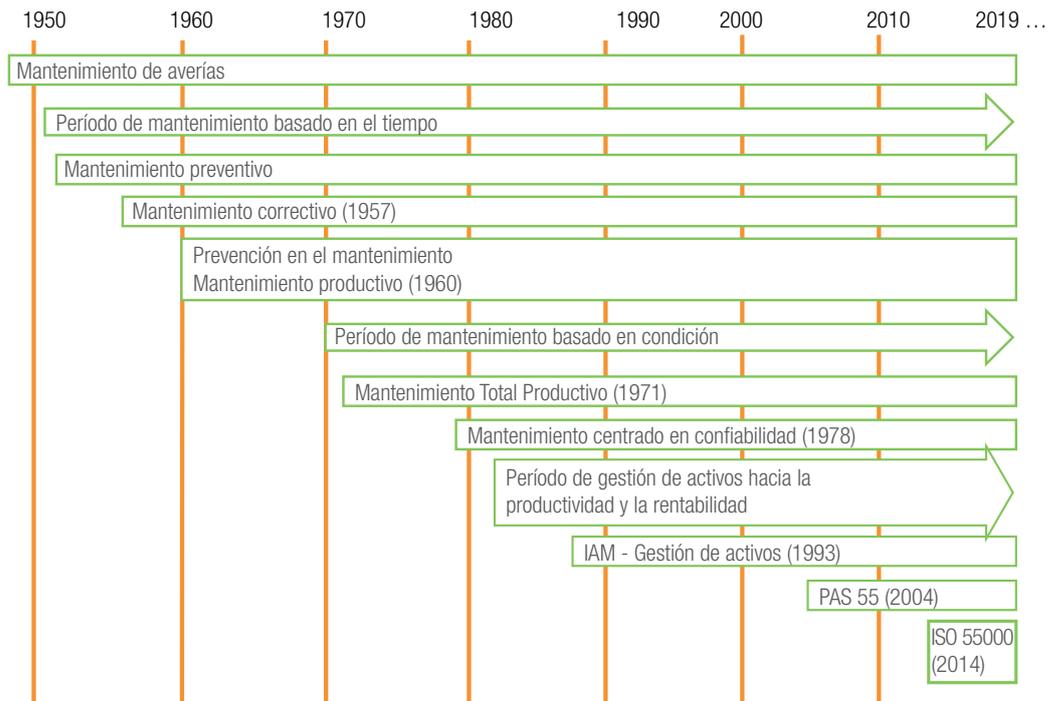


Figura 1. Línea de tiempo del TPM.
Fuente: traducido y adaptado de Nakajima (2006).

esta forma de trabajo con la maquinaria. En consecuencia, de manera continua, el manejo de los problemas causados por las paradas no programadas de la maquinaria conduce a que el personal de mantenimiento empiece a especializarse y calificarse para estos procedimientos de corrección de averías.

Esta forma de trabajo, denominada *mantenimiento preventivo*, dio paso a una nueva forma de cuidar el equipamiento: el *mantenimiento basado en el tiempo*. Este se anticipa a lo que pueda suceder con la maquinaria y, de esta forma, evita paradas sin planificar. Así, se trata de reparar antes de que pueda producirse cualquier falla.

Ahora bien, el *mantenimiento preventivo*, por definición, se basa en el tiempo y en el uso de la maquinaria. Involucra todas las actividades de inspección, limpieza, lubricación y

ajuste, con el fin de prevenir daños futuros y de que se asegure la condición operativa mediante diagnósticos enfocados en la medición del deterioro. Bajo este enfoque preventivo, se requiere de entrenamiento de personal que siga cuidadosamente las instrucciones de los fabricantes de los equipos, de modo que se preste atención especial a las rutinas de lubricación y reemplazo de piezas, filtros, repuestos y demás.

El mantenimiento preventivo permitió también iniciar con una realimentación constante de información y experiencias entre los fabricantes de maquinaria y sus usuarios, con lo que se buscaba que los tiempos de reemplazo y lubricación de componentes fuesen eficientemente determinados y administrados. Esto generó mejoras en la producción y los índices de ganancia en las organizaciones, debido a la mejora en un elemento diferenciador: la *disponibilidad* de los equipos.

Esta condición permite el seguimiento y control de las tareas de mantenimiento preventivo, pues muestra la cantidad de tiempo que el equipo puede utilizarse, ya sea para fabricación o para producción. En la búsqueda de que esta disponibilidad fuera permanente, se desarrollaron estrategias con el fin de cumplir con la premisa de que el equipo esté presto en cualquier momento para la producción.

Las estrategias desarrolladas se hicieron comunes a todas las organizaciones y permitieron un punto de partida para mejorar cualquier tarea de mantenimiento organizacional. Los presupuestos, el control de costos fijos, la minimización de costos variables, los esquemas de manejo del tiempo y la información surgieron como soporte del camino que se traza, a través del mantenimiento, para cumplir las metas de la organización. Estas estrategias de control y evaluación se denominan *indicadores de seguimiento*, pues facilitan el conocimiento en tiempo y en el cumplimiento de objetivos, el discurrir diario del man-

tenimiento y la producción, con lo cual se logra una estandarización inicial de los procesos.

La eficiencia en el trabajo paso a paso, siguiendo el manual y las mejores prácticas en el mantenimiento preventivo, permitió considerar que había lugar para optimizar estos resultados. En este punto, el mantenimiento comenzó a interesarse en lo productivo, al enfocar las actividades en el aseguramiento de las condiciones de trabajo del equipo y la vida útil de la maquinaria, con la evaluación de tendencias, el análisis y la medición de datos que muestren el avance del posible deterioro. Estas herramientas también son usadas en el *mantenimiento centrado en confiabilidad*.

A partir de este esquema de monitoreo se establece la necesidad de efectuar el análisis de la maquinaria y el equipamiento nuevos o previos a su montaje o implementación. Se estudia, entonces, de manera exhaustiva las debilidades de los equipos en funcionamiento, a través de la información de primera mano que conduce a la prevención de fallas, mejoras en la mantenibilidad (capacidad de efectuar el mantenimiento en los equipos) y la prevención de defectos, al igual que la facilidad de manufactura antes de iniciar la construcción de maquinaria productiva nueva. Para esto se asume un enfoque organizacional en el modo de trabajo e intervención, de forma similar a como se integra el conjunto de la *gestión de activos físicos* a los objetivos corporativos.

En el siguiente aparte de este trayecto se podrá estudiar este enfoque de trabajo del mantenimiento, dirigido hacia la producción.

Productividad

La *productividad* es un indicador del uso eficiente de los recursos necesarios para producir bienes y servicios. Buscando mejorar la productividad, el japonés Seiichi Nakajima, quien

trabajaba como consultor en la década de 1960 en Japón, desarrolló una novedosa teoría de trabajo, que luego se convirtió en el propósito principal de su vida: el *Mantenimiento Total Productivo* o TPM.

Para entender qué es mantenimiento productivo, vale la pena conocer primero la visión de Nakajima: mejorar la productividad con una estrategia de “cero defectos” (o *zero defects*, en inglés), inédita hasta ese momento. Esta línea incluye cero paradas no planeadas de equipos, cero defectos causados por la maquinaria y cero pérdidas de velocidad del proceso por causa de las máquinas.

Nakajima entendió que era necesario unir las áreas de operación (que pueden ser de fabricación, servicios, manufactura u operaciones, dependiendo del tipo de organización) y el área de mantenimiento. Estas tradicionalmente se conciben separadas, algo que todavía sucede en muchas empresas productivas en la actualidad. Para eliminar esta distinción, Nakajima propuso algo simple: que los operarios de la maquinaria fuesen quienes hicieran las labores de mantenimiento básicas de esta. Con el fin de mejorar el entrenamiento en rutinas de mantenimiento y operación, dicha forma de trabajo se empezó a aplicar a partir del concurso de pequeños grupos especializados.

Nippondenso (hoy conocida como Denso Corporation) fue la primera organización japonesa que implementó el Mantenimiento Total Productivo, en 1960, y también la primera en ser certificada en TPM posteriormente. La compañía consiguió llegar al objetivo principal de este enfoque: maximizar tanto la efectividad de planta y equipo como el alcance de un costo de ciclo de vida óptimo del equipamiento productivo (Naagaran, 2005, p. 115).

Personal

Para entender la importancia del componente del *personal* en la consecución de los objetivos de toda organización, es pertinente entender el recorrido teórico que llevó a Seiichi Nakajima a entender por qué hay que considerarlo como uno de los ejes de su visión organizacional.

Uno de los primeros teóricos del comportamiento, Abraham Maslow, fue estudiado por Nakajima para formular el TPM. Maslow señala lo siguiente, en referencia al trabajo y la identidad de las personas:

Las personas quieren ir a trabajar, hacer su trabajo, y tener un entendimiento claro de lo que se espera de ellos [...]. La gente va a trabajar porque es su comunidad, porque es familia, porque el trabajo es parte importante de su identidad [...]. El dinero llena sus expectativas, pero esto no es un intercambio de servicios por dinero. Esto es mucho más poderoso que eso [el intercambio de servicios por dinero]. Si uno solo se fija en el nivel de un intercambio justo de trabajo por dinero, se pierde la esencia completa de lo que está sucediendo en el lugar de trabajo. (Maslow, 1998, pp. 20-42)

Maslow piensa que el trabajo es, entonces, una terapia psicológica que satisface nuestras necesidades de realización personal. Cuando las personas se desarrollan de la mano del trabajo, le dan prosperidad a las compañías para las que laboran y esta misma prosperidad la conducen a su desarrollo individual. La gente se apasiona al encontrar un propósito en la vida.

Por otra parte, desde el punto de vista de la gerencia, Nakajima estudió los hallazgos del economista Douglas McGregor, quien incorpora las dos teorías sobre la gente y el trabajo: la teoría X y la teoría Y. En la teoría X, que hasta el momento de formularla era lo que se practicaba en el mundo, por cierto totalmente anticuada, se establece que:

- La gerencia es responsable de organizar los elementos de productividad en la empresa (dinero, materiales, personal) con fines e interés económicos.
- Con respecto a la gente, es un proceso en el que se dirigen sus esfuerzos a motivarlos, controlar sus acciones y modificar su comportamiento con el fin de ajustarlos a las necesidades de la organización.
- Sin esta intervención activa de parte de la gerencia, los trabajadores podrían volverse pasivos, incluso resistentes, a las necesidades de la organización. Ellos deben ser, por lo tanto, persuadidos, premiados, castigados y controlados, al igual que sus actividades deben ser dirigidas, siendo la tarea de la gerencia mandar sobre gerentes subordinados o trabajadores. Normalmente se resume con una administración que busca obtener cosas hechas por otras personas. (McGregor, Bennis, Schein y McGregor, 1966, p. 5)

Particularmente, la visión del trabajador promedio, descrita en el numeral 3 de la teoría x , parece ser la de alguien sin ambición que no gusta de la responsabilidad y que prefiere ser dirigido. Es alguien que es resistente al cambio, crédulo, no muy brillante y a quien no le interesa la organización ni sus necesidades. Claramente, McGregor llamó la atención de los empresarios a un cambio en la conducta y en la forma de considerar al trabajador en toda organización, con el fin de adaptar la gerencia y las tareas de administración de personal a unos estándares más adecuados de comportamiento humano y de motivación. Estos principios se ven reflejados en la teoría y , hacia la cual deben dirigirse los individuos, así como enuncian McGregor et ál.:

1. La gerencia continúa siendo responsable de organizar los elementos de productividad en la empresa (dinero, materiales, personal) con fines e interés económicos.

2. La gente no es por naturaleza pasiva ni resistente a las necesidades de la organización. Su comportamiento es el resultado de su experiencia en las empresas.
3. La motivación, el potencial de desarrollo, la capacidad de asumir la responsabilidad y la disposición para dirigir su comportamiento hacia las metas de la organización están presentes en la gente. La gerencia no las pone allí. Es responsabilidad de la gerencia hacer posible que la gente reconozca y desarrolle esas características por sí misma.
4. La meta principal de la gerencia es la de adecuar las condiciones organizacionales y los métodos de operación de tal manera que la gente pueda alcanzar mejor sus propios objetivos dirigiendo sus propios esfuerzos hacia los objetivos organizacionales. (1966, p. 15)

La teoría y práctica, como se observa en su cuarto principio, los objetivos individuales y organizacionales. El individuo se autorregula y autocontrola al servicio de los objetivos en los que se compromete, al igual que aprende (bajo ciertas condiciones) no solo a aceptar la responsabilidad, sino a buscarla. En este sentido, el potencial intelectual del individuo promedio se utiliza parcialmente e involucra un vasto rango de oportunidades para mejorar su desempeño, bajo las condiciones ideales que permitan implementar en toda organización. Esto es lo que en el TPM se considera como un principio fundamental para potenciar una organización.

En medio de su exploración por estudiosos organizacionales, Seiichi Nakajima encontró pertinente la visión de *gerencia*, propuesta por el psicólogo organizacional Rensis Likert. De esta manera, utilizó un enfoque complementario a sus teorías, con el fin de caracterizar cuatro diferentes tipos de gerencia, enmarcados en el comportamiento del líder hacia sus subordinados. En resumen, los sistemas son los siguientes:

- *Explotador-autoritario*. El líder impone decisiones en sus subordinados y utiliza el miedo con el fin de obtener la motivación de los empleados.
- *Benevolente-autoritario*. El líder utiliza recompensas para estimular la productividad, pero la gerencia es responsable de todas las decisiones, por lo que no hay trabajo en equipo.
- *Consultativo*. El líder escucha a sus subordinados e incorpora algunas de las ideas de los empleados, pero esto no genera un sentimiento de responsabilidad por las metas de la organización en la mayoría de los subordinados.
- *Participativo*. El líder hace partícipes a sus subordinados, resuelve problemas a través del trabajo en equipo y todo el personal se siente responsable de alcanzar las metas de la organización.

De todos los sistemas que Likert propone, el autor refiere el cuarto sistema, el participativo, como óptimo para gerenciar una organización. Likert establece cuatro características de este cuarto sistema de administración:

1. Relaciones que fortalezcan al grupo, tanto dentro del grupo como entre los miembros del grupo y su líder, bajo un sentimiento de cuidado y colaboración.
2. Toda contribución, los valores y las necesidades de desarrollo de cada individuo deben ser igualmente respetadas.
3. El grupo asume la resolución conjunta de problemas y se alinea detrás de la solución eventualmente consensuada.
4. Los diferentes grupos se sobreponen, con ciertos individuos jugando el papel de enlace entre los grupos. (Likert, 1967, p. 160)

Como se observa, la teoría de la gerencia participativa (sistema de administración participativo) se puede equiparar con la de la teoría y de administración hacia la realización personal.

En comparación con los objetivos de actividades con los de la teoría γ , bajo el esquema de TPM se identifica un mayor nivel de confianza y productividad a largo plazo a través de los principios de relaciones que fortalecen al grupo y al individuo, decisiones y resolución de problemas grupales, y el planteamiento de objetivos cada vez más precisos.

El último teórico estudiado por Nakajima, Peter F. Drucker, padre de la administración moderna, considera tres tareas que la gerencia debe desarrollar en toda organización:

1. Establecer el propósito específico y la misión de la organización.
2. Lograr que el trabajo sea productivo y que el trabajador sea efectivo.
3. Administrar el impacto social y la responsabilidad social y ayudar en el direccionamiento de problemas sociales.
(Drucker, 2001, p. 14)

Tomando como base estas tareas, Nakajima (2006) desarrolló una teoría alternativa a los principios comunes de la gerencia y determinó el enfoque de gerencia 5S. Al respecto, destacó las siguientes tareas propuestas por Drucker:

- La gerencia existe para hacer cumplir la misión de la organización: satisfacción del cliente, cs y satisfacción de los accionistas, shs .
- Las organizaciones están actualmente incrementando los medios en los que el ser humano encuentra su forma de vida, acceso a un estatus social para satisfacción de la comunidad e individual: satisfacción del empleado, es .
- Ayudar con los problemas sociales lleva a la satisfacción social, ss y a la satisfacción global, gs . (Nakajima, 2006, p. 18)

La gerencia 5S es una realidad y se alcanzarán los más elevados niveles de Satisfacción en la Organización, si se cumplen las siguientes premisas, al decir de Nakajima:

- cs (satisfacción del cliente): satisfacer los requerimientos del departamento de control de la calidad, QCD.
- es (satisfacción del empleado): llenar sus necesidades de realización personal.
- ss (satisfacción social): responsabilidad social empresarial.
- gs (satisfacción global): conservar el ambiente global.
- shs (satisfacción de los accionistas): asegurando las ganancias y los dividendos. (2006, p. 19)

Este sistema de máxima satisfacción asegura que todos los niveles y entes involucrados en la organización llenen sus

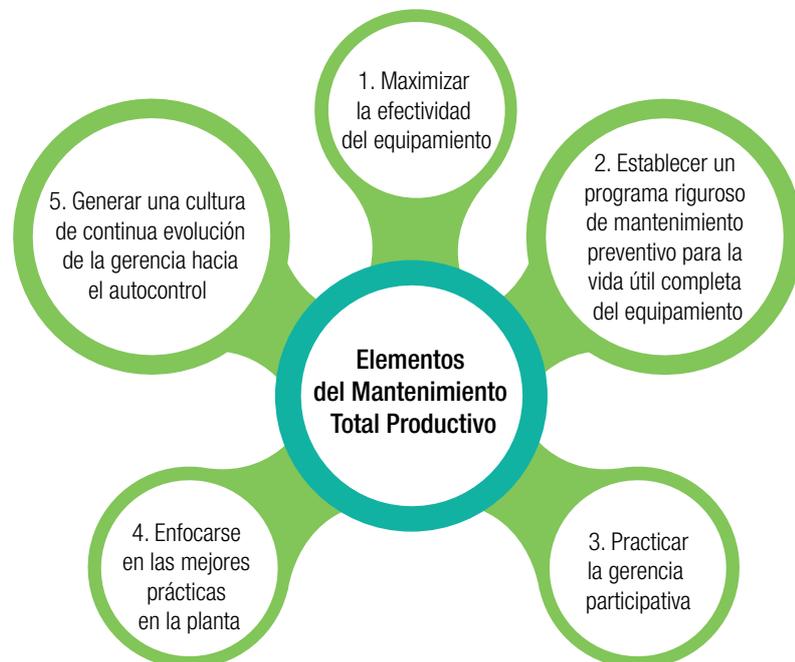


Figura 2. Elementos del TPM.
Fuente: elaboración propia, a partir de Nakajima (2006).

expectativas con la ayuda de una gerencia general enfocada en esta tarea. El empoderamiento del individuo, advertido por McGregor, unido con la teoría administrativa prevista por Likert y las tareas gerenciales de Drucker, se complementan perfectamente con la teoría de Nakajima, para lograr la satisfacción empresarial en todos los niveles. Es el centro de la filosofía del *Mantenimiento Total Productivo*: la satisfacción como fin de la participación *total* de todo el personal en el sistema productivo y de mantenimiento.

Participación total

Seiichi Nakajima (1991, p. 10) señala que al TPM lo definen a menudo como “mantenimiento productivo que implica una participación total”. Dicha definición, según el autor, debe ser complementada con los cinco elementos básicos que caracterizan al TPM. Estos elementos dan estructura a cualquier procedimiento que se vaya a realizar para la preparación, implementación, puesta en marcha y continuidad de un proceso de TPM en una organización. Estos se muestran en la figura 2 y se describen a continuación (Nakajima, 1991; 2006).

- Primer elemento: maximizar la efectividad del equipamiento.

Este se persigue desde la eliminación de defectos de calidad, tanto de producto como de mantenimiento. Asimismo, para lograrlo se busca llevar a cabo las mejores prácticas en todos los niveles de procesamiento y minimizar la posibilidad de accidentes. Continuamente, esto genera la posibilidad de tener una operación rentable en la organización, lo que permite asegurar flujo de capital.

- Segundo elemento: establecer un programa riguroso de mantenimiento preventivo para la vida útil completa del equipamiento.

Se deben implementar completamente los procedimientos de mantenimiento preventivo recomendados por el fabri-

cante y la práctica de cualquier programa de detección de averías que pueda aportar al cumplimiento de esta premisa.

- Tercer elemento: practicar la gerencia participativa.

El TPM debe involucrar a todo el personal de todos los departamentos. Es necesario organizar la fuerza de trabajo en un modelo de trabajo piramidal de pequeños grupos sobrepuestos. Hay que hacer que los operarios practiquen el mantenimiento autónomo. El sistema de administración participativo es altamente necesario, pues impulsa los beneficios de la satisfacción y las metas personales hacia los objetivos organizacionales.

- Cuarto elemento: enfocarse en las mejoras prácticas en la planta.

Hay que hacer todo lo necesario para mantener el equipo en su mejor estado; los sitios de trabajo deben estar siempre en orden y aseo, y es necesario que los operarios tengan al alcance los elementos de manejo y manipulación. Esto minimiza los errores y crea las condiciones ideales para asegurar que el personal cuente con los recursos a la mano para poder tener continuidad en los procesos productivos.

- Quinto elemento: generar una cultura de continua evolución de gerencia hacia el autocontrol.

En la compañía se debe procurar el establecimiento de una cultura de conocimiento general y entrenamiento permanente tanto de las labores inherentes al puesto de trabajo como aquellas que poseen un compromiso personal para el cumplimiento de la misión y los objetivos de la organización. Asimismo, debe trabajar por el mantenimiento autónomo (característica única de la estrategia TPM) junto con las ventajas de la capacitación continua.

En conclusión, estos elementos describen lo que se persigue en la implementación del TPM. Según Nakajima (1991), el término *total* se refiere directamente a:

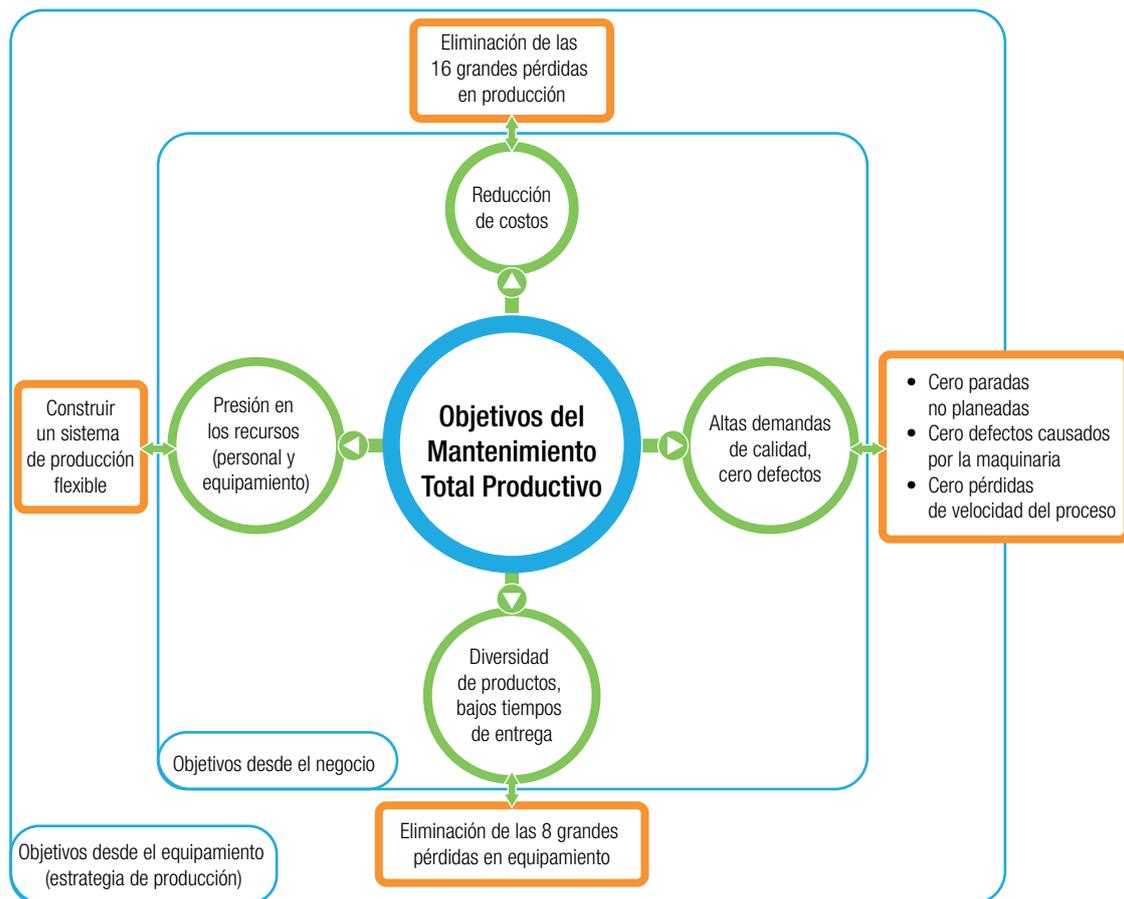


Figura 3. Interrelación de los objetivos del TPM, desde el negocio y el equipamiento. Fuente: elaboración propia, a partir de Nakajima (2006).

1. efectividad total (en referencia directa al primer elemento),
2. sistema de mantenimiento total (en referencia al segundo elemento),
3. participación total de todos los empleados (en referencia al tercer, cuarto y quinto elementos).

Los cuatro objetivos del TPM

El TPM, como estrategia de gestión, posee unos objetivos en términos de necesidades propuestas por los negocios, que generan el ingreso de capital a la compañía y soluciones u objetivos en términos de producción y de equipamiento. Ambos enfoques, negocios y producción, son igualmente importantes para todo tipo de organización. En la figura 3 se muestra la interrelación de los objetivos del TPM, desde el punto de vista del negocio y, separadamente, desde la producción.

El primer objetivo del TPM es reducir costos, lo cual es necesario ante los retos de una organización en la que se desea continuar produciendo con alta calidad y buscar bajar las inversiones y gastos correspondientes, como la adquisición de equipamiento más costoso. Si en producción se desea cumplir con este objetivo, se debe maximizar la eficiencia del equipamiento o de la forma de producir.

El esfuerzo de reducción de costos, inicialmente, se hacía afectando directamente los costos de manufactura. Con el paso a la implementación de las tareas y estrategias que se plantea en el TPM, los costos de producción incrementan, mientras que los costos de mantenimiento, en contraposición, disminuyen. El foco está en el mantenimiento de planta y equipo, que maximiza su eficiencia y reduce sus costos de mantenimiento y operación.

Otro factor que se involucra, con miras a la reducción de costos de mantenimiento y operación, es la capacitación y el entrenamiento técnicos adecuados para los operadores de los equipos. Las primeras observaciones a los sistemas de producción que comenzaron la implementación propuesta por Nakajima dan cuenta de que la estrategia de incrementar las habilidades de los operarios, para que realizaran tareas de mantenimiento menores, permitía maximizar la eficiencia no solo del equipo, sino de las operaciones de producción inherentes a la maquinaria. Para la implementación del TPM entra

en juego el mantenimiento autónomo, donde los operarios se convierten en aliados activos del proceso de mantenimiento de planta y equipo. Se convierten también en la primera fuente de información para que las labores mayores de reparación o mantenimiento preventivo en los equipos permitan los ajustes y recambios necesarios para continuar con una operación planeada ininterrumpida.

Mejorar la eficiencia del consumo de recursos es también una tarea que la gerencia debe implementar para satisfacer los requerimientos para disminución de costos de producción. Con miras a lograr dicha tarea (incrementar la productividad) Nakajima (1991, p. 6) consideró la eliminación de toda pérdida de todo nivel en la planta y los procesos principales y auxiliares de la organización.

El segundo objetivo del TPM se enmarca en la política de cero defectos, al establecer y mantener condiciones de cero paradas no planeadas de equipos, cero defectos causados por la maquinaria y cero pérdidas de velocidad del proceso por causa de las máquinas. De esta manera, se mantiene una estricta demanda de calidad generada por los clientes.

La “demanda estricta de calidad” se manifiesta a través de lo que Nakajima indicó como Quality-Hozen (*calidad en el mantenimiento*). Esto presupone no solamente que se apunte hacia la calidad de los productos como una característica importante en la organización, sino que se busque asegurar y mantener la calidad en las labores de mantenimiento de la maquinaria.

Este principio de calidad se logra a través de la ejecución de los mantenimientos preventivos, a través de un sistema del tipo *time-based maintenance* (TBM) o mantenimiento basado en el tiempo. Se refuerza con medidas para reducir y, finalmente, eliminar las reparaciones de averías, a través de herramientas que permitan prever o evaluar la posibilidad de falla de un elemento crítico en maquinaria igualmente crítica. Dicha ac-

tividad se conoce como *condition-based maintenance* (CBM) o *mantenimiento basado en la condición*, en el cual se potencian al máximo las labores propias del mantenimiento predictivo y se complementa con ensayos no destructivos sobre componentes esenciales de maquinaria y proceso.

El tercer objetivo que plantea el TPM ante la generación de negocios que poseen diversidad en los requerimientos y tiempos de entrega más cortos consiste en poseer mayor variedad de productos y su consecuente producción de lotes pequeños. Esto es lo que similarmente desarrolló Toyota Motor Corporation en su TPS (*Toyota production system*) como parte de su sistema de producción y se conoce como *manufactura esbelta* (*lean manufacture*). La manufactura esbelta acentúa el uso eficiente de *stock* productivo y producido, así como la flexibilidad en la producción.

Por su parte, Nakajima plantea para el TPM la necesidad de minimizar los tiempos de recambio, por ejemplo, aquellos tiempos utilizados para el reemplazo de los moldes en una máquina inyectora de productos plásticos. Sin embargo, esta reducción de tiempos debe tenerse en cuenta desde las etapas de factibilidad, diseño e instalación de la maquinaria. A esto se suma el sistema que la industria actualmente denomina *Faultless right first-time start-up* (FRFTSU) o *primer arranque de maquinaria libre de fallas*, que adquiere importancia a la hora de verificar su utilidad y de afrontar la etapa de comisionamiento y pruebas de un equipo o línea de producción nuevos.

Conviene añadir que el comisionamiento es aquella etapa de vida del activo que comienza en el momento en que se entregan los elementos mecánicos, de control y eléctricos ensamblados, según los planos y requerimientos del cliente. Esta etapa continúa con las pruebas de trabajo en condiciones simuladas y termina con las pruebas de arranque y de operación finales. En efecto, este proceso es necesario para comprobar

que los parámetros y protocolos propuestos por el fabricante o integrador concuerden con aquellos solicitados por el cliente.

Otro elemento directamente involucrado en este objetivo es la producción sin *stocks*, pues se mantiene en su mínima o nula cantidad el número de ítems, como partes de maquinaria e insumos, que están estrictamente dentro de lo que los clientes demandan en determinado momento. Estas condiciones descritas como los mínimos tiempos de recambio, el $FRFTSU$ y la producción sin *stocks*, se pueden llevar a cabo a través de la eliminación de las *ocho grandes pérdidas en equipamiento* previamente mencionadas.

El cuarto objetivo de TPM considera la necesidad surgida de la presión sobre los recursos, como de personal y maquinaria, en razón a la demanda incierta y *el fin de la era*; Nakajima (2006) así describe: “Podemos vender cualquier cosa que hagamos”. Su finalidad es entonces constituirse como un sistema de producción flexible, que responda a la demanda (necesidades del cliente) y no simplemente a la voluntad de lo que el fabricante quiera ofrecer (sin tener en cuenta la opinión o requerimientos del cliente).

El cumplimiento de este objetivo se puede implementar a través de una colaboración participativa entre los departamentos de producción y mantenimiento, y de todos aquellos procesos y secciones de la organización que los soportan. Se crea una zona de tareas compartidas en la cual todas las partes son entrenadas y certificadas para realizar labores que se identifican en conjunto por los departamentos de mantenimiento y producción. Este ejercicio representa una exitosa transferencia de tareas.

Se puede considerar que este es uno de los mayores aportes de la visión de Nakajima a los procesos productivos, pues su consecuencia es que integra la totalidad de la empresa y encamina a toda la organización hacia el cumplimiento de los objetivos de

TPM. Todos los empleados de todas las secciones, sus supervisores, coordinadores, jefes, directores, gerentes, vicepresidentes y presidente están involucrados en el cumplimiento general de los objetivos específicos que se formulan para la exitosa gestión que acompaña al TPM en la organización. La apropiación definitiva de los miembros de la compañía se dimensiona como una estructura que, basada en el trabajo de grupos pequeños intercalados, busca alcanzar las metas propuestas para toda la organización, sea del tipo que sea. Esto constituye, en todo sentido, un trabajo mancomunado que se enfoca en el objetivo del mantenimiento integral organizacional.

La gerencia por objetivos

A partir de lo anteriormente descrito, el TPM resume su carácter en un programa estratégico enfocado en la creación de una cultura que busca maximizar la efectividad del sistema productivo completo, es decir, el incremento de su eficiencia global. Asimismo, utiliza un enfoque práctico de planta, en el cual construye un sistema que involucra los tres ceros: cero accidentes, cero defectos, cero paradas de maquinaria por averías. Busca, además, evitar las pérdidas de todo tipo dentro de la vida del ciclo de producción.

El TPM involucra la totalidad de los departamentos constituyentes de una empresa, con todo el personal de cualquier nivel, y utiliza actividades enmarcadas en pequeños grupos de trabajo para lograr los objetivos de cero pérdidas.

Un modelo estructural simplificado de un sistema sencillo de producción puede involucrar la interacción entre las entradas y salidas del mismo proceso (materias primas, productos, servicios y la información respectiva), además de todos los componentes asociados al éxito de este proceso productivo. Dichos componentes abarcan desde las instrucciones de trabajo, las habilidades, los estándares, el ambiente, los consumibles

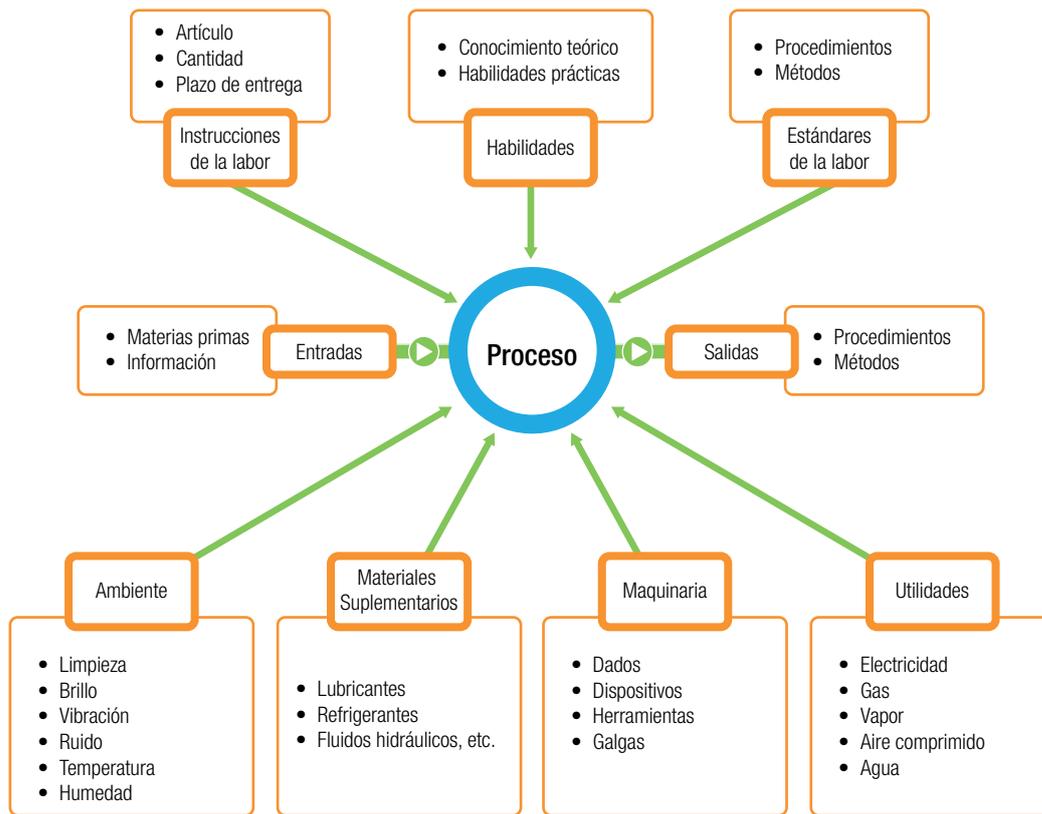


Figura 4. Modelo estructural sintetizado de un sistema simple de producción. Fuente: traducción propia de Nakajima (2006).

y la maquinaria hasta la disponibilidad de recursos como aire comprimido, electricidad, agua, etcétera (figura 4).

De este modelo se puede observar la adecuada interacción entre todos los componentes productivos y de soporte a la producción. No hay un elemento que por sí solo permita la fabricación ni tampoco hay preponderancia de uno de los diferentes grupos de parámetros, consumibles o materiales, que requiera especial atención en el proceso productivo.

En la historia industrial han surgido diferentes enfoques para poder asumir el proceso productivo, así como la manera de orientar en un estándar de manejo y de dirección de las organizaciones; esto comporta uno de los retos que todo gerente debe asumir, pues debe siempre obtener los mejores resultados de su equipo de trabajo (Drucker y Macchiariello, p. 288). Sin embargo, en algunos casos uno de los grandes inconvenientes que encuentra toda unidad productiva es el de la desorganización y la falta de dirección de los procesos, cuando no se tiene un planteamiento correcto de la misión y la visión de la empresa.

Luego de reconocer los problemas de seguimiento a los objetivos misionales y de visión de una organización, Drucker propone la estrategia de *gerencia por objetivos* (*management by objectives*, MBO). Uno de los fallos o problemas a los que se refiere es el de la jerarquía, en el que la estructura misma de la gerencia en una compañía hace que lo que diga el gerente general o propietario se convierta en ley.

Por ejemplo, si este gerente prefiere promover al personal que hace más horas extra o que diligencia más reportes contables, va a generar insatisfacción en los demás miembros de la organización, lo que llevará a bajas en la productividad por cuenta de la falta de motivación, de descontento con sus labores y de las posibilidades en la empresa. Este inconveniente se puede solucionar haciendo que la estructura de administración haga que los gerentes o administradores de cada sección se enfoquen en lo que necesite el trabajo y no lo que el gerente general o propietario requiera.

Otro de los grandes inconvenientes administrativos en cualquier organización es la estructura de pagos. Esta estructura le da a cualquier persona dentro de un grupo un nivel de estatus económico y social.

Ahora, si se quiere dar valor al trabajo de un gerente dentro de una compañía, se ha utilizado tradicionalmente el in-

cremento del retorno sobre la inversión. Drucker señala que esto es contraproducente para el trabajo de los gerentes pues los fuerza a pensar en el presente y desdennan los planes hacia el futuro. Con dicho fallo es necesario un sistema de compensación que se ajuste al individuo y no al colectivo (Drucker, 2001).

Esta visión de los inconvenientes genera la necesidad de asignar objetivos claros a todo el personal de una empresa, desde los directivos hasta los empleados de la planta. Cada uno debe hacer su aporte en el trabajo cuyo énfasis es la cooperación y los resultados grupales. Los gerentes y directivos de las diferentes secciones de la compañía deben entender que los objetivos han de ser redactados de tal manera que cada una de las dependencias indique su aporte a los objetivos de la compañía. Igualmente, el gerente general debe estar en capacidad de dirigir a los gerentes y jefes de sección hacia una estrategia de autocontrol y cumplimiento de estos objetivos, sin llegar a caer en ninguno de los errores administrativos que involucran compensación monetaria o de promoción laboral.

La *gerencia por objetivos* (MBO, por *management by objectives*) permite elaborar herramientas que midan el desempeño de los gerentes y apunta hacia una clara y común medida de los objetivos a todo nivel y sección de la organización. Este tipo de gestión es altamente demandante y requiere de autodisciplina y autocontrol, lo que implica que todo gerente espere lo mejor de parte de sus subordinados; en últimas, que aborde la teoría y de Maslow. De esta manera se promueven las fortalezas de los individuos y se incrementa su nivel de responsabilidad hacia los resultados de la empresa con la implementación, además, de la *gerencia participativa*. Drucker (2001) concluye que la MBO “asegura el desempeño al convertir los requerimientos de los objetivos (de la compañía) en metas personales. Y esto es verdadera libertad”.

Trayecto 2 ■■■

Estrategias de gestión del Mantenimiento Total Productivo

La definición de TPM puede plantearse como un proceso de mejora continua centrado en el equipamiento. El TPM busca permanentemente optimizar la efectividad en la producción mediante la identificación y eliminación de las pérdidas a través de todo el ciclo de vida del sistema y la implementación de una gerencia participativa basada en la colaboración de grupos de trabajo.

La característica fundamental del TPM es su habilidad de ser rigurosamente implementado gracias a la verticalidad de sus instrucciones y a su metodología de mejora continua. El proceso de implementación abarca un tiempo que se estima en un mínimo de tres años (Nakajima, 1991); por lo tanto, no es un método de seguimiento de corto plazo, sino que debe ser tomado seriamente como algo que generará resultados a mediano tiempo mesurables o cuantificables, sea cual sea su origen dentro de la organización.

El Trayecto 2 comienza con una revisión del concepto de los indicadores — elementos fundamentales para poder medir, cuantificar y evaluar toda actividad en una organización—, su historia y aplicabilidad en las organizaciones. Luego de esto, se describen cada uno de los ocho pilares propuestos para el TPM, según el enfoque tradicional de Seiichi Nakajima.

Los indicadores clave de desempeño o KPI

El enfoque propuesto por Drucker, el MBO, en el año 1954, fue el primer paso para que un grupo o toda la organización formalizaran la medida de cumplimiento de los objetivos. Con él, se mejoraron las pruebas psicotécnicas y se llegó a detallar completamente un perfil de un trabajador, así como asociarlo con base en sus capacidades y talentos. También se perfeccionaron diferentes técnicas para la medición del cumplimiento de objetivos.

Es necesario recordar aquí la forma en que las organizaciones modernas miden el desempeño en sus procesos. Lo que hasta ahora se ha referido como indicador tiene un concepto mucho más específico. Los *indicadores* pueden tomarse como métricas que corresponden inicialmente a la medida de una cantidad física, por ejemplo metros de altura de un tanque, su volumen, presión en la base, etcétera. Si esta métrica se convierte en un elemento que permite medir el desempeño de una unidad productiva o de un grupo de trabajo, se convierte en métricas accionables, pues se pueden también constituir en un elemento básico para definir un indicador más amplio, el *indicador clave de desempeño* o *indicador de gestión* (KPI, *key performance indicator*).

Un KPI es una expresión que mide el cumplimiento de un nivel de resultados que interesan en un área o actividad de la entidad, unidad u organización evaluada. Los KPI permiten la visibilidad del desempeño de individuos, equipos, departamentos y organizaciones, de manera que permite facilidades a los tomadores de decisiones para formular acciones, con el fin de obtener los resultados deseados.

Un KPI debe permitir la fácil medición de las acciones de un grupo o de una organización. Un individuo puede verlo como la medida de la producción de valor para la compañía en la que

se desempeñe. Esto permite la creación de un diálogo común y un entendimiento compartido.

La recolección de datos que originen el o los valores resultantes de un KPI debe ser confiable para la empresa. Sus dimensiones deben ser calculables, es decir, deben reflejar la criticidad del éxito del objetivo que se esté midiendo; en este sentido, mide el progreso hacia su cumplimiento. En resumen, consiste en una imagen del estado real actual de un proceso.

Los posibles componentes de un KPI abarcan volumen (transacciones, producción, búsquedas; según el tipo de organización o proceso productivo, financiero, estratégico o logístico evaluado), costo, temporalidad, calidad, satisfacción, entre otros.

Ahora bien, un KPI debe ser expresado por una ecuación que sintetice la visión y la medición de lo que se quiere contrastar. No sirve un valor básico, por ejemplo, el número de unidades producidas, si este no tiene un trasfondo temporal; tampoco estadístico, como sería un número de unidades de un mismo producto fabricadas en un turno, si se quiere medir la productividad de un grupo de personas en referencia al promedio general. Si, por ejemplo, se convierte este número de unidades fabricadas a una referencia o dato preciso sobre la calidad de los productos, se puede llegar a expresar su calidad teniendo en cuenta el número de unidades descartadas por defectos o para su reproceso. Esto puede traducirse en un KPI de calidad. De esta manera, se enlaza uno o varios elementos en dicho indicador que son estrechamente relacionados y relevantes, como el número de unidades sin defectos, el tiempo de producción y su proporción sobre el lote completo.

Lo anterior da más contexto y proporciona de manera estructurada la mayor cantidad de información. Su objetivo es lograr un diagnóstico más acertado acerca de las decisiones por tomar en referencia a aspectos como el entrenamiento del

personal, la calidad de la materia prima utilizada, el afán por el cumplimiento de la cuota productiva o, desde el punto de vista de Nakajima, la calidad en el mantenimiento de la maquinaria. Esto se tratará más adelante.

Los KPI son herramientas con resultados enteramente visuales. Pueden mostrarse, en hojas de cálculo, tableros de rendimiento o consolas de gestión, a la vista de todos los miembros del grupo de trabajo u organización a quienes se dirija la información.

El objetivo de un KPI consiste en que un gerente pueda obtener una actualización del estado de los procesos de su interés en poco tiempo, sin tener que recurrir a terceros para obtener la información disponible en el tablero. En este sentido, se acaban los reportes ejecutivos de último minuto y quienes tienen a cargo el direccionamiento estratégico pueden decidir adecuadamente las tareas y estrategias por implementar.

Un ejemplo de este enfoque es el de Lord John King, hombre de negocios encargado por la primera ministra inglesa, Margaret Thatcher, de recomponer la aerolínea estatal British Airways. King, luego de evaluar la organización con sus consultores, requirió que toda la compañía se concentrara en la mejora de un solo KPI para cambiar la mala situación de la aerolínea. Dicho KPI fue la puntualidad en la salida y llegada de los vuelos de British Airways, que obligaba inmediatamente a que todo el personal debía enfocarse en recuperar el tiempo perdido: personal de limpieza y servicio en tierra, auxiliares de *catering*, oficiales de enlace con control de tráfico aéreo y auxiliares de vuelo trabajaban en conjunto para, cada uno, ahorrar minutos necesarios para mantener o mejorar los estándares de servicio (Parmenter, 2007, p. 6).

Parte de las buenas prácticas que llevan a una organización a sus mejores resultados en productividad, confiabilidad o renta-

bilidad son las que se recomiendan para mejorar el desempeño general. La interrelación se puede observar en la figura 5.

No obstante estas herramientas o mejores prácticas representan un poderoso medio de mejora para la organización, si los KPI son adecuadamente implementados. Parmenter (2007, p. 20), luego de explorar los resultados de organizaciones a

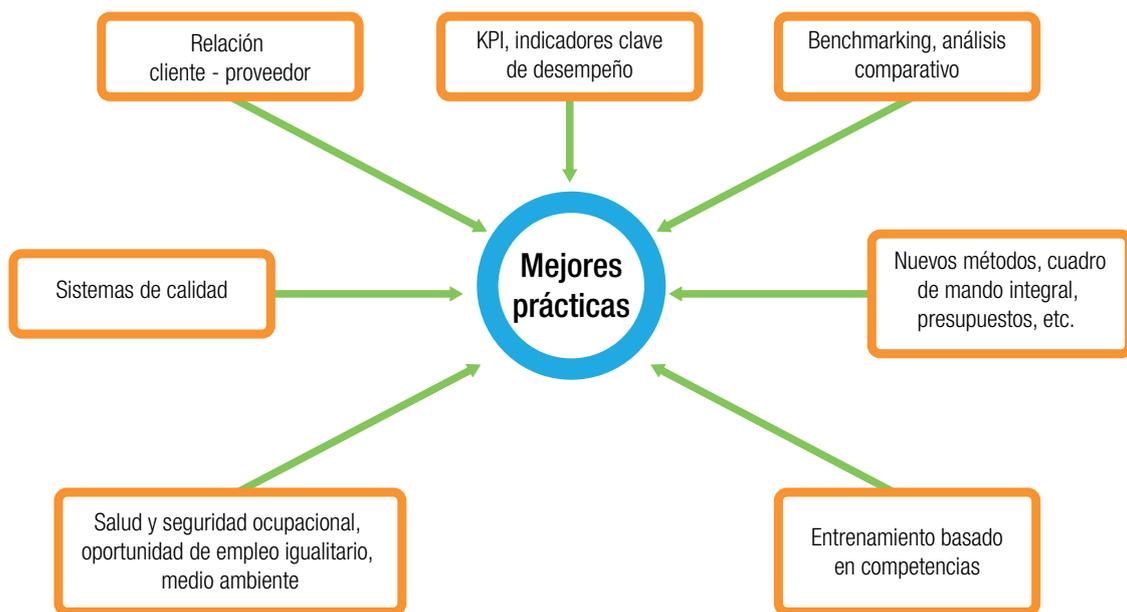


Figura 5. Mejores prácticas utilizadas para alcanzar el desempeño de clase mundial.
Fuente: Parmenter (2007, p. 16).

lo largo de más de diez años de seguimiento, propone cuatro piedras fundacionales del desarrollo y uso de los KPI:

- Trabajo conjunto con el personal, sindicatos, proveedores clave y clientes clave. Consiste en el compromiso de los accionistas para poner en funcionamiento las estrategias para la introducción de las mejores prácticas y los KPI. Esto se extiende hacia los proveedores y clientes claves, así como al cambio de la cultura organizacional, a través de acuerdos efectivos con empleados y sus representantes.
- Transferencia de poder a la primera línea. Esta piedra fundacional abarca el empoderamiento de los empleados, en especial aquellos que tienen capacidad de tomar acción ante eventos que impacten negativamente los KPI. En efecto, mejora la comunicación de la organización aguas arriba y aguas abajo y también el entrenamiento a todo nivel jerárquico.
- Integración de la medición, reporte y mejora del desempeño. Dentro de esta piedra fundacional se condensan todas las estrategias dirigidas a la mejora del desempeño, la flexibilidad de la medición de esta y la necesidad de contar con reportes oportunos, concisos y enfocados en la toma de decisiones.
- Enlace entre las medidas de desempeño y la estrategia. Los factores críticos de éxito deben ser determinados primero que las medidas de desempeño. La metodología del cuadro de mando integral debe ser entendida a todo nivel en la empresa, y los indicadores que utilice la compañía deben estar interrelacionados y debidamente documentados y seguidos por los responsables y colaboradores en la organización.

Estos cuatro pilares fundacionales pueden desarrollarse en doce pasos, susceptibles de ser completados a lo largo de al menos dieciséis semanas, según el especialista en KPI, David Parmenter, tal y como puede verse en la tabla 1.

Tabla 1. Modelo de doce pasos para el desarrollo y uso de KPI en una organización

Semana del proyecto	Previo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Posterior
1. Compromiso del SMT (<i>senior management team</i> o consejo directivo).	■	■	■	■		■			■			■					■	
2. Establecer un equipo de proyecto "KPI ganadores".	■	■																
3. Establecer una cultura y proceso de "solo hazlo".		■	■	■														
4. Poner en práctica una estrategia holística de desarrollo de KPI.		■	■															
5. Gestionar el cambio de cultura de todos los empleados.			■	■	■	■	■	■	■	■								
6. Identificar los factores de éxito críticos de la organización a nivel global.			■	■	■	■												
7. Registrar las medidas de desempeño en una base de datos.			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8. Seleccionar las medidas de desempeño a nivel de equipos.				■	■	■	■	■	■	■								
9. Seleccionar los KPI ganadores organizacionales.							■	■	■	■	■	■	■	■				
10. Desarrollar los marcos de referencia de reporte a todo nivel organizacional.						■	■	■	■	■	■	■	■	■				
11. Facilitar el uso de KPI ganadores.										■	■	■	■	■	■			
12. Refinar los KPI para mantener su relevancia.																	■	

Fuente: Parmenter (2007, p. 38).

Primer pilar: mejoras enfocadas (*kobetsu kaizen*)

El enfoque que se busca con la implementación de los KPI es la obtención rápida de la información requerida. La formulación de los KPI se corresponde con la realidad de una empresa u organización, y debe reflejar de manera genuina lo que se busca en un sistema de gestión que trabaje a partir de estrategias productivas y en la búsqueda de la excelencia. Dentro de esta visión, Nakajima establece un patrón de seguimiento a las actividades de TPM que se enmarca en ocho pilares o cimientos sobre los que toda la implementación del TPM reposará de la manera como se indica en la figura 6.

El primer pilar se caracteriza por tener un desarrollo propio dentro de las técnicas de gestión que hacen parte de TPM. Es la primera aproximación a la mejora continua y a la calidad que el Japón implementó en su proceso de reconstrucción de la posguerra. Su objetivo principal es el de cero pérdidas, para maximizar

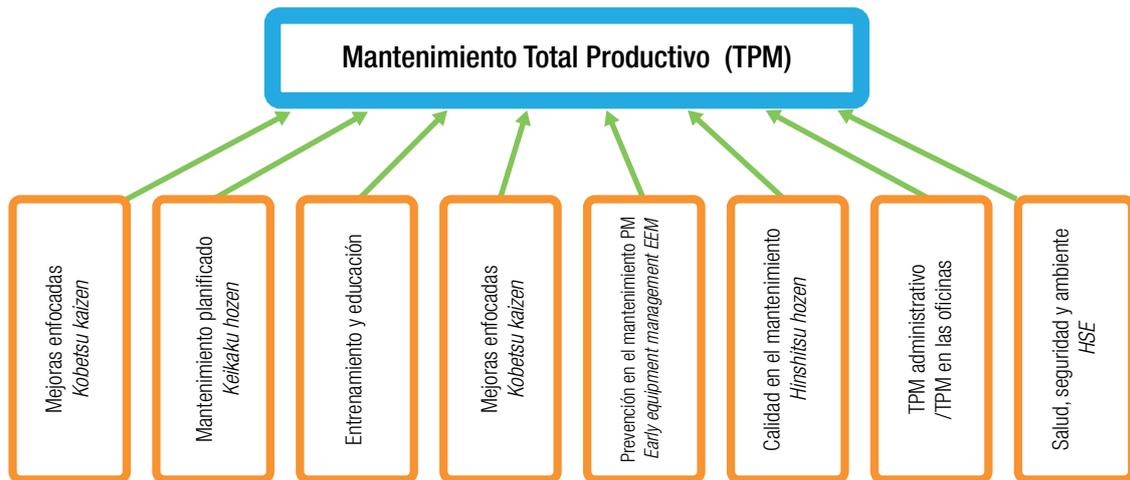


Figura 6. Modelo de Nakajima para los ocho pilares de TPM.
Fuente: elaboración propia, a partir de Nakajima (1991) y Pomorski (2004).

la efectividad del equipamiento, lo que requiere la completa eliminación de fallas, defectos y otros fenómenos negativos; en otras palabras, los desperdicios y las pérdidas incurridas en la operación del equipamiento (Nakajima, 1991, p. 17).

Tras el desastroso resultado de la Segunda Guerra Mundial en Japón, y como estrategia para la recuperación de dicho país, se creó la JUSE (Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses). Su objetivo era reconstruir, en el corto plazo y con las mejores expectativas de calidad y desempeño, la industria japonesa. Se entendió que la ocupación militar debía servirles para también generar un acercamiento a la industria estadounidense y sus estilos de trabajo.

Motivada por esto, la JUSE invitó a W. Edwards Deming a un ciclo de conferencias, donde presentó su teoría para el control de la calidad: el círculo de Deming. Dicha teoría se basó en una primera aproximación del método científico presentada por Walter Shewhart (1939). Se trataba de un proceso dinámico científico para adquirir el conocimiento, inicialmente planteado para alcanzar el máximo grado de calidad en la industria, a través del control estadístico. El *control de calidad estadístico*, trabajo de Shewhart desarrollado en Bell Laboratories, fue utilizado de manera extensiva en las factorías de los Estados Unidos para la producción de artículos militares en la Segunda Guerra Mundial a bajo costo y en grandes cantidades (Ishikawa, 1988, p. 16). Llegó incluso a compartir sus ventajas como secreto de guerra con los británicos, quienes habían desarrollado sus normas de control de calidad basados en el análisis estadístico propuesto por Egon S. Pearson (McElroy, 2014, p. 207). Sobre este trabajo hubo dos interpretaciones. La primera estaba planteada como una linealidad de especificación, producción e inspección. La segunda interpretación, propuesta por Deming, describe este modelo como una espiral que asemeja un proceso circular; aquí se alcanza la calidad en la

producción luego de que el ciclo haga un número suficiente de repeticiones, hasta que no haya nada que cambiar a la especificación para que el producto sea conforme con lo esperado, así como sucede con el método científico (hipótesis, experimentación y prueba). La figura 7 representa esta interpretación.

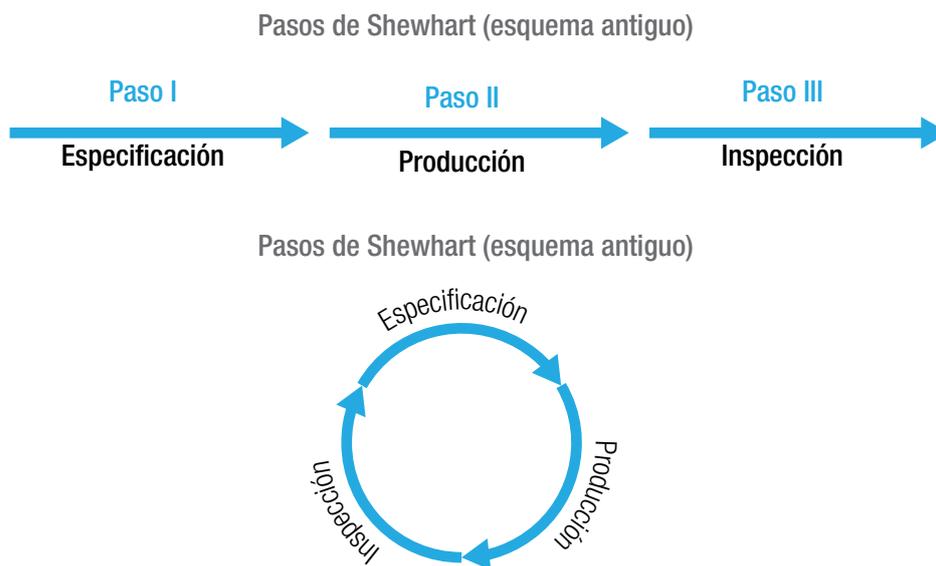


Figura 7. Pasos y círculo de Shewhart, según Deming.
Fuente: Shewhart (1939).

Cuando Deming presentó sus ya mencionadas conferencias, decidió mostrar el círculo de Shewhart con una modificación, cuyo resultado los japoneses denominaron *ciclo de calidad de Deming* (Ishikawa, 1988), el cual se muestra en la figura 8. Este ciclo describe el transcurrir de un producto, a través de los pasos que considera necesarios para asegurar la calidad de este. La etapa inicial es la de diseñar el producto, utilizando los test adecuados; luego, se procede a fabricarlo y se prueba en



Figura 8. Ciclo de calidad de Deming.
Fuente: Ishikawa (1988, p. 67).

la línea de producción y en el laboratorio; por último, se lleva al mercado (ventas). La última parte del ciclo es la investigación de mercados, en donde se averigua lo que el usuario final piensa del producto y por qué no lo compró quien no lo hizo. Se regresa al principio del ciclo para rediseñar el producto a la luz de las reacciones del consumidor en referencia al precio y a la calidad.

Posteriormente, Masaaki Imai (2012) reformula esta forma de ver la calidad con el ciclo PDCA: *planear, hacer, verificar y actuar* (*plan, do, check, act*), que se convierte en el primer paso hacia el establecimiento de un proceso que Imai denominó *mejora continua* o *kaizen*, por su significado en japonés. El ciclo PDCA se puede ver en la figura 9.

Con posterioridad, otros autores han aproximado este ciclo a formulaciones más cercanas a la realidad industrial. Uno de ellos, Kaoru Ishikawa, propone un cuadro ajustado a su experiencia y forma de ver el control de calidad en una empresa de producción. Inicialmente, Ishikawa retomó tanto el círculo de Deming como el ciclo PDCA propuesto por Imai. Con ellos,

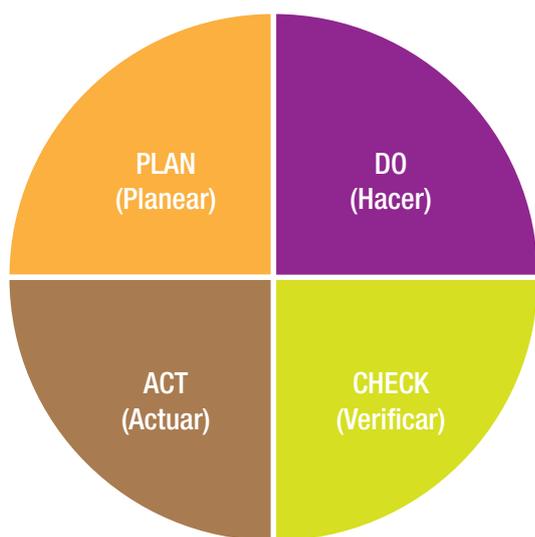


Figura 9. Ciclo PDCA.
Fuente: Imai (2012).

generó el círculo de Control, en el que se añaden algunas aclaraciones a las actividades que propone el PDCA, así como se indica en la figura 10.

El círculo de control adapta lo planteado por Imai y detalla más las actividades en los aspectos de *planear* y *hacer*. Se describe, entonces, de la siguiente manera:

- Planear: Determinar metas y objetivos.
Determinar métodos de alcanzar metas.
- Hacer: Dar educación y capacitación.
Realizar el trabajo.
- Verificar: Verificar los efectos de la realización.
- Actuar: Tomar acción apropiada.

A partir de su adición al PDCA, Ishikawa entiende que en la determinación de los métodos para alcanzar las metas se puede encontrar con inconvenientes de fijación de normas y procedimientos que pueden dañar o afectar negativamente cualquier proceso que quede con exceso de normalización. En este sen-

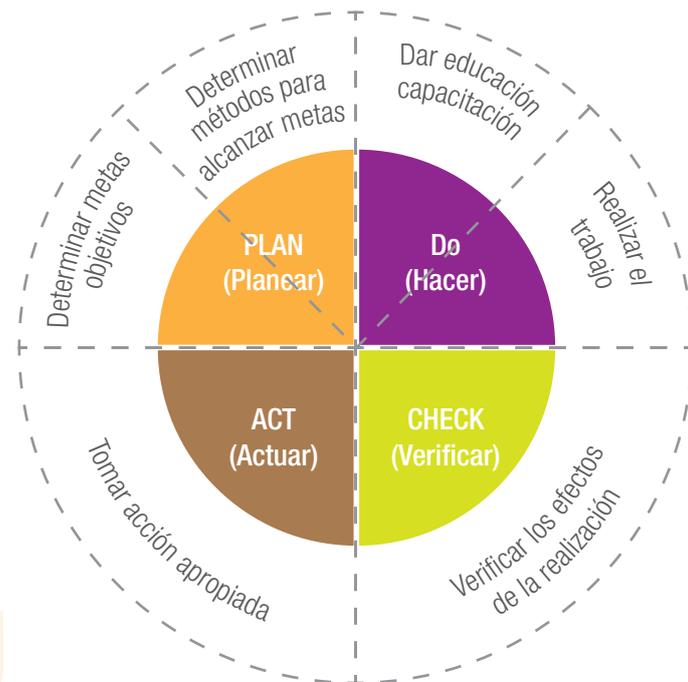


Figura 10. Círculo de control.
Fuente: Ishikawa (1988).

tido, propone un gráfico que permite observar la causalidad de cualquier proceso. El diagrama de causa-efecto, conocido también como diagrama de Ishikawa o de espina de pescado, por su forma, describe de manera detallada efectos o características de calidad.

En la cabeza del pescado se escribe el problema por estudiar y luego están las causas potenciales (factores causales o teorías) que completan el diagrama. Normalmente se detallan algunas categorías de causas potenciales: la mano de obra (personal), métodos de trabajo, materiales y maquinaria (equipamiento), y forma de medición. Adicionalmente, pueden estar medio ambiente, manejo administrativo, misión o mantenimiento, según la aproximación industrial utilizada. Aquí se identifican las relaciones entre las teorías, que permiten contar con diagramas aplicables a todo tipo de industrias, procesos y

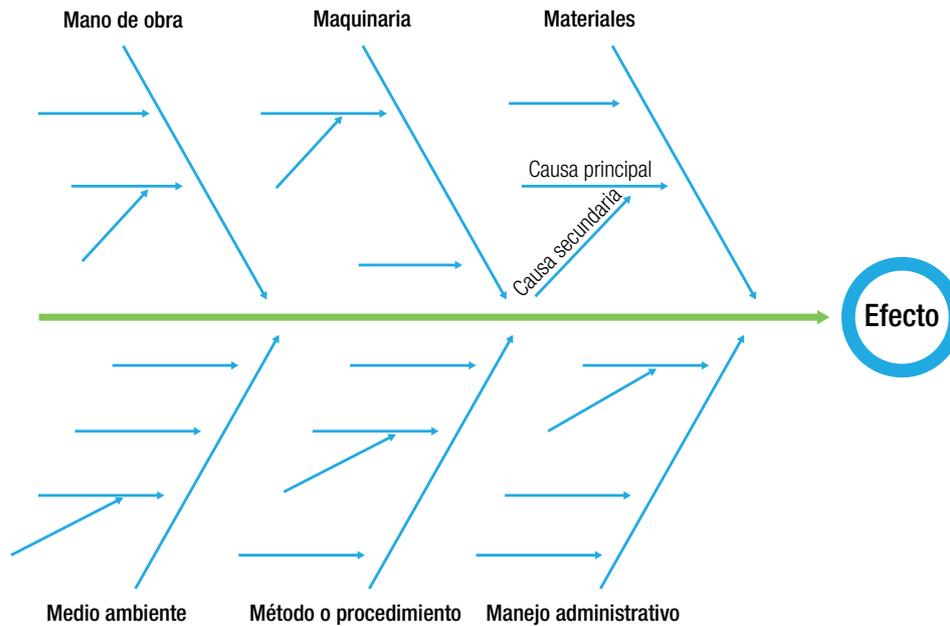


Figura 11. Ejemplo de formato de diagrama de Ishikawa. Fuente: elaboración propia, a partir de Wittwer (2009).

problemas de manufactura (Juran y Godfrey, 1998). Un ejemplo de este diagrama de Ishikawa se presenta en la figura 11. El diagrama de Ishikawa es extensivamente usado como una herramienta *kaizen*. Tiene el propósito de lograr una descripción acertada del estado de las cosas y posibles soluciones, desde la creatividad, la experiencia, las habilidades, el conocimiento y la innovación del personal involucrado en el diagnóstico, al igual que mejoras más profundas en la organización. Esto se logra utilizando la *lluvia de ideas (brainstorming)*, desarrollada por Alex F. Osborn hacia 1938, quien la denominó inicialmente *ideación organizada* (Osborn, 1963). Se considera que una de las razones por las cuales la lluvia de ideas funciona es por el poder de la libre asociación en grupo, que privilegia

la retroalimentación positiva y evita el refuerzo negativo de cualquier idea.

La lluvia de ideas se utiliza en la herramienta *kaizen*, en conjunto con la técnica de los cinco porqués, desarrollada por Sakichi Toyoda para la Toyota Industries Corporation (Serrat, 2009). La técnica de los cinco porqués se consolida también como uno de los primeros métodos para hacer lo que posteriormente se denominó *análisis de causa raíz* (RCA, por *root cause analysis*). Este método simplemente busca que un grupo de trabajo pluridisciplinario dispuesto específicamente para este fin en la organización se pregunte “¿por qué?” cinco veces, de modo que la causa del problema sea revelada.

La otra herramienta que se utiliza para la implementación del primer pilar de TPM es el diagrama de Pareto, a partir del principio del mismo nombre. Este se enfoca en identificar, gracias a una especial distribución de los datos y sus frecuencias, los *pocos vitales*. El principio establece que, en cualquier población estadística que contribuya a un efecto común, hay unos pocos contribuyentes que aportan la mayor parte del efecto: los *pocos vitales*.

Adicionalmente, hay una herramienta alternativa que se utiliza en el *kaizen*, llamada análisis PM. Este método fue propuesto por Kunio Shirose, del Instituto Japonés de Mantenimiento Productivo (JIPM). Shirose establece que dicho análisis es “una manera de observar en los fenómenos de malfuncionamiento del tipo crónico analizándolos físicamente con base en reglas y principios, aclarando el mecanismo de tales fenómenos” (Shirose, Yoshifumi y Kaneda, 2012). El análisis PM adquiere sus iniciales por *fenómeno* y *física* (*phenomenon and physical*), y por *mecanismo*, *máquina*, *mano de obra*, *material* y *método*. Este utiliza de manera sistemática ocho pasos, entre los que se incluye la clarificación del fenómeno, el análisis físico del fenómeno, condiciones necesarias para reproducir el fe-

nómeno, el estudio de equipamiento, herramientas y métodos relevantes, estudio del alcance de los métodos de investigación y medida, extracción del problema y el planeamiento de la medida para cada problema. Este es un método más riguroso que la lluvia de ideas o los cinco porqués, y puede tratarse como una técnica similar a la del diagrama de Ishikawa, al usar una clasificación similar de razones para determinar las causas del problema estudiado.

El *kaizen*, que utiliza y abarca los métodos ya descritos para la búsqueda y detección de desperdicios, implica que todos los miembros de la organización se vuelquen hacia los esfuerzos constantes de mejora continua, de modo que se constituyen en una filosofía que demanda compromiso y disciplina. El propósito principal de la mejora enfocada es la de lograr el nivel de cero pérdidas y cero averías; el indicador clave de desempeño que mide este logro es el OEE (efectividad global de equipamientos). Este KPI es, básicamente, el principal elemento que mide el avance o continuidad de la forma de trabajar a través de la eliminación de cualquier pérdida de efectividad.

Indicador de efectividad global de equipamiento (OEE)

Como se mencionó previamente, el OEE se constituye en la herramienta más efectiva para poder medir y mejorar la productividad, pues permite contar con una métrica consistente y rápida para evaluar el desempeño de una organización y se enfoca en las seis grandes pérdidas que Seiichi Nakajima consideró como fundamentales para eliminar en toda organización, previamente mencionadas. La formulación de este KPI está relacionada en la figura 12.

Como se puede observar en la figura 12, el indicador OEE se deriva de la multiplicación de otros tres indicadores: disponibilidad, rendimiento y calidad. Cada uno de estos tres se

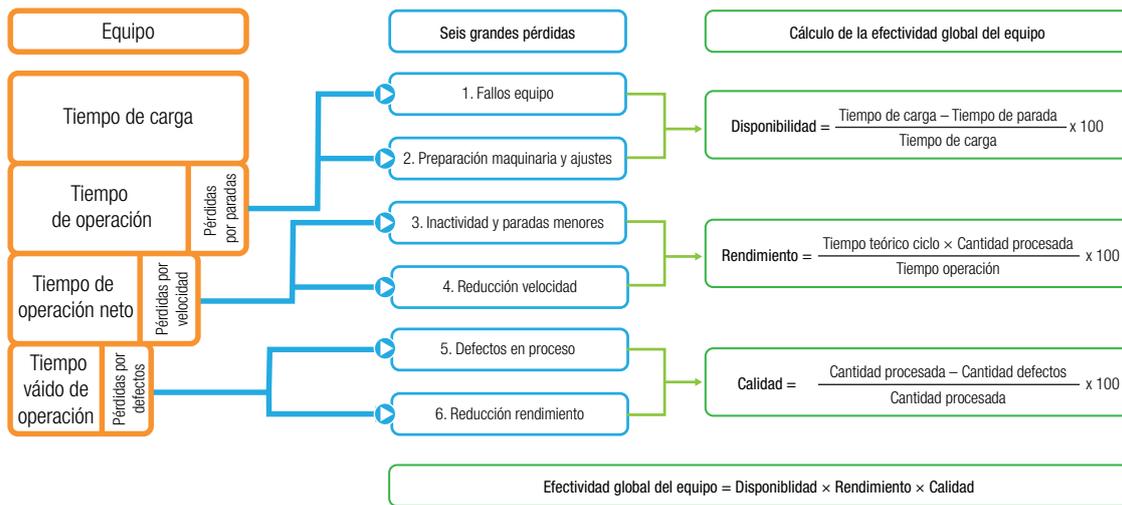


Figura 12. Formulación de la efectividad global del equipo e indicadores meta.
Fuente: Nakajima (1991, p. 26).

ve afectado directamente por específicamente dos de las seis grandes pérdidas.

Como ejemplo, se puede observar el siguiente set de datos de una compañía de inyección de plásticos y un reporte para un turno de trabajo:

1. En un turno de ocho horas de trabajo hay 480 minutos.
2. Tiempo de parada planificado por turno; se cuenta aseo, lubricación, mantenimiento e inspecciones programadas, e incluso la pausa café o de alimentación. Sumado todo esto se puede contar con 40 minutos.
3. Tiempo de carga por día: 440 minutos.
4. Pérdidas de paradas por día, por fallos, y preparación y ajustes de máquina (averías, 15 minutos, cambio de moldes, 20 minutos, ajustes de rearranque de máquina, 10 minutos): 45 minutos.
5. Tiempo de operación: 395 minutos.

6. Productos por día: 385 ítems producidos.
7. Tasa de calidad de los productos: 99 % (dato proporcionado por el departamento respectivo).
8. Tiempo ideal del ciclo: 0,5 minutos / ítem.
9. Tiempo real del ciclo: 0,85 minutos / ítem.

Se puede encontrar:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo proceso real} &= \text{tiempo real de ciclo} \times \text{productos por día} = \\ &0,85 \times 385 = 327,25 \text{ minutos} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidad} &= \text{tiempo de operación} / \text{tiempo de carga} \times 100 = \\ &295 / 440 \times 100 = 89,27 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tasa de velocidad de operaciones} &= \text{tiempo ideal de ciclo} / \text{tiempo real de ciclo} \times 100 = \\ &0,5 / 0,85 \times 100 = 58,82 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tasa de operaciones neta} &= \text{tiempo de proceso real} / \text{tiempo de operación} \times 100 = \\ &327,25 / 395 \times 100 = 82,84 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} &= \text{tasa de velocidad de operaciones} \times \text{tasa de operaciones} \\ &\text{neta} \times 100 = \end{aligned}$$

$$0,5882 \times 0,8284 \times 100 = 48,72 \%$$

$$\text{OEE} = \text{disponibilidad} \times \text{rendimiento} \times \text{calidad} \times 100 =$$

$$0,8927 \times 0,4872 \times 0,99 \times 100 = 43,05 \%$$

Nakajima (1991, p. 28) estima inicialmente que los valores ideales para asegurar que una compañía se desempeñe excelentemente son:

- Disponibilidad mayor al 90 %
- Rendimiento mayor que 95 %
- Calidad superior a 99 %
- OEE mayor a 85 %

Recientemente se ha incorporado una mejora a la evaluación de este indicador, con base en que, hasta su surgimiento, no se ha-

bían tenido en cuenta los tiempos de paradas programadas en la realidad del proceso. Se trata del indicador PfoEE, que tiene en cuenta el tiempo de paradas programadas y que no afecta la efectividad del equipamiento, como pausas de almuerzo, café, vacaciones, tiempos de reuniones, entrenamiento, limpieza, tiempo de espera por equipos satélites, mantenimiento preventivo, modificaciones planificadas, entre otros.

Pérdidas de efectividad

Las pérdidas en los equipamientos pueden ser crónicas o esporádicas, teniendo en cuenta la continuidad en el tiempo de la separación entre el nivel actual de la efectividad del equipo y su valor óptimo, o la presencia de un cambio negativo súbito en este valor actual más allá del rango esperado. Como se mencionó previamente, existe un total de dieciséis pérdidas, cuyas relaciones entre los diferentes elementos y tipos de pérdidas involucrados en una organización se muestran en la figura 13.

De la propuesta de Nakajima, a continuación se describe cada una de las pérdidas relacionadas.

Las ocho grandes pérdidas que perjudican la efectividad del equipamiento

Pérdidas por averías. Estas suceden cuando una de las máquinas se daña, por ejemplo, por un componente en falla y causa que la línea o el proceso se detenga. Las unidades en las que se puede medir este elemento son en horas/máquina u horas/hombre, en caso de que también se tenga en cuenta la intervención humana en su reparación.

Pérdida por configuración y ajuste. Este sucede cuando se está cambiando entre productos similares, con diferencias básicas, que requieren parámetros nuevos en la máquina. El tiempo de ajuste se define como la cantidad de tiempo que se requiere para producir el último producto del lote anterior

y el primer producto válido del siguiente lote. Un ejemplo es cuando se están inyectando productos en plástico de un color y luego se cambia a otro tono, de modo que se generan no solo pérdidas de tiempo, sino de materias primas.

Pérdidas por reemplazo de herramientas de corte. Es el tiempo que se tarda en reemplazar un escariador, broca, inserto, o similar, que llegó al final de su vida de herramienta o presenta un daño que impide su uso. Su unidad de medida puede ser en tiempo.

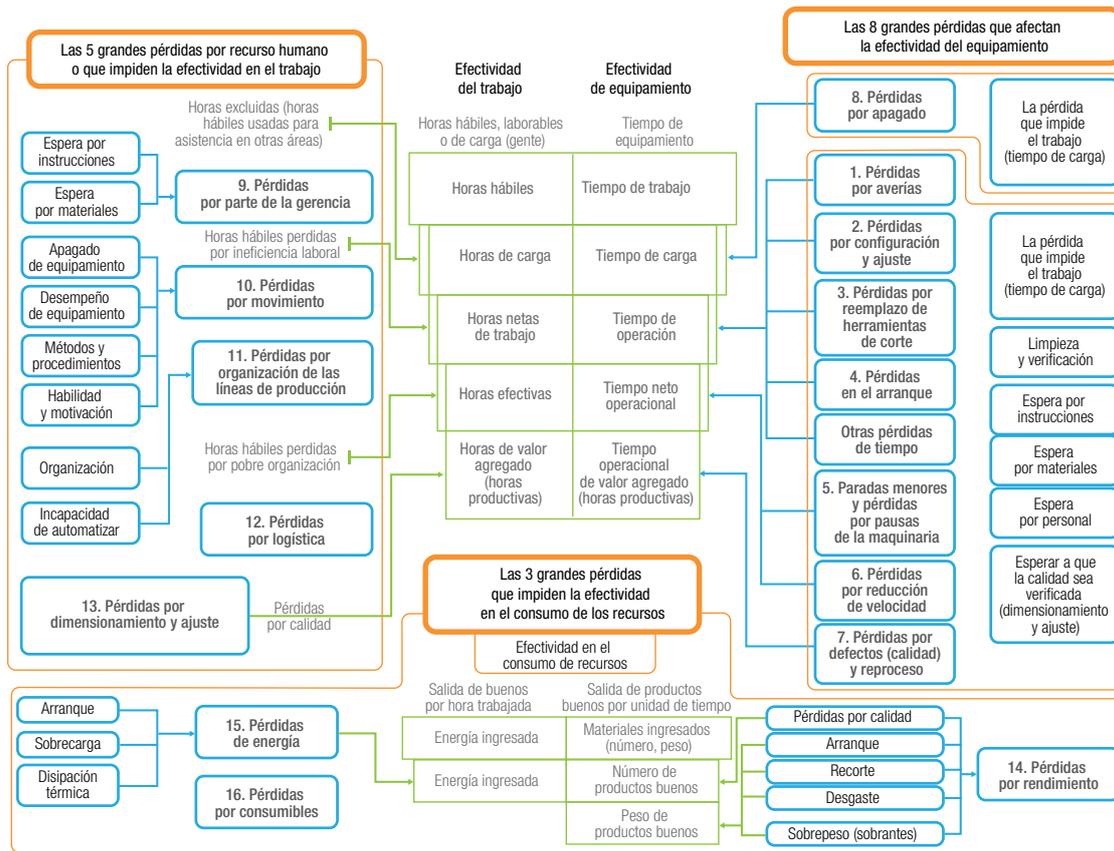


Figura 13. Estructuración de las pérdidas inherentes a sistemas de producción. Fuente: traducción propia de Nakajima (2006).

Pérdidas en el arranque. Consiste en el tiempo que transcurre luego de una parada planeada o por una avería, en la que el equipo necesita ponerse a temperatura o alcanzar la presión de trabajo. La unidad de medida es el tiempo, en minutos u horas, por ejemplo.

Paradas menores y pérdidas por pausas del equipo. Esta pérdida se refiere a una serie de paradas menores a un tiempo considerado por el equipo de estadística en la producción, de tipo repetitivo. Un ejemplo puede ser cuando, en un grupo de bandas transportadoras dispuestas en cascada, una de ellas presenta un atasco, que se resuelve en menos de un minuto, pero detiene la línea mientras se espera la solución de ese atasco. La unidad de medida es el tiempo.

Pérdidas por reducción de velocidad. Es una afectación típica en bandas transportadoras, en el caso de que presenten desgaste o desajuste, lo que minimiza la capacidad o flujo de productos. La unidad de manejo puede ser unidades / hora perdida o peso / hora.

Pérdidas por defectos (calidad) y reproceso. Estas son las que se deben a la presencia de productos con errores en sus dimensiones, acabados o mal etiquetado, lo que produce su retiro de la línea de trabajo y, en el mejor de los casos, su reparación o reproceso. Sus unidades de medición pueden ser peso o unidades reprocesadas.

Pérdidas por apagado. Estas pérdidas se producen por el apagado programado de la maquinaria para cualquiera de las labores contempladas como mantenimiento programado o durante la carga del equipo. Se considera esta como la única pérdida grande que impide totalmente el uso de la maquinaria. Su unidad es el tiempo.

Otras pérdidas de tiempo. Las labores de limpieza, la espera por instrucciones, materiales, personal, verificaciones de calidad pueden ser menores, pero pueden contarse en un

aparte diferente, según el criterio del equipo de planificación y estadística.

*Las cinco grandes pérdidas por recurso humano
que impiden la efectividad en el trabajo*

Pérdidas de parte de la gerencia. Ocurre cuando hay errores producidos por la gerencia que penalizan el tiempo normal de proceso, como, por ejemplo, cuando no se han adquirido los repuestos para el mantenimiento programado o no hay material de trabajo, personal, o intermitencia en los servicios públicos para la producción. La unidad de medida puede ser el tiempo o el dinero.

Pérdidas por movimiento. Cuando la planta no está adecuadamente distribuida, como por ejemplo recorridos a pie innecesarios dentro de las líneas de producción o pérdidas por elevación innecesaria de materiales. La unidad de medida es tiempo o dinero.

Pérdidas por organización de las líneas de producción. Estas se generan cuando hay falta de empleados suficientes en la línea de producción por cambios de turno, falta de entrenamiento suficiente o actividades no relacionadas con la labor. El tiempo y el dinero son también las unidades de medida.

Pérdidas por logística. Son causadas por una mala planificación para el ingreso de materias primas, herramientas o unidades en la línea de producción, causadas por errores logísticos. Las unidades de medición son, nuevamente, el tiempo y el dinero.

Pérdidas por dimensionamiento y ajuste. Cuando se presentan problemas constantes de calidad se produce un exceso de inspecciones y ajustes, lo que genera procesos de producción prolongados al integrar estos tiempos de revisión y parametrización. Las unidades de medida son tiempo y dinero.

Las tres grandes pérdidas que impiden la efectividad en el consumo de los recursos

Pérdidas por rendimiento. Es la diferencia entre el material que ingresa y aquel que sale como producto terminado. Se puede producir por bajo o alto empaquetamiento de productos, o pérdidas de material en línea. La unidad de medida es el dinero, representando las unidades o el peso perdidos.

Pérdidas de energía. Es la cantidad de energía perdida durante el proceso, por baja eficiencia de la maquinaria, excesos de calor no contemplados, sobrecargas, pérdidas en el arranque o por pausas o espera de tiempo en producción. La unidad de medida es el dinero, que representa la energía efectiva.

Pérdidas por consumibles. Es el costo asociado al consumo de repuestos e insumos para las actividades de mantenimiento de línea. La unidad es el dinero.

El cuadro de mando integral o BSC

El BSC fue introducido en el escenario empresarial por Robert S. Kaplan y David P. Norton. Este planteamiento estratégico de gestión, que concuerda con el MBO “traduce la estrategia y la misión de una organización en un amplio conjunto de medidas de la actuación, que proporcionan la estructura necesaria para un sistema de gestión y medición estratégica” (Kaplan y Norton, 2002, p. 14).

El proceso que involucra la formulación y construcción de un BSC puede describirse a través de los siguientes pasos, especialmente si se trata de una organización que nunca ha puesto en marcha dicha metodología:

- Definir la misión, la visión y los objetivos de la organización con los plazos en los que se desee llegar a alcanzar.
- Determinar los parámetros y variables medibles, que permitan evaluar el desempeño y el cumplimiento de la misión, visión y objetivos previamente definidos.

- Establecer las metas o el valor específico de la métrica que se quiere lograr.
- Identificar los recursos, iniciativas, proyectos, sus presupuestos, entre otros, que deban utilizarse para lograr las metas establecidas.

El BSC constituye una evaluación que la organización debe realizar desde cuatro perspectivas interconectadas, como se presenta en la figura 14.

La tendencia en el uso del desempeño por cumplimiento personal de objetivos tuvo un crecimiento, dada la especialización de los trabajadores del conocimiento en la economía (ingenieros y gerentes), quienes son más independientes con



Figura 14. Cuadro de mando integral, mostrando la estrategia en términos operativos. Fuente: elaboración propia, complementando a Kaplan y Norton (2002, p. 22).

respecto a la toma de decisiones y a la administración de procesos productivos, según la visión de Drucker. Lo anterior da lugar a la evolución posterior, planteada por la integración entre la gestión de desempeño estratégico y la gestión individual de desempeño introducida en el BSC.

Las metas de la organización se ven reflejadas en metas individuales y la medida individual se alinea con la medida de desempeño organizacional, en un esfuerzo de incrementar el compromiso de todos los empleados para ejecutar la estrategia organizacional. Esta estrategia de gestión es una alternativa viable para poder integrar los indicadores de gestión financiera, bastante usados para la medición de objetivos hasta el momento, a los indicadores de medición de resultados de la actuación y aquellos indicadores no financieros de todos aquellos factores clave que afectan los resultados futuros, derivados de la estrategia y visión de la organización.

Ahora bien, se puede determinar también la implantación de este en una organización, siguiendo un calendario temporal típico, que se puede observar en la tabla 2 para hacerse una idea.

Tabla 2. Modelo de diez pasos para la implantación del cuadro de mando integral en una organización

Semana del proyecto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I. Construir el programa de indicadores																
1. Selección de la unidad de la organización																
2. Identificación de los vínculos corporativos con las unidades estratégicas de negocios																
II. Definir de los objetivos estratégicos																
3. Primera ronda de entrevistas																
4. Sesión de síntesis																
5. Taller ejecutivo: primera ronda																
III. Seleccionar los indicadores estratégicos																
6. Reuniones de subgrupos																
7. Taller ejecutivo: segunda ronda																
IV. Construir el plan de implantación																
8. Desarrollo del plan de implantación																
9. Taller ejecutivo: tercera ronda																
10. Finalización del plan de implantación																

Fuente: Kaplan y Norton (2002, p. 320).

Políticas del kaizen

El *kaizen*, en resumen, posee las siguientes políticas (adaptadas de Singh, Gohil, Shah y Desai, 2013):

- Práctica de los conceptos de cero pérdidas (eliminación de las dieciséis pérdidas) en toda actividad de la organización
- Metas de reducción de costos en todos los recursos, de manera constante y sin descanso

- Mejoramiento total de la efectividad del equipamiento de la planta, teniendo al indicador OEE como la meta inagotable
- Uso extensivo del análisis PM como una herramienta para eliminar pérdidas
- Eje en facilitar la manipulación en operación por parte de los operarios

El objetivo del *kaizen* es alcanzar y mantener cero pérdidas a través del uso de herramientas como el análisis PM, los cinco porqués, PDCA, Ishikawa, Pareto y el listado general de pérdidas y seguimiento continuo del proceso *kaizen*, el cual debe ser permanentemente trabajado. Esto no es una labor para abandonar apenas se logren los objetivos; debe ser constantemente utilizada y todo el personal, no solo el operativo, involucrarse en su implementación.

Segundo pilar: mantenimiento autónomo (*jishu hozen*)

El segundo pilar tiene como método la organización de la fábrica en grupos pequeños. Estos grupos autónomos tienen como objetivo identificar las pérdidas y proponer e implantar mejoras a los equipos.

Dentro de estos grupos, los operarios aprenden a ejecutar actividades de limpieza, inspección y de lubricación. Para hacer visibles los problemas detectados en los equipos se utilizan etiquetas para eliminarlos una vez haya una parada programada. Igualmente, se capacita a los operarios, por su familiaridad con la maquinaria y conocimientos específicos, en la ejecución de tareas de mantenimiento programado. Los operarios inician el proceso dentro de los grupos autónomos identificando las pérdidas a partir de los sentidos. Es común encontrar operarios que pueden indicarle al encargado de planta que hay un inconveniente con un motorreductor, únicamente escuchando la diferencia en el sonido o la vibración con respecto a lo que

ellos consideran normal para el equipo. Con el pasar de los entrenamientos, los operarios van adquiriendo conocimientos suficientes para ejecutar las inspecciones de manera metódica y ordenada.

Cada equipamiento o línea de proceso tiene un conjunto de pérdidas que mantiene su eficiencia lejos de la perfección. El objetivo del grupo es la identificación de las mayores pérdidas del equipamiento en el que trabajan, con el propósito de proponer mejoras que las reduzcan o mitiguen completamente. Aquí es necesario indicar que el antiguo “yo opero, tú reparas”, típico entre los mantenedores y los operarios, se cambia por “de mi equipamiento yo cuido” y también “limpio e inspecciono”. Como se ve, todo este planteamiento se puede lograr gracias a la capacitación del personal y el aumento de las competencias a que esto conduce.

El primer pilar, de mejoras enfocadas, y este segundo pilar, de mantenimiento autónomo, tienen bastante relación, dado que ambas se dirigen hacia la recuperación del equipamiento y el sostenimiento de las condiciones básicas de la maquinaria.

En Japón, entre los años 1910 y 1945, se utilizaron los principios de administración de la producción que se enuncian en la escuela de la administración científica, conocida también como taylorismo, propuesta por Taylor (1987).

Como base general, Taylor señala que el hombre deja de ser el centro de la producción y el sistema de producción es lo más importante, de manera que ya no se busca contratar al mejor hombre para la tarea. De por sí, otro influyente pensador de la masificación industrial, Henry Ford, basó sus convicciones en estos principios e hizo sus aportes y puntos comunes con el taylorismo, incorporando los parámetros de formar al hombre sin importar su pasado y evitando que piense en otra cosa diferente a su trabajo propio, de suerte que ascienda para ocupar otra posición por más dinero y haga carrera en la empresa

(Ford y Crowther, 2004). Como resultado, toda organización, bajo dicho esquema, logra que los operarios ejecuten tareas simples sin un mayor conocimiento de los detalles técnicos complejos de los equipamientos. Este hecho fue común a los japoneses como modo de producción hasta la Segunda Guerra Mundial (Ishikawa, 1988, p. 16).

Este pilar de mantenimiento autónomo es fundamental para la implementación del TPM y su sustento se encuentra en el empoderamiento que se hace del personal. Es el primer impulso hacia la gerencia participativa, completamente contrario a las ideas de Ford y Taylor, que son similares a la teoría x de Maslow. Por esto, es fundamental que los miembros de una organización se capaciten y fortalezcan las competencias. El mantenimiento autónomo requiere que los empleados posean habilidades, en cuatro niveles diferentes (Productivity Inc., 2000, p. 8):

1. Descubrir anomalías.
2. Corregir anomalías y restaurar el funcionamiento del equipamiento.
3. Establecer las condiciones óptimas del equipamiento.
4. Mantener estas condiciones iniciales.

Ahora bien, los niveles detallados de habilidad de un operario, bajo el esquema de mantenimiento autónomo, son los siguientes (Productivity, Inc., 2000, p. 8):

En el nivel 1, el operario debe reconocer el deterioro y mejorar el equipamiento para prevenirlo, buscando las anomalías en la operación del equipo y sus componentes; entendiendo la importancia y los métodos adecuados de la lubricación; comprendiendo la importancia de la limpieza (e inspección) y los métodos de limpieza adecuados, y percibiendo la importancia de la contaminación y la habilidad de hacer mejoras localizadas.

En el nivel 2 se busca entender la estructura y funciones del equipamiento comprendiendo qué buscar al verificar la operación normal de los mecanismos; limpiando e inspeccionando para mantener el desempeño del equipamiento; comprendiendo los criterios para juzgar las anormalidades; discerniendo entre causas específicas y anormalidades específicas; juzgando con convicción acerca de cuándo el equipo deba ser apagado, y teniendo alguna habilidad para desarrollar diagnósticos de falla de la maquinaria.

El nivel 3 lo ocupa comprender las causas de los defectos de calidad inducidos por el equipamiento analizando físicamente los fenómenos relacionados con el problema; entendiendo la relación entre las características de calidad y el equipamiento; diferenciando los rangos de precisión estática y dinámica, al igual que saber cómo medir dicha precisión, y comprendiendo los factores causales detrás de los defectos.

En el nivel 4 se esperan realizar reparaciones de rutina en el equipamiento, haciendo cambios repuestos; entendiendo la vida útil de los componentes y con la habilidad de deducir las causas de falla de la maquinaria.

El mantenimiento autónomo se puede dividir en cuatro fases o elementos significativos como sigue:

Limpieza inicial. Los operarios deben realizar las tareas de limpieza inicial básica del equipamiento, con seguridad y con un entrenamiento previo, a fin de mitigar cualquier riesgo asociado a esta tarea. El enfoque de esta actividad se realiza en siete tipos de anormalidad (Suzuki, 2017):

1. Fallas mínimas: contaminaciones, daños, juegos, adhesiones, fenómenos anormales
2. Condiciones básicas no alcanzadas: lubricación, niveles, grasas, ajustes
3. Lugares inaccesibles: para chequeo, limpieza, lubricación, ajuste, operación, apriete

4. Fuentes de contaminación: productos, materias primas, lubricantes, gases, líquidos
5. Fuentes de defectos de calidad: materiales extraños, vibraciones, humedades, tamaño de grano, concentración, viscosidad
6. Ítems innecesarios o no urgentes: maquinaria, tuberías, instrumentos de medición, equipamiento eléctrico, herramientas, repuestos, reparaciones temporales
7. Lugares inseguros: pisos, pasos, luces, elementos rotativos, partes de grúas, materiales peligrosos

Estas actividades de limpieza cumplen con el concepto de TPM de limpiar para inspeccionar, inspeccionar para detectar, detectar para corregir y corregir para perfeccionar. Los grupos de trabajo pequeños se usan en la limpieza inicial para cumplir un objetivo común: la limpieza de un área o equipo específicos. Esto conduce a entender mejor el equipamiento y también a un efecto positivo en la mejora de su desempeño (Ginder, Robinson y Robinson, 1995, p. 94).

Las 5S. Este método de trabajo fue desarrollado por Hiroyuki Hirano, cuyas técnicas de trabajo fueron totalmente descritas en su libro *5 pillars of the visual workplace* (1995), con el fin de establecer una estructura óptima encaminada a aprovechar los beneficios de la limpieza y el orden del sitio de trabajo con el desempeño óptimo de la manufactura y los elementos asociados a estas mejores prácticas. Las 5S es un acrónimo originalmente japonés, que se asocia con las siguientes palabras (Willmott, 2000):

Seiri (organización – eliminación): se identifican y se remueven aquellos elementos que no sean necesarios para las labores en curso. El material excesivo puede conducir a errores y defectos.

Seiton (orden – organización): es el mismo principio de “cada cosa en un lugar y un lugar para cada cosa”. Hay que

ubicar los elementos necesarios para el trabajo, de tal forma que sean fáciles de localizar y utilizar, marcándolos adecuadamente. En este paso se utilizan métodos ideados por Hirano: la estrategia de las etiquetas rojas y la estrategia de los letreros. La estrategia de las etiquetas rojas permite implementar la organización al etiquetar todos los ítems innecesarios con etiquetas rojas claramente visibles y posteriormente depositarlos en el área asignada a los ítems tipo “etiqueta roja”. Se utiliza, incluso, como alternativa la regla de las veinticuatro horas, en la que se remueven del sitio de trabajo, para su disposición, aquellos ítems que sean utilizados en un plazo superior. La estrategia de los letreros consiste en una técnica para indicar claramente dónde (lugar), qué (nombre de los ítems) y cuántos (cantidades) ítems necesarios se requieren para hacer más ordenada la fábrica (Hirano, 2016, p. 272).

Seiso (limpieza [el acto de]): se trata de la limpieza de pisos, equipamiento y estaciones de trabajo, por lo que se deben identificar todas las fuentes de contaminación y suciedad. Este paso de las 5S se integra con las tareas de mantenimiento diarias con el fin de mantener las condiciones de los equipos como si fueran nuevos.

Seiketsu (limpieza [el estado de]/estandarización): se refiere a crear métodos y prácticas para mantener en marcha el *seiri*, el *seiso* y el *seiketsu*, de manera ordenada, continua y óptima. Se deben seguir los pasos necesarios para facilitar la creación de hábitos, asignando trabajos y responsabilidades, de manera que se genere un cambio de cultura en la organización. En este paso ya deben estar implementados elementos de guía visual, como tableros, en donde se puedan ver los documentos de control del proceso 5S, fotografías de antes y después, así como el estado de la implementación.

Shitsuke (disciplina [el estado de]): el objetivo de esta etapa es convertir a las 5S en una parte integral del estándar de

procedimientos operacionales. El concepto abstracto de *disciplina* no puede ser medido o valorado y solo puede ser apreciado cuando las 5S han sido incorporadas a las tareas cotidianas que hacen parte de los hábitos de la organización. Básicamente lo importante no es haber terminado el proceso 5S, sino sostenerse y recibir los beneficios de manera permanente de esta estrategia de gestión.

Equipos piloto y equipos gerenciales modelo. En general, se recomienda implementar equipos piloto (*TPM pilot teams*), los cuales se encargarán de recorrer todos y cada uno de los pasos de implementación de TPM, a fin de generar una serie de resultados que permitan vislumbrar los retos y oportunidades que se puedan presentar a lo largo de la implementación total y definitiva. Un equipo piloto puede estar compuesto de un grupo de personal que trabaja en una máquina y llega a cumplir de manera exitosa las siguientes realizaciones, según Leflar (2001):

- a. El equipo aprende a convertir la teoría de TPM en realidad. TPM es “aprender haciendo”, por lo que no hay una cantidad determinada para completar las actividades de TPM exitosamente.
- b. Las actividades de TPM son ajustadas para la compañía en la que se piensa implementar, pues no hay dos empresas iguales. De esto se encarga el equipo piloto.
- c. El equipo piloto comprueba que es posible implementar el TPM en su propia fábrica, utilizando el personal de la compañía.
- d. El equipo piloto desarrolla y proporciona al resto de la organización las herramientas, procedimientos e infraestructura para llevar a cabo las actividades futuras de TPM de manera más fácil que lo que tuvo que enfrentar. (p. 34)

James Leflar también recomienda que la máquina por seleccionar para este piloto de implementación no sea necesariamente aquella denominada “cuello de botella” para la organización.

Se puede escoger una máquina que tenga problemas de confiabilidad y que afecte el comportamiento de la máquina “cuello de botella”. Esta se constituiría como la máquina “de mostrar”: si se pudo optimizar esa máquina, se puede con cualquiera.

Cuando el equipo piloto finaliza su trabajo, se cuenta ya con un camino recorrido, lo que hace que, al implementar el mantenimiento autónomo y en general los pasos de TPM, se puedan poner en marcha algunos *equipos gerenciales* adicionales, enfocados en la mejora continua de otras máquinas diferentes y que permitan un segundo grado de penetración en la organización. Es posible que en otras organizaciones no pasen por esta etapa intermedia o, en algunos casos, ni siquiera por el equipo piloto; en consecuencia, hay resistencia de parte de las diferentes áreas de la compañía, lo cual da lugar a fracasos tempranos en la implementación de TPM. En la figura 15, se puede observar el despliegue de los equipos en acción de TPM.

Los *equipos gerenciales* permiten la formación de expertos gerentes de TPM, que ya han recorrido los pasos de implementación de las estrategias de TPM. De acuerdo con este proceso, no hay una mejor opción que la capacitación para duplicar el conocimiento recibido entre los empleados. Los resultados del equipo piloto en la máquina piloto debe ser visible para todo el personal de la compañía y el proceso de mantenimiento autónomo debe ser altamente documentado para que cualquier persona pueda verificar sus seguros beneficios en el equipamiento en general.

Controles visuales. Los controles visuales son herramientas que permiten a los operarios conocer el estado en el que se encuentra el o los procesos de su interés, de manera manual o automatizada. Estos controles deben mostrar al operador lo que debe saber del proceso, cuando necesite saberlo, donde necesite verlo y en un formato que sea claramente entendible para el usuario de la información. Estos controles pueden ser

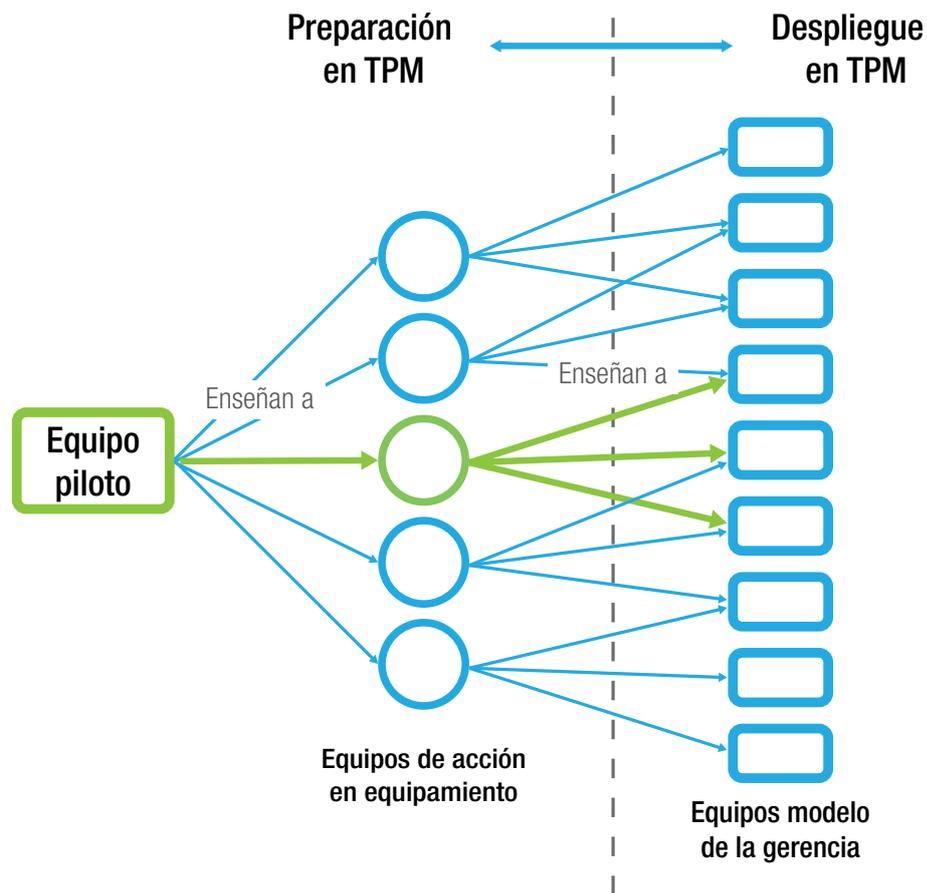


Figura 15. Discurrir del conocimiento entre equipos de trabajo TPM.
Fuente: Leflar (2001, p. 36).

eminentemente gráficos, audiovisuales e incluso pueden contar con automatización del tipo de lazo cerrado.

Las etiquetas rojas y los letreros usados en las 5S son un ejemplo. Todas las gráficas y la información ubicada en los tableros de actividades se constituyen en guías para la acción. Los tableros de control se constituyen en una herramienta poderosa que puede y debe ser incorporada en cualquier proceso de implementación. Un ejemplo de este tipo de tablero puede verse en la figura 16.

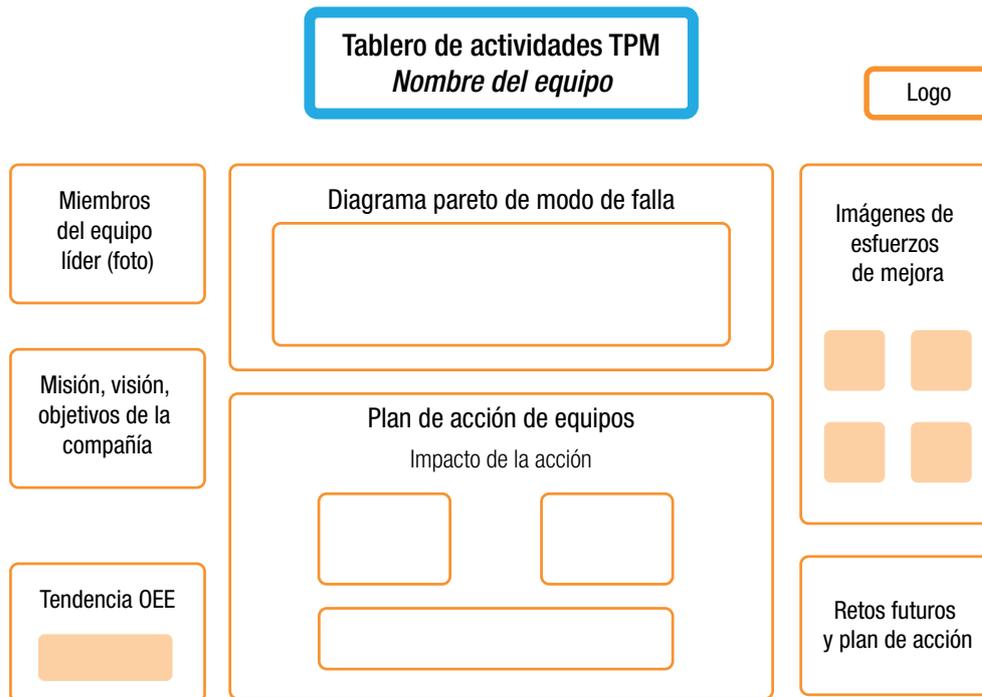


Figura 16. Ejemplo de tablero de implementación en TPM.
Fuente: Pomorski (2004, p. 48).

Dentro del tablero, como un apoyo adicional a las actividades que deben ser desarrolladas o seguidas por parte del equipo de implementación de TPM, están también las *lecciones de un punto* (OPL, *one point lesson*, por su correspondencia en el idioma inglés). Las OPL son herramientas mayormente visuales y están enfocadas en el aprendizaje ágil en el espacio de trabajo. Leflar (2001) establece los siguientes lineamientos que deben ser tenidos en cuenta para el uso de los OPL:

- a. Las OLP contienen un único tema por aprender.
- b. La información compartida debe caber en una página.
- c. Las OLP contienen más información visual que texto.
- d. Cualquier texto debe ser directo, fácil de entender y directo.

- e. Cuando sea liberada para su conocimiento, debe explicarse la necesidad de este conocimiento que debe cubrir la OLP (qué problema se están resolviendo).
- f. Las OLP deben ser diseñadas para ser leídas y entendidas por el público al que se dirigen en un tiempo de 5 a 10 minutos.
- g. Aquellos que aprendan con la OLP deben transmitir este conocimiento a otros.
- h. Las OLP son entregadas en la estación de trabajo.
- i. Las OLP son archivadas para referencia.

En este sentido, es posible observar lo fundamental del aprendizaje y la transmisión del conocimiento en este proceso de mantenimiento autónomo. Las OLP pasan a ser integrantes de los procedimientos de mantenimiento y se constituyen en un documento importante dentro de cualquier curso de seguimiento o acreditación, pues también sirven para incrementar la información de operación o de mantenimiento de la máquina que se haya utilizado o descrito.

Tercer pilar: mantenimiento planificado (*keikaku hozen*)

El objetivo principal del tercer pilar es generar una estructura de actividades y responsabilidades, de tal forma que el mantenimiento preventivo se haga de manera regular, con el fin de minimizar las paradas por reparación de averías en la maquinaria. En efecto, se mejoran los índices de prevención, al incrementar la mantenibilidad y la posibilidad de tener maquinaria disponible; a partir de esto, se libera de carga, a largo plazo, al personal dedicado a las actividades de mantenimiento y, como consecuencia, pueden involucrarse todavía más en las posibilidades de entrenamiento y capacitación que se requieren, como se describió en la sección anterior.

En resumen, el enfoque que se presenta en el *keikaku hozen* es el de eliminar las fallas o reparaciones de averías del equipamiento, de modo que se asegure la confiabilidad y la disponibilidad de la maquinaria y se puedan reducir los costos de mantenimiento. En virtud de ello, el mantenimiento se divide en dos grupos diferentes: mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo, cuyas ramificaciones pueden observarse en la figura 17. El mantenimiento, entonces, se puede ver como una continuación de los diferentes tipos de posibilidades que pueden tener las organizaciones, según sus recursos y su óptica. También esto se puede equiparar a las posibilidades que se pueden presentar en cualquier organización con recursos suficientes.

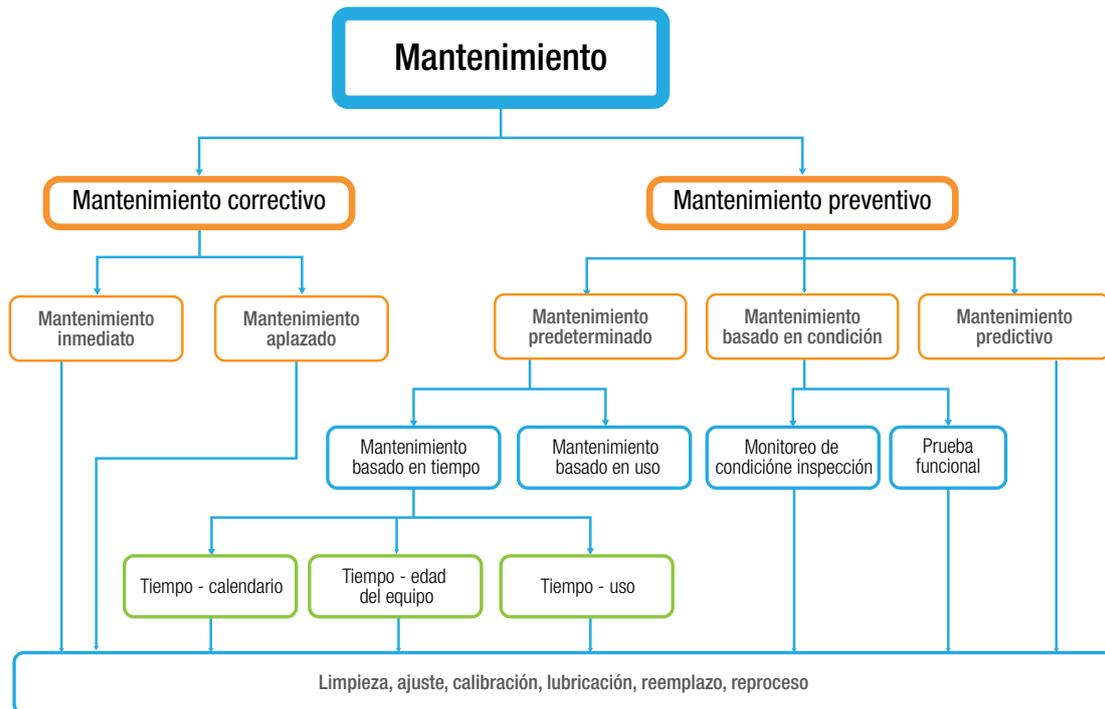


Figura 17. Clasificación de acciones de mantenimiento Fuente: traducido y adaptado de Ben-Daya, Kumar, y Murthy (2016, p. 4).

A modo de síntesis, se destacan a continuación algunas de las formas de mantenimiento presentadas en la figura 17. El primer paso en el mantenimiento, que es por donde todos empiezan el camino de la perfección y las buenas prácticas, es el de la reparación por averías, como el mantenimiento correctivo, descrito a continuación.

Reparación de averías y mantenimiento inmediato

Es el que se realiza cuando las condiciones de trabajo de una máquina pueden tornarse peligrosas o inestables para el personal o el proceso, o también cuando tiene lugar una parada o falla en la máquina que imposibilite su funcionamiento. Se practica, como se ha dicho en las unidades anteriores, cuando en una organización no se tiene control alguno sobre las actividades de mantenimiento y solamente se espera a que fallen los equipos para intervenirlos. Lo anterior acarrea costos y falta de planificación en las inversiones de mantenimiento y producción; por esto, se considera que va en contravía directa de los objetivos de TPM: cero averías, que no es nada recomendable. Sin embargo, el enfoque de Nakajima, con respecto de la reparación de averías, es el de considerarlas dentro de todo proceso de TPM como una oportunidad de mejora (Nakajima, 1991).

Mantenimiento predeterminado (basado en el tiempo)

Este tipo de mantenimiento hace referencia a aquel que se realiza de tal forma que se utiliza el tiempo como la base de trabajo. Se programa con el fin de cumplir con los criterios del fabricante de la maquinaria respecto al cuidado de los equipos y la experiencia con ellos, a fin de cumplir con intervenciones que se practican de manera diaria, semanal, quincenal, mensual, bimensual, trimensual, semestral, anual o bianual. Siempre busca que el equipamiento y su estructura se mantenga en

un estado igual o mejor que nuevo, cuando se intercambian componentes, repuestos e insumos, sin tener en cuenta si han llegado al final de su vida útil.

Este paso en el mantenimiento va más allá que el de reparación de averías, pues mitiga cualquier causa no controlada de falla y busca que la productividad continúe. No tiene en cuenta posibles mejoras en los costos y tiempos de mantenimiento, pues ignora el estado de los componentes y repuestos reemplazados, y se guía por una visión conservadora en el manejo del mantenimiento.

Sin perjuicio de lo anterior, este estilo de Mantenimiento, como parte del proceso TPM, es fundamental pues permite mantener una base sólida y enfocar el resultado de los esfuerzos de TPM en cero averías.

Mantenimiento basado en el uso o en la carga

Este tipo de actividades busca que las labores de mantenimiento sean realizadas teniendo en cuenta el uso del equipo. En este sentido, se interviene en el equipamiento, si ha estado activo por un periodo que normalmente se cuantifica en horas (para el caso de unidades de generación de energía, turbinas, motores, equipo de línea amarilla, maquinaria de producción pesada, entre otras), kilómetros (como en los vehículos automotores) o en la carga de la máquina (toneladas procesadas en los transportadores, páginas impresas en las rotativas, despegues y aterrizajes en los trenes de aterrizaje de una aeronave), etcétera. Esta forma de trabajar permite aplicar el mantenimiento preventivo de manera ajustada a la realidad del uso del equipamiento y aprovecha de manera más eficiente los recursos de personal, repuestos, insumos y tiempo.

Mantenimiento basado en condición

El mantenimiento basado en condición o CBM, por sus siglas en inglés, es un tipo de mantenimiento preventivo no invasivo, en el que se amplifica el concepto del *mantenimiento basado en el uso o carga*. Con él, se hace una programación de las actividades de mantenimiento utilizando inspecciones programadas para observar o medir condiciones de desgaste, degradación o similares, la cual pueda ofrecer una analogía con el estado general del componente o equipo y comporte la posibilidad de falla en el tiempo. Estas observaciones programadas se realizan con equipamiento normalmente no invasivo ni destructivo, y deben permitir apreciar cambios en el parámetro por dimensionar (parámetro de control) de manera directa o a través de análisis de datos. Los equipos pueden incluir aquellos para el análisis de partículas, termografía, ultrasonidos, vibraciones, galgas y, en general, monitoreo continuo de condición. Estas mediciones realizadas sobre los puntos de observación y los parámetros asociados deben permitir la predicción exacta de una falla que pueda impedir el funcionamiento normal del equipo estudiado.

Esta evaluación de parámetros se basa en estudios que hacen una prognosis tendiente a evaluar con precisión el tiempo de vida restante (*remaining useful life*). Por su parte, el mantenimiento basado en condición se basa en tres etapas, que van desde la adquisición de datos y su procesamiento hasta la toma de decisiones (Hernández y Galar, 2014).

En general, este tipo de enfoque, el basado en condición, adopta diferentes modelos de deterioro del equipamiento. John Moubray fue el primero en proponer un estudio de los posibles patrones de falla, a través de curvas de probabilidad condicional de falla al caracterizar la frecuencia de falla (ver la figura 18) y la vida promedio.

John Moubray también considera que el mantenimiento ha pasado por tres diferentes generaciones, cada una de ellas

con una visión particular relativa a la probabilidad condicionada de las fallas. La primera generación comporta el periodo desde la antigüedad hasta la Segunda Guerra Mundial. Los equipos estaban sobredimensionados y eran fáciles de mantener. El mantenimiento se consideraba un mal necesario y se pensaba que los equipamientos podían durar hasta un desgaste, al finalizar su vida útil, como se aprecia en la figura 19.

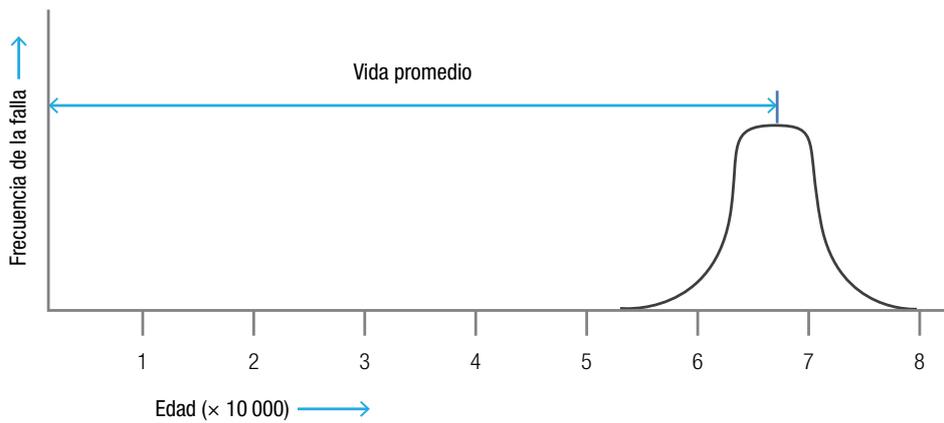


Figura 18. Frecuencia de falla y vida promedio.
Fuente: Moubray (2004, p. 141).



Figura 19. Falla en los equipamientos durante la primera generación, según Moubray.
Fuente: Moubray (2004).

La segunda generación del mantenimiento, de acuerdo con Moubray, se extiende desde la Segunda Guerra Mundial hasta llegar a la década de los ochenta. Se populariza el mantenimiento basado en el tiempo y los reemplazos de componentes a intervalos establecidos. La disponibilidad se convierte en importante para el mantenimiento, pues los tiempos muertos por fallas constituyen parte integrante de los indicadores de producción, que son evitados con esta metodología. A esto hay que añadir que prolonga la vida útil del equipamiento. Toda la estrategia se apoyaba en dicho proceso y en la disminución de los costos de mantenimiento.

En este periodo se establece que, por cuenta de una instalación defectuosa, es posible que la máquina tenga una alta probabilidad de falla. Luego de este periodo inicial se convierte en una probabilidad relativamente baja y luego termina su vida útil al llegar a la zona de desgaste, similar a lo considerado en la primera generación. Esto comporta considerar lo que comúnmente se conoce como “curva de bañera” (*bathtub curve*), que se puede apreciar en la figura 20.

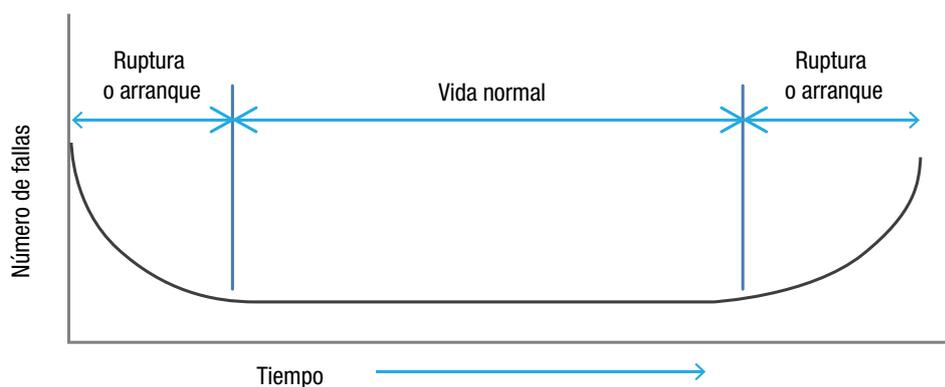


Figura 20. “Curva de bañera” típica.
Fuente: Mobley (2002, p. 4).

La tercera generación del mantenimiento tuvo su impulso inicial, gracias a las investigaciones hechas por Nowlan y Heap (en experimentos para United Airlines, cuyo reporte fue entregado al Departamento de Defensa de los Estados Unidos), quienes, entre los sesenta y los setenta, caracterizaron cientos de fallas en componentes mecánicos, estructurales y eléctricos, de modo que lograron enlazar la probabilidad de fatiga al factor tiempo. Esta relación entre probabilidad de falla versus edad operativa, desde su manufactura, repotenciación o reparación, y el porcentaje en el que cada caso de falla se presentó fueron agrupados por estos investigadores en seis patrones, de la A a la F (figura 21).

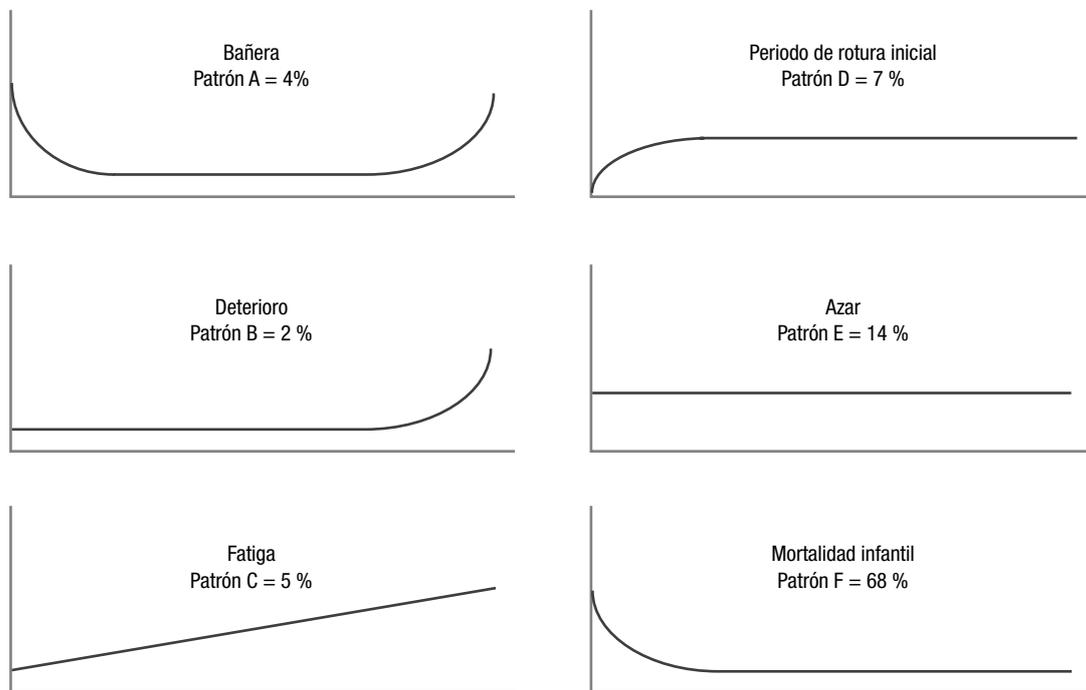


Figura 21. Patrones de falla.
Fuente: adaptado de Nowlan y Heap (1978, p. 46).

Como se puede apreciar, el patrón A es la “curva de la bañera”, con la presencia de lo que Nowlan y Heap denominan *mortalidad infantil* o *desgaste de funcionamiento* (ligada a problemas de instalación), a partir de un límite de vida útil definido, antes del inicio de la zona de desgaste. El patrón B es lo que en la primera generación se creía acerca del equipamiento, con una probabilidad de falla constante o incremental y con un límite de vida útil definido, como el patrón A. En el patrón C de probabilidad de falla se evidencia un incremento por efecto de la fatiga, pero no es posible identificar un límite de vida útil. El patrón D describe lo que se conoce como “periodo de rotura inicial”. Tiene una baja probabilidad de falla cuando el equipamiento es nuevo y luego llega a un incremento rápido de probabilidad que llega a un nivel constante. La distribución que se observa en el patrón E representa una probabilidad constante de falla en cualquier edad, es decir, está sujeta al azar. Por último, el patrón F muestra lo que los investigadores Nowlan y Heap denominaron de *mortalidad infantil* por la primera etapa, seguida de una probabilidad de falla que se incrementaba muy lentamente y que ellos asocian a un equipamiento electrónico (Nowlan y Heap, 1978, p. 47).

Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es un programa de mantenimiento preventivo del tipo *basado en condición*, que es aquel que se enfoca en reemplazar componentes funcionales pero, con certeza, fallarán en un plazo estimado. Este se apoya en el estado operativo actual de la planta y los sistemas, con el fin de optimizar su operación. Las actividades se programan enteramente en los resultados de monitoreo de cinco técnicas no destructivas utilizadas para la administración del mantenimiento: monitoreo vibracional, termografía, tribología e inspección visual (Moblely, 2002, p. 6).

La diferencia principal entre el mantenimiento basado en condición y el mantenimiento predictivo es que, mientras el primero ocurre como un resultado de inspecciones programadas, el segundo identifica en tiempo real la degradación o desgaste, e inicia inmediatamente la actividad correspondiente.

Este tipo de mantenimiento pretende evitar totalmente cualquier avería que se pueda presentar, pero su uso presenta retos financieros asociados a su implementación y trabajo. Por lo tanto, cualquier decisión se deberá regir por métodos de decisión tradicionales, como la evaluación por reembolso (número de años para recuperar la inversión inicial), o la tasa porcentual de retorno (PRR, por su sigla en inglés), que relacionan lo invertido con lo ganado, pero ignoran los efectos inflacionales.

Otros métodos decisionales abarcan el retorno promedio en inversión (ROI), el cual considera la depreciación y el valor final o de salvamento, y la tasa interna de retorno (IRR), donde se calcula la tasa de interés a la cual se iguala el valor presente de todos los flujos de caja (tanto positivos como negativos) a cero. Con esto se permite comparar la tasa de retorno del proyecto contra la de la empresa y asegurar que sea atractivo para invertir.

Una alternativa a la IRR es el valor presente neto (NPV). Consiste en el valor actual de un flujo de caja menos los costos de adquisición de la inversión y permite analizar la decisión de invertir. Como consecuencia, permite que la administración sepa si la inversión dará valor a la compañía, en caso de dar un resultado positivo.

Finalmente, lo que se recomienda también es la relación costo-beneficio (CBR, BCR). Se calcula como una relación de los beneficios sobre los costos y se prefiere aquel cuyo valor de CBR sea mayor; si este es superior a uno, el proyecto es deseable. Este cálculo es muy complejo, dado que es posible tener definiciones diferentes al ensamblar los valores de costos

y resultados, de manera que difiere en el concepto utilizado por los financistas. Estas opciones son de interés, dado que el mantenimiento predictivo requiere inversiones altas que deben ser adecuadamente evaluadas y comparadas con los posibles beneficios derivados de su implementación.

Retomando el tema de ingeniería, el mantenimiento predictivo es un poderoso enfoque de reacción inmediata. El monitoreo permanente de las condiciones de desgaste, degradación o variación de los parámetros de control de la maquinaria y la comparación permanente de estos resultados con los valores requeridos para continuar con los procesos permiten desencadenar de manera inmediata todas las actividades de mantenimiento. Esto lleva a reconsiderar la posibilidad de contar con otro paso más en el proceso de evolución en el mantenimiento, la cuarta generación y la conectividad en el mantenimiento.

La cuarta generación del mantenimiento

El mantenimiento se ha caracterizado, desde su origen, como un elemento omnipresente en la industria, pues se aprovechan los diferentes avances que la ciencia ha logrado. En el uso de lubricantes e incluso los aspectos más simples de ahora, como la comunicación con las máquinas para verificar de manera remota su estado, las nuevas tecnologías han permitido contar con un acceso irrestricto a los elementos disponibles para hacer más eficientes los procesos. El mantenimiento predictivo atrajo la atención de la industria. Permitted tener un servicio de mantenimiento optimizado para funcionar enteramente en tiempo real, de manera que se obtuvieran los mejores resultados de disponibilidad y se mejoraran los márgenes de ganancia en las organizaciones, con una disposición más rígida de los recursos. Esta tendencia implica que se reconsidere la posición acerca de estar un paso adelante en el progreso de mantenimiento, lo cual responde a *la cuarta generación*.

Retomando lo señalado por Moubray (2004, p. 3), vale la pena puntualizar las *expectativas de mantenimiento* generación por generación, así:

- Primera generación
 - Reparar cuando se rompe.
- Segunda generación
 - Mayor disponibilidad de planta.
 - Mayor vida de los equipos.
 - Menor costo.
- Tercera generación
 - Mayor disponibilidad y confiabilidad de planta.
 - Mayor seguridad.
 - Mejor calidad de producto.
 - Ningún daño al medio ambiente.
 - Mayor vida de los equipos.
 - Mayor costo-eficacia.

La cuarta generación sobrevino mucho después de la formulación de la primera a la tercera generación, por parte de Moubray. A continuación se señalan las *expectativas de mantenimiento* de esta reciente cuarta generación, según Sandy Dunn (2003, p. 3).

- Cuarta generación
 - Mayor disponibilidad y confiabilidad de planta, como una meta global de organización.
 - Mayor seguridad, que privilegia la resolución rápida de pequeños inconvenientes en el mantenimiento.
 - Mejor calidad de producto, con condiciones todavía más exigentes, pues hay industrias comparables únicamente por sus altos niveles de calidad, como la industria petrolera.

- Ningún daño al medio ambiente, pues las regulaciones se han hecho más exigentes y obligan a las industrias a revisar sus procedimientos.
- La vida de los equipos, con la era de tecnologías de menor ciclo de vida, tiende a dejar de ser el enfoque principal de los gerentes de mantenimiento.
- El mayor costo-eficacia, en la tercera generación, era novedad respecto de la segunda, pues se buscaba minimizar los costos de mantenimiento y maximizar las tasas de producción. En esta cuarta generación, las organizaciones se encaminan a buscar estructuras con el menor número de personal, junto con un manejo completo de los principios de la manufactura esbelta, la cual, como se mencionó anteriormente, engloba conceptos de uso eficiente de *stock* productivo y producido, así como la flexibilidad en la producción.
- La administración del riesgo se ha convertido en un enfoque prioritario para aquellos gerentes que laboran con industrias que producen o trabajan con materiales peligrosos (*hazmat*), pues no es suficiente contar con planes de manejo de riesgos si el personal no está activamente involucrado en su implementación y seguimiento. Como lo concluye Dunn:

La defensa exitosa requiere el establecimiento y el mantenimiento de una cultura organizacional consciente de los riesgos y enfocada en la confiabilidad [...] y esto tiene más que ver con la manera eficaz de administrar a la gente, que con la herramienta analítica utilizada para evaluar los riesgos. (2003, p. 7)

Asimismo, de acuerdo con la probabilidad de presencia del patrón F de los modos de falla mencionados por Nowlan y Heap (1978) y vistos anteriormente, las fallas por mortalidad infantil o temprana no serían tan elevadas como en la época en que el reporte de de Nowlan y Heap fue hecho, aunque se acepta como base de trabajo. Dunn (2003) menciona que la posibili-

dad de errores humanos, errores de sistema y errores de diseño de componentes o repuestos conduce a tener puntos de atención para lograr disminuir la presencia de este tipo de falla.

La cuarta generación está enfocándose, entonces, en aplicar más efectivamente labores para la eliminación de fallas, de manera que se pueda ser más proactivo que reactivo al resolver este tipo de inconvenientes de mantenimiento.

Las condiciones de interconexión en el mundo han llevado a utilizar internet como una herramienta extremadamente poderosa para regular las condiciones de trabajo del equipamiento, así como la programación y atención inmediatas de las labores de corrección, restauración y puesta en marcha de diferentes sistemas de trabajo para el mantenimiento. Lo anterior privilegia el control y la eficiencia de los procesos de mantenimiento.

Se puede, entonces, hablar de sistemas ciberfísicos o CPS, por su sigla en inglés, *cyber-physical system*. Los CPS son arreglos de elementos colaborativos IT (es decir, basados en las tecnologías de la información), diseñados e implementados para manejar objetos reales (electromecánicos) o de control (electrónicos) (Wang y Wang, 2016).

La comunicación IT se logra a través de una infraestructura como la que ofrece internet. Los sistemas tradicionales de control de movimiento y procesos, basados en protocolos de comunicación industriales y sin acceso a la internet, se pueden considerar como un caso especial de CPS. Los CPS complementan la visión de contar con una presencia física (el equipamiento real) y una presencia virtual (en internet).

La evolución de las generaciones industriales, desde la mecanización hasta la aparición de los CPS, se puede observar en la figura 22.

Uno de los elementos clave en este impulso de la tecnología de las telecomunicaciones ha sido el abaratamiento del

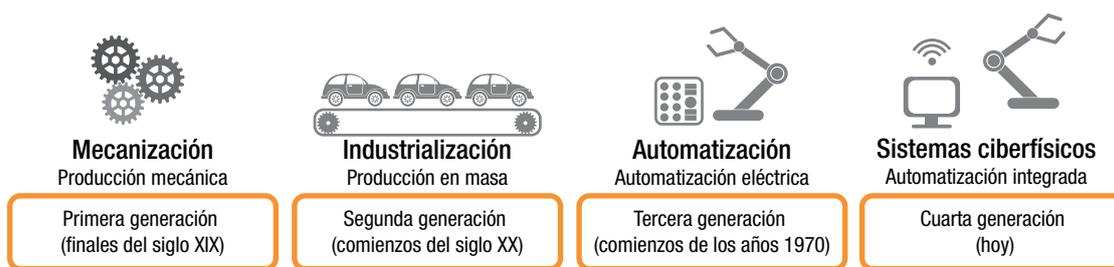


Figura 22. Evolución de las generaciones industriales.
Fuente: elaboración propia.

acceso y el incremento de la cantidad de datos que se pueden enviar a través de redes dedicadas a estas labores. El mantenimiento se beneficia de dicho estatus y permite tomarlo como un punto de partida para implementar, rápida y efectivamente, tecnologías de tratamiento de la información del mantenimiento, actualmente de uso obligatorio. Este avance no es posible sin tener en cuenta lo que Nakajima ha destacado: el empoderamiento de la gente, el entrenamiento requerido para el manejo de estas herramientas y el uso de una cultura organizacional, que se enfoque, también, en la adaptación de estas tecnologías es la consecuencia lógica para lograrlo. Constituye una visión holística de las organizaciones a través del mantenimiento, al agrupar aspectos económicos, de instrumentación, tecnologías de la información, ingeniería y disciplinas científicas, al igual que el monitoreo y la detección y prevención tanto de fallas como de averías, su diagnóstico, su anticipación y su predicción (Yang, Han y Widodo, 2009, p. 253).

Conocidas todas las posibilidades contenidas en el *keikaku-hozen*, o pilar del mantenimiento planeado, es importante destacar que, independientemente del enfoque generacional en el que se encuentre la organización, es necesario seguir un plan mínimo, que cuenta con cinco aspectos (Leflar, 2001):

1. Un set de listas de tareas para la ejecución del plan de mantenimiento
2. Una programación para cada ciclo de mantenimiento planificado
3. Especificaciones y números de parte para cada ítem de esa lista de tareas
4. Procedimientos para cada ítem de la lista de tareas
5. Histórico de mantenimientos y repuestos para cada máquina

Cuarto pilar: entrenamiento y educación

El entrenamiento del personal es uno de los pilares transversales a todos los procesos del Mantenimiento Total Productivo. Los objetivos comunes a toda formación o capacitación en el TPM son el de generar competencias múltiples en elementos administrativos y técnicos, a todo nivel y tipo de cargo en la organización, y entrenar completamente a cada empleado de manera rigurosa en su cargo y el aporte que este realiza a la organización.

El objetivo principal de este pilar es el de generar un cambio en la organización que elimine las pérdidas causadas porque los empleados tienen competencias insuficientes. No obstante, para llegar a esta conclusión es necesario comenzar con un diagnóstico y un esquema técnico inicial, que pueda demostrar las competencias y habilidades técnicas que cada empleado requiere, como mínimo, para ejercer su cargo.

Una medida que promueve el entrenamiento es la de lograr que el 100 % de los empleados hagan parte de un esquema de participación generalizado en la compañía. Esto comporta una estimulación positiva para los empleados, que cuentan con la posibilidad de obtener certificaciones sobre sus habilidades técnicas. Se puede establecer, incluso, que a nivel técnico se

presentan las siguientes etapas de conocimiento y educación (Singh, 2014):

1. No saber.
2. Saber la teoría, pero no poder hacer.
3. Hacer, pero no poder enseñar.
4. Poder hacer y enseñar. (p. 146)

El inicio de este pilar debe comenzar con un análisis acerca del estado actual de este aspecto en la organización. Por su parte, su política general es la de buscar un desarrollo en las habilidades del personal y la creación de un ambiente de entrenamiento para la autoformación. Toda política y prioridad para el entrenamiento deben ser ajustadas buscando un programa de entrenamiento que responda a la necesidad generalizada de mejora de las competencias de los individuos. Este programa debe contar con un calendario y la evaluación de actividades y de estudio, de modo que sea visible la evolución continuada de las necesidades de entrenamiento de la organización.

El enfoque principal es el de convertir el *saber cómo* (*know-how*) de todos los empleados en *saber por qué* (*know-why*) y, básicamente, aplica de manera juiciosa las siguientes etapas:

1. Evaluación del entrenamiento actual (en caso de existir) y establecimiento de estrategias
2. Diseño del programa para mejorar las competencias individuales
3. Implementación de las competencias para el entrenamiento
4. Diseño y promoción de un sistema de desarrollo de competencias
5. Promoción de la autoformación
6. Evaluación de las actividades y planes para el futuro

Quinto pilar: prevención en el mantenimiento P-M (*Early Equipment Management, EEM*)

La *prevención en el mantenimiento* o P-M (por el término en inglés) es una estrategia de mantenimiento en TPM que se enfoca en utilizar las lecciones de la experiencia acumulada. Tiene como propósito anticiparse y eliminar cualquier posibilidad de pérdidas del equipamiento en operación, durante las etapas de planeación, desarrollo y de diseño del proyecto, maquinaria o planta productiva.

La P-M se conoce también como *early equipment management* (EEM) o *gestión temprana del equipo* (Nakajima, 1991). La meta principal de esta estrategia es lograr un equipamiento que tenga procesos libres de defectos y de pérdidas, a fin de tener cero averías (principal objetivo del TPM). También busca considerar de manera detallada la optimización de los costos de mantenimiento, incluso desde la etapa de comisionamiento. En este pilar, se incluye también la retroalimentación para los procesos de operación de la maquinaria o líneas de proceso ya en funcionamiento, de modo que se encuentre la solución a posibles inconvenientes de cualquier tipo, los cuales pueden ser previstos en la fase de diseño. Por ejemplo, se pueden ajustar los diseños de una línea mecánica, en la que se han encontrado espacios muy ajustados dentro del entorno de instalación, que son de difícil acceso para realizar mantenimiento de componentes. Este inconveniente se corrige antes de llegar a buscar soluciones una vez esté implementado el sistema.

El paso a paso de este proceso es susceptible de ser implementado en cualquier tipo de organización, como todo el TPM, y ofrece una alternativa de regresar y corregir antes de entrega, de manera que se mejoren los tiempos de proyecto y se disminuyan los costos asociados (de paso, maximiza cualquier ganancia esperada). Este proceso incluye la mejora continua

y busca siempre un impacto positivo en el costo del ciclo de vida de los activos. Nakajima (1991, pp. 101-102) incluye este asunto como uno de los objetivos de TPM: maximizar la efectividad del equipo al perseguir este impacto positivo mencionado, implementando las siguientes actividades de mejora:

1. Evaluación económica en la fase de inversión del equipamiento.
2. Consideración del mantenimiento planificado o diseño libre de mantenimiento y costo del ciclo de vida económico.
3. Uso efectivo de los datos de mantenimiento planificado acumulados, luego de conciliar la información del departamento de mantenimiento y asegurar la mantenibilidad y la confiabilidad, con lo que el departamento de diseño (externo o interno) considera viable para el equipamiento o proyecto.
4. Actividades de control durante la fase de operación inicial o de comisionamiento.
5. Plenos esfuerzos para asegurar la mantenibilidad y la confiabilidad.

En términos generales, el pilar P-M (EEM) desarrolla líneas de trabajo, con equipos a cargo trabajando de manera simultánea. Dichos grupos se proponen llegar a un arranque de planta o de proyecto con cero pérdidas o defectos asociados a la calidad. Los pasos y los objetivos esperados de este pilar se pueden ver en la tabla 3.

Tabla 3. Pasos y objetivos en EEM

Paso EEM	Objetivo
1. Concepto	Definir el alcance del proyecto y desarrollar una opción preferida, definiendo un programa para obtener objetivos claros de negocio.
2. Diseño de alto nivel	Aclarar el enfoque de entrega, consolidar el <i>business case</i> , documento que justifica el proyecto a partir de costos estimados, riesgos, rendimientos y valores futuros esperados, para poder obtener financiamiento.
3. Diseño detallado	Seleccionar el socio adecuado, dar detalle al diseño básico, retirar las debilidades de diseño latentes, prevenir problemas o riesgos e incrementar el valor del proyecto.
4. Logística y abastecimiento previos a la fabricación	Preparar todos los recursos para iniciar la instalación.
5. Instalación	Alistar un plan progresivo hacia la operación perfecta.
6. Comisionamiento	Lograr la operación perfecta y el desarrollo de un mapa de ruta hacia las condiciones óptimas.

Fuente: McCarthy (2017).

Como se puede observar, la tabla sugerida por McCarthy muestra la ruta crítica de los proyectos a través de EEM. Comienzan desde el concepto y pasan por el diseño básico y el de detalle, y se enfocan siempre en eliminar cualquier fuente de debilidad o problema ingenieril y financiero que pueda ser corregido de manera temprana. El sustento principal de este pilar se traduce entonces en el aprendizaje y aplicación constante del conocimiento, a través de la retroalimentación entre grupos de trabajo de diseño, montaje e instalación, comisionamiento, pruebas, operación y mantenimiento posteriores (como todos los pilares de TPM), con miras a la mejora continua y al objetivo principal de cero averías.

Sexto pilar: calidad en el mantenimiento (*hinshitsu hozen*)

El pilar de calidad en el mantenimiento (*quality maintenance*) tiene como objetivo principal evitar que la maquinaria llegue a fabricar productos fuera de tolerancia, medidas, dimensionamiento, etc.; es decir, minimizar o llevar a cero los productos no conformes. No se concentra en que el equipo no falle; para ello están los pilares anteriores, como el de mantenimiento planificado, mantenimiento autónomo, mejora continua o las estrategias como las 5S, entre otras.

Este pilar no puede implementarse antes que los ya descritos, dentro de la lógica justa según la cual no es posible generar productos de calidad si la maquina está sucia, desajustada, sin lubricación o a cargo de personal incompetente o sin compromiso con el TPM. Los antecedentes tienen que haber sido ya barridos con los todos aspectos ya descritos en este Trayecto. La calidad en el mantenimiento asegura que el equipamiento y los procesos sean tan confiables que siempre funcionen de la manera adecuada (uno de los objetivos de TPM); en esencia: controlar la calidad a través de sus causas (Continuous Improvement of Safety, Quality and Productivity, 2017a).

En la figura 23 se puede observar la integración de los pilares de TPM para soportar la calidad en el mantenimiento. Es necesario tener en cuenta que, para asegurar la calidad en cualquier tipo de organización, es fundamental contar con los elementos constituyentes mínimos que se requieren para alcanzarla. Los determinantes de la calidad en todo proceso de mantenimiento se conocen como las 4M; estos cuatro factores se pueden constituir como las fuentes de defectos de calidad, sobre los cuales deben ser impuestas las mejores condiciones (Nakajima, 2006; Continuous Improvement of Safety, Quality and Productivity, 2017):

1. Maquinaria. Incluye equipamiento, soportes, herramientas y accesorios de corte, e instrumentos de medida. Todo debe estar trabajando en perfecto estado, calibrado y sin defectos de trabajo, pues pueden ser fuentes de defectos por causa de suciedad, mal ajuste, desgaste, precisión, etcétera.
2. Materiales. Deben estar limpios, con la composición, dimensionamiento y forma indicados para la aplicación.
3. Métodos. En general, son todos los métodos de trabajo, con sus condiciones de proceso y las técnicas de metrología.
4. Motivación. Abarca la actitud del operario para producir sin defectos y con calidad todo el tiempo, y busca eliminar todas

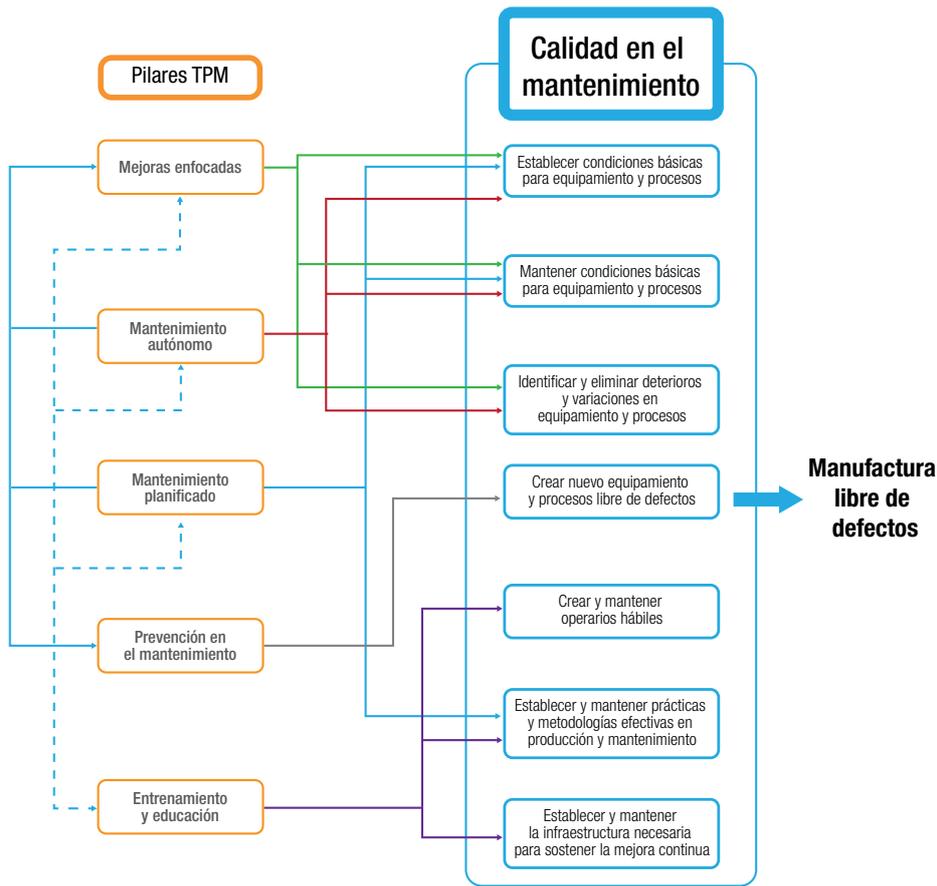


Figura 23. Integración del pilar de la calidad en el mantenimiento.
Fuente: Pomorski (2004, p. 60).

las deficiencias en cuanto un defecto sucede. Detecta aquello fuera de norma o extraño al proceso, y trata de buscar la solución a los problemas por sí mismo. Nuevamente se pone de relieve la importancia del compromiso del personal con un proceso en TPM.

El mejoramiento de la calidad proviene del incremento en la capacidad del aseguramiento de la calidad (figura 24); Nakajima la denomina el “método del ocho” de la calidad en el mantenimiento. Al implantar sin discusión las condiciones óptimas para las 4M, esta calidad se sostiene y los estándares de

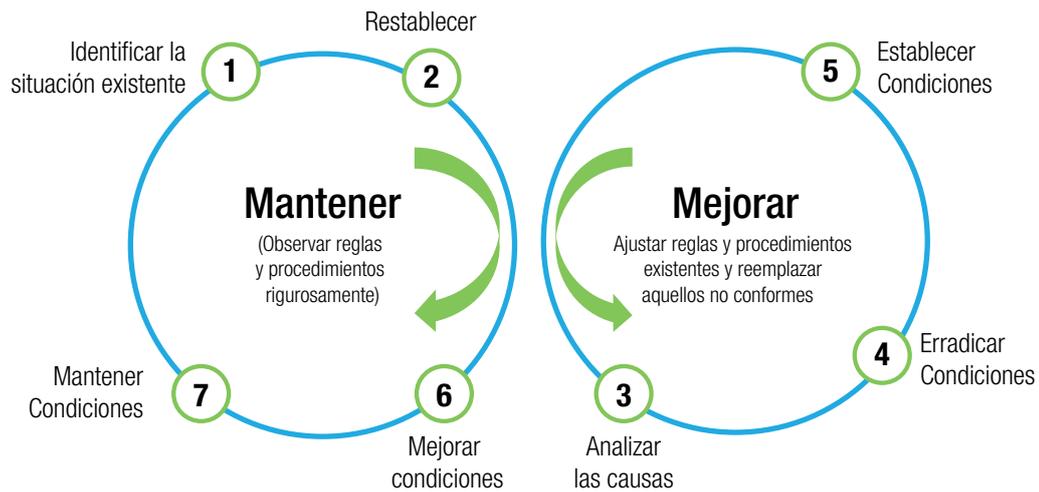


Figura 24. Método del ocho para la calidad en el mantenimiento (parcial).
Fuente: Nakajima (2006).

trabajo e inspección para mantener estas condiciones óptimas establecidas permiten un certero aseguramiento de la calidad.

Este método abarca las siguientes siete tareas (Nakajima, 2006), con los que busca sostener (observar las reglas y procedimientos de manera rigurosa) y mejorar (ajustar las reglas y procedimientos existentes y reemplazar aquellos que no son conformes):

1. Identificar las situaciones existentes:
 - a. Investigar la situación de calidad.
 - b. Identificar reglas y procedimientos.
 - c. Evaluar el cumplimiento.
2. Restablecer y verificar resultados.
3. Analizar las causas y revisar estándares.
4. Erradicar las causas:
 - a. Investigar las causas.

Tabla 4. Ejemplo de una matriz de aseguramiento de la calidad

Nombre del proceso	Deficiencias actuales / previstas	Importancia FMEA	Deficiencia actual	Proceso aseguramiento (verificación)						Veredicto general	Observaciones	
				1	2	3	4	5	6			
				Prensa de ajuste	Ensamble soporte	Ensamble de resorte	Ensamble de eje	Ensamble de parqueo	Prueba de desempeño			
1 Prensa de ajuste	Pines de cierre	Parte faltante / defecto de inserción	C	0	A					A	Probado y aprobado	
	Pines de elevación	Parte faltante / defecto de inserción	A	0	A					B	A	Probado y aprobado
	Válvula de una vía	Ensamblado	B		B					B	A	Cambio en patrón de prueba
2	Ensamble soporte	Defecto de cierre	A	0		A					A	Probado y aprobado
3	Ensamble de resorte	Defecto de cierre	B	0			C				C	Requiere acción
4	Ensamble de eje	O Ring faltante	B				C				C	Requiere acción
		Pin faltante	B				C		B	B	B	Requiere acción
5	Ensamble de parqueo	Anillo faltante	A	0					B		B	Requiere acción
		Defecto de inserción de anillo	A	0					B		B	Requiere acción
		Balín faltante	A	0					A	B	A	A

Fuente: Continuous Improvement of Safety, Quality and Productivity (2017b).

El tercer paso es *investigar y analizar las condiciones de las 4M*. En esta etapa se debe estudiar todo lo relacionado con información de las condiciones de trabajo de las 4M, que se han utilizado con el fin de producir sin defectos y reforzar aquellas que presentan un comportamiento deficiente. Es necesario te-

ner en cuenta los estándares que se deben respetar, al igual que solucionar las anomalías que posiblemente se observen. Como en este paso se establece un cuadro de deficiencias, con la información obtenida, en el cuarto paso *se planifican acciones para corregirlas* y se establecen los planes de acción correspondientes.

En el quinto paso se busca *atender el análisis de situaciones en las que las condiciones de trabajo hacia la calidad no son claras*. En este paso se usan métodos ya discutidos, como el P-M o, incluso, el análisis de modo de falla, donde se buscan soluciones que tengan un carácter complejo.

En el sexto paso consiste en *eliminar las debilidades en las condiciones de las 4M*, a partir de la implementación de las mejoras propuestas en el paso anterior, y se evalúan los resultados que se han de obtener en intervalos de tiempo establecidos. Ahora bien, *finalizar las condiciones de las 4M* corresponde al séptimo paso; se revisan nuevamente las condiciones y estándares identificados en el paso 3, y se busca consolidar las condiciones de las 4M que conducen a cero defectos.

En el octavo es necesario *consolidar los métodos de verificación*. Es necesario controlar cada una de las condiciones 4M establecidas en el paso anterior, las cuales deben poder ser gestionables (su número puede ser muy elevado) y el tiempo requerido para verificarlas puede acortar los recursos disponibles de la empresa.

En el noveno paso corresponde *determinar los valores estándares para las verificaciones*. Se debe poder consignar los valores de los parámetros por comprobar a lo largo de la cadena productiva en una matriz de verificación de calidad, buscando simplicidad, agilidad y desempeño de esta herramienta, para su uso correcto.

Por último, en el décimo paso se deben *mejorar los estándares*. Es necesario revisar y buscar, de acuerdo con los princi-

pios ya vistos de mejora continua, toda oportunidad de mejora y de ajuste, con el fin de encontrar y hacer permanentes aquellas condiciones de 4M que aseguren que los procesos continúen teniendo cero defectos. Se monitorean estas condiciones y se hace seguimiento al personal operador y de mantenimiento, con el fin de mejorar sus métodos y formas de verificación, acudiendo a los esquemas de entrenamiento y mejora continua que se implementaron en los pilares anteriores.

Séptimo pilar: TPM administrativo

o TPM en las oficinas

Las condiciones de trabajo de una organización se establecen desde la misión, la visión y los objetivos que se proponen, con un sistema implementado o por ejecutar como el TPM. Todos los procesos transversales y verticales se encuentran interconectados a redes de responsabilidad que permiten el monitoreo de los resultados a través de variables tan concretas como los costos y los retornos sobre inversiones realizadas. Cuando las áreas misionales de la empresa buscan el apoyo de los departamentos encargados de gestionar los recursos requeridos y de facilitar los medios de trabajo, se conforma un verdadero círculo de confianza y trabajo, sobre todo si lo requerido se ajusta con lo entregado por los responsables internos de la organización.

Por su parte, las pérdidas por gestión, ya mencionadas previamente, suceden por esperar instrucciones o por materiales, a partir de lo cual se presenta una baja ocupación, medida en horas/hombre, y poca eficiencia por cuenta de los tiempos muertos que directamente se generaron. Es pertinente mencionar igualmente las pérdidas logísticas, que existen por falta de materiales e insumos de trabajo, y su administración inherente; por lo tanto, también se percibe una disminución de las horas/hombre reales.

Visto lo anterior y, con el ánimo de mitigar o eliminar estas pérdidas, se recomienda implementar el pilar de TPM en oficinas. Las acciones por ejecutar abarcan las de los anteriores pilares (*jishu-hozen*, *kaizen*, *quality management*, P-M) y deben ser dirigidas con el fin de mejorar la productividad y la eficiencia de las funciones administrativas. También es una oportunidad para evaluar si las condiciones del equipamiento, los servicios, los recursos, y sus procesos y procedimientos pueden ser automatizables. La búsqueda de la eliminación de las pérdidas incluirá aquellas pérdidas de procesamiento de datos, costos, comunicaciones, ocupación, de precisión, o pérdidas por daño en equipos de oficina, y del tiempo desaprovechado luego de recuperar información.

La implementación de esta estrategia de mejoramiento, considerada de obligación para aquellas organizaciones que emprenden el camino de la mejora en sus procesos a través de las técnicas de TPM, permite alcanzar mejoras en varios procesos.

En primer lugar, esta labor debe involucrar al personal que hace parte de los procesos y departamentos de soporte logístico y administrativo, con el fin de enfocarlos en un mejor desempeño de la planta. Lo anterior implica un desarrollo administrativo, logrado mediante la identificación y las posibilidades de integración del sistema, así como los modelos administrativos enfocados a la mejora en la eficiencia de la organización y, por ende, la planta.

Asimismo, de manera focalizada se reducirán los costos logísticos, y se mejorará la disponibilidad de repuestos, al igual que la distribución de maquinaria y equipo, de manera que se evite también cualquier reproceso. El entrenamiento del personal que, por principio, es ajeno al manejo directo de la maquinaria y de la planta, puede generar una motivación adicional al hacerlos partícipes de las metas y objetivos establecidos por la gerencia para la organización. En consecuencia, se llega in-

cluso a incrementar la posibilidad de estimular, a través de las estrategias de comunicación y actividad en grupos pequeños, la adquisición de nuevas habilidades y competencias susceptibles de ser aplicadas en su campo de trabajo.

En esencia, este pilar se encamina al establecimiento, en los espacios administrativos, logísticos y de manejo de recursos y de las mejores prácticas de gestión, ya aplicadas en los procesos principales de la organización.

Octavo pilar: salud, seguridad y ambiente

El octavo pilar, aunque último, tiene la misma importancia que los demás, pues se trata del aseguramiento de las condiciones de bienestar, y de cuidado de personal y del ambiente. Se obtiene gracias a la aplicación juiciosa de los principios de cero fallas y, por ende, cero accidentes, el cual está escrito en los objetivos principales de TPM.

El primer autor que se ocupó del estudio de la causalidad en la accidentalidad fue Herbert William Heinrich, quien en la primera edición del libro *Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach* del año 1931 (otras ediciones son de los años 1941, 1950 y 1959) presentó un primer análisis de resultados con los que se han venido apoyando varios de los tratamientos preliminares de información en seguridad industrial para proponer un enfoque de TPM (Suzuki, 2017). Bajo la premisa de haber analizado más de medio millón de incidentes, se formuló una relación entre incidentes y accidentes, conocida como el principio de Heinrich (ver figura 25).

Este principio establece que hay una relación de 1-29-300 y que por cada accidente laboral que cause muerte, discapacidad, incapacidades o tratamiento médico, hay 29 incidentes que requieren primeros auxilios y 300 incidentes que no conducen a tratamiento posterior. Esta relación es también conocida como la “base de una lesión”.

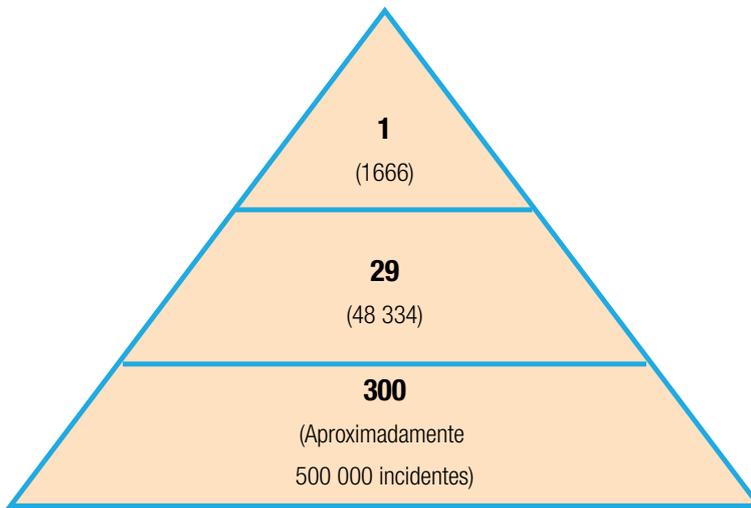


Figura 25. Principio de Heinrich.
Fuente: Suzuki (2017).

Si se hace el seguimiento y búsqueda de los informes en los que se basó Heinrich, no es posible encontrar una base teórica definida y real para sustentar sus conclusiones acerca de la factibilidad de lesión por incidente o la posibilidad de un accidente. Asimismo, el enfoque de los estudios que presenta Heinrich es erróneo, en la medida en que proponen que la psicología, aplicada adecuadamente al individuo, conduce a la prevención de accidentes laborales. Es decir, los accidentes hacen parte de una secuencia que puede indicar un modelo en el que los errores de las personas, sus antepasados y el ambiente, así como los aspectos de la personalidad de los individuos son los principales elementos que causan los accidentes (Manuele, 2003, p. 126). Esto último desconoce totalmente los errores de diseño, mantenimiento, operación y procedimientos generales del equipamiento.

Luego de esta formulación de Heinrich, Deming propuso que las causas de los accidentes laborales se encuentran en las condiciones inseguras y los actos inseguros; de hecho, es parte de las conclusiones que Lewis W. Springer, vicepresidente de Campbell Soup Company, presentó en los seminarios a los que

sometió a gran parte de su personal, como entrenamiento en estadística de la calidad (Walton, 1986, p. 242). Lo anterior debe ser reinterpretado, como lo menciona Manuele (2003):

La práctica de la Seguridad (Industrial) puede avanzar si aquellos que la practican desechan los términos actos inseguros y condiciones inseguras y las reemplazan con términos como factores causales o factores de riesgo (términos comúnmente usados por ergonomistas, ingenieros de factores humanos e higienistas industriales) y se concentran en las fuentes de los factores causales, muchos de los cuales son sistémicos. (p. 130)

Los factores de riesgo empiezan con el comportamiento del individuo. Suzuki (2017) describe la posibilidad de que los incidentes sean impredecibles, cuando no hay control o medidas de prevención en el área de trabajo. Incluso, señala que la mejor forma de prevenir los accidentes causados por el comportamiento es el entrenamiento en prevención de accidentes y la creación de espacios de trabajo en los que estén claramente visibles los peligros potenciales. Alejando los problemas de seguridad industrial, utilizando las estrategias ya aplicadas de cero defectos y concentrando los esfuerzos de capacitación en identificar y mitigar riesgos, entonces se puede estudiar el manejo del ambiente para el TPM.

Es pertinente señalar que para toda organización es un propósito misional el cuidado del medio ambiente, tanto así que las universidades, junto con los centros gubernamentales dedicados al tema, buscan mejorar las condiciones de trabajo y los materiales para procesos y productos más amigables con el ambiente; con esto, se reduce la energía consumida, la eliminación de los desechos tóxicos y la reducción en el consumo de las materias primas. Esto se enfoca totalmente con la eliminación de pérdidas descritas previamente en el pilar de *kaizen*, lo que le da un carácter objetivo a la búsqueda de la mejora en los procesos de TPM: pérdidas por rendimiento, pérdidas de energía y pérdidas por consumibles.

Trayecto 3.

Implementación del Mantenimiento Total Productivo

El TPM ha sido aplicado en la industria desde mediados de la década de los sesenta, gracias al trabajo incansable de Seiichi Nakajima, mediante diferentes metodologías estudiadas por el tiempo en el que esta disciplina fue objeto de divulgación en Occidente. Cada uno de los pilares puede considerarse, de llegar a su implementación, de mucho beneficio para el proceso productivo y de servicios en cualquier organización.

La compañía, en cabeza de accionistas y alta gerencia, con el soporte del personal de producción, servicios, operaciones, logística, entre otros, debe mantener un objetivo común e indiscutible: la aplicación de las mejores prácticas para lograr la eliminación de pérdidas y que la política de cero defectos sea del trabajo común e integrado de todas las áreas.

En este trayecto, se seguirán diferentes casos de estudio, en los que se pueden observar las herramientas que pueden ser utilizadas, en el marco de tres etapas principales para la implementación del TPM, propuestas por el autor. La perspectiva con la que estos se formularon es la de constituirse en un primer acercamiento a las herramientas y estrategias que acompañan normalmente un proceso de implementación de TPM.

A continuación se da inicio a este tercer y último Trayecto de TPM, que incluye los pasos propuestos inicialmente por Nakajima, las fases planteadas por Productivity Inc. y el estudio dedicado de la estrategia propuesta por el autor, en tres etapas principales.

Etapas de implementación del TPM

Nakajima delineó un programa para la implementación de las estrategias del TPM, pensando siempre en desarrollar el desempeño de organizaciones de clase mundial hacia la excelencia. Este programa es, desde su formulación, el núcleo de todo el proceso y eminentemente repetitivo. Los doce pasos propuestos por Nakajima son divididos en tres fases: la primera, de preparación; la segunda, de ejecución o implementación, y la tercera, de estabilización y sostenibilidad. Estas fases y los pasos asociados se presentan en la tabla 5.

Por su parte, Productivity Inc., primera compañía estadounidense en traducir y divulgar industrialmente los textos de expertos japoneses como Seiichi Nakajima (TPM) y Shigeo Shingo (Poka-Yoke, JIT), propuso un plan que incorpora y expande los doce pasos del proceso de implementación de TPM propuesto originalmente por Nakajima y que muestra las actividades por desarrollar en cinco fases de implementación de TPM, al igual que las ventanas de tiempo estimadas para cada fase, así como se presenta en la figura 26.

Tabla 5. Fases y pasos de implementación del TPM

Fase de implementación	Paso de implementación de TPM	Puntos clave
Preparación	El alto mando anuncia la introducción del TPM.	Anuncio de la alta dirección en una reunión formal sobre el inicio del proceso de TPM en la organización. Artículo en los medios de difusión de la compañía.
Preparación	Se alistan programas de educación y campañas para introducir el TPM.	Entrenamiento para el grupo de directores. Diapositivas de presentación para el resto de los empleados.
Preparación	Se crea una organización de promoción de TPM.	Creación de un comité de dirección de TPM. Formación de comités especiales en cada nivel jerárquico. Establecimiento de la oficina central y asignación de personal.
Preparación	Se establecen políticas básicas y metas de TPM.	Análisis de las condiciones existentes. Creación de metas y objetivos.
Preparación	Se formula el plan maestro para desarrollo del TPM.	Creación del plan maestro. Desarrollo de los cursos de entrenamiento. Formación de un calendario.
Introducción	Se organiza un acto de iniciación de TPM.	Presentación de la alta gerencia de las políticas, metas, objetivos y plan maestro a empleados y proveedores
Implementación	Se optimiza la efectividad de cada pieza del equipo a través de un sistema de mejora de la eficiencia productiva.	Selección de equipo modelo y formación de equipo piloto. Actividades de los pilares de mejora continua, mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado y entrenamiento.
Implementación	Se desarrolla un programa de prevención en el mantenimiento.	Desarrollo de estrategias que lleven a un ágil proceso de instalación a la producción completa, buscando el ahorro de tiempo y materias primas y la mejora de la capacidad de producción
Implementación	Se establece un sistema de calidad en el mantenimiento.	Mantenimiento teórico y predictivo, gestión de repuestos, herramientas, planos y programas. Creación, control y conservación de condiciones para cero fallas, cero defectos y cero accidentes.
Implementación	Se elaboran sistemas para eliminar pérdidas de eficiencias en las funciones administrativas y logísticas.	Incremento de la eficiencia de los procesos de soporte a la producción. Mejora y orientación de las funciones administrativas y de oficina.
Implementación	Se crean los sistemas para el manejo de la salud, la seguridad industrial y el ambiente.	Creación de sistemas que aseguren cero accidentes industriales y ambientales.
Consolidación y sostenibilidad	Sostener y mejorar continuamente los procesos de TPM.	Elevar los objetivos de TPM. Establecer auditorías futuras. Aplicar al premio JIPM TPM (opcional)

Fuente: traducido y adaptado de Nakajima (1991, p. 57) y Pomorski (2004, p. 67).

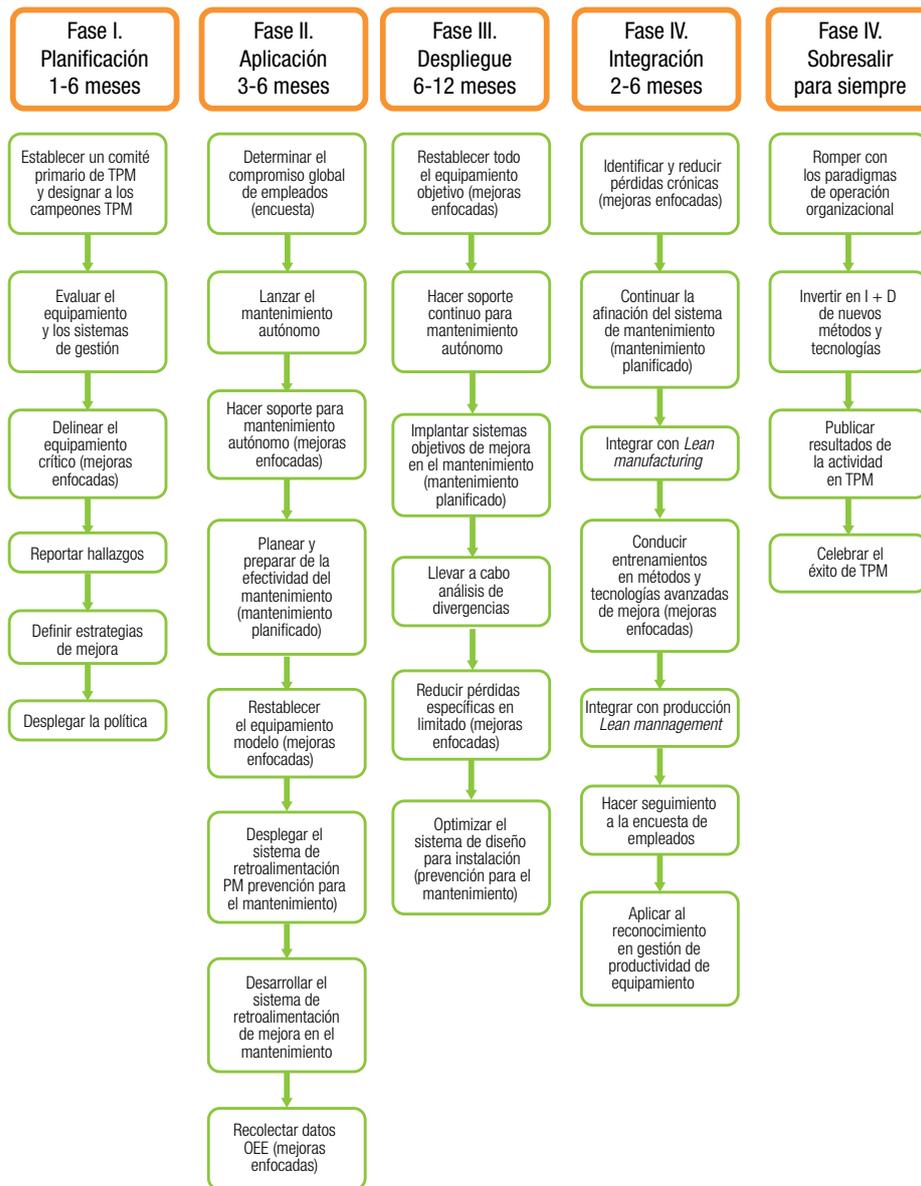


Figura 26. Modelo de implementación de TPM según Productivity Inc. Fuente: traducido de Productivity Inc. (1999).

Para los propósitos de simplificación, se considerará el estudio de las diferentes etapas y pasos de una manera más concreta, al dividir en tres fases el proceso de aplicación e implementación del TPM: la primera, de preparación; la segunda, de ejecución o implementación, y la tercera, de estabilización y sostenibilidad. Se hará el énfasis en los pilares, sus herramientas asociadas y su implementación correspondiente. Se divide el proceso por etapas y también se incorporan diferentes herramientas y su uso con base en casos de estudio en los que se haya visto el modelo o resultados de cada una. Se tendrá también en cuenta que los pilares de entrenamiento y educación y de salud, seguridad y ambiente tienen presencia en todas las

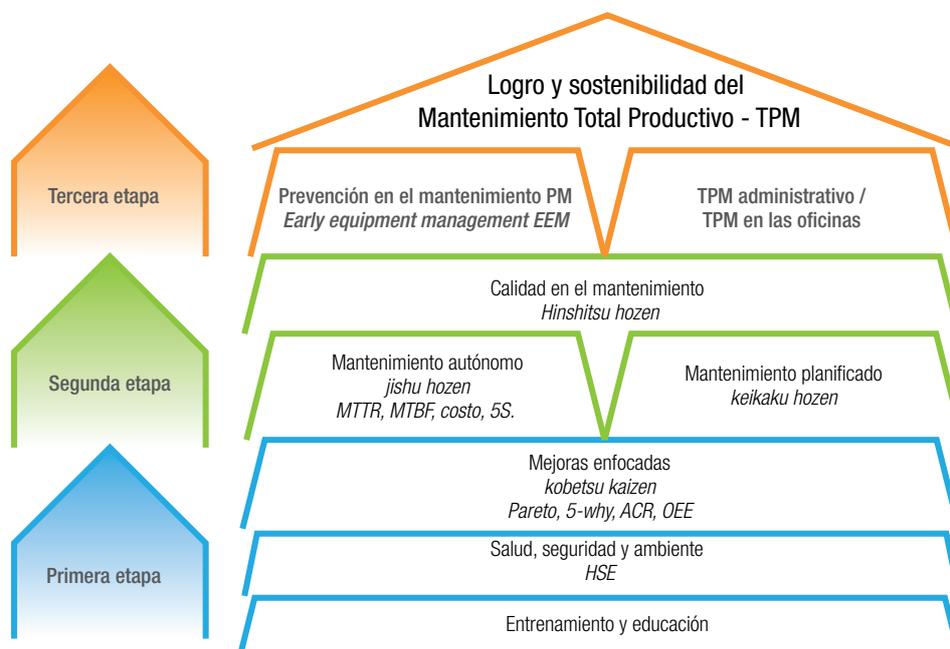


Figura 27. Proceso de tres etapas de implementación de TPM.
Fuente: elaboración propia.

etapas y sus actividades, por lo que no son presentados de manera específica para propósitos de simplificación del proceso.

Con el fin de presentar de manera adecuada lo anteriormente establecido para la puesta en marcha e implantación de TPM, se muestra en la figura 27 el proceso por fases generales, propuesto para comprender la implementación en cualquier tipo de organización.

Las herramientas de implementación deben tener en cuenta los siguientes estudios de caso, que fueron recopilados con el fin de ser tenidos en cuenta para este trayecto y en los que se describen las expectativas, la organización, los tiempos y los resultados obtenidos con la introducción de TPM, de manera total o parcial:

Etapa 1. Aplicación del primer pilar: mejoras enfocadas

La implementación del primer pilar es la puerta de ingreso a la puesta en marcha de TPM, acompañado siempre de los pilares de entrenamiento y salud, seguridad y ambiente, como se observa en la figura 28.

Es necesario tener en cuenta que *kobetsu kaizen* es la estrategia que busca eliminar los desperdicios y defectos del sistema. Por esto, la primera medida que se debe tomar, luego de los pasos introductorios descritos anteriormente, como las



Figura 28. Primera etapa de implementación de TPM.
Fuente: elaboración propia.

reuniones y divulgación inicial al igual que el entrenamiento pleno del personal suficiente para afrontar esta primera etapa, es el uso de las herramientas presentadas pilar por pilar en el segundo trayecto. A continuación, se presentan algunos ejemplos por medio de los estudios de caso provenientes de la literatura investigativa y de elementos explicativos para cada una de las herramientas estudiadas.

Análisis de Pareto

Como se mencionaba en el Trayecto 2, una de las herramientas utilizadas para evaluar las condiciones actuales de la planta, a fin de iniciar las estrategias de mejoras enfocadas, es el análisis de Pareto. En este se toman los datos por evaluar y se centra la atención sobre aquellos que puedan presentar una gran incidencia en los resultados: los pocos vitales.

Caso 1. En una compañía de manufactura, el equipo de TPM hizo un estudio en el que se evaluó durante seis meses el área de producción. Se encontró que se producía con un promedio de cumplimiento de programación de 96% con la sección de empaque, con lo que se alcanzaba solamente el 92% de su producción programada. El área de empaque se estaba comportando, entonces, como un cuello de botella del sistema. Al iniciar el estudio de los problemas, se encargó que un supervisor del área tomara un registro de los inconvenientes encontrados y se asignó una causa a los fallos presentados. De esta manera, se encontró la siguiente lista de problemas y su correspondiente número de repeticiones (tabla 6).

Con el fin de comprender las razones de ineficiencias se elaboró un análisis de Pareto, donde se organizan los datos por porcentaje, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 6. Listado de problemas y repeticiones

Problema encontrado	Número de repeticiones
Ausencia de mano de obra	24
Falta de equipos	18
Falta de habilidades	2
Materia prima caducada	3
Problemas técnicos	3
Productos adicionales	4
Programación no terminada	2
Reparaciones de maquinaria	23
Sin <i>stock</i> de materia prima	29

Fuente: adaptado de Atilgan y McCullen (2011, p. 16).

Tabla 7. Porcentaje de problemas y repeticiones del caso

Problema encontrado	Número de repeticiones	Porcentaje
Sin <i>stock</i> de materia prima	29	26,9 %
Ausencia de mano de obra	24	22,2 %
Reparaciones de maquinaria	23	21,3 %
Falta de equipos	18	16,7 %
Productos adicionales	4	3,7 %
Materia prima caducada	3	2,8 %
Problemas técnicos	3	2,8 %
Falta de habilidades	2	1,9 %
Programación no terminada	2	1,9 %

Fuente: adaptado de Atilgan y McCullen (2011, p. 16).

Luego de esto, se elaboró el diagrama de Pareto, utilizando los datos y desarrollando el histograma que se puede observar en la figura 29.

Después de observar este diagrama, pudo encontrar que más del 80% de los inconvenientes en producción fueron causados por falta de materia prima, ausencia de mano de obra, fallas en la maquinaria y falta de equipamiento de producción

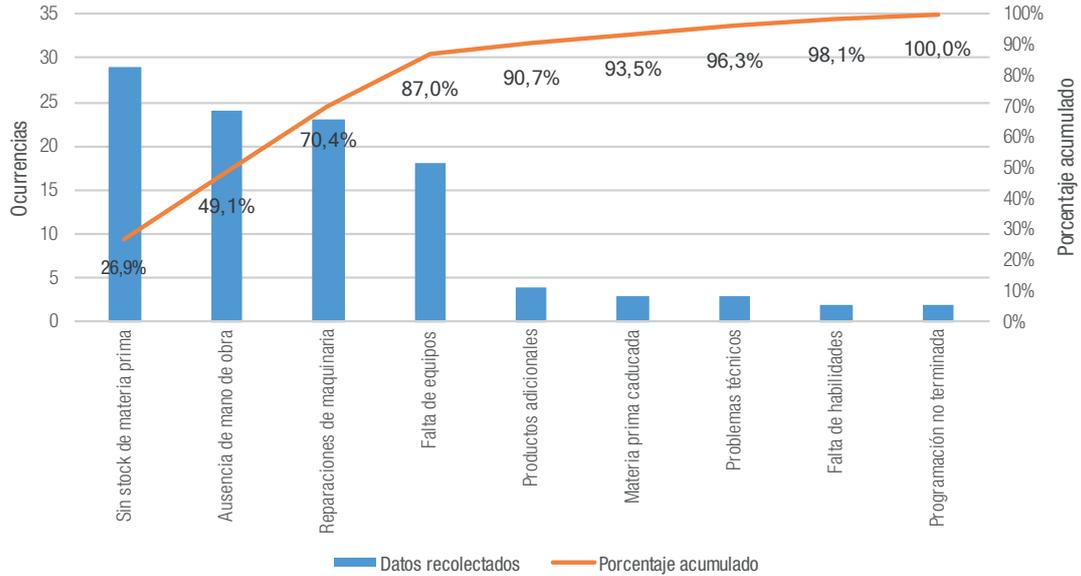


Figura 29. Diagrama de Pareto para el caso 1.
Fuente: traducido de Atilgan y McCullen (2011, p. 16).

(como mesas de trabajo o carros de transporte). Esto permitió identificar, entonces, que el enfoque de trabajo para mejorar la eficiencia de manufactura estaba en atacar las causas que generan esas cuatro ocurrencias mencionadas.

Como se señaló anteriormente, la lluvia de ideas, los 5 porqués y el análisis de causa-raíz permiten revelar las causas del problema al discutir en un grupo pluridisciplinario, en medio de retroalimentación y respeto por las ideas de los demás, como se muestra en el caso siguiente.

Caso 2. El líder de TPM está encargado de liderar el comité pluridisciplinario en el que se analizan los hallazgos encontrados en el diagrama de Pareto. Se comenzó con el problema más importante: el de la falta de *stock* de materias primas (Atilgan y McCullen, 2011).

El departamento de producción indica que hubo demoras en la entrega del material por parte del área de suministros de la compañía y que el área de ventas les ha obligado a sa-

car muestras de productos para la feria local de exposición. En consecuencia, la producción tuvo que ser corrida y el material que estaba programado se tuvo que utilizar en estas muestras adicionales. La planeación de la producción se apoya en los pedidos que recibe el departamento comercial, que los acumuló y no notificó a tiempo las cantidades por producir al departamento de producción. El supervisor de producción señaló que el almacén, a cargo de suministros, había asegurado que había *stock* de material, pero que no se habían fijado que estaba vencido.

El líder ajustó, entonces, los porqués con cada razón encontrada inicialmente, y los dividió en el tablero, dispuesto como puede verse en la figura 30.

Luego de escuchar los comentarios y descartar las causas no acusables al proceso, el líder generó y organizó el resultado en el tablero (figura 31), de común acuerdo con el comité escogido.

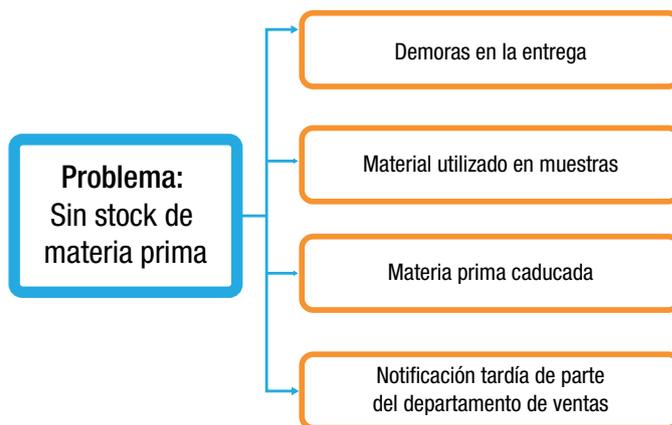


Figura 30. Inicio del análisis 5 porqués y RCA dentro de la lluvia de ideas.
Fuente: adaptado de Atilgan y McCullen (2011, p. 17).

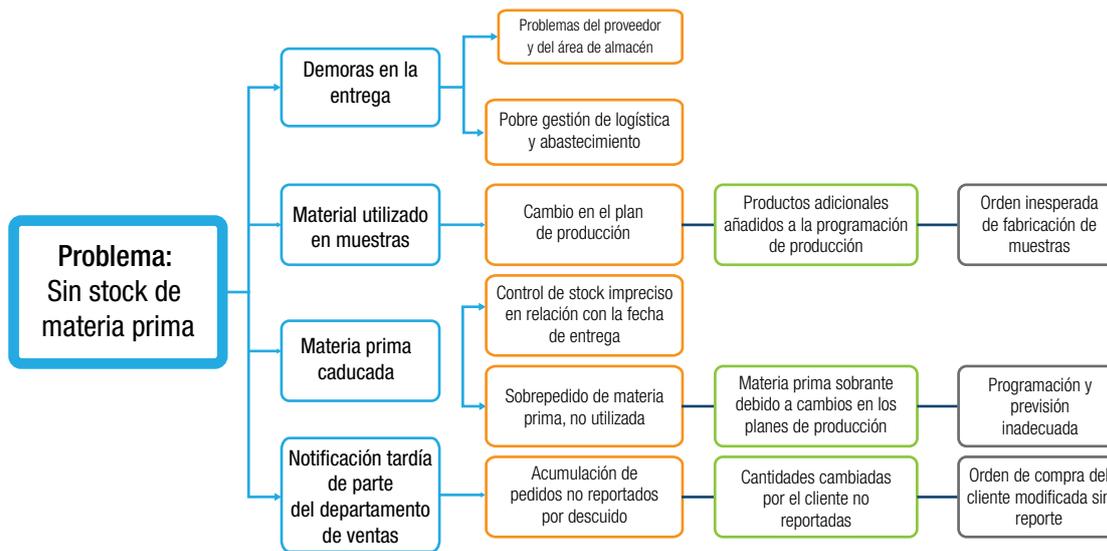


Figura 31. Resultado final del tablero de control de la lluvia de ideas. Fuente: adaptado de Atilgan y McCullen (2011).

Con el tablero de control se pudieron identificar las *causas raíz* para este problema, principalmente la falta de previsión y de programación, que ocasionan escasez anticipada de la materia prima. Por otra parte, se evidenció desorden administrativo en los departamentos de ventas y de suministros. Con el uso de este artefacto se logran identificar los primeros elementos por mejorar en el proceso para el problema analizado.

Ahora bien, el diagrama de Ishikawa o “espina de pescado” permite analizar, como se mencionó en el Trayecto 2, la causalidad de un proceso, determinando los parámetros principales y elementos que generan variaciones en el resultado de este.

Caso 3. El supervisor de mantenimiento de una empresa manufacturera está, en conjunto con su grupo de trabajo, determinando los orígenes que provocan las demoras en el proceso de mantenimiento. Luego de haber hecho las presentaciones respectivas de cada uno de los miembros del comité asignado, dibujaron en el tablero la estructura del diagrama, comienzan-

do con la cabeza y la columna vertebral del diagrama de espina de pescado, que representa el problema que debe resolverse. Acto seguido, el supervisor de producción planteó el problema como uno de análisis para la manufactura, por lo que dibujó en el tablero la estructura de base (6M): “máquina”, “métodos”, “materiales”, “medidas”, “mano de obra” y “medio ambiente”, como se puede observar en la figura 32.

Posteriormente, se comenzó la presentación de datos recogidos de diversos estudios y, como habían convenido, lo combinan con la lluvia de ideas. Analizaron todas las posibles causas y las agruparon en los grupos correspondientes. También eliminaron categorías no requeridas, pues ni el medio ambiente ni las medidas (mediciones) afectan el tiempo de respuesta de las labores de mantenimiento, a juicio de aquellos involucrados en el proceso de creación del diagrama de espina de pescado. La figura 33 muestra el resultado del diagrama.

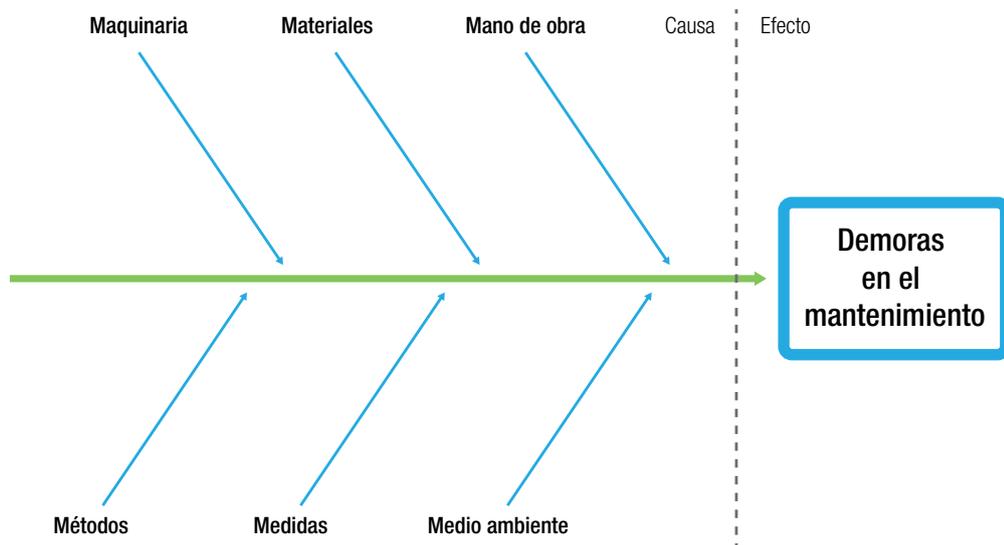


Figura 32. Estructura inicial de análisis con diagrama “espina de pescado”.
Fuente: elaboración propia.

Causa de demoras en el mantenimiento en la planta

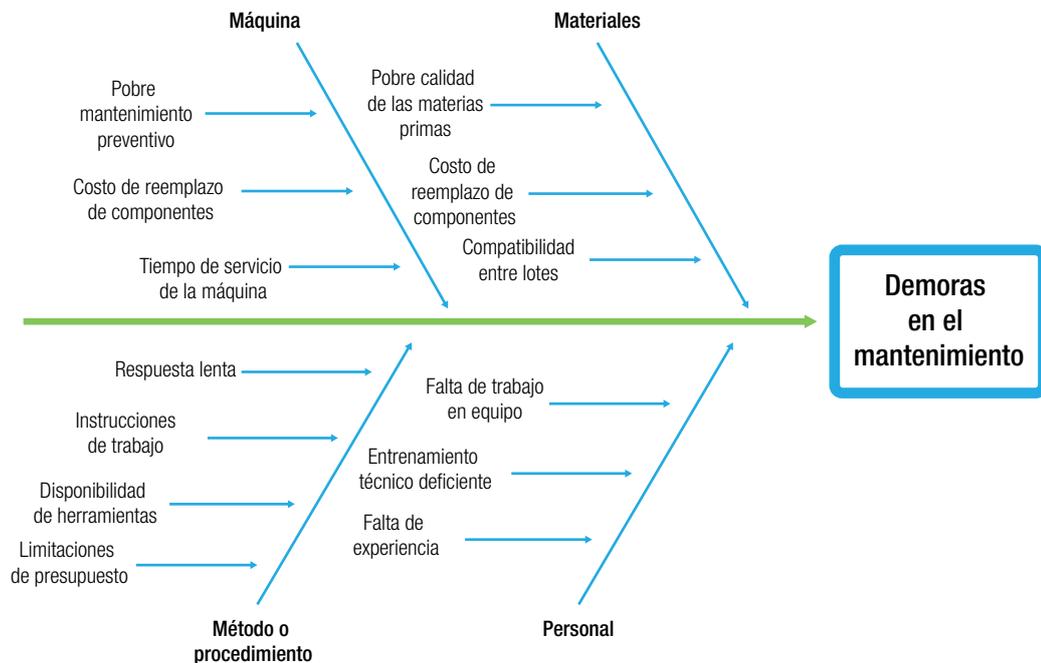


Figura 33. Análisis final del diagrama de "espina de pescado".
Fuente: adaptado de Burhanuddin, Halawani y Ahmad (2011).

Una vez relizado el diagrama, el personal de análisis puede revisar las estrategias que ha de ejecutar. Estas se pueden agrupar en cuatro, según el diagrama resultante, así (Burhanuddin, Halawani y Ahmad, 2011):

- Mejorar las estrategias de mantenimiento preventivo.
- Utilizar repuestos de buena calidad.
- Mejorar las herramientas para reparación y trabajo en grupo.
- Redistribuir las horas/hombre requeridas para la reparación del equipamiento.

En vías de mejorar los indicadores con la implementación de TPM, la identificación comienza interviniendo el OEE. Esto se hace a partir de la medición de dicho indicador en el equipamiento instalado. Como se explicó ya en el Trayecto 2, el indicador OEE es la herramienta principal para diferenciar diferentes aspectos de la manufactura en una sola medida.

A continuación, se presenta un caso de esta aplicación para la implementación en firme del primer pilar, luego de tener identificadas las pérdidas de proceso.

Caso 4. En una planta manufacturera se decidió medir los diferentes elementos pertinentes a la implementación y seguimiento de TPM en sus procesos. Se seleccionó una máquina piloto en la que se hicieron medidas de los indicadores de disponibilidad, desempeño y tasa de calidad, y se utilizaron las ecuaciones vistas en el Trayecto 2. Sobre una de las 10 máquinas de la planta, en la identificación de pérdidas se encontró lo siguiente:

- Tiempo de paradas planeadas:
 - Tiempo de limpieza
 - Tiempo de mantenimiento preventivo
 - Tiempo sin operador o no disponible (almuerzo, pausa café, etc.)
 - Tiempo usado en reuniones de comunicación
- Tiempo de paradas no planificadas:
 - Tiempo de espera debido a la no disponibilidad de herramientas
 - Tiempo de cambio de ajustes
 - Tiempo de reparaciones
 - Tiempo de espera para recibir materiales
 - Fallas de energía
 - Tiempo de cambio de herramientas

- Tiempo perdido debido a falla de herramientas

Luego se hace la evaluación del OEE en la máquina seleccionada como ejemplo, a partir de la información disponible en Gupta y Vardhan (2016, p. 2979):

Primero, calculamos el **tiempo de carga A**. Para esto, restamos el tiempo de trabajo (A) al tiempo de las paradas planificadas (B):

$$A = 2 \text{ turnos} \times 8 \text{ horas} = 960 \text{ min}$$

B = Paradas planificadas:

a. Limpieza = 20 min

b. Sin operador (pausa café o almuerzo) = 30 min

c. Apagado planificado = 0 min

$$B = 20 \text{ min} + 30 \text{ min} + 0 \text{ min} \\ = 50 \text{ min}$$

$$A \text{ (min)} = A - B \\ = 960 \text{ min} - 50 \text{ min} \\ = 910 \text{ min}$$

Ahora, calculamos el factor de planeación (Pf):

$$Pf = (A - B / A) * 100 \\ = (960 - 50 / 960) * 100 \\ = 94,79 \%$$

Para hallar el **tiempo operacional B**, restamos el tiempo de trabajo (A) al tiempo de las paradas planificadas (C):

C = Paradas planificadas:

a. Disponibilidad de herramientas = 0

b. Tiempo de ajuste = 10 min.

c. Tiempo de cambio (de montaje) = 0

d. Reparación de máquina = 0

e. Espera de materiales = 0

f. Falla en potencia/aire comprimido = 0

g. Cambio de herramientas = 2 min

h. Rotura de herramientas = 0

i. Paradas menores = 0

j. Otros (si hay alguno) = 0

$$\begin{aligned} C &= 10 \text{ min} + 2 \text{ min} \\ &= 12 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B \text{ (min)} &= A - C \\ &= 910 \text{ min} - 12 \text{ min} \\ &= 898 \text{ min} \end{aligned}$$

Ahora, calculamos la **disponibilidad D**:

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidad (D)} &= \frac{A - C}{A} \times 100 \\ &= \frac{910 - 12}{910} \times 100 \\ &= 98,68 \% \end{aligned}$$

Una vez hallados el tiempo de carga, el tiempo operacional y la disponibilidad, procedemos a calcular el tiempo real del proceso (R), la tasa de desempeño (P) y la tasa de calidad (Q). Para esto contamos con los siguientes datos:

a. Cantidad producida = 124 unidades

b. Rechazos = 0

c. Tiempo (medido) de ciclo de producto = 6,4 min / unidad

Para el tiempo real del proceso R,

$$\begin{aligned} R &= a \times c \\ &= \frac{124 \text{ unidades} \times 6,4 \text{ min}}{\text{unidad}} \\ &= 796,4 \text{ min} \end{aligned}$$

Ahora calculamos la tasa de desempeño P:

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{a \times c}{B} \times 100 \\
 &= \frac{124 \times 6,4}{898} \times 100 \\
 &= 88,37 \%
 \end{aligned}$$

Por último, calculamos la tasa de calidad Q:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{a - 0}{a} \times 100 \\
 &= \frac{124 - 0}{124} \times 100 \\
 &= 100 \%
 \end{aligned}$$

De lo anterior se calculan el OEE y el pFOEE:

$$\begin{aligned}
 \text{OEE de máquina seleccionada} &= \text{disponibilidad} \times \text{tasa de des-} \\
 &\text{empeño} \times \text{tasa de calidad} \\
 &= 98,68 \% \times 100 \% \\
 &= 87,21 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{pFOEE} &= \text{Pf} \times \text{OEE} \\
 &= 94,79 \% \times 87,21 \% \\
 &= 82,67 \%
 \end{aligned}$$

Luego de haber hecho el seguimiento al indicador OEE en todos los equipos, durante todos sus turnos de producción, a lo largo de meses, se cuenta con un consolidado trimestral de OEE promedio, el cual se puede observar en la figura 34.

Teniendo identificados aquellos equipos que deben ser intervenidos, se inicia con los planes de acción. Se identifican primero los equipos sobre los que se tienen que enfocar las mejoras: las máquinas 2, 3, 8, 9 y 10, pues su OEE está por debajo de 85%. Siguiendo las rutinas de detección de problemas vistas en los casos anteriores, se iniciaron los planes de mejora de basados en estrategias *kaizen* (Pareto, 5 porqués, Ishikawa, lluvia de ideas). La tabla 7 muestra algunas pérdidas detectadas en la maquinaria mencionada y los planes de acción recomendados.

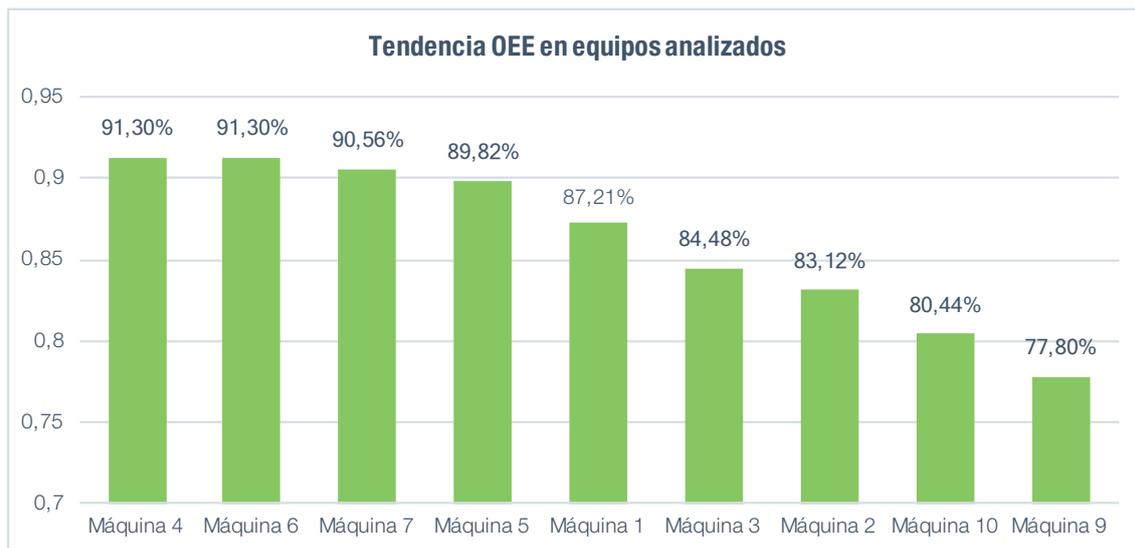


Figura 34. Tendencia OEE de equipos analizados del caso 4.
Fuente: adaptado de de Gupta y Vardhan (2016, p. 2982).

Tabla 7. Planes de acción para reducción de pérdidas

Máquina	Tipo de pérdida	Plan de acción	Fecha límite
2	Ajuste dimensional	Rectificar máquina o montaje	28 de junio
3	Tiempo elevado de configuración	Reducir actividades de ajuste (montaje)	30 de junio
8	Ajuste dimensional	Resolver problemas de calidad	30 de junio
9	Espera de material	Reducir el tiempo de traslado de material desde el almacén	25 de junio
10	Tiempo elevado de configuración	Reducir actividades de ajuste (montaje)	10 de julio

Fuente: adaptada de Gupta y Vardhan (2016, p. 2981).

Tomando como base el análisis presentado por los autores Gupta y Vardhan, en el estudio de caso utilizado para ilustrar, se puede observar (tabla 8) la cuantificación de los costos fijos y variables asociadas, en la que se pueden ver los dieciséis tipos de pérdidas agrupadas por tipos de costos, por cada equipo analizado por día. Este análisis de pérdidas y sus costos asociados pueden ser presentadas de forma que se pueda hacer un diagrama de Pareto, para determinar su impacto y la mitigación de las mismas (figura 35).

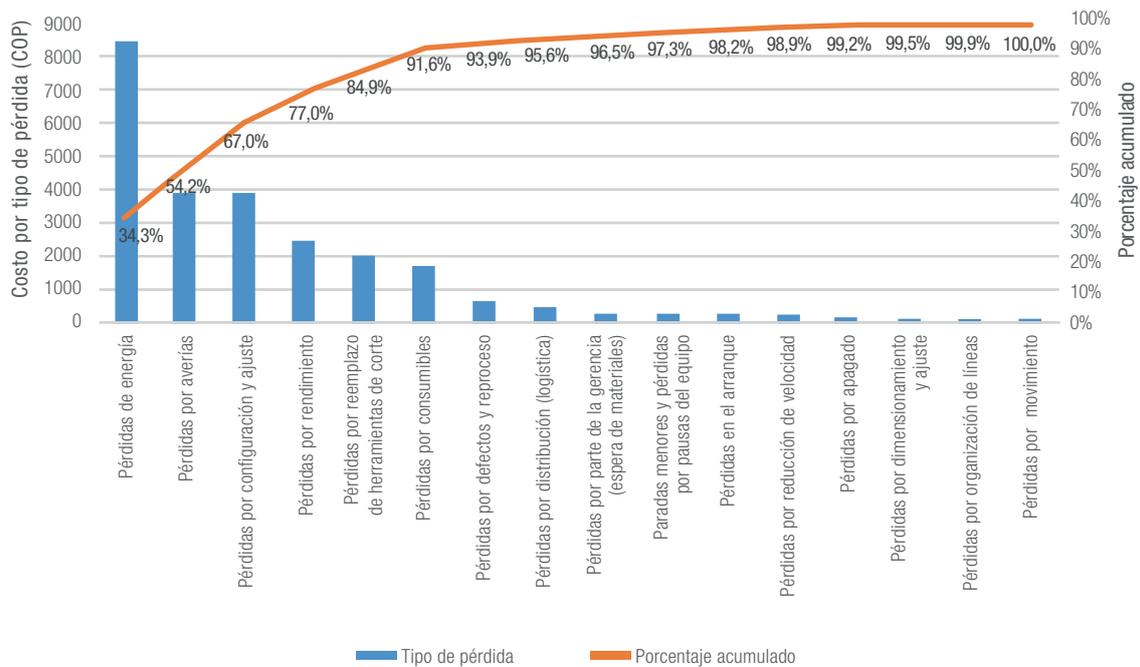


Figura 35. Diagrama de Pareto del caso 4.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Matriz de costos de pérdidas

N.º	Tipo de pérdida	Costos variables					
		Potencia	Consumibles	Costo materiales	Combustible	Herramienta	Repuestos y maquinaria
1	Pérdida por averías	COP 458,45	COP 160,95	COP -	COP 129,27	COP -	COP 95,46
2	Pérdidas por configuración y ajuste	COP 435,33	COP 152,82	COP -	COP -	COP 207,61	COP -
3	Pérdidas por reemplazo de herramientas de corte	COP 218,31	COP 76,62	COP -	COP 1,28	COP 104,02	COP -
4	Pérdidas en el arranque	COP 56,08	COP 19,69	COP -	COP -	COP -	COP -
5	Paradas menores y pérdidas por pausas del equipo	COP 16,27	COP -	COP -	COP -	COP -	COP 3,42
6	Pérdidas por reducción de velocidad	COP 11,99	COP 4,28	COP -	COP -	COP 5,56	COP 2,57
7	Pérdidas por defectos y reproceso	COP 5,14	COP 1,71	COP 516,24	COP 1,28	COP 2,57	COP 0,86
8	Pérdidas por apagado	COP -	COP 2,57	COP -	COP -	COP -	COP 1,28
9	Pérdidas de parte de la gerencia (espera de materiales)	COP 121,57	COP 7,71	COP -	COP 6,42	COP -	COP 4,71
10	Pérdidas por movimiento	COP -	COP -	COP -	COP -	COP -	COP -
11	Pérdidas por organización de líneas	COP 17,55	COP -	COP -	COP -	COP -	COP -
12	Pérdidas por distribución (logística)	COP 44,52	COP -	COP -	COP -	COP -	COP -
13	Pérdidas por dimensionamiento y ajuste	COP 16,69	COP 5,99	COP -	COP 4,71	COP -	COP -
14	Pérdidas por rendimiento	COP -	COP -	COP -	COP -	COP 2.482,72	COP -
15	Pérdidas de energía	COP 2.739,56	COP -	COP -	COP 5.778,75	COP -	COP -
16	Pérdidas por consumibles	COP -	COP 6,85	COP -	COP -	COP 1.498,19	COP -

N.º	Costos fijos						Pérdida total COP / Equipo
	Administración	Depreciación equipo	Contratación y servicios	Costo de empleados	Gastos de departamento	Reparación y mantenimiento	
1	COP -	COP 513,67	COP 405,80	COP 1.138,20	COP 1.152,75	COP 146,82	COP 4.201,37
2	COP 2.040,11	COP -	COP -	COP 1.080,84	COP -	COP -	COP 3.916,71
3	COP 1.023,48	COP -	COP -	COP 542,35	COP -	COP -	COP 1.966,06
4	COP -	COP -	COP -	COP 139,55	COP -	COP -	COP 215,31
5	COP 77,05	COP 18,41	COP 14,55	COP 40,67	COP 41,09	COP 5,14	COP 216,60
6	COP 55,65	COP 13,27	COP 10,70	COP 29,54	COP 29,96	COP 3,85	COP 167,37
7	COP 23,54	COP 5,56	COP 4,28	COP 12,41	COP 12,84	COP 1,71	COP 588,15
8	COP 33,82	COP 8,13	COP 6,42	COP 17,98	COP 17,98	COP 2,14	COP 90,32
9	COP -	COP 24,83	COP -	COP 54,79	COP -	COP -	COP 220,02
10	COP -	COP -	COP -	COP 59,07	COP -	COP -	COP 59,07
11	COP -	COP -	COP -	COP 43,66	COP -	COP -	COP 61,21
12	COP 208,46	COP -	COP 39,38	COP -	COP 111,72	COP -	COP 404,08
13	COP -	COP -	COP -	COP 41,95	COP -	COP -	COP 69,35
14	COP -	COP -	COP -	COP -	COP -	COP -	COP 2.482,72
15	COP -	COP -	COP -	COP -	COP -	COP -	COP 8.518,31
16	COP -	COP 22,26	COP 17,55	COP 49,23	COP 49,65	COP 6,42	COP 1.650,15

Etapa 2. Aplicación de los pilares de mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado y calidad en el mantenimiento

Esta segunda etapa de implementación se va a llevar inicialmente a través de las herramientas propuestas en el mantenimiento autónomo y en el planificado. Así, se enfoca en la calidad en el mantenimiento, como se puede observar en la figura 36.



Figura 36. Segunda etapa de implementación de TPM.
Fuente: elaboración propia.

El siguiente caso puede poner presentes los hallazgos y soluciones que pueden ser susceptibles de ser utilizadas en cualquier tipo de organización. Un método adecuado de implementación del mantenimiento autónomo es (Biehl y Sellitto, 2014, p. 1134):

1. Compromiso de la alta gerencia con el proceso
2. Divulgación de los procedimientos para adoptar
3. Definición del comité responsable del proyecto
4. Determinación de las políticas y metas básicas
5. Definición del plano director
6. Inicio propiamente dicho de la implementación
7. Entrenamiento a los operarios
8. Definición de procedimientos para los grupos de trabajo
9. Selección de equipos piloto para medición de eficacia
10. Desenvolvimiento del mantenimiento autónomo

11. Medición de resultados

12. Realización de auditoría y retorno al inicio

A continuación, observaremos la implementación práctica de un caso de trabajo en mantenimiento autónomo, en una compañía de manufactura. Previamente se hizo la divulgación en la empresa, se determinaron objetivos y entrenó a los operarios para optimizar los tiempos de trabajo en esta implementación. La gerencia general y de los diferentes departamentos se comprometieron llevar a cabo el proceso TPM. A continuación se puede hacer el seguimiento al desarrollo de una implementación descrita en Biehl y Sellitto (2014).

Caso 5. Este estudio de caso, de mantenimiento autónomo (Biehl y Sellitto, 2014), es un resumen y desarrollo de una implementación en una empresa de más de 70 años y 4700 empleados.

Previo al inicio de cualquier implementación en equipamiento de TPM, se hizo una serie de actividades de detección de problemas, y se involucraron los pasos y herramientas vistos en la primera etapa. Los hallazgos, anteriores al proceso de TPM en la empresa, fueron los siguientes:

- Número elevado de fallas de maquinaria
- Falta de registro estadístico de estas fallas
- Mala condición del equipamiento
- Falta de entrenamiento de los operarios

Posteriormente, se comenzaron los entrenamientos, con personal experto en TPM, en liderazgo, planeamiento y gerencia para el proceso TPM.

La tabla 9 muestra los temas seguidos para los entrenamientos que se hicieron a los líderes del proceso.

Tabla 9. Temas de entrenamiento de líderes de proceso de TPM, caso 5

Temas de entrenamiento de líderes
Definición, objetivos y principios del TPM
Ocho pilares del programa TPM
Metodología de implementación
Clasificación de pérdidas
herramientas de trabajo (5S, 5W1H, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, entre otros)

Fuente: Biehl y Sellitto (2014, p. 1135).

La implementación del programa de TPM fijó como objetivos:

- Reducir el número y gravedad de averías.
- Reducir la cantidad de intervenciones de emergencia en maquinaria.
- Reducir el tiempo total del gasto con máquinas paradas.
- Reducir costos totales de mantenimiento.
- Cambiar la cultura con respecto a los equipos en responsabilidad y compromisos con la situación y su estado de producción.

Se procedió al entrenamiento de los operarios que hacían parte del área de trabajo seleccionada. Se les comunicó el compromiso y las posibles ventajas y conceptos del TPM para la empresa y se completó hasta doce horas de entrenamiento dirigido por los líderes previamente capacitados.

Se implementó una lista de chequeo (tabla 10) para ser utilizada antes de la entrada en operación del equipo, y diligenciada por los operarios, mientras realizan esta inspección diaria del equipo. Con esto, se les dio a los operarios la responsabilidad de identificar los problemas actuales y futuros, para que el equipo central de mantenimiento resolviera los inconvenientes. Luego de casi tres meses se pudo lograr que los operadores mismos fuesen quienes, con el debido seguimiento y entrenamiento, re-

solvieran más de la mitad de aquellas acciones de reparación de las que el equipo central de mantenimiento se encargaba.

Tabla 10. Ejemplo de ítems de la lista de chequeo de verificación operacional

VERIFICACIÓN OPERACIONAL (TPM)	
Ítems que el operador debe verificar diariamente	
Máquina parada	Máquina en funcionamiento
A) Nivel de aceite - unidad hidráulica	I) Presión de unidad hidráulica
B) Nivel de aceite - unidad de lubricación	J) Presión de bomba de refrigeración
C) Unidad de conservación	K) Fugas de aceite y aire
D) Limpieza de tanque de refrigerante	L) Ruido
E) Limpieza de máquina	M) Vibraciones
F) Adaptadores de herramientas	
G) Filtro del panel eléctrico	
H) Protecciones de coberturas articuladas	

Fuente: traducido de Biehl y Sellitto (2014, p. 1137).

Esta experiencia se transmitió a los demás operarios de la fábrica, con el ánimo de entrenarlos para identificar y seguir los puntos clave de verificación de la maquinaria. Luego de esto, se pudo desarrollar un procedimiento de verificación, tipo OLP (*one-point lesson*), que se fijó cerca de las máquinas para su consulta inmediata por parte de los operarios.

Como máquinas piloto se escogieron tres centros de mecanizado, a los que se les implementaron las listas de chequeo, actividades de limpieza y verificación (en conjunto con los equipos líderes, mantenimiento central y supervisores de producción), y se fijaron como objetivos:

1. Disminuir tiempos antes de la reparación (indicador MTBF).
2. Aumentar el intervalo entre fallas (indicador MTTR).
3. Reducir el costo de mantenimiento de las máquinas en esta área.

En las tablas 11, 12 y 13 se presentan los resultados de mejora obtenidos, después de hacer la evaluación en intervalos de tres meses y de desarrollar los seguimientos adecuados mediante la lista de chequeo.

Tabla 11. MTBF antes y después de implementación en el caso 5

Equipos	MTBF			
	Antes de la implantación		Después de implantación	
	Horas	Días	Horas	Días
TM 16488	46:33:55	1,94	314:35:04	13,11
TM 20500	58:16:39	2,43	396:08:17	16,51
TM 18375	63:43:57	2,66	505:22:43	21,06
Promedio		2,34		16,89

Fuente: Biehl y Sellitto (2014, p. 1138).

Tabla 12. MTTR antes y después de implementación en el caso 5

Equipos	MTTR			
	Antes de la implantación		Después de implantación	
	Horas	Días	Horas	Días
TM 16488	3:02:01	182,0	1:55:42	13,1
TM 20500	1:32:00	92,0	0:54:17	54,3
TM 18375	2:15:27	135,5	1:07:05	67,1
Promedio		136,5		79,0

Fuente: Biehl y Sellitto (2014, p. 1138).

Tabla 13. Costo de mantenimiento comparativo en el caso 5

Equipos	Costo mensual de mantenimiento			
	Antes de la implantación		Después de implantación	
	RBL	USD	RBL	USD
TM 16488				
TM 20500	BRL 12 570,00	USD 3882,37	BRL 5390,00	USD 1664,76
TM 18375				
Promedio	BRL 6285,00	USD 1941,19	BRL 2695,00	USD 832,38

Fuente: Biehl y Sellitto (2014, p. 1139).

A continuación, se muestra la implementación de las 5S, una herramienta poderosa que también permite encontrar resultados de manera visible en un proceso de TPM.

Caso 6. En una compañía de manufactura se decidió iniciar la implementación de la estrategia de limpieza inicial y de 5S como parte de su programa de mantenimiento autónomo. Las pérdidas encontradas y por combatir de la implementación de la etapa 1 son las siguientes (Kakkar et ál., 2015, p. 209):

Los empleados toman demasiado tiempo buscando los materiales de trabajo, como materias primas, herramientas, ensambles menores, etc. El registro fotográfico se muestra en la figura 37.

El primer paso de implementación es la limpieza inicial. Se debe escoger el grupo que liderará el proceso de 5S, donde hay un jefe o campeón que, al igual que los demás miembros, tiene una capacitación dirigida para esta consecución de objetivos. Es necesario que, como se mencionó en el Trayecto 2, los operarios ejecuten las tareas de limpieza básica de las máquinas, luego de haberse entrenado adecuadamente para ello. Esta limpieza inicial comprende la localización de fallas mínimas, condiciones básicas no alcanzadas, identificación y mitigación de inconvenientes causados por lugares inaccesibles para operación y mantenimiento, identificación y separación de fuentes



Figura 37. Registro fotográfico previo a la implementación de 3S (*seiri*, *seiton* y *seiso*). Fuente: (Kakkar et ál., 2015, p. 208).

de contaminación, defectos de calidad y de ítems innecesarios o no urgentes, así como lugares no seguros.

Este grupo lanza las actividades de 5S al comenzar con el *seiri* u organización-eliminación. En este paso la compañía sugirió que, para este espacio fotografiado, donde se concentraba uno de los problemas que atacar, se eliminara lo innecesario y se clasificara lo útil en categorías, con el criterio de frecuencia de uso de cada ítem (bajo, medio y alto). Sobre los ítems que no se sabía todavía si debían ser desechados, se recomendó su almacenamiento temporal adecuado para verificar que efectivamente no lo fueran. Los empleados a cargo del área clasificaron los elementos y limpiaron los gabinetes, también acomodaron los ítems en los sitios indicados y descartaron los dañados.

Se hizo también la implementación del segundo paso de las 5S: *seiton*: orden – organización. Se acondicionaron los medios para guardar y localizar el material, y se etiquetaron las cajas de almacenamiento y los gabinetes de herramientas.

Posteriormente, dentro del *seiso*, o “el acto de hacer la limpieza”, se procede a encargar a los operarios y técnicos la limpieza cuidada de cada espacio de trabajo, recogiendo desperdicios y separando el reciclaje. Toda máquina, sus pisos y gabinetes fueron adecuadamente aseados y desengrasados. Esto se logró requiriendo a los trabajadores que hicieran el aseo de sus áreas operacionales al finalizar el turno (Kakkar et ál., 2015, p. 208).

El cambio resultante de esta implementación inicial de 3S (por *seiri*, *seiton* y *seiso*) se puede observar en la figura 38.

Esta implementación inicial solucionó los inconvenientes generados por el desorden y mejoró los tiempos de trabajo directamente de los empleados y operarios localizados en estas áreas.

Ahora bien, la seguridad industrial no estaba a un nivel adecuado en los diferentes espacios y prácticas de la compañía.



Figura 38. Registro fotográfico posterior a la implementación de 3S.
Fuente: Kakkar et ál. (2015, p. 208).

Para continuar con la implementación de las 5S, luego de las 3S se siguió con el *seiketsu*: el estado de limpieza, luego de definir los estándares de orden y limpieza. Se identificó que en la empresa no se encontraba personal idóneo para elaborar o implementar un sistema de gestión de salud y seguridad industrial en el trabajo. Luego de implementar las 3S, se establecen unos estándares adecuados de seguridad industrial, lo cuales requieren que se establezcan protocolos adecuados para el trabajo, como análisis de trabajo seguro (ATS) por área; también, unas recomendaciones de elementos de protección personal adecuados para las labores y las capacitaciones adecuadas para realizar actividades que involucren soldadura y trabajo en alturas.

El grupo que dirigió la elaboración de los procedimientos y reglamentos de seguridad industrial requirió que se hiciera adquisición de guardas, pintura general de los equipos y señalización adecuada de pisos. Los resultados se pueden apreciar en la figura 39.

Los inconvenientes de comunicación subsistían entre la administración y los miembros del equipo productivo. Antes de la implementación de las 5S no había una comunicación fluida entre la gerencia y sus empleados. Esto impedía el reco-



Figura 39. Taller después de la implementación de 4S.
Fuente: Kakkar et ál. (2015, p. 210).

nocimiento de los éxitos y la identificación de los componentes humanos y operativos para mejorar.

Durante la implementación de las 4S (*seiri, seiton, seiso* y *seiketsu*), se solicitó que se ubicaran tableros informativos en los que se pudiesen observar las imágenes del antes y después de las intervenciones, las reglamentaciones brevemente diferenciadas y los defectos de fabricación que podían ser susceptibles de mejora o eliminación de problemas de calidad. Un ejemplo de tablero que puede ser implementado a lo largo del proceso puede observarse en la figura 40.

Este tablero facilitó el proceso de seguimiento a la implementación de las 4S y es un sólido elemento para asegurar el último paso de las 5S, *shitsuke*: el estado de disciplina. Permite que los empleados se cercioren de los logros obtenidos y el mantenimiento de las nuevas condiciones a lo largo del tiempo.

Luego de haber visto la implementación de mantenimiento autónomo y 5S, junto con las herramientas mínimas necesarias, se puede proceder con el mantenimiento planificado. Como se mencionaba en el Trayecto 2, hay cinco pasos por seguir que serán tratados en el siguiente caso.

Caso 7. Este consiste en el mantenimiento planificado respetando los principios de calidad en el mantenimiento. En las actividades de mejora de operación y mantenimiento en una

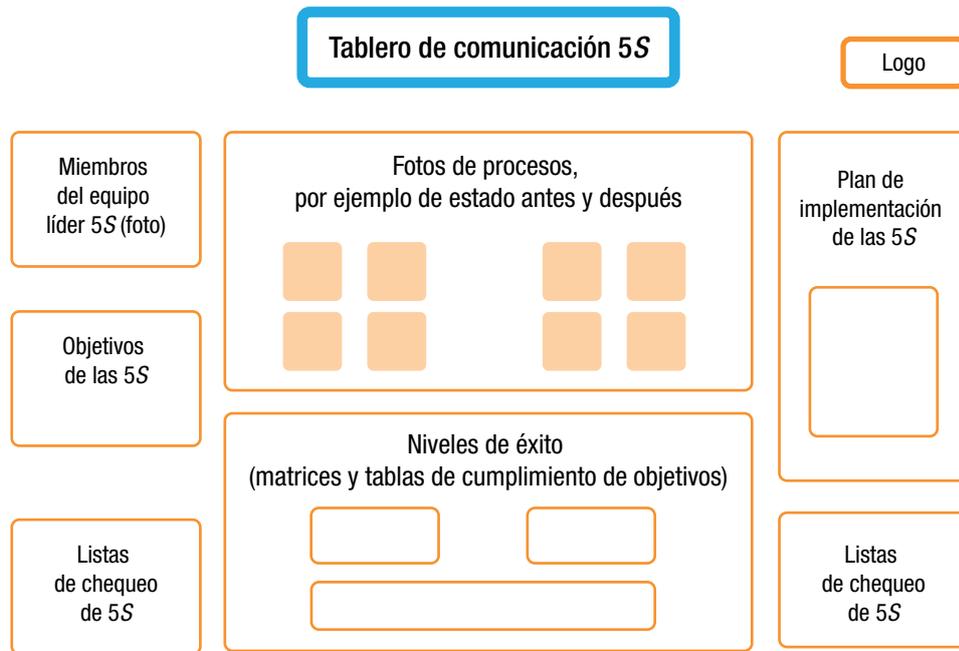


Figura 40. Ejemplo de tablero de comunicación 5S.
Fuente: elaboración propia.

empresa de manufactura, se decide seguir con el paso de mantenimiento planificado, en razón a que en los pasos anteriores se detectó:

- Número elevado de fallas de maquinaria
- Falta de registro estadístico de estas fallas
- Mala condición del equipamiento

Esto obligó a que se iniciara con la recuperación de toda la documentación disponible, en referencia a la maquinaria instalada, como planos, manuales y, en general, cualquier documento escrito que pudiera constituirse como fundamental para soportar cualquier procedimiento de trabajo.

Luego de establecer esta información, se inició con la elaboración de listas de chequeo para toda la maquinaria dispo-

nible, de manera similar a la mostrada previamente en la tabla 8, destacando aquellas labores que el personal operativo puede desarrollar (si es necesario con entrenamiento) para un trabajo periódico. Con esto se puede confirmar el primero de los cinco pasos mencionados en el Trayecto 2, (un set de listas de tareas para la ejecución del plan de mantenimiento).

A continuación, se estableció la programación de mantenimiento. Para ello se requirió la lista de los equipos instalados. En la tabla 14 se puede observar parte del inventario de equipos instalados.

Tabla 14. Inventario parcial de equipos instalados en el caso 7

Máquina	Marca	Capacidad	Cantidad
Unidad de aire acondicionado tipo paquete	SAM	5 T. R.	1
Unidad manejadora de aire acondicionado	AIR	2 T. R.	3
Unidad de aire acondicionado tipo <i>mini-split</i>	SAM	12 000 B. T. U.	4
Dobladora de lámina	CHN	3 m	1
Dobladora de tubería	CHN	650 W	1

Fuente: elaboración propia.

El grupo de trabajo establece una planificación cíclica de intervenciones en los equipos, de modo que se apoya en los documentos y manuales conseguidos. A continuación, se puede ver un ejemplo (tabla 15) de un plan de actividades de mantenimiento para una unidad tipo paquete, mencionada en la tabla 14.

Tabla 15. Actividades de mantenimiento preventivo organizadas de manera cíclica

Tarea	Frecuencia			
	Diaria	Mensual	Semestral	Anual
Sección acondicionadora (interior)				
Limpieza exterior de la unidad	X	X	X	X
Ajuste de los tornillos que sujetan el rotor al eje		X	X	X
Verificación de tensión - banda ventilador (ajustar)			X	X
Revisión de giro libre en el motor - ventilador	X	X	X	X
Revisión de conexiones eléctricas al motor		X	X	X
Verificación de condiciones del condensador			X	X
Inyección de agua a presión para lavar condensador y evaporador (no doblar el aleteado)			X	X
Chequeo de voltajes y amperajes	X	X	X	X
Determinación de temperaturas a la entrada y a la salida del serpentín			X	X
Lavado y cambio de filtro de aire			X	X
Verificación de sello hermético del agua de condensación			X	X
Verificación de nivel de refrigerante			X	X
Chequeo de las conexiones de agua, mangueras y válvulas			X	X
Chequeo de estado de ductería de salida y entrada		X	X	X
COMPRESORES				
Chequeo de voltajes y amperajes		X	X	X
Chequeo de presiones de succión y descarga			X	X
Revisión y ajuste de elementos reductores de vibración		X	X	X
Revisión de válvulas de servicio			X	X
CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN				
Verificación de hermeticidad del sistema		X	X	X
Comprobación de ausencia de humedad			X	X
Revisión o cambio del filtro secador (si se requiere)			X	X
Revisión de carga de refrigerante			X	X
Revisión de aislamiento térmico		X	X	X
SISTEMA ELÉCTRICO				
Revisión y ajuste de tornillos sin conexión		X	X	X
Chequeo de operación de contactores	X	X	X	X
Verificación y ajuste de relés			X	X
Limpieza de contactos eléctricos		X	X	X
Revisión de luces piloto		X	X	X
Revisión de fusibles del control	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia.

Esta programación de mantenimiento permite contar con una temporalidad de los procesos que seguir además de cumplir con lo requerido en los pasos de implementación (una programación para cada ciclo de mantenimiento planificado).

Para la mayoría de estas tareas se van a requerir, como lo menciona el tercer paso, especificaciones y números de parte para cada ítem de esa lista de tareas. Se recomienda generar un listado de repuestos e insumos susceptibles de ser consumidos para cada una de esas actividades, si procede, incluyendo su número de parte, para facilidad de localización en el comercio o en el almacén de la empresa en caso de haber sido ya adquiridos, junto con sus procedimientos de desmontaje y montaje.

Cada una de las actividades mencionadas lleva su propia lista de tareas que, imperativamente, tuvo que ser detallada para el uso adecuado de los operarios. El resultado de este detalle se puede observar en la tabla 16, con el ejemplo para una dobladora de metales.

Tabla 16. Detalle de lista de tareas de una orden de trabajo para el mantenimiento preventivo en el caso 7

Lista de tareas de orden de trabajo OT principal 110024 Mantenimiento mensual dobladora de lámina	
OT SECUNDARIA	Descripción
1000001	Preparar elementos de protección personal.
1000002	Verificar existencia de análisis de trabajo seguro, ATS. En caso contrario, elaborarlo en compañía del personal de seguridad industrial y salud ocupacional de la empresa.
1000003	Alistar herramienta mínima requerida para el trabajo.
1000004	Señalizar área de trabajo, bloquear circuitos y gabinetes eléctricos.
1002400	Hacer limpieza general sección de doblado, eliminando virutas o fragmentos de material de trabajo y disponiendo adecuadamente de ellos.
1002401	Verificación nivel de doblado adecuado, en función de los ajustes recomendados por el fabricante. Utilizar escala y comparador de carátula.
1002402	Revisar vibraciones. Ajustar y reemplazar tonillos, <i>pads</i> antivibratorios si es necesario.
1002403	Revisar ajuste de ejes, utilizando herramientas y elementos de metrología calibrados.
INSUMOS	REPUESTOS
Paq. Paño Gam. Ref. 300457 x 2 un.	Paq. Tornillos - Ref. 1100112 x 12 un. Paq. Pads - Ref. 2100451 x 12 un.

Fuente: elaboración propia.

El grupo de trabajo de mantenimiento definió, asimismo, un grupo de actividades de mantenimiento correctivo que debe realizarse en cuanto se presente una parada no programada. Un ejemplo para este tipo de definición se puede observar en la tabla 17.

Tabla 17. Lista tareas de mantenimiento correctivo

Lista de tareas para una orden de trabajo OT principal 110024 Mantenimiento correctivo manejadora de aire	
OT SECUNDARIA	Tareas paso a paso para la verificación y resolución de problemas
3003440	Obstrucciones en ducterías
3003441	Fugas en ducterías
3003442	Pérdida de presión
3003443	Pérdida a gran escala de refrigerante
3003444	Continuidad de motores
3003445	Estado de cableado de control
3003446	Desajuste de soportes antivibratorios
3003447	Falta de lubricación (ruido excesivo)
3003448	Falla de compresor
3003449	Falla en el ventilador de compresor
3003450	Despresurización de refrigerante
3003451	Golpes externos
3003452	Mal ajuste de tapas externas
3003453	Desgaste de correas
3003454	Señalización del área de trabajo, bloqueo de circuitos y gabinetes eléctricos

Fuente: elaboración propia.

El mantenimiento con calidad, como se mencionó en el Trayecto 2, requiere una serie de diez pasos que hay que adelantar con cuidado, con el fin de *mejorar y sostener*. Con el ánimo de motivar al lector a que elabore su propio plan de calidad en el mantenimiento, se recomienda que evalúe la factibilidad de llevar a cabo las siguientes siete tareas en la organización que puede ser objeto de implementación de TPM:

1. Identificar la situación existente.
2. Restablecer.
3. Analizar las causas.
4. Erradicar las causas.
5. Establecer condiciones.
6. Mejorar condiciones (haciéndolas fáciles de observar).
7. Mantener condiciones (revisar las reglas para verificar que sean observables).

Etapa 3. Aplicación de los pilares de administración temprana de equipos, TPM en oficinas y la sostenibilidad en recursos y tiempo de TPM

La tercera etapa contribuye a asegurar la implementación hasta ahora presentada, la cual combina el pilar de prevención en el mantenimiento PM y el TPM en las oficinas, de forma que se materialicen todas las buenas prácticas para lograr completar el Mantenimiento Total Productivo y su sostenibilidad en el tiempo (figura 41).

Como se mencionó previamente, el pilar de prevención en el mantenimiento se conoce también como *administración temprana de equipos*. Este pilar, específicamente, es objeto de estu-



Figura 41. Tercera etapa de implementación de TPM.
Fuente: elaboración propia.

dio a profundidad en el Módulo Diseño para el Mantenimiento, puesto que se desarrolla toda una metodología en referencia con posterioridad a su aparición como elemento principal de TPM.

Los pasos generales para tener en cuenta en la aplicación de esta estrategia son aquellos ya mencionados en la tabla 1 (Pasos y objetivos en EEM), presentada en el primer Trayecto. Estos pasos pueden contener variaciones o agrupación de los mismos, según lo requieran los diferentes profesionales y organizaciones que lo implementen:

1. Concepto
2. Diseño de alto nivel
3. Diseño detallado
4. Logística y abastecimiento previos a la fabricación
5. Instalación
6. Comisionamiento

A continuación, se sigue otro caso en una compañía productora de bebidas alcohólicas, en la que, desde el punto de vista de sus empleados y, haciendo una revisión del procedimiento seguido, se puede observar las fortalezas de esta implementación de EEM (administración temprana de equipamiento).

Caso 8. Aquí se muestra la ruta de un proyecto EEM (administración temprana de equipamiento) en una planta de producción de bebidas alcohólicas, basado en Querido, Herder, Van der Lei y De Vries (2013). Los pasos básicos utilizados por los gerentes de proyectos, para la mejora o implementación de nueva maquinaria, bajo la estrategia de EEM, son cuatro; también se muestran la labor y observaciones, uno por uno, a continuación:

1. Desarrollo de escenarios e ingeniería de conceptualización. En este paso se hace un estudio dedicado de todas y cada una de las posibles alternativas de solución o mejora (escenarios), con el fin de poder escoger uno para ser sujeto de

inversión. La planta no tiene casi maquinaria nueva, por lo que la introducción de nuevo equipamiento tiene tanta validez como la de mejorar o traer un equipo usado.

2. Ingeniería básica. Luego de haber seleccionado una alternativa de inversión, en este paso el set de profesionales acuerda un listado riguroso de equipos y posibles proveedores, recurriendo al histórico de la planta en términos de mantenimiento preventivo y de EEM anteriores. Es prácticamente claro que toda la información histórica, en referencia al comportamiento de los equipamientos, proviene de todos los demás pilares de TPM.
3. Ingeniería de detalle. En este aspecto es necesario que el proveedor proporcione toda la información de diseño, compra y fabricación de la maquinaria, a partir de las especificaciones proporcionadas por el cliente (en este caso, el fabricante de bebidas alcohólicas). Se elabora un formato de inspección de manufactura final con la anticipación máxima posible. Esto normalmente incluye información básica de la máquina, instrucciones de uso seguro, mantenimiento, peligros potenciales, recomendaciones, etc.
4. Instalación. Todo el procedimiento de instalación es monitoreado de manera cercana por parte del fabricante de bebidas alcohólicas. Lo anterior, igualmente, no le resta margen de maniobra al contratista del nuevo equipo, con el fin de que el mismo haga las pruebas y ajustes que crea conveniente, previos al *test de aceptación en sitio*. Este test contiene todos los posibles escenarios de trabajo del equipamiento y permite evaluar desplazamientos, velocidades, tiempos de reacción y proceso, carga eléctrica, funcionamiento de controles y paradas de emergencia, alternativas en caso de bloqueo de componentes, alarmas en panel de control, temperatura de trabajo de gabinetes y motores, etc.

La evaluación de arranque de las nuevas líneas de producción se acomete con rápidas reuniones diarias en las que se discuten las causas y reacciones a los problemas que se presenten. Es

importante que los operadores y técnicos de mantenimiento estén presentes en estas reuniones, pues puede presentarse divergencia de opiniones lo que lleva a suposiciones acerca de la verdadera naturaleza, extensión o criticidad de un problema discutido sin contar con aquellos que estuvieron presentes.

Es evidente que aquí se utilizarán las herramientas previamente presentadas, Pareto, 5 porqués, lluvia de ideas, etc. y se continúa con la capacitación y entrenamiento de operadores y técnicos de mantenimiento.

Como se observa, no es cuestión de contar con todos los pasos para cualquier proceso de implementación, pues se hace evidente que el coordinador de proceso o proyecto debe privilegiar las alternativas que permitan un manejo eficiente de recursos. Esto se logra con la activa participación de los empleados y la división en grupos de trabajo, siguiendo las diferentes metodologías descritas en este texto.

En el siguiente caso se describirá lo que se espera de una implementación de TPM que incluye su despliegue en oficinas.

Caso 9

Este consiste en el TPM administrativo en la industria automotriz (Basado en Jha y Singh, 2016). En la industria automotriz, nicho en el que se inició la aplicación del TPM en los años sesenta, los retos de mejora industrial pasan por todas las posibilidades. En específico, si ya se hizo la aplicación de las estrategias de mantenimiento autónomo, mejoras enfocadas, mantenimiento planificado y calidad en el mantenimiento, se encuentra, por parte del equipo de evaluación, las siguientes pérdidas en los procesos administrativos y de soporte de la organización:

- Avería de equipo de oficina
- Pérdidas en costos en las áreas de contabilidad, ventas, suministros
- Gastos elevados en despachos o compras urgentes

- Pérdidas de proceso
- Pérdidas de comunicación
- Pérdidas de ajuste y configuración de equipos
- Falta de *stock*

La organización ya ha hecho la implementación de los demás pilares, lo que facilita el proceso de eliminación de estas pérdidas en los procesos administrativos. Una rápida aplicación de 5S en la oficina permite un acelerado proceso de resultados, posibles en horas o días y sus beneficios pueden facilitar su adopción entre los empleados administrativos. A continuación se puede apreciar, en la figura 42, un contraste que describe lo que puede lograrse, en términos de orden y control de elementos, en una oficina con 5S:

En la organización objeto de estudio, se lograron los siguientes beneficios:

- Espacio de trabajo mejor utilizado
- Reducción en el número de archivos
- Reducción de mano de obra
- Ambiente de trabajo estimulante (como lo expresaron los mismos empleados)
- Reducción en costos de administración



Figura 42. Área organizada utilizando 5S y controles visuales.
Fuente: Manos (2010).

- Reducción en los daños del equipamiento
- Reducción de las quejas de clientes (al no tener problemas de despacho a destiempo o de producción demorada al contar con los suficientes recursos y stock de materias primas)
- Reducción de costos de fletes
- Reducción del trabajo repetitivo

Las medidas adoptadas y las eficiencias logradas deben ser manejadas bajo el esquema visto previamente: la mejora continua y la sostenibilidad en el tiempo de todos los procesos de mejora.

Los principios que se han respetado en las anteriores etapas han sido:

- Entrenamiento y capacitación dirigida por expertos y por líderes capacitados multiplicadores
- Elaboración de procedimientos de implementación respetando los principios de seguridad industrial, salud ocupacional, medio ambiente y sostenibilidad
- Integración de todo el personal de la compañía en pequeños grupos de trabajo y análisis de situación
- Utilización de herramientas visuales para señalar el avance y mostrar el nivel de desempeño de la organización y sus componentes

Lo anterior permite tener una serie de pautas para asegurar un éxito de implementación. Los objetivos de TPM se van cumpliendo y el personal se va involucrando para asegurar su adecuada gestión y sostenimiento en el tiempo. Todo el proceso debe realizarse de tal manera que esté sujeto de evaluaciones internas y auditorías externas, si es posible, que puedan demostrar el estado en el que se encuentran los diferentes procesos.

Como se advirtió al comienzo de este trayecto, los resultados se logran con la aplicación de cualquiera de los pilares ya estudiados. Cualquier organización podrá ver un cambio visi-

ble en su desempeño, usando únicamente la estrategia de 5S. Incluso es posible que si no cuenta con recursos suficientes, pero aun así se quiera lograr una mejor productividad, sea aplicada adecuadamente la segunda etapa, de modo que se logre tener resultados de excelencia con certeza, en el corto plazo.

Para terminar, lo más importante es asegurar que el personal esté siempre bien entrenado, la organización labore con las mejores condiciones ambientales y el equipo de TPM reconozca y divulgue los éxitos del trabajo de toda la compañía. El mantenimiento total productivo es, ante todo, un trabajo en equipo y este debe continuar así en el tiempo para asegurar su sostenibilidad.

- Atilgan, C., y McCullen, P. (2011). Improving supply chain performance through auditing: a change management perspective. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(1), 11-19.
- Ben-Daya, M., Kumar, U. y Murthy, D. P. (2016). *Introduction to Maintenance Engineering: Modelling, Optimization and Management*. Hoboken: John Wiley & Sons, Ltd.
- Biehl, N., y Sellitto, M. (2014, 13 de octubre). TPM e manutenção autônoma: estudo de caso em uma empresa da indústria metal-mecânica. *Produção Online*, 15(4), 1123-1147.
- Burhanuddin, M. A., Halawani, S. M. y Ahmad, A. R. (2011). A Costing Analysis for Decision Making Grid Model in Failure-Based Maintenance. *Advances in Decision Sciences*, 19-34.
- Continuous Improvement of Safety, Quality and Productivity. (2017a, 6 de octubre). Chapter 8. Quality Maintenance. Part 1. Lean Manufacturing [entrada de blog]. Consultado en <https://bit.ly/2N11hUK>.
- Continuous Improvement of Safety, Quality and Productivity. (2017b, 16 de octubre). Chapter 8. Quality Maintenance. Part 3 [Entrada de blog]. Consultado en <https://bit.ly/2PmVP0j>.

- Drucker, P. F. (2001). *The Essential Drucker*. Nueva York: Harper Collins Publishers Inc.
- Drucker, P. F. y Macciariello, J. A. (2008). *Management, Revised Edition*. New York, USA: HarperCollins Publishers, Inc.
- Dunn, S. (2003). The Fourth Generation of Maintenance. Consultado en <https://bit.ly/2nMAvEH>.
- Ford, H. y Crowther, S. (2004). *My life and Work*. Fairfield: 1st World Publishing.
- Ginder, A., Robinson, A. y Robinson, C. J. (1995). *Implementing TPM: The North American Experience*. Florida: CRC Press.
- Gupta, P. y Vardhan, S. (2016). Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume in an automobile industry through TPM: a case study. *International Journal of Production Research*, 54(10), 2976-2988.
- Hernández, A. M. y Galar, D. (2014). *Techniques of Prognostics for Condition-Based Maintenance in Different Types of Assets*. Lulea: Lulea University of Technology.
- Hirano, H. (1995). *5 pillars of the visual workplace: the sourcebook for 5S implementation*. New York: Productivity Press.
- Hirano, H. (2016). *JIT Implementation Manual. The Complete Guide to Just-In-Time Manufacturing*. Florida: CRC Press.
- Imai, M. (2012). *Gemba Kaizen* (segunda ed.). New York: McGraw Hill.
- Ireland, F. y Dale, B. G. (2001). A study of total productive maintenance implementation. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 7(3), 183-191.
- Ishikawa, K. (1988). *¿Qué es el control total de calidad?, la modalidad japonesa*. (H. A. Coronado, Ed., M. Cárdenas y H. Salazar Marciales, trads.) Bogotá: Editorial Norma.
- Jha, C. K., y Singh, A. (2016, mayo). Study of total productive maintenance: a case study of OEE improvement in automobile industry, benefits and barriers in TPM implemen-

- tation. *International Journal For Technological Research In Engineering*, 3(9), 2400-2406.
- Juran, J. M. y Godfrey, A. B. (1998). *Juran's Quality Handbook* (quinta ed.). (R. E. Hoogstoel, y E. G. Schilling, eds.). New York: McGraw Hill.
- Kakkar, V., Dalal, V. S., Choraria, V., Pareta, A. S. y Bhatia, A. (Febrero de 2015). Implementation Of 5S Quality Tool In Manufacturing Company: A Case Study. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 4(2), 208-213.
- Kaplan, R. S. y Norton, D. P. (2002). *El cuadro de mando integral: Balanced Scorecard*. Barcelona: Gestión 2000.
- Leflar, J. (2001). *Practical TPM: Successful Equipment Management at Agilent Technologies*. Portland: CRC Press.
- Likert, R. (1967). *The human organization: its management and value*. New York: McGraw-Hill.
- Manuele, F. A. (2003). *On the practice of safety*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Manos, A. (2010, 1 de abril). 5S for the Office - Examples II. Consultado en <https://bit.ly/2CppTDB>.
- Maslow, A. H. (1998). *Maslow on Management*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- McCarthy, D. (2017). *Early Equipment Management (EEM): Continuous Improvement for Projects*. Boca Raton: CRC Press.
- McElroy, T. (2014). *A to Z of Mathematicians*. New York: Info-base Publishing.
- McGregor, D., Bennis, W. G., Schein, E. y McGregor, C. (1966). *Leadership and Motivation: Essays of Douglas McGregor*. Cambridge: MIT Press.
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance*. Woburn: Butterworth-Heinemann.
- Moubray, J. M. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance) Edición en Español*. Lutterworth: Aladon Ltd.

- Naagarazan, R. S. (2005). *Total Quality Management*. Nueva Delhi: New Age International.
- Nakajima, S. (1991). *Introducción al TPM*. Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción S. A.
- Nakajima, S. (2006, 27 de noviembre). *The Principles and Practice of TPM. Webcast mit Seiichi Nakajima, Aufzeichnung seines Vortrags bei einer CETPM Excellence-Tour*. Tokyo: CETPM.
- Nowlan, F. S. y Heap, H. F. (1978). *Reliability-Centered Maintenance*. Springfield: U.S. Department of Commerce National Technical Information Service.
- Osborn, A. F. (1963). *Applied imagination: Principles and procedures of creative problem-solving*. New York: Scribner.
- Parmenter, D. (2007). *Key Performance Indicators: developing, implementing, and using winning KPIs*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Pomorski, T. R. (2004). Total Productive Maintenance (TPM), Concepts and literature review. Consultado en <https://bit.ly/2MdEE3n>.
- Productivity Inc. (1999). *5S for TPM – Supporting and Maintaining Total Productive Maintenance: Participant Guide*. Portland: Productivity Inc.
- Productivity, Inc. (2000). *TPM Report I: 4 TPM Skills Operators Must Have to Understand Their Equipment*. Connecticut: Productivity Inc.
- Querido, D. J., Herder, P. M., Van der Lei, T., y De Vries, P. (29 de Julio de 2013). *Success of Early Equipment Management, Autonomous Maintenance and Training & Education in the start-up of a new production line* (tesis de maestría). Consultado en <https://bit.ly/2zok2Mt>.
- Serrat, O. (2009, febrero). The Five Whys Technique. *Knowledge Solutions*. Asian Development Bank. Consultado en <https://bit.ly/2KPdqKs>.

- Shewhart, W. A. (1939). *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control*. (ed. W. E. Deming,) Dover: Courier Corporation.
- Shirose, K., Yoshifumi, K. y Kaneda, M. (2012). *PM Analysis. An advanced step in TPM implementation*. Boca Ratón: CRC Press.
- Singh, R., Gohil, A. M., Shah, D. B. y Desai, S. (2013). Total Productive Maintenance (TPM). Implementation in a machine shop: A case study. *Procedia Engineering*, 51, 592-599.
- Singh, S. P. (2014). *Production and Operations Management*. New Delhi: Vikas Publishing.
- Suzuki, T. (2017). *TPM in Process Industries*. Abingdon: Routledge.
- Taylor, F. W. (1987). *Los principios de la administración científica*. Buenos Aires: El Ateneo.
- Walton, M. (1986). *The Deming management method*. New York: The Berkeley Publishing Group.
- Wang, L., y Wang, G. (2016). Big Data in Cyber-Physical Systems, Digital Manufacturing and Industry 4.0. *I.J. Engineering and Manufacturing* (4), 1-8.
- Willmott, P. (2000). *TPM - A Route to World Class Performance*. Oxford: Newnes.
- Wittwer, J. W. (2009, 29 de octubre). Vertex42.com. Consultado en <https://bit.ly/2tXVxSa>.
- Yang, B. S., Han, T. y Widodo, A. (2009). Globalization for maintenance management based on e-maintenance. En H. V. Baines, y J. R. Ursah, *Globalization: Understanding, Management, and Effects* (pp. 253-277). New York: Nova Science Publishers Inc.



La preparación editorial del módulo
Mantenimiento integral organizacional estuvo
a cargo de Ediciones Universidad Central.

Se utilizaron en su composición las fuentes Charter,
Rockwell, Helvetica Neue LT STD y Avenir. Se publicó
en diciembre de 2019, en, Bogotá, D. C., Colombia.

Mantenimiento integral organizacional

El mantenimiento integral organizacional tiene como objetivo garantizar el adecuado funcionamiento de las empresas, sus maquinarias y otros recursos, a través de diferentes estrategias correctivas y preventivas. Entre las diferentes estrategias, el Mantenimiento Total Productivo cumple un papel fundamental para la gestión de activos y la eliminación de pérdidas. A lo largo de los tres trayectos dispuestos en este módulo, los lectores podrán conocer las competencias necesarias para planificar, identificar, actuar, verificar y mejorar continuamente los procesos de producción. En primer lugar, encontrarán un recorrido por las diferentes transformaciones en los procesos de producción. Luego, se explora el Mantenimiento Total Productivo por medio de pilares que explican su funcionamiento para cualquier tipo de organización. Para finalizar, se presentan algunos casos en los que se aplican los métodos y herramientas para la implementación del Mantenimiento Total Productivo.