

# FORMACIÓN AVANZADA TPM PARA LÍDERES DE FÁBRICA

Publicidad



**Gestión y desarrollo de los pilares Mejoras Enfocadas,  
Mantenimiento Autónomo y Planificado**

**Madrid - Junio 16, 17 y 18 - 2016**

Este seminario estudia los principios fundamentales de los pilares clave iniciales, procesos de gestión del TPM y liderazgo para implicar a los empleados en el logro de resultados superiores. El programa se ha diseñado siguiendo los lineamientos del Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) para la gestión de plantas "Best in Class"

**Informes:**

**Apsoluti Group**  
[www.apsoluti.es](http://www.apsoluti.es)  
[info@apsoluti.es](mailto:info@apsoluti.es)

## PUNTO DE PARTIDA: MEDIR LA PRODUCTIVIDAD REAL DE LOS EQUIPOS

Por: Humberto Alvarez Laverde

### Pérdida en los sistemas productivos

En la mayoría de instalaciones industriales existen pérdidas que afectan la productividad y capacidad competitiva. La mayoría de ellas permanecen ocultas dentro de las operaciones cotidianas. El TPM es una excelente estrategia para eliminar radicalmente estas pérdidas. Pero es necesario conocer su magnitud y comportamiento en el tiempo, ya que de lo contrario sería imposible valorar si las acciones implantadas surten el efecto esperado. El primer paso que se debe dar para eliminar estas pérdidas consiste en clasificar las pérdidas y mantener registros de información que muestren la evolución de estas pérdidas. Algunas empresas han establecido su propio sistema de clasificación de pérdidas, por ejemplo, la empresa Canon considera las siguientes nueve pérdidas como base para su estrategia de mejora:

- Despilfarro por stocks en proceso*
- Despilfarro debido a defectos*
- Despilfarro en equipos*
- Despilfarro en gastos*
- Despilfarro en personal indirecto*
- Despilfarro en planificación*
- Despilfarro en recursos humanos*
- Despilfarro en operaciones*
- Despilfarro en preparación*

Otra estructura de pérdidas muy utilizada en Japón es la de la empresa Toyota, mostrada en la figura 1. Esta estructura presenta las pérdidas generales que afectan la productividad industrial clasificadas en base a tres tipos de categorías: pérdidas de eficiencia debido al equipo, mano de obra y utilización de materiales y energía. Las estrategias de mejora utilizadas por Toyota como el TPM, JIT, TQC y gestión concurrente para el desarrollo de productos, están relacionados entre sí y tienen un efecto acumulativo en la reducción de las pérdidas identificadas. Las metodologías desarrolladas para cada una de estas estrategias de mejora se combinan para lograr resultados superiores en comparación a las mejoras que se pueden lograr en forma individual con cada una de estas estrategias.

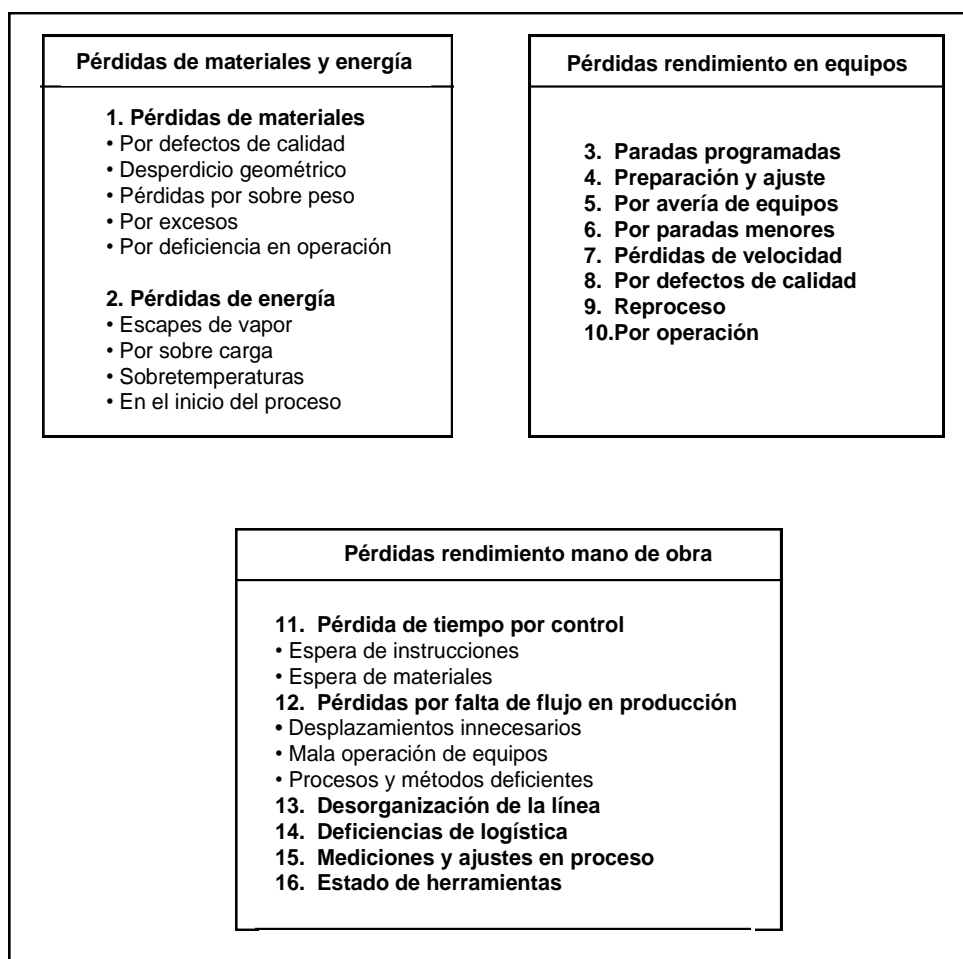


Figura 1. Estructura de pérdidas en el sistema de producción de Toyota

Identificación de las pérdidas en los procesos productivos

La tabla 1 presenta las diferentes pérdidas que impiden la efectividad de los sistemas industriales. Se han empleado para su clasificación las siguientes categorías:

- *Aprovechamiento del equipo*: es una medida que indica el porcentaje de utilización de las instalaciones.
- *Disponibilidad* es un porcentaje de tiempo en que el equipo no funciona y no está disponible para producir, pero estaba programado hacerlo.
- *Rendimiento del equipo* es una medida que expresa si el equipo logra los niveles de producción máximos o teóricos durante el tiempo en que funciona.
- *Nivel de calidad* está medida está relacionada con las pérdidas de tiempo utilizado para fabricar productos que son defectuosos. También se incluyen las pérdidas de tiempo debido a la utilización del equipo para recuperar o retrabajar el producto defectuoso.

<b>Categoría</b>	<b>Tipo de pérdidas</b>	<b>Características</b>
Utilización del equipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdidas por falta de demanda</li> <li>• Pérdidas por paradas planificadas</li> </ul>	Pérdidas que impiden que el equipo sea utilizado todo el tiempo calendario
Disponibilidad del equipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puestas en marcha, cambios de formato, programación, pruebas, etc.</li> <li>• Fallos de equipos, esporádicas y crónicas</li> </ul>	Pérdidas que impiden que se utilice la totalidad del tiempo asignado para producir.
Rendimiento del equipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdidas de velocidad, pequeñas paradas, atascamientos, falta de materiales u operario.</li> </ul>	Pérdidas que impiden que el equipo no pueda operar al máximo nivel.
Índice de calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productos defectuosos</li> <li>• Problemas de calidad producidos por los equipos.</li> </ul>	Pérdidas de tiempo de operación del equipo, al fabricar productos que no cumplen las normas de calidad.

## Tabla 1. Estructura de pérdidas por categoría

### Pérdidas que afectan el aprovechamiento del equipo

#### Pérdidas por paradas programadas debido a falta de demanda

Frecuentemente se consideran como pérdidas las paradas programadas ocasionadas por baja demanda del mercado y que le llevan a una fábrica a reducir el número de turnos. Esta es una pérdida económica importante al no utilizar o *aprovechar* la capacidad total de las instalaciones. Sin embargo, estas pérdidas no se deben a las condiciones técnicas del equipo.

#### Pérdidas por paradas programadas de mantenimiento y otros motivos

Estas pérdidas están relacionadas con el tiempo perdido cuando se detienen los equipos para realizar mantenimiento planificado o actividades programadas con los trabajadores u otro motivo previsto con anterioridad. Frecuentemente esta clase de paradas se asumen como normales y no se realiza un esfuerzo por reducirlas al máximo. Las paradas periódicas de planta se hacen necesarias para mantener el rendimiento y garantizar la seguridad; sin embargo, desde el punto de vista de la efectividad de la planta, el tiempo invertido se debe considerar como una pérdida de aprovechamiento que se debe minimizar.

En estudios realizados sobre este tipo de paradas para mantenimiento, un alto porcentaje del tiempo de la parada se emplea para preparar el equipo para su intervención y luego, para la su puesta en marcha. El porcentaje del tiempo de la parada programada utilizado para la intervención del equipo es relativamente bajo, cerca de 30 por ciento del tiempo total. El resto de tiempo se pierde por falta de planificación y programación eficiente de los trabajos. En algunas plantas japonesas se utiliza el concepto “arranque vertical de equipos”. Este concepto pretende minimizar el tiempo de puesta en marcha de una instalación, debido a que son continuos ajustes requerido para lograr los puntos de operación estándar. Las pérdidas ocasionadas por un sistema de trabajo de ajustar los procesos a través del sistema de prueba y error, incrementan significativamente los tiempos de parada. Las técnicas estadísticas son importantes aliadas para definir los *center lines* o puntos centrales “robustos” donde se debe establece el proceso y donde tendrá la menor dispersión estadística posible.

## **Pérdidas que afectan la disponibilidad**

### Ajustes de larga duración

Estos ajustes son necesarios para intervenir el equipo adecuándolo a las condiciones establecidas en los estándares de calidad y/o seguridad. En algunas empresas consideran que esta clase de paradas deben superar los 30 minutos para ser clasificarla dentro de esta categoría. Este tipo de paradas consumen un tiempo que debería ser utilizado para producir.

### Ajustes a los programas de producción.

Para procesos continuos, estas pérdidas se refieren al tiempo que se pierde o de inactividad cuando se realizan cambios en el aprovisionamiento de materias primas, o cuando las necesidades del mercado cambian y exige ajustar los planes de producción. Aunque, los ajustes de producción y su planificación, se deben a factores externos tales como las tendencias del mercado y los inventarios, son hasta cierto punto inevitables para los productores cuando no disponen de sistemas de producción flexibles.

En algunas empresas los ajustes en los programas de producción se deben a la necesidad de cambiar las materias primas o materiales de empaque debido a que no cumplen las especificaciones de calidad y no se puede finalizar el programa previsto. En estos casos es necesario iniciar un lote diferente al originalmente previsto. El tiempo empleado para parar, cambiar, iniciar y estabilizar el proceso por motivos del ajuste del programa de producción, se considera como pérdidas que se puede reducir significativamente.

Además de la aplicación de conceptos de producción como diseño modula, tecnologías postponement útiles en entornos *mass customization*, se pueden utilizar estrategias SMED (Single Minute Exchange Die) o técnicas de cambio rápido de herramientas para flexibilizar la planta y prepararla para responder a estos cambios frecuentes de tamaño de lote. Los principios del sistema Justo a Tiempo pueden ofrecer beneficios de mejora de la flexibilidad de la planta. El sistema JIT requiere optimizar los flujos de materiales en planta, polivalencia del trabajador, equipos sin averías y un cierto grado de mejora en la tecnología de los equipos. Para que una empresa pueda lograr los mejores beneficios de la flexibilidad, se deben mejorar los canales de comunicación con clientes y proveedores.

### *Pérdidas por averías de los equipos*

Estas pérdidas están relacionadas con las paradas repentinas de los equipos debido a que pierden su función específica. Según T. Suzuki experto del Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) existen dos tipos de averías relacionadas con los fallos de los equipos.

- Pérdida por fallo de la función principal. Esta ocurre cuándo una máquina o un equipo, repentinamente pierde sus funciones específicas y se detiene el proceso o la planta. Estas pueden ser: rotura de elementos mecánicos, estrellada de herramientas, fatiga de materiales, calcinación de elementos, falta de respuesta de sensores en instrumentación, problemas del software, etc.
- Pérdidas por disminución de su función. Estas ocurren cuando se reduce el rendimiento estando en operación la planta o fábrica. Un ejemplo frecuente de esta clase de pérdidas se encuentra en el proceso de inyección de piezas en plástico. Cuando en un molde de varias cavidades se presenta un problema mecánico en una de ellas, esta se tapona y el equipo continúa trabajando con una pérdida de rendimiento representada en un número inferior de piezas producidas.

### Pérdidas por paradas debido a pruebas

Cuando es necesario realizar pruebas en el equipo por motivos técnicos, el tiempo empleado en estas pruebas se considera como un factor que afecta la disponibilidad del equipo. Se considera pérdida total si el producto fabricado durante las pruebas no se puede comercializar.

### Pérdidas por fallos en la operación de equipos o fallos de proceso.

Estas pérdidas están relacionadas con las paradas de los equipos como resultado de factores externos y no causados por averías del equipo. Pueden ser errores de operación o cambios en las propiedades físicas o químicas de los materiales que se procesan. Las pérdidas no producidas por los equipos se pueden eliminar con acciones de formación intensa, mejora de la estandarización de procesos e incremento del conocimiento de los responsables de la operación.

## **Pérdidas que afectan el rendimiento del equipo**

### *Reducción de velocidad*

Estas pérdidas están relacionadas con la reducción del rendimiento a causa de la pérdida de las condiciones nominales de trabajo del equipo y por otras condiciones relacionadas con la falta de experiencia, conocimiento del equipo o inseguridad del operador para obtener el máximo resultado del equipo. En manufactura esta clase de pérdidas se refieren a la pérdida de velocidad de los equipos por diferentes motivos.

El caso típico de esta pérdida se presenta cuando se opera a baja carga o a baja velocidad un equipo o planta debido a que una bomba que impulsa un producto no posee la capacidad requerida. Cuando una planta funciona con valor de *output* inferior a la nominal, la diferencia entre el real actual y el esperado se considera como una pérdida de producción anormal. Otro ejemplo de esta clase de pérdidas se presenta cuando un equipo por falta de limpieza del intercambiador de calor, presenta problemas de refrigeración y no se puede operar a las condiciones de diseño. En algunas plantas se producen esta clase de pérdidas debido a la necesidad de reducir la velocidad por problemas de calidad. El operador al identificar defectos en el producto decide disminuir el ritmo de trabajo para evitar atascamientos, defectos de calidad, ruidos molestos, etc. Estas pérdidas afectan el nivel nominal de rendimiento de los equipos. En algunas compañías se ha establecido un tiempo de 30 minutos como el valor máximo para considerarse una parada como corta. Si se supera este valor, la parada se considera dentro de la categoría de ajustes que afectan la disponibilidad o paradas de larga duración.

### Ajustes y otras paradas cortas

Estas pérdidas se relacionan con las pérdidas de rendimiento que ocurren durante la producción normal por pequeños ajustes debido a la pérdida de precisión, cambio de herramientas que se desgastan, arranques y paradas de equipos, etc. Existen numerosos factores que afectan la variabilidad del proceso y que impiden su estabilización. Por ejemplo, las dimensiones de un producto se ven afectadas por la pérdida de las características de una herramienta de corte. El tiempo que se tarda para cambiar una bobina de papel que se ha terminado en ciertas estaciones de empaque. Estas paradas se deben considerar como pérdidas



normales en producción, ya que al agotarse la bobina de papel es necesario poner la nueva bobina en su sitio para continuar la operación.

### **Pérdidas que afectan el nivel de calidad**

Pérdidas debido a la fabricación de productos que incumplen las especificaciones de calidad.

Estas pérdidas se producen debido al incumplimiento de las condiciones pactadas con el cliente o de las normas establecidas internamente por la empresa o un por organismo exterior a ella. Estas pérdidas están relacionadas con la mala calidad del producto causada por el deficiente funcionamiento de un equipo de producción, problemas de calidad de materias primas, desconocimiento de estándares de calidad, deterioro del producto por mal manejo en el puesto de empaque, etc. Algunas empresas clasifican las pérdidas de calidad en tres categorías: 1) debido al estado del equipo, 2) mala operación de los equipos y 3) problemas con las materias primas utilizadas. Estas categorías de pérdidas requieren estrategias diferentes de actuación para eliminar las causas y lograr mejorar la calidad del producto.

#### *Pérdidas por reproceso*

Estas son las pérdidas de tiempo debido a la necesidad de utilizar el equipo o planta para recuperar el material defectuoso. El producto defectuoso debe volver al proceso previo para convertirlo o recuperarlo como apto desde el punto de vista del cumplimiento de las especificaciones técnicas y de calidad. Se debe reconocer que recuperar un producto defectuoso es una acción que conduce a pérdidas importantes de tiempo, materiales y energía. Las metodologías de ingeniería de calidad y mejora continua de calidad son tanto útiles como eficaces para eliminar esta clase de problemas. Existen ciertas industrias donde es imposible de recuperar el producto defectuoso, ya sea por motivos técnicos, política de empresa, riesgo para el cliente o factores económicos. Las cifras por pérdida de calidad pueden ser cuantiosas.

### **Medidas Clave del TPM**

#### *Productividad Total de los Equipos (PTE)*

Esta medida es muy útil para la dirección de una planta, ya que le indica *la productividad real efectiva* de las instalaciones industriales. Esta medida se compone de los siguientes factores:

- *Aprovechamiento del Equipo (AE)*: Es una medida del grado de utilización del equipo en actividades productivas. Representa el porcentaje del tiempo que realmente se utiliza el equipo. Esta es una medida de la capacidad directiva para gestionar las operaciones de la compañía.
- *Efectividad Global del Equipo (EGE)*: es una buena medida del estado de funcionamiento general de los equipos. La EGE está compuesto por tres índices: disponibilidad, rendimiento y nivel de calidad.

**PTE = Aprovechamiento del Equipo X Efectividad Global del Equipo**

$$\text{PTE} = \text{AE} \times \text{EGE}$$

*Efectividad Neta de los equipos (ENE)*

Esta medida muestra claramente la verdadera efectividad y calidad del equipo mientras está en funcionamiento. Es una medida orientada a valorar la calidad técnica del equipo, ya que *no considera las paradas programadas y los tiempos de preparación*, cambios de herramientas o formato y ajustes. Es un reflejo del verdadero estado técnico del equipo. Esta es una medida que puede ser utilizada por los ingenieros y técnicos de mantenimiento para valorar el estado de la maquinaria.

**ENE= Relación de Funcionamiento X Nivel de Rendimiento X Nivel de Calidad**

**Cálculo de las medidas PTE, EGE y ENE**

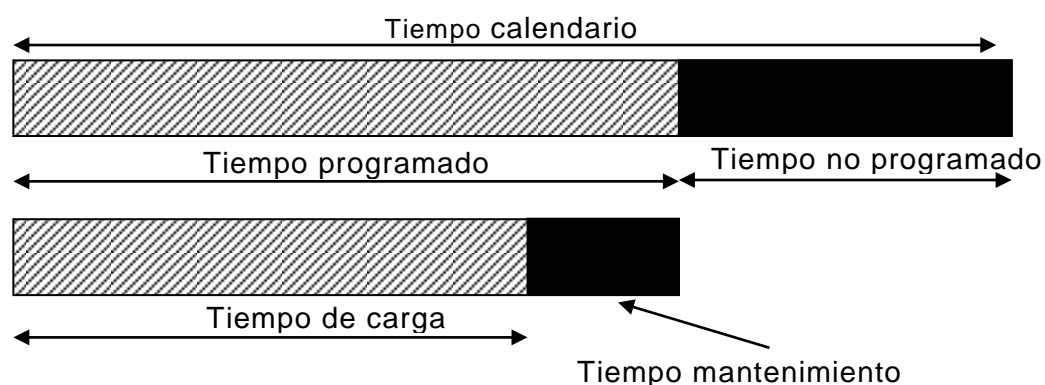
El punto de partida para el cálculo de las medidas de productividad de los equipos es la obtención del tiempo calendario que debería funcionar una instalación.

*Tiempo calendario.* Es el tiempo teórico máximo expresado en horas que un equipo puede trabajar, esto es, 8760 horas para un año (365 días x 24 horas).

*Tiempo no programado (A):* es el tiempo en horas que un equipo no ha sido programado para producir. Por ejemplo, si un equipo trabaja durante un mes a dos turnos (de 8 horas), el tercer turno es el tiempo no programado.

*Tiempo programado.* Es el tiempo que el equipo trabaja de acuerdo al plan de producción. Se obtiene restando el tiempo no programado del tiempo calendario.

*Tiempo de carga.* Es el total de tiempo que se espera que el equipo o planta opere. Se obtiene restando del tiempo programado, el tiempo de las paradas programadas por mantenimiento planificado y otras actividades programadas con el personal.



**Figura 2. Estructura de los tiempos para el análisis de pérdidas**

*Paradas programadas (B).* En este tiempo se incluye el tiempo empleado para realizar acciones de mantenimiento periódico, paradas anuales de planta, reparaciones importantes y el mantenimiento o inspección de rutina. En algunas oportunidades es necesario parar una línea o equipo, debido a la necesidad de realizar reuniones informativas con los operadores. El tiempo de esta clase de actividades planificadas se debe incluir como parte de estas paradas y afectan al tiempo de carga.

*Cálculo del aprovechamiento del equipo (AE)*

Los factores que se tienen en cuenta para el cálculo del Aprovechamiento del Equipo (AE) son:

*Tiempo total perdido por paradas programadas (TPP = A+B)*. Este tiempo se obtiene sumando el total del tiempo que no se ha programado debido a las condiciones de demanda y el tiempo empleado en las paradas programadas u otras condiciones como reuniones.

El aprovechamiento del equipo (AE) se calcula de la siguiente forma:

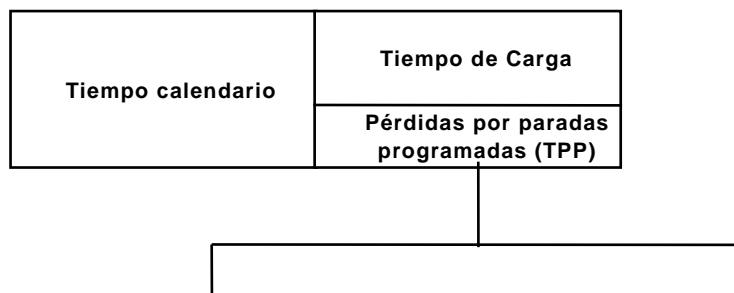
$$\text{Aprovechamiento del Equipo (AE)} = \frac{(\text{Tiempo calendario} - \text{Total tiempo paradas programadas}) \times 100}{\text{Tiempo calendario}}$$

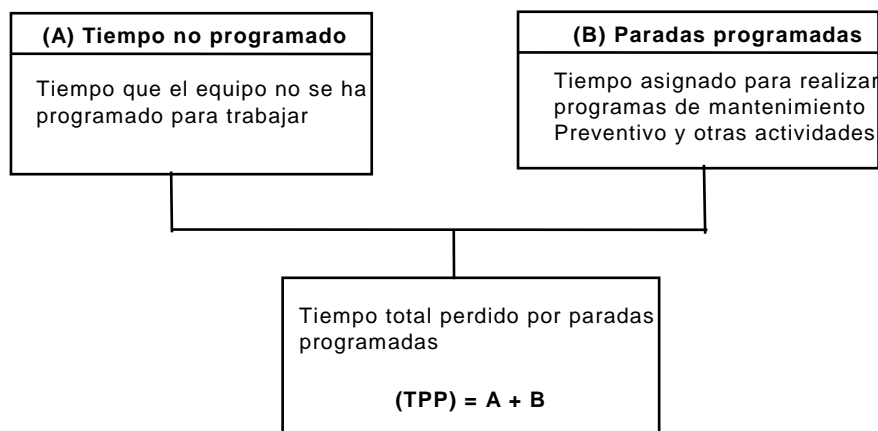
El aprovechamiento del equipo (AE) tiene una fuerte relación con el retorno de la inversión (ROI), otros conceptos financieros y los costes del producto. Es una medida gerencial sobre la forma como se están utilizando las inversiones que la empresa realiza en equipos.

### **Cálculo de la Efectividad Global de Equipo (EGE)**

#### *Disponibilidad*

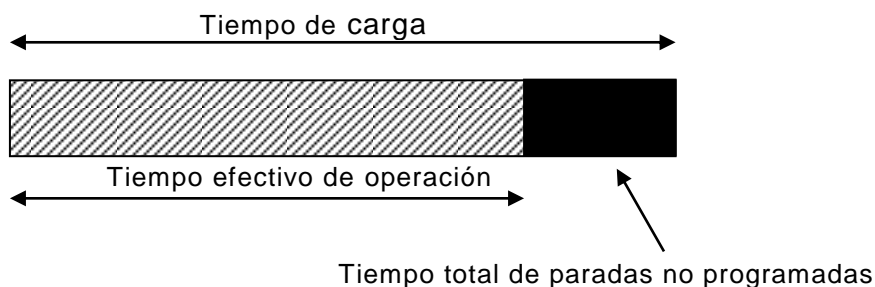
La Disponibilidad es una excelente medida de la capacidad de uso del equipo durante el tiempo programado. En equipos que se encuentran saturados y trabajan permanentemente, como en procesos continuos, la disponibilidad está relacionada con la eficacia de las operaciones de mantenimiento y la gestión global de los equipos, ya que depende principalmente del tiempo perdido debido al estado de conservación del equipo. Representa la fracción o porcentaje de cuanto tiempo se dispone el equipo para que funcione sin detenerse durante el tiempo programado. Para valorar la Disponibilidad se debe conocer el tiempo total de paradas no programadas (TPNP).





**Figura 3. Cálculo del tiempo de carga**

*Tiempo efectivo de operación.* Es el número de horas que opera efectivamente la planta. Se obtiene restando del tiempo de carga, el tiempo que se pierde debido a paradas por averías de los equipos, fallos en el proceso por factores externos a los equipos y cambios en el programa de producción que implican parar los equipos para realizar modificaciones. El tiempo efectivo de operación se ve afectado por cualquier tipo de parada no programada. Algunas empresas incluyen en esta categoría, las pérdidas de tiempo producidas por cambios repentinos en los programas de producción, debido a que un cierto cliente clave ha solicitado un pedido urgente que no estaba planificado e implica un tiempo de espera para acondicionar el proceso para fabricar el producto solicitado. La Figura 4 muestra estas relaciones.



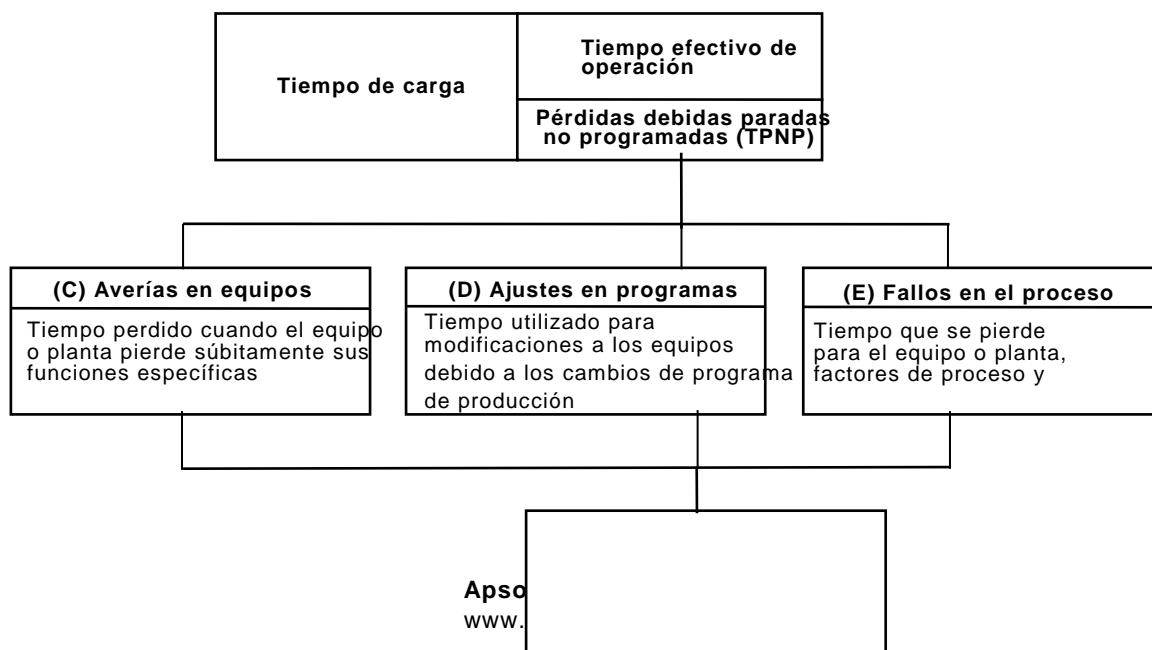
**Figura 4. Tiempo efectivo de operación**

*Averías y fallos de equipo (C).* Son pérdidas drásticas inesperadas que se producen cuando el equipo pierde su función principal. En las plantas

productivas se invierte un alto porcentaje del tiempo en su solución o prevención, sin embargo, son las más difíciles de eliminar en forma definitiva. Este factor contribuye significativamente a la disminución de la Efectividad Global del Equipo.

*Ajustes a los programas de producción (D).* Son las pérdidas de tiempo productivo que se producen debido a cambios en los programas de producción y suministros. En algunas plantas se considera que estos ajustes afectan la disponibilidad cuando su duración es superior a 30 minutos. De lo contrario, se deben considerar como factores que afectan el rendimiento del equipo o proceso.

*Fallos en operación de equipos o fallos de proceso (E).* Esta clase de pérdidas se deben a problemas diferentes a los producidos por averías en los equipos pero que también detienen el funcionamiento del equipo o instalación. Estas paradas pueden tener su origen en las características de los materiales que se procesan como viscosidad, abrasión, tamaño de partículas y otros fenómenos físicos que afectan al equipo, como suciedad, taponamiento, fugas, etc. Factores estos que deterioran el grado de funcionamiento del equipo y que en numerosas oportunidades son debidas a mala operación o deficiencia de las materias primas. Esta clase de problemas para resolverlos requieren metodologías de calidad, análisis de procesos, técnicas TPM, análisis de materiales, técnicas de estadística industrial, materiales, ensayos de laboratorio, etc. Estos problemas son complejos y en numerosas oportunidades están muy relacionados con la competencia técnica de los operadores, lo cual hace muy difícil el diagnóstico con métodos cuantitativos.



Total tiempo perdido por paradas  
debidas a fallos en equipos  
y cambios en el proceso

$$(TPNP) = C + D + E$$

### Figura 5. Cálculo del tiempo perdido por paradas no programadas

*Tiempo total perdido por paradas no programadas (TPNP = C+D+E).* Este tiempo se obtiene sumando el total de tiempo que el equipo o instalación ha estado detenida debido a los tres factores (C,D,E). Se contabiliza el tiempo desde el momento en que se detiene el equipo o identifica el fallo, hasta que se repara y se logra que la primera unidad de producto salga dentro de las características de calidad exigidas. Las paradas debidas a ajustes del programa de producción son consideradas como factores que afectan la disponibilidad. No se han incluido como paradas programadas, debido a que estas se asumieron como las paradas previstas para no trabajar, con el propósito de facilitar el cálculo de la utilización efectiva del equipo. Una parada debido a cambio de programa afecta la forma como se utiliza el equipo durante el tiempo programado. Algunas empresas no incluyen las paradas por cambio de programa en este apartado y prefieren considerarlas como paradas que afectan el aprovechamiento del equipo (AE), ya que buscan valorar la capacidad de gestión de sus directivos, debido a que en muchas ocasiones los cambios de programa de producción se deben a errores de coordinación entre las áreas comerciales y los responsables de los programas de producción. Es importante que la empresa establezca criterios y se mantengan estos a través del tiempo para facilitar la comparación. Estas medidas se deben personalizar para cada situación del proceso e inclusive para cada equipo.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de carga} - \text{Tiempo total por paradas no programadas}}{\text{Tiempo de carga}}$$

*Rendimiento del equipo.*

El nivel de rendimiento es una medida que indica si el equipo funciona a los máximos niveles esperados. Es posible que un equipo tenga una alta disponibilidad, sin embargo, debido a problemas técnicos no puede operar con el nivel de eficiencia más alto posible. Es frecuente en las empresas japonesas valorar el rendimiento en relación a un valor ideal o teórico, que en la mayoría de los casos, no es posible lograrlo, sin embargo, muestra el rango potencial de oportunidad de mejora que tiene el equipo. Para calcular la pérdida de rendimiento es necesario valorar los siguientes parámetros:

*Tiempo de operación neto.* Es el tiempo durante el cual el equipo o planta produce al nivel máximo posible. En algunas empresas este valor se asume como el estándar, en otras compañías se asume el valor de diseño o inicial utilizado cuando se puso en marcha la instalación. Nuevamente en cada planta se deben establecer los criterios para su medición. Algunas empresas tienen dificultades para establecer el valor objetivo, ya que por una misma instalación se fabrican productos con diferentes niveles de rendimiento y tiempo, ya que la calidad o complejidad del producto implica cambiar los tiempos estándar. En estos casos se ha tomado como referencia para la medición aquel producto que se fabrica en mayor volumen o el producto que tiene márgenes económicos críticos. Lo importante es tener una medida que permita valorar si las acciones de mejora surten efecto y su magnitud. Seguramente los beneficios obtenidos en un producto, se transfieren a los restantes productos.

En procesos compuestos por líneas de producción con varias etapas, alguna de las estaciones son considerados como “cuellos de botella”, ya que limitan el rendimiento general de la línea. Para valorar el rendimiento de la línea en esta clase de procesos existe una práctica extendida que consiste en valorar la Efectividad Global de Equipo (EGE) de la estación “cuello de botella” y asignar el valor calculado a toda la línea, ya que debido a las limitaciones del equipo las restantes estaciones de trabajo no pueden alcanzar el valor máximo de EGE. Sin embargo, la medida individual de EGE es muy útil para conocer o identificar cual es el equipo crítico y que impide el rendimiento general de la línea.

El tiempo de operación neto se obtiene restando del tiempo efectivo de operación, el tiempo equivalente a las pérdidas de rendimiento y baja velocidad.

*Pérdidas en producción normal (F).* El tiempo transcurrido durante el arranque de una planta o puesta a punto de un equipo, para alcanzar los niveles estándar de producción o de calidad. Se considera como pérdida, debido a que el proceso



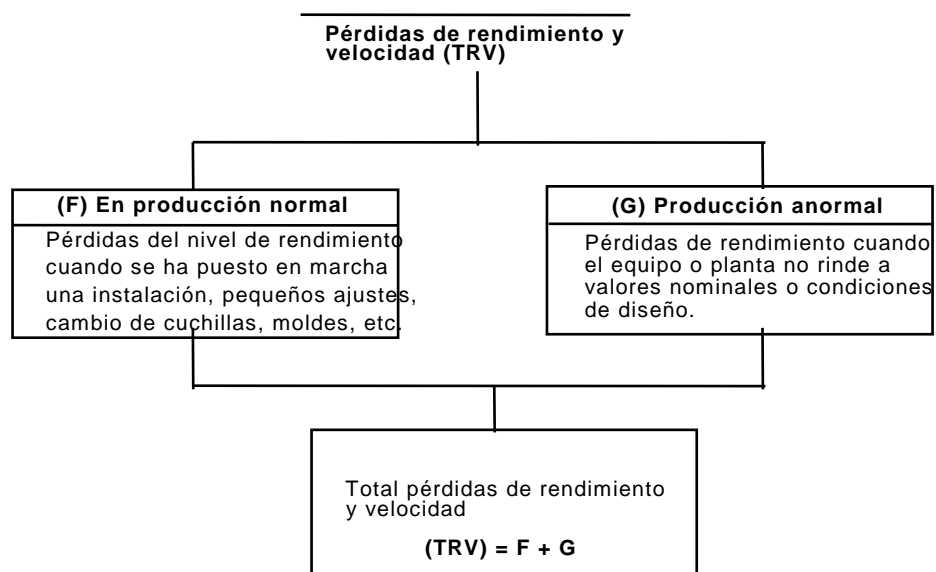
no rinde a plena capacidad. Algunas veces por necesidad de los programas de producción, es necesario cambiar moldes o herramientas que tienen corta duración, estas paradas se consideran como pérdidas que afectan el rendimiento. Si las paradas por este motivo son de larga duración, se consideran como pérdidas de disponibilidad. En manufactura es frecuente utilizar el valor máximo de 30 minutos como referencia para asignar esta parada como una pérdida de rendimiento.

*Pérdidas en producción anormal (G).* Son pérdidas de rendimiento que se producen cuando un equipo o planta trabaja por debajo de su nivel estándar. Estas pérdidas se deben a pérdidas de velocidad por no poder operar el equipo en su nivel de diseño. Cuando el operario no conoce las especificaciones del equipo y decide bajar la velocidad, evitando alcanzar el régimen normal de trabajo. Obstrucción parcial de filtros, pequeñas paradas por atascamiento del producto que exigen acciones con máquina parada para su corrección. Pérdidas de velocidad de motores debido a disminución temporal de la tensión en líneas eléctricas, todas estas causas afectan el nivel de rendimiento del equipo.

*Pérdida total de rendimiento y velocidad (TRV = F+G).* Es la suma de las pérdidas (expresadas en tiempo) debido a paradas por producción normal y el tiempo adicional utilizado al no poder producir a la velocidad de diseño.

*Cálculo del Rendimiento del equipo.* Este índice representa el nivel de efectividad del proceso asumiendo que el equipo no tiene paradas programadas de ningún tipo. Debido a la dificultad de obtener los datos de todas las pequeñas paradas y pérdidas de velocidad, Nakajima un experto del JIPM, sugiere que este índice se puede obtener dividiendo el nivel de producción real sobre el nivel de producción teórica o capacidad máxima de producción tomando el valor de diseño de la instalación. Esta forma de cálculo incluye la totalidad de factores que reducen el rendimiento, pero tiene la desventaja de ocultar los detalles de las causas principales de la pérdida de rendimiento. Sin embargo, este sistema de cálculo tiene la dificultad de identificar el valor teórico del ciclo de producción y este puede cambiar debido a que en una instalación se pueden fabricar varios productos y cada uno de estos puede tener un valor diferente de capacidad máxima de producción.

<p><b>Tiempo efectivo de operación</b></p>	<p><b>Tiempo de operación neto</b></p>
--	--



**Figura 6. Cálculo de las pérdidas totales de rendimiento**

Algunas empresas preparan registros estadísticos que reflejen la variabilidad del índice de rendimiento del equipo y realizan estudios estadísticos para establecer un valor promedio. Algunas empresas prefieren calcular la efectividad y llevar registros para cada producto. Siendo frecuente, como se comentó previamente, el cálculo del nivel de rendimiento con el producto que contribuye más al volumen, beneficio económico o satisfacción de las necesidades del cliente. Lo más importante es contar con una medida que muestre que realmente se está mejorando la instalación con las acciones TPM. El propósito finalmente no es en sí la medida, sino establecer el programa de mejora de la productividad de las instalaciones.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Nivel medio producción actual}}{\text{Nivel teórico de producción}}$$

*Índice de calidad*

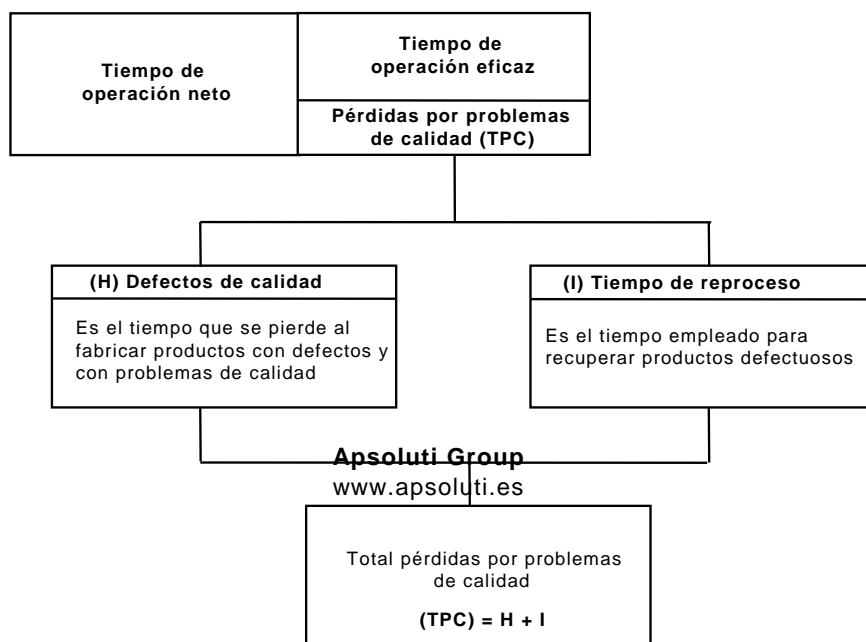
Esta medida representa el grado de efectividad que tiene un equipo para lograr los estándares de calidad del producto que se fabrica. Representa *el tiempo* que el equipo opera para fabricar productos satisfactorios de acuerdo a los parámetros de calidad. Los productos que incumplen las especificaciones utilizan un tiempo determinado del equipo para su producción y finalmente este se pierde debido a que no son aptos para comercializarlos. El cálculo de esta medida incluye:

*Tiempo de operación eficaz.* Es el tiempo durante el cual el equipo o planta produce bienes óptimos de calidad. Se obtiene restando del tiempo de operación neto, el tiempo empleado para fabricar productos defectuosos y el tiempo necesario para recuperar o rehacer los productos defectuosos.

*Pérdidas por defectos de calidad (H).* Las pérdidas debidas a los productos defectuosos afectan el rendimiento, debido a que el tiempo empleado en su producción se pierde; si el producto se puede rehacer, este consumirá un tiempo adicional del equipo para este trabajo.

*Pérdidas al rehacer y recuperar el producto (I).* Es la pérdida de tiempo, energía y otros recursos empleados para rehacer el producto defectuoso y convertirlo en aceptable. Por ejemplo, productos contaminados que se deben someter a filtrado o selección.

En algunas empresas la recuperación del producto defectuoso se realiza en otro equipo o fuera de las instalaciones de la empresa. Desde el punto de vista de la productividad real del equipo en el que se fabrica inicialmente el producto, el tiempo de recuperación del producto defectuoso no se incluye en el cálculo de pérdida por defectos de calidad. Desde el punto de vista de la productividad total de la empresa es un factor importante a tener en cuenta.



### Figura 7. Cálculo de pérdidas por problemas de calidad

*Total de pérdidas por calidad (TPC = H+I).* Se suman las pérdidas de tiempo utilizado para fabricar productos con defectos de calidad y el tiempo empleado para su recuperación dentro del mismo proceso.

$$\text{Nivel de calidad} = \frac{\text{Volumen de producción} - (\text{Productos defectuosos} + \text{Productos recuperados})}{\text{Volumen de producción}}$$

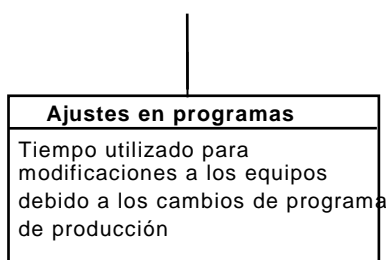
### Cálculo de la Efectividad Neta del Equipo (ENE)

Esta medida se relaciona con la capacidad técnica del equipo ya que *no se incluye* en su cálculo las paradas por motivos diferentes a las condiciones físicas del equipo. La ENE se calcula teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

$$\text{ENE} = \text{Relación de Funcionamiento} \times \text{Nivel de Rendimiento} \times \text{Nivel de Calidad}$$

*Relación de funcionamiento del equipo.* Para calcular la relación de funcionamiento es necesario calcular el tiempo de funcionamiento del equipo, esto es, al tiempo de carga se le resta las paradas de preparación y ajustes realizados. El resultado es el tiempo en que el equipo esta dedicado a la actividad de obtener productos.

<b>Tiempo de carga</b>	<b>Tiempo de funcionamiento</b>
	<b>Pérdidas debidas paradas por ajuste del programa</b>



La relación de funcionamiento de los equipos es la fracción obtenida entre el tiempo de funcionamiento y el tiempo de carga. Es una medida de cuanto tiempo el equipo funciona sin detenerse y la magnitud del efecto de las averías y fallos durante el tiempo previsto para producir. Es una medida de fiabilidad de las instalaciones.

$$\text{Relación de funcionamiento} = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento}}{\text{Tiempo de carga}}$$

### Recomendaciones

El modelo de evaluación expuesto se debe ajustar al tipo de planta. Se recomienda estratificar esta medida por línea, o subproceso para efecto de observar si las acciones de mejora surten efecto y su magnitud. Cuando se evalúa la EGE total de una instalación compleja, es posible que esta medida se vea afectada por situaciones diferentes a las mejoras realizadas, esto es, por la combinación de los diferentes comportamientos de los subprocesos, paradas de procesos que afectan a los siguientes, calidad de materiales y el efecto considerado por los expertos estadísticos como “multivariable”. Una medida general de EGE de una instalación no es aconsejable por este motivo. La EGE es muy útil para el seguimiento de acciones concretas que se realizan en un equipo o instalación acotada. Masao Akiba comenta al respecto:

“Existen dos puntos de vista principales con el asunto de la productividad: el punto de vista de la medición y el punto de vista del mejoramiento. La dirección de la productividad total toma el último.” Akiba sugiere a los directivos: “Se debe examinar el proceso mismo de producción y decidir cuánto tenemos que

mejorar las capacidades. Debemos hacer que el sistema de producción sea transparente...la gestión de la productividad se debe orientar a predecir qué grado de mejora de productividad resultará si mejoramos aspectos particulares del sistema en cantidades particulares...”

“La gestión no se debe centrar en la búsqueda de un más alto nivel de EGE. El propósito de la dirección debe ser el de definir objetivos superiores de empresa que se deben lograr con la utilización de acciones orientadas a la mejora de la EGE”. Los objetivos totales de empresa como los define Akiba, son los objetivos estratégicos de la empresa. Estos son los que realmente son útiles para medir el grado de mejora integral de la empresa. Medir el EGE le sirve a los niveles operativos para valorar las acciones puntuales. Pero la mejora general de la empresa debe ser vista como un sistema compuesto por subprocesos de mejora. La suma de las mejoras individuales de la productividad de todos los procesos nunca será igual a la suma de la mejora de la productividad de todo el sistema, ya que existen interrelaciones entre los procesos. La propuesta para la dirección debe ser la de medir la mejora global de la empresa en base al logro de metas las estratégicas del negocio. Finalmente, Akiba presenta en sus estudios algunas diferencias entre el enfoque de medir la productividad y el enfoque de mejorar la productividad:

“El enfoque de medición de la productividad se propone expresar el estado de la producción, tratando al proceso de producción como a un sistema de causas y efectos y comparando los efectos con las causas. El enfoque de mejora de la productividad se propone elevar las capacidades de producción de la organización en las direcciones requeridas, tratando el proceso de producción como un sistema de objetivos y llevando a cabo las actividades que satisfagan los criterios de selección de las estrategias, resultando en el logro de los objetivos totales de la organización”.

## **Bibliografía**

- Manual de Coordinadores TPM. Humberto Alvarez Laverde. AMS Press. 1994
- Misión: Cero Averías. Humberto Alvarez Laverde. AMS Press. 2002
- La esencia del TPM. Humberto Alvarez Laverde. AMS Press. 2007
- TPM en industrias de proceso. R. Suzuki. Productivity Press. 1996
- El sistema de producción de Canon. Japan Management Association. 1984
- Sistema de producción de Toyota. Yasuhiro Monden. IESE. 1986

- Corporate diagnosis: setting the global standard for excellence. Thomas Jackson. Productivity Press. 1997
- La gestión eficaz. Giorgio Merli. Editorial Díaz de Santos 1997
- Profit beyond measure. H. Thomas Jonson y Anders Bröms. Editorial Free Press. 2000
- TP management, theory and practices. JMA. 1994

