

Este documento se cita como

Garcia-Sabater, Jose P. (2021)
Máquinas y Operaciones. Nota Técnica
RIUNET Repositorio UPV
<http://hdl.handle.net/10251/151133>

MÁQUINAS Y OPERACIONES. NOTA TÉCNICA

Contenido

Máquinas y operaciones. Nota Técnica.....	1
Introducción	1
Útiles, Herramientas y Máquinas	2
Máquinas grandes o pequeñas	3
Las razones por las que las máquinas no producen todo lo que pueden	3
El OEE	4
Disponibilidad: Preparación y Reparación de Máquinas.....	5
Eficiencia: Máquinas Lentas	7
Calidad: Problemas de calidad	8
La Automatización	8
Ventajas de la Automatización	8
Simplificar y Mecanizar antes de Automatizar	9
Jidoka: Automatización con respeto al factor humano.....	9
Adquisición y Renovación de equipos	10

INTRODUCCIÓN

Nada hay más improductivo que invertir en una máquina que consuma energía para producir nada de valor.

Por eso al enfrentar la automatización de un proceso primer hay que simplificar (eliminando lo que no añade valor), luego mecanizar (incorporar las herramientas que facilitan el proceso de añadir valor) y finalmente -sólo si es necesario- automatizar.

La mayor parte de los propietarios se sentirán más orgullosos de gastarse un millón de euros en una máquina, que invertir cien mil en mejorar los procesos. Quizá porque da



This obra by Jose P. Garcia-Sabater is licensed under a
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-
CompartirIgual 3.0 Unported License.

Máquinas y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/151133>

ROGLE - UPV

por supuesto que las cosas no se pueden hacer mejor y más rápido con los mismos recursos (es posible que incluso lo haya intentado).

Y no digamos el ingeniero, pues ya se sabe que el ingeniero no es el que tiene ingenio, sino el que desarrolla ingenios. Y dado que la ingenuidad patria no los puede desarrollar al menos los compra a los ingeniosos ingenieros extranjeros.

No sólo la propiedad, también las administraciones públicas, en su loca carrera por ser más, financiarán con los impuestos de los trabajadores, la compra de máquinas alemanas, que reducirán en un 90% el número de trabajadores nacionales necesarios, antes que financiar la simplificación y mecanización de los puestos de trabajo.

Y hasta los mismos trabajadores, considerarán que están en una empresa de éxito cuando vean a la propiedad, invertir en una máquina enorme que no saben manejar (quien dice máquina dice ERP), antes que dedicar tiempo a mantener y cuidar la pequeña máquina (ya amortizada) con la que saben hacer más cosas que el nuevo ingenio permite, sin traer al ingeniero norte-europeo pagándole 5 veces más de lo que ellos cobran en todo el año.

Y ¿qué decir de los clientes? Es generalmente aceptado que la calidad de los productos es mejor cuanto más automatizado esté un proceso. Por eso los tomates del supermercado están tan buenos, porque su proceso productivo ha sido automatizado.

Tan esenciales son las máquinas en una organización moderna que muchos creen que no es organización si no se ha automatizado. Es de hecho, uno de los modos que tiene la nueva dirección de mostrar sus intenciones al incorporarse a la empresa.

Y en la loca carrera por automatizar se olvida que primero hay que simplificar y luego mecanizar. Todo lo dicho anteriormente vale tanto para las máquinas físicas como para el software que cada día más gobierna las organizaciones de tal modo que la frase del conde de Romanones "*Ustedes hagan la ley que yo haré el reglamento*" se podría traducir al siglo XXI por un:

Ustedes hagan el reglamento, que yo programaré el sistema informático

ÚTILES, HERRAMIENTAS Y MÁQUINAS

Son útiles los utensilios que hacen la tarea del trabajador más fácil y cómoda. Los útiles deben ser cómodos para transportar y adecuados para cada tipo de tarea. Son útiles también los complementos que se aplican a las máquinas para facilitar la ejecución de la actividad.

Hay herramientas que amplifican las capacidades del hombre (fuerza, memoria, inteligencia) y herramientas que amplifican los sentidos (microscopios, gafas de infrarrojos...).

Hay herramientas de sujeción (alicates, pinzas, tornillos de banco...), de montaje (destornilladores, llaves ajustables...), de golpe (martillos, picos...), de corte (cizallas,



This obra by Jose P. Garcia-Sabater is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported License.

Máquinas y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/151133>

ROGLE - UPV

sierras, tijeras,..), de unión (sopletes, pistolas de plástico termofusible...), de medición y trazo (nivel, reglas, escuadras, pie de rey, compás...), de secado (infrarrojos, sopladores...), de transformado (lijas, taladros...)

Hay herramientas manuales (que no requieren de energía), mecánicas (cuya energía viene por electricidad, fluidos -aire, aceite, agua- o combustión...) y automáticas (cuyos movimientos vienen establecidos por un programa).

MÁQUINAS GRANDES O PEQUEÑAS

Los monumentos de las ciudades son esas instalaciones alrededor de la cual los turistas creen que gira la ciudad, pero que los habitantes rara vez conocen porque no les aporta valor.

En las fábricas también hay monumentos. Máquinas en las que se ha invertido una cantidad enorme de dinero dónde se lleva a los visitantes y que obliga al flujo de materiales a dar rodeos incrementando innecesariamente los costes logísticos y reduciendo la visibilidad del proceso.

Las máquinas viejas ya han sido amortizadas y los trabajadores las conocen. No tienen glamour, pero pueden volver a utilizarse cuando sean necesarias y no se ofenden si las apartas.

Las máquinas pequeñas no molestan si no se utilizan porque son fáciles de esquivar si el proceso no las necesita. Mejor aún si llevan ruedas porque así pueden apartarse cuando no son necesarias.

Las máquinas viejas y pequeñas suelen tener tiempos de preparación más altos y ser más lentas, pero suelen ser más versátiles y simples de utilizar. Su mayor desventaja en algunos ambientes es que suelen utilizar mano de obra directa.

Las máquinas grandes y rápidas suelen exigir cambios de partida a máquina parada menores, aunque el departamento técnico suele tener que anticipar el cambio programando la máquina adecuadamente.

LAS RAZONES POR LAS QUE LAS MÁQUINAS NO PRODUCEN TODO LO QUE PUEDEN

Tras haber invertido una cantidad de dinero importante quiere el inversor que la máquina se utilice para así amortizarla (en su acepción de recuperar el dinero invertido). Para ello si es necesario se dejan de utilizar las máquinas antiguas (ya amortizadas) en beneficio de la actividad de la nueva.

Una pregunta que quizá se debiera haber contestado previamente a la compra de la nueva máquina, es cuánto de las antiguas se está utilizando.

Las listas son útiles siempre para poder organizar información dispersa. A continuación se presenta una lista con las pérdidas más habituales ligadas a las máquinas que, evidentemente tienen que ver con las paradas anteriormente citadas.



- Paradas por averías que producen pérdidas de tiempo inesperadas y aleatorias.
- Cambio de útiles o herramientas ligadas a desgaste
- Pérdidas ligadas a mantenimientos programados
- Puesta en Marcha y ajustes. Tiempo ligado a la preparación de la máquina para cambiar de lote o simplemente para su puesta en marcha diaria.
- Pérdidas en el lanzamiento ligadas a problemas de calidad
- Pérdidas ligadas a baja velocidad
- Pérdidas ligadas a la generación de *scrap*
- Paradas por falta de materia prima
- Paradas por falta de espacio donde ubicar el producto acabado

EL OEE

La anterior lista (y su desarrollo) se resume en el indicador denominado OEE (*Overall Equipment Effectiveness*).

El OEE de una máquina se calcula a partir de la disponibilidad, la eficiencia y la calidad.

$$\text{Disponibilidad}(\%) \cdot \text{Eficiencia}(\%) \cdot \text{FTT}(\%)$$

La disponibilidad compara el tiempo de operación bruto contra el tiempo planificado. La diferencia entre uno y otro la constituyen las averías y los cambios.

$$\text{Disponibilidad}(\%) = \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Tiempo Planificado}} = \frac{\text{Tiempo Planificado} - \text{Setup} - \text{Mantenimiento}}{\text{Tiempo Planificado}}$$

Para mejorar la disponibilidad es razonable mejorar los tiempos de preparación (aplicando SMED) y los tiempos de reparación (aplicando técnicas de mantenimiento).

La eficiencia de la máquina compara el tiempo de operación bruto y el neto. La diferencia entre uno y otro la integran los denominados microparos y el funcionamiento a velocidad reducida.

$$\text{Eficiencia}(\%) = \frac{\text{tiempoCiclo} \cdot \text{UnidadesEntrantes}}{\text{Tiempo Operativo}}$$

La calidad compara el tiempo de operación neto y el efectivo. Los defectos y las mermas constituyen la diferencia entre uno y otro.

$$\text{Calidad} = \text{FTT}(\%) = \frac{\text{UnidadesEntrantes} - \text{Scrap} - \text{Unidades Retrabajadas}}{\text{Unidades Entrantes}}$$

El número que habitualmente sale de OEE es tan bajo (si se utiliza información adecuada) que lo habitual es que las organizaciones busquen modos de falsear los datos. Y evidentemente para tener un indicador fiable hay que poder tener datos fiables.



Un modo de conseguir datos fiables es capturarlos directamente de las máquinas. Es donde entran los denominados MES, que suelen subir a un nivel superior los datos obtenidos mediante un sistema SCADA (herramientas de control y adquisición de datos).

DISPONIBILIDAD: PREPARACIÓN Y REPARACIÓN DE MÁQUINAS

Las máquinas pueden estar paradas porque han de ser preparadas (tiempo de setup o de lanzamiento). Es un tiempo necesario para que la máquina pueda producir la nueva serie con calidad suficiente.

Los cambios pueden afectar a la máquina, a los útiles. En muchas ocasiones se denomina tiempo de cambio a la limpieza de la máquina, o a la limpieza del puesto de trabajo. En más ocasiones aún se denomina tiempo de cambio al invertido en buscar útiles y materiales por toda la planta porque nadie recuerda donde están.

Una parte importante del tiempo de cambio de partida está vinculada al momento en que se considera que el producto que está saliendo ya es de buena calidad. Este último aspecto es difícil de ver y medir, suele depender de la pericia y buena voluntad del operario, que llevará la máquina a menos velocidad hasta que considere que ya está preparada la máquina para ir a máxima velocidad.

El impacto del tiempo de cambio se reduce con la metodología denominada SMED.

Las máquinas pueden estar paradas porque han de ser reparadas. Dicha reparación puede estar planificada o no. La ventaja de que esté planificada es obvia, la desventaja es que parece más caro hacer la reparación antes de que el útil se haya realmente desgastado.

Si me dieran dos horas para cortar un árbol, gastaría hora y media en afilar el hacha

La actividad de mantenimiento puede ser ejecutada por el departamento de mantenimiento o por el propio trabajador (mantenimiento autónomo).

La metodología que trata de mejorar el tiempo de reparación son las asociadas a Mantenimiento (correctivo, preventivo, predictivo, productivo).

El mantenimiento correctivo o reactivo (aunque algunos autores indican diferencias) el sistema más simple, el objeto sólo es reparado cuando está roto y no antes. Puede ser el modo más caro de mantenimiento, pero depende de que se rompa o no la máquina. El motivo de que llegue a ser el modo más caro será el coste de la máquina parada en un momento inoportuno, o la compra no planificada de materiales de repuesto Just In Case.

La mayor parte de las empresas no hacen un mantenimiento puramente correctivo: de vez en cuando lubrican las máquinas, afilan las cuchillas o limpian el entorno. Es un modo de prevenir



El mantenimiento preventivo es un modo de gestión que tiene en cuenta aspectos temporales para tratar de alargar la vida de componentes y mecanismos mitigando su depreciación.

Este sistema de mantenimiento tiene en cuenta la denominada curva de bañera que muestra que la probabilidad de romper crece con el tiempo, y crece mucho más rápido a partir de un determinado momento.

El mantenimiento predictivo mejora la consideración del tiempo que tiene el mantenimiento preventivo y aplica técnicas de previsión más ajustadas para producir planes de mantenimiento detallados que minimizan las probabilidades de rotura o paradas no planificadas.

Un paso más allá llevaría a considerar el mantenimiento como una actividad que incrementa la productividad. Ese concepto da lugar al denominado Mantenimiento Productivo Total. Junto con el Lean Manufacturing es una de las estrategias basadas en la mejora continua y la implicación de los trabajadores.

Así como el Lean Manufacturing estaría enfocada a empresas de alta repetición y flujo, donde el montaje es muy importante, el TPM tiene más aplicabilidad en las industrias de proceso donde las máquinas son el elemento fundamental. Los sistemas de tipo TPM, con sus 8 (7-9) pilares soportados por las 5S (o por el plan de negocio o por la gente) son metodologías estructuradas cuyas herramientas básicas son comunes, con otras metodologías como el Lean Manufacturing, Quick Response Manufacturing, etcétera.



This obra by Jose P. Garcia-Sabater is licensed under a
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-
CompartirIgual 3.0 Unported License.

Máquinas y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/151133>

ROGLE - UPV

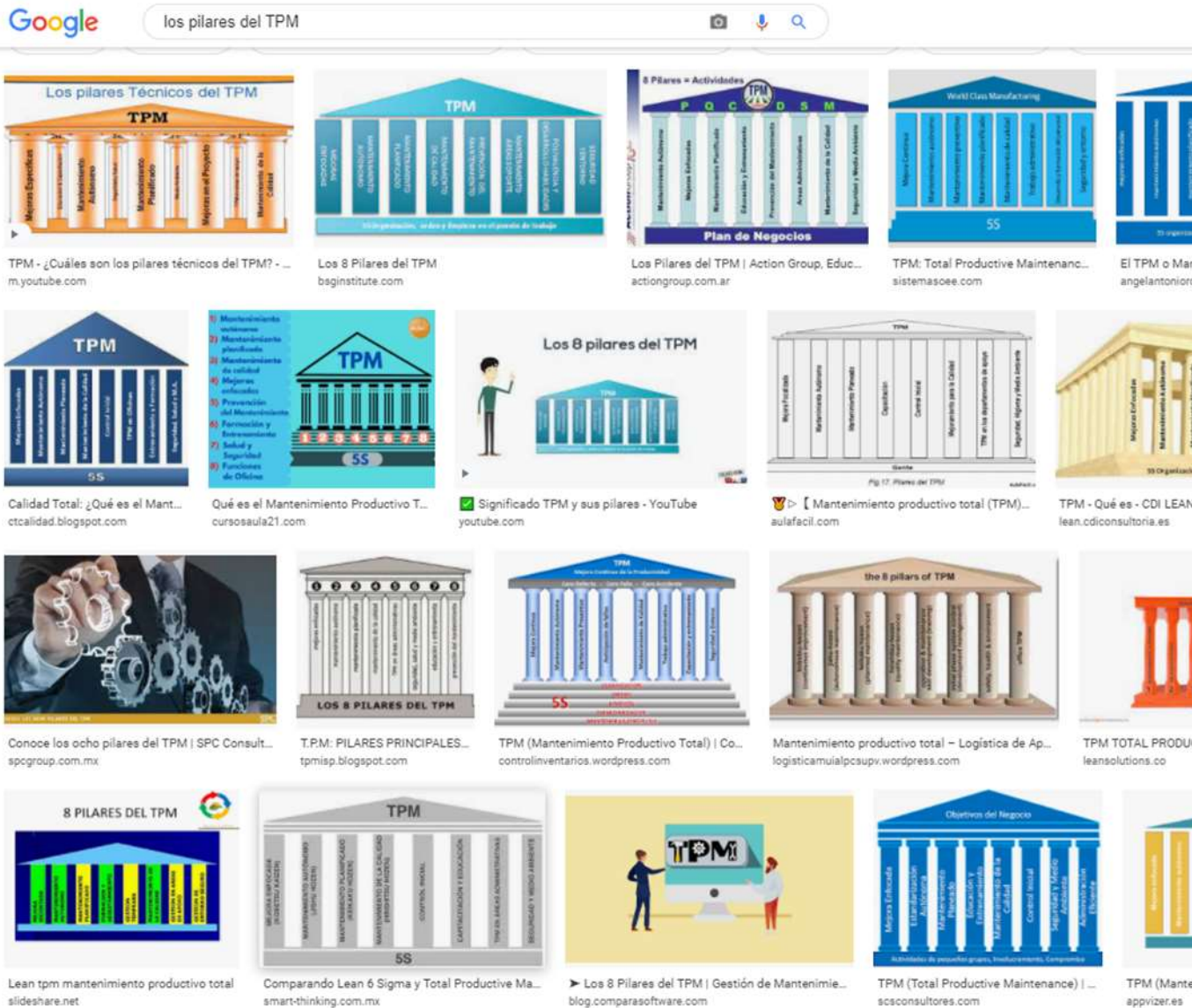


Ilustración 1: Los pilares del TPM (Fuente: Imágenes del Google)

EFICIENCIA: MÁQUINAS LENTAS

Para mejorar la eficiencia es recomendable reducir los denominados “microparos” e incrementar la velocidad hasta adecuarla al tiempo de ciclo.

La velocidad lenta puede ser debida a un inadecuado mantenimiento de los equipos que no pueden desarrollar toda su velocidad.

Conocer el origen de los microparos o las razones de la velocidad lenta es un trabajo que requiere una gran meticulosidad. El origen de los problemas puede estar en los trabajadores, en los materiales, en la propia máquina, o en combinaciones de ambas.

Por eso una estrategia adecuada es sobredimensionar de modo sistemático uno o dos de los citados factores.

El problema de la velocidad lenta puede tener que ver con el cansancio (de los trabajadores) asociado a un mal diseño del proceso. Los primeros estudios de Taylor ya indicaban que no por cargar más la pala se lograban mayores productividades.

Un tercer motivo de velocidad lenta es la ausencia de *buffer* entre operaciones. La denominada “industrialización” del proceso parece reducirse en algunas empresas a conectar con cintas transportadoras dos máquinas que, sin las cintas, funcionaban relativamente bien. Al conectar ambas máquinas sin un buffer suficiente las máquinas coordinan sus paradas pero no son capaces de coordinar sus momentos de actividad.

CALIDAD: PROBLEMAS DE CALIDAD

La calidad de lo producido afecta particularmente al OEE pero también al sentimiento de sobrecarga de trabajo o de inutilidad del mismo.

Es habitual que el trabajador considere que estar rehaciendo un trabajo ya hecho forme parte de su actividad, así que no le preocupa demasiado.

“Fer i desfer, faena de matalafer”

Los sistemas de control Andon y Poka Yoke se concentran en esa parte de la actividad perfectamente improductiva que es la de hacer dos veces o hacer mal.

LA AUTOMATIZACIÓN

Automatizar hace referencia a sustituir aquellas actividades en las que de algún modo interviene un humano en la actividad por una máquina que la realice de un modo más automático (¿autónoma?).

VENTAJAS DE LA AUTOMATIZACIÓN

Cuando se va a analizar las ventajas de automatizar un proceso de trabajo conviene buscar las razones entre esta lista (no siempre se dan todas por eso hay que computarlas bien).

- Reducción del tiempo de ejecución
- Reducción de la probabilidad de equivocarse
- Mejora en la calidad de los productos
- Reducción de los costes de mano de obra directa
- Mejora en el aprovechamiento de la energía y materia prima
- Mejor captura y procesamiento de información
- Mejoras en la seguridad de los empleados
- Mejoras en la ergonomía de la actividad
- Mayor flexibilidad en la capacidad productiva



This obra by Jose P. Garcia-Sabater is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported License.

Máquinas y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/151133>

ROGLE - UPV

- Operación y Reparación remoto

SIMPLIFICAR Y MECANIZAR ANTES DE AUTOMATIZAR

El error más grave que se puede cometer en el proceso de automatizar es hacerlo sin previamente haber simplificado.

Primero Simplificar, luego Mecanizar y en su caso Automatizar

Este concepto alude a la necesidad de simplificar al máximo las operaciones antes de pasar a su mecanizado, que será mucho más sencillo, en el caso que sea necesario. Es tan ridículo como habitual ver cómo se generan formularios online que replican formularios escritos para capturar información que ya tiene la organización, o que peor aún, no necesita para nada.

El concepto de mecanizar se refiere a la posibilidad de realizar con máquinas lo que se hace manualmente. Es evidente que las actividades repetitivas las realizará una máquina con menos esfuerzo por parte del humano.

La automatización permite eliminar el factor humano de la actividad, dejándolo como personal de soporte. Un paso asociado a la automatización es la integración con el sistema informático que permite controlar los distintos autómatas desde un mismo ordenador.

JIDOKA: AUTOMATIZACIÓN CON RESPETO AL FACTOR HUMANO

Toyota propuso un modo de automatizar alternativo. La palabra Jidoka se tradujo inicialmente por “autonomación” y se puede definir como “automatización con respeto al factor humano.

Básicamente considera que al mecanizar, automatizar se debe tener en cuenta al trabajador, mejorando sus condiciones de trabajo, eliminando las que le hacen más penoso y difícil el trabajo, pero permitiéndole ejecutar tareas de valor añadido.

Para ello se sugieren la siguiente secuencia de actuación:

1. Mecanizar el esfuerzo. Convertir el esfuerzo humano en esfuerzo mecánico.
2. Mecanizar la sujeción: Eliminar los aprietes manuales y reemplazarlos por abrazaderas mecánicas
3. Automatizar la incorporación de útiles y herramientas. Suele ser fácil saber dónde están y cómo se ubican.
4. Automatizar el retorno a la posición de partida
5. Automatizar la parada: De este modo el operario puede abandonar el puesto de trabajo
6. Inspección automática de calidad: Poka Yokes
7. Automatizar el retiro de piezas: Dado que las piezas siempre salen del mismo sitio y se sabe dónde se ubican es más fácil mecanizar esta parte



This obra by Jose P. Garcia-Sabater is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported License.

Máquinas y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/151133>

ROGLE - UPV

8. Automatizar la alimentación. Generalmente exige automatizar el retiro de las etapas anteriores
9. Automatizar la puesta en marcha
10. Automatizar la transferencia entre máquinas

Alcanzada la etapa 7 se suele denominar al sistema Chaku-Chaku.

Este proceso de trabajo reduce el esfuerzo económico pero fundamentalmente hace que el trabajador realice actividades útiles, seguras, ergonómicas y de valor añadido, durante todo el proceso de automatización.

El concepto de karakuri es muy relevante en esta concepción. En esencia Karakuri aplicado en entornos lean es la capacidad de realizar operaciones automáticamente pero sin la necesidad de energía eléctrica o de combustión.

Una última ventaja de este tipo de automatización (Jidoka) es que es reversible. Lo que ha llevado a Toyota a eliminar robots y volver a poner trabajadores en algunas situaciones como medio para seguir aprendiendo (<https://www.xataka.com/robotica-e-ia/toyota-le-da-la-vuelta-a-la-tortilla-los-humanos-son-mas-eficientes-que-los-robots>).

ADQUISICIÓN Y RENOVACIÓN DE EQUIPOS

Al adquirir una máquina se realiza una inversión que puede tomar diferentes formas según la empresa. La justificación de la inversión irá ligada al coste, pero también al rendimiento que se le pueda sacar a la máquina.

Se podría comprar equipamiento nuevo o usado (lo que evidentemente afecta al coste y a la imagen de la empresa). Puede incluso la máquina alquilarse (o su versión financiera denominada leasing).

El ciclo de vida de una máquina implica una fase en la que la productividad no es muy alta. En algunos contratos de compra que incluyen la instalación se hace constar expresamente que una parte del pago (más o menos grande) se haga cuando la máquina alcance un determinado nivel de producción.

A partir de una determinada edad los repuestos de las máquinas son muy difíciles de conseguir (en caso de ser posible) lo cual lleva a una decisión complicada de compra de repuestos: comprar mucho de todo por si acaso (sabiendo que la mayor parte no se va a utilizar) o dejar morir la máquina cuando ya no sea posible. Hay quien incluso opta por comprar todas las máquinas viejas que haya en el mercado, con el objeto de garantizarse repuestos.

Una vez se adquiere un equipo, éste comienza a hacerse viejo. Y pasado un cierto tiempo esa edad se comienza a convertir en menor productividad (dependiendo del mantenimiento que se le haga a la máquina este periodo será antes o después) hasta que finalmente la máquina se convierte en un montón de hierros viejos.



La política de adquisición y renovación de equipos se puede definir atendiendo a los principales costes de la máquina y su relación con el tiempo:

- Coste de Adquisición
- Coste de Mantenimiento
- Coste de Utilización de Máquina
- Valor en el mercado de la maquinaria usada

Aunque es evidente que esta cuantificación puede conducir a una optimización, pocas empresas utilizan este tipo de análisis para renovar su equipamiento, quizá porque la evolución de la tecnología hace poco productivo este cálculo.

Este no es el caso de la renovación de flotas (de camiones, autobuses, carretillas elevadoras) donde los anteriores costes (de adquisición utilización y mantenimiento) son muy relevantes, y el uso de dichas máquinas es equivalente a lo largo del tiempo.



This obra by Jose P. Garcia-Sabater is licensed under a
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-
CompartirIgual 3.0 Unported License.

Máquinas y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/151133>

ROGLE - UPV