

Este documento se cita como

Garcia-Sabater, Jose P. (2020)
El tiempo y las operaciones. Nota Técnica
RIUNET Repositorio UPV
<http://hdl.handle.net/10251/137437>



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

1. EL TIEMPO Y LAS OPERACIONES

Contenido

1.	El tiempo y las Operaciones	2
1.1	Introducción	3
1.2	Representando el tiempo	4
1.2.1	Líneas de tiempo y diagramas de Gantt	4
1.2.2	Diagramas de tarta y de barras: Yamazumi	5
1.2.3	Dinámica de sistemas y simulación de eventos discretos	5
1.3	Analizando las fugas de tiempo (Tempus Fugit)	8
1.4	Plazos de entrega y de ejecución	10
1.5	Tiempos de operación	11
1.6	Los tiempos de mantenimiento	12
1.6.1	La curva de la bañera	12
1.6.2	Disponibilidad, tiempo medio entre fallos, tiempo de reparación	14
1.6.3	Mantenimiento correctivo, predictivo, preventivo	14
1.7	Los tiempos de preparación	16
1.8	Estimando tiempos	17
1.8.1	Ingeniería de métodos	18
1.8.2	Estudio de Tiempos	19
1.8.3	Cronometraje	20
1.8.4	Tiempos Predeterminados	21
1.9	El Efecto Aprendizaje	23
1.10	Los Tiempos esperando	25



INTRODUCCIÓN

El presente capítulo trata el tema de los tiempos y las operaciones. Del denominado plazo de entrega (su origen y sus repercusiones) pero también de los tiempos de operación, de preparación, de reparación y ociosos de las máquinas, y sobre todo de los tiempos que esperan productos, máquinas y materiales en su lento devenir hacia el cliente.

	Transforman	Se Mueven	En Espera	Son Transformados
Productos	Fungibles y consumibles. Alumnos que colaboran	Autónomamente Los transportan	En espera de ser transformados. En espera de recibir órdenes.	A la velocidad adecuada. Con la Velocidad Adecuada. Cuando son Requeridos
Clientes	<i>Do it Yourself</i>	Saben donde van. Deambulan. Buscan.	Donde van a ser atendidos. En Salas de Espera Con cita previa En su casa.	Son sujeto paciente. Son sujeto activo. A la velocidad adecuada.
Máquinas Estáticas	Velocidad. Nivel de Autonomía. Calidad del Resultado.	////////////////////	Ocioso Bloqueado Esperando Recursos	Mantenimiento Preparación de nuevos lotes.
Máquinas de manutención	////////////////////	Desplazando productos. Desplazándose en busca de trabajo.	En un lugar convenido. En un lugar no convenido.	Mantenimiento. Recarga baterías.
RRHH	Trabajando (¿adecuadamente?) ¿Al ritmo previsto? ¿Extendiendo la tarea? ¿Sudando? ¿En operaciones de valor añadido?	En busca de trabajo. En busca de materiales. En busca de herramientas y útiles.	De órdenes de trabajo. De material para trabajar. De útiles para trabajar. De máquinas disponibles para trabajar. Mirando como trabaja la máquina (o algún compañero)	Formación.

Tabla 1: A qué dedican su tiempo los recursos tanto los que transforman como los que son transformados

Es muy habitual confundir el plazo de entrega con el tiempo de operación, y éste con el necesario para la puesta a punto y el mantenimiento. Y todas esas confusiones y la incapacidad del cerebro para llevar un control del tiempo es el que obliga a que para coordinar actividades lo normal es esperar y es sobre ese punto sobre el que se cierra el capítulo.

El capítulo comienza tratando de representar el tiempo para luego tratar de analizar las fugas de tiempo. La definición de plazos de entrega y de ejecución así como los tiempos de tránsito. A continuación, se aborda el tema de los tiempos de operación, de reparación y de reparación. La estimación de tiempos y el efecto aprendizaje anteceden a los más importantes, los tiempos que impiden entregar a tiempo: los tiempos de espera.



REPRESENTANDO EL TIEMPO

No es tan obvio representar el tiempo en una hoja de papel. El tiempo por su naturaleza convierte al fenómeno en dinámico, y el papel no es dinámico. Pero sin visualizar el paso del tiempo no es posible tener un marco de referencia común.

Al representar el paso del tiempo hay que distinguir dos conceptos que son diferentes: los hitos que se podrían asociar a instantes, y las fases o etapas que se pueden asociar al tiempo que pasa entre el hito de inicio y el hito de fin.

LÍNEAS DE TIEMPO Y DIAGRAMAS DE GANTT

El modo más básico para representar el paso del tiempo son las “líneas de tiempo” que los lectores de estos apuntes asociarán habitualmente a resúmenes de historia en la que los diferentes eventos se asocian a puntos en una línea y las fases a trozos de línea más gruesa. Dichas líneas de tiempo (muy utilizadas para representar programas de producción) cuando son multi línea representan en cada una los recursos que se están planificando.

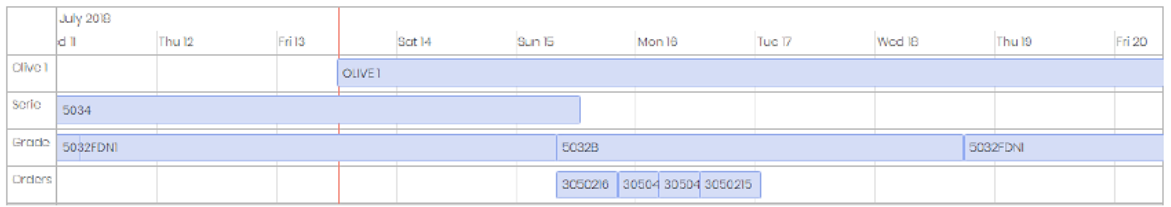
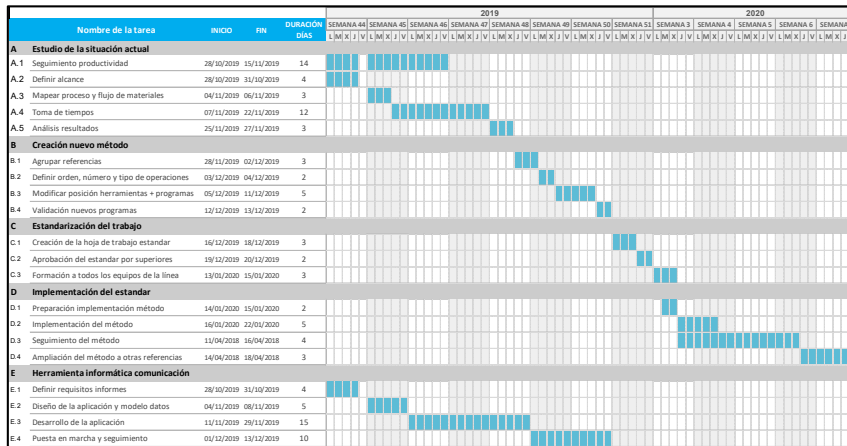


Ilustración 1: Ejemplo de línea de tiempo en programa de producción. Fuente (Vidal-Aragon Reviriego, 2018)

Se denomina diagrama Gantt, a un tipo de diagrama multi-línea de tiempo en el que cada tarea se representa en una línea diferente. El diagrama de Gantt muy utilizado en gestión de proyectos puede también ser utilizado para mostrar el tiempo en procesos productivos.



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

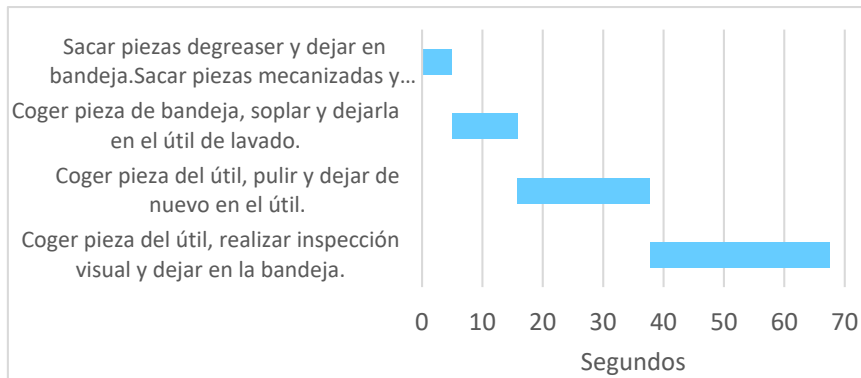


Ilustración 2: Dos modos de utilizar el diagrama de Gantt. Fuente (Sancho Chilet, 2020)

DIAGRAMAS DE TARTA Y DE BARRAS: YAMAZUMI

A qué dedica el tiempo un recurso es fácil de representar mediante diagramas de tarta. Sin embargo, la representación en diagramas de barras apiladas (en japonés dicen que es *Yamazumi*) es un modo también muy utilizado.

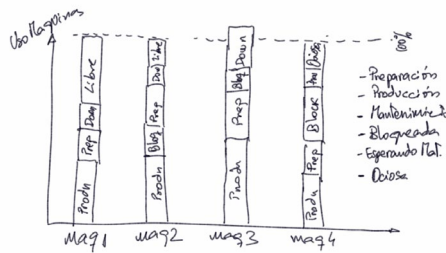


Ilustración 3: Diagrama de Barras para representar el uso del tiempo que hace el recurso

DINÁMICA DE SISTEMAS Y SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

La anterior representación indica que ocurrirá a lo largo del tiempo, pero no el efecto de las ocurrencias.

La dinámica de sistemas es una metodología para analizar y modelar el comportamiento de los sistemas en relación al tiempo. La metodología se fundamenta en identificar los bucles de retroalimentación, las demoras en la información y los materiales, y los efectos que ambas características combinadas tienen en el comportamiento del sistema. La dinámica de sistemas ha probado su utilidad en diferentes entornos, siendo especialmente interesante en sistemas productivos de carácter continuo y en el análisis de modelos de gestión de inventarios.



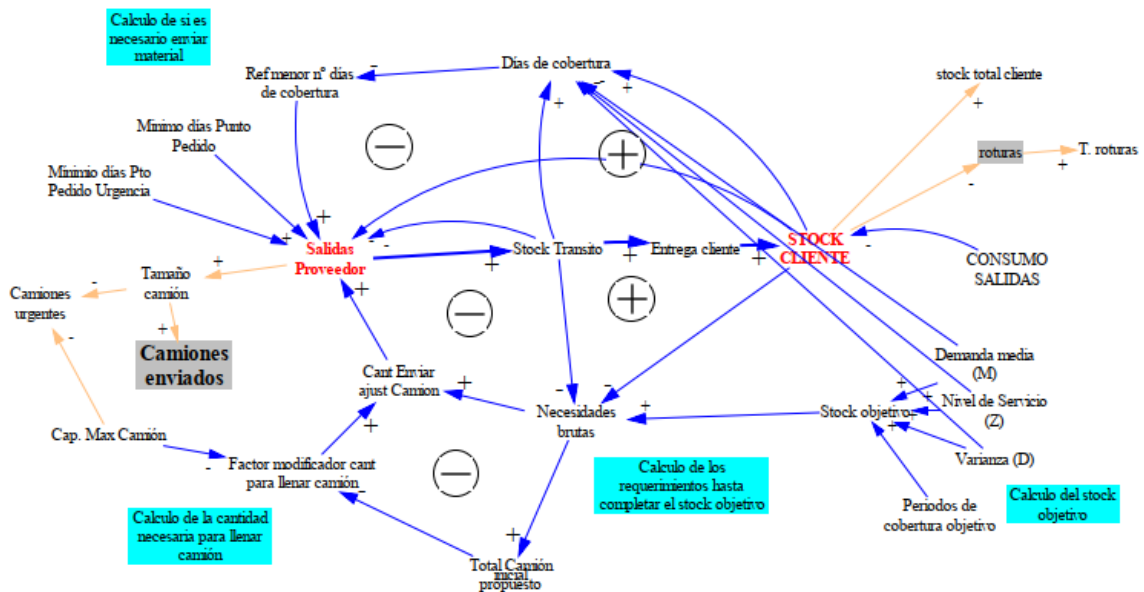


Ilustración 4: Diagrama Causal (Fuente: (Rius-Sorolla et al., 2015))

La simulación de eventos discretos trata de entender el comportamiento de los sistemas a través del comportamiento de los movimientos y su circulación a través de los recursos. En lugar de tratar el tiempo como un continuo, la simulación de eventos discretos asume que el comportamiento entre eventos del sistema es predecible, así que se limita a analizar lo que ocurre exactamente cuando ocurre algo (evento). Y cuando ocurre algo es posible calcular cuáles serán los nuevos eventos que ocurrirán en el futuro.

Originalmente la simulación de eventos discretos producía tablas de datos que había que analizar. La combinación de la simulación de eventos discretos con las tecnologías de animación permite que la simulación de eventos discretos genere animaciones que en ocasiones son más expresivas que un análisis estadístico formal de los resultados obtenidos.



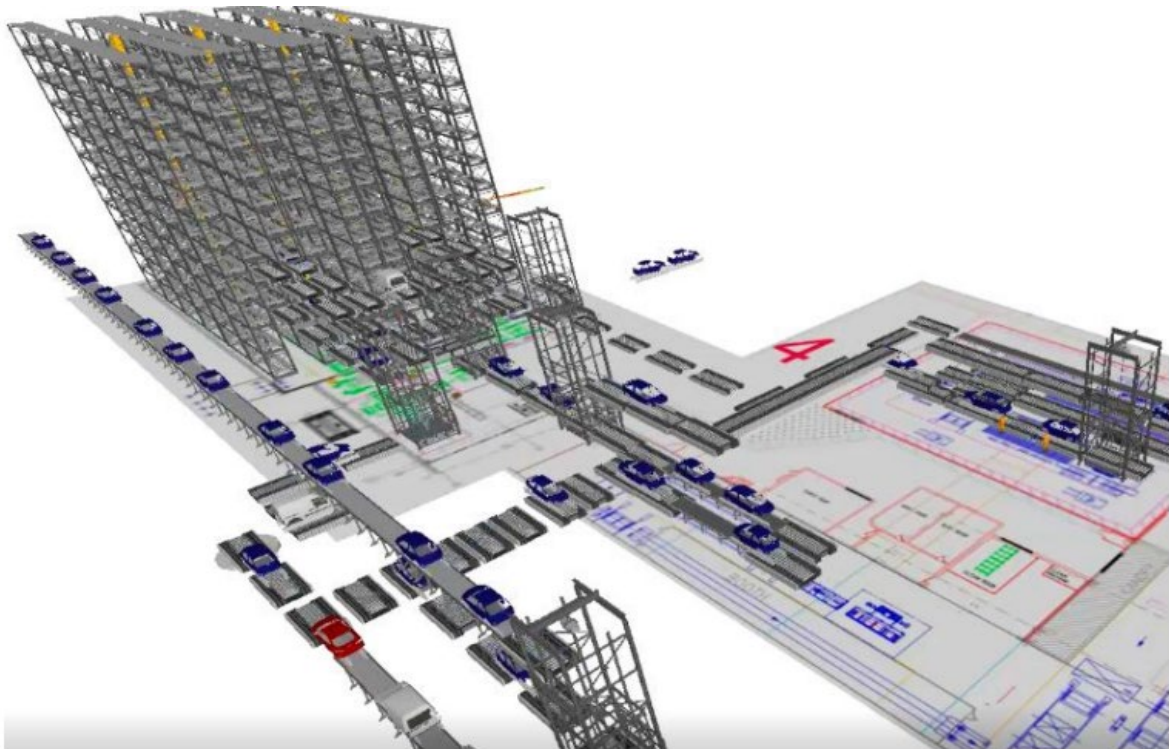


Ilustración 5: Una vista de una simulación (Fuente:(Saez-Mas, Aida; García-Sabater, Jose P.; Morant-Llorca, 2018))

Siendo la simulación de Eventos Discretos una herramienta fundamentalmente cuantitativa, desde los finales de los 90 ha ido adquiriendo en un mundo visual ha adquirido una dimensión nueva. El corazón de la herramienta es muy adecuado para generar animaciones, y convenientemente estructurada permite incluso simular los sistemas de información requeridos para el normal funcionamiento de una fábrica.

El proceso de simulación debiera tener los siguientes 9 pasos (que se repiten iterativamente) hasta que el cliente obtiene resultados relevantes.

1. Definir el objetivo del trabajo con el cliente
2. Modelar el sistema (volver a 1)
3. Recopilar datos preliminares y lanzar las primeras hipótesis (volver a 2)
4. Implementar, verificar y refinar el modelo (volver a 2,3)
5. Discutir y validar el modelo con el cliente (volver a 2,3,4)
6. Diseñar Experimentos
7. Analiza Resultados
8. Comunicar Resultados (volver a 6 o a 1)



Los modelos representan la realidad según el punto de vista del modelador. La simulación de eventos discretos requiere habilidades específicas que hacen que el modelador no sea la persona que va a tomar decisiones (cliente).

Es por ello que la construcción, verificación y validación y del modelo es un proceso en el que el cliente debe ganar confianza con el modelo, para así tener confianza en las decisiones que vaya a tomar en función de los resultados.

En muchas ocasiones el cliente expresa sus dudas sobre la validez del modelo porque no está seguro de haber entendido cómo funciona.

En muchos casos el éxito en el paso 8 se obtendrá si los resultados son contra-intuitivos, pero si es así la toma de decisiones por parte del cliente exige valentía al aceptar los resultados. En esos casos un profundo análisis de sensibilidad aporta mucha solvencia al proceso de modelado y por tanto a los resultados obtenidos.

El modo en el que habitualmente se utiliza una simulación de eventos discretos exige definir **criterios de evaluación, alternativas y escenarios**. Los criterios debieran estar definidos antes de comenzar el proceso, aunque habitualmente aparecen tras varias iteraciones. Las alternativas es lo que se pretende valorar. La generación de alternativas es un proceso creativo que exigirá hacer y rehacer el modelo. Los escenarios son los juegos de datos desconocidos (demandas, ritmos de producción, disponibilidad de máquinas) contra los que se correrán las alternativas.

Los resultados de una simulación son habitualmente datos y tablas, pero más relevante es el aprendizaje que sobre el sistema adquiere el modelador. Lo aprendido (*insights*) permite hacer recomendaciones y siempre abre nuevas preguntas.

ANALIZANDO LAS FUGAS DE TIEMPO (TEMPUS FUGIT)

Si una ocupación fundamental del director de operaciones es tratar de gestionar los tiempos y se sabe que el tiempo es por naturaleza elusivo y difícil de comprender, mucho más difícil es identificar qué hay tiempo en el que aparentemente se está haciendo algo pero en la práctica no se está añadiendo valor. Por ello el concepto de “tiempo de valor añadido” tan olvidado en el uso del VSM es tan relevante. Tiempo de Valor añadido es el tiempo en el que se confiere valor al producto. Todo lo demás, todo, es Tiempo de No valor Añadido. Aunque todo el mundo parezca muy ocupado no todo el mundo está añadiendo valor. Siempre.



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

Salvo que se quiera jugar al juego de la adivinación es útil analizar a qué dedican su tiempo las máquinas antes de comenzar la actividad de mejora. Ciertamente este es un trabajo tedioso que compensa analizar por aproximación sucesiva.

Indicadores como el OEE, el FTT pueden aportar información sobre el origen y magnitud del problema, pero saber a qué dedica su tiempo cada recurso es un arte.

Las herramientas MES, si están convenientemente parametrizadas, pueden dar información que ayuda a identificar el origen de la pérdida de capacidad. En la Tabla 4 se aporta una estructura de análisis.

Estado Máquina	Horas por Turno de Trabajo	Estado Máquina Detallado	Horas por Turno de Trabajo	Posibles Acciones
Máquina en Producción		A máxima Velocidad		Seguir Así
		A menos de Máxima Velocidad		Mantenimiento Máquina Formación, Incentivos y Motivación Trabajador Estandarización Procesos Poka Yokes Incentivos Trabajadores Limitar Soportes Indicadores y Control de Actividad Programación Operaciones
		Produciendo Producto Defectuoso		
		Produciendo Producto No Planificado		
		Produciendo Pruebas de nuevo producto		
Mantenimiento		Mantenimiento Planificado		Mantenimiento Autónomo Mantenimiento Preventivo Formación Trabajadores TPM Programación Operaciones
		Mantenimiento No Planificado		
		Esperando al equipo de Mantenimiento		
		Haciendo Pruebas de nuevo producto		
Preparación Máquinas		Preparación Planificada		SMED Formación Trabajadores Programación Operaciones Máquinas Pequeñas Estandarización Actividades 5S
		Preparación No planificada		
		Esperando al equipo de Preparación		
		Esperando útiles o herramientas		
		Lanzamiento de Producción hasta OK		
Máquina Parada		Bloqueada por falta de soporte de PF		Más Soportes o Soportes Estándar Buffers de Entrada y Salida Evacuación de Materiales Llegada de Materiales Polivalencia Trabajadores Planificación de Materiales y Útiles Planificación de Trabajadores Programación Operaciones Estandarización Actividades
		Bloqueada por falta de espacio para PF		
		Esperando Producto Inicial o Componentes		
		Esperando Consumibles		
		Esperando Útiles		



	Esperando Trabajadores		5S Distribución en Planta
	Esperando Órdenes de Fabricación		
	Sin Carga de Trabajo		

Tabla 2: A qué dedican su tiempo las máquinas (2)

PLAZOS DE ENTREGA Y DE EJECUCIÓN

El **Plazo de entrega** (*Lead Time*) es el tiempo que transcurre desde que el cliente realiza un pedido hasta que físicamente dispone de él. El plazo de entrega depende de la disponibilidad del producto y del tiempo de transporte (son sus limitaciones inferiores) pero es posible que lo definan los procesos de negocio que tramitan los pedidos (la petición y la recepción). La compra de materia prima en un proveedor con un plazo de entrega de 3 meses, exige horizontes de planificación al menos un periodo de previsión más largo que el plazo de entrega.

Se denomina **ratio P:D** (recibe también a veces el nombre de *supply delay*) a la relación entre el tiempo (P) necesario para Producir/Entregar el producto y el tiempo (D) que el cliente está dispuesto a aceptar para recibir el producto.

Cuando P es mucho mayor que D es necesario disponer de stock de producto acabado (producir contra almacén) mientras que cuando P es mucho menor que D el producto se puede comenzar a producir cuando lo solicite el cliente (trabajar bajo pedido). Entre ambas situaciones está almacenar submontajes para ensamblar bajo pedido. Y si el producto es aún más específico el plazo de entrega aceptable será mayor y por tanto la estrategia puede ser de diseño bajo pedido.

P>>D	P>D	P=D	P<D
Fabricación Contra Almacén <u>Make to Stock (MTS)</u>	Ensamblaje bajo Pedido <u>Assembly to Order (ATO)</u>	Fabricación bajo Pedido <u>Make to Order (MTO)</u>	Diseño Bajo Pedido <u>Engineer to Order (ETO)</u>
Se almacenan Productos Finales	Se almacenan <u>Submontajes</u>	Se almacenan Materias Primas	Algunas materias primas no se almacenan
El diseño está definido, el producto es "de catálogo"	El diseño está definido, las configuraciones pueden requerir especificación	Se pueden rediseñar algunas opciones	El diseño se realiza cuando el cliente decide el pedido
La entrega se promete para el día siguiente.	La entrega se promete en función de capacidad disponible.	La entrega se promete en función de la disponibilidad de capacidad y material.	La entrega se promete en función de la disponibilidad de capacidad y material.

Ilustración 6: Estrategias de Producción en función del ratio P:D



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

Siendo el plazo de entrega un factor estratégico es habitual que se quiera reducir (aunque existen casos en los que la reducción del plazo de entrega es entendida erróneamente por los clientes).

De algún modo el plazo de entrega requerido/aceptado/exigido por el cliente impone la posición del stock en forma de materia prima, submontajes o producto acabado.

Al tiempo que transcurre desde que la materia prima se coge del almacén hasta que el producto entra en el almacén de producto acabado se llama **Throughput Time**. El *Throughput Time* excluye, a propósito, los almacenes de materia prima y producto acabado. De ese modo concentra el análisis en lo que ocurre en planta y no en lo que ocurre en la relación de los proveedores y los clientes.

Si se quiere medir el impacto que estos tienen en el rendimiento de las operaciones se debe utilizar el medible **Dock to Dock (DtD)** que expresa el tiempo que transcurre entre que el producto entra en las instalaciones de la empresa hasta que sale destino del cliente. Es interesante notar que el *DtD* es en realidad un medible de inventario. Y por ello es muy utilizado en empresas grandes donde mantener inventario en cualquiera de sus formas no se considera parte del negocio y por tanto hay que evitarlo.

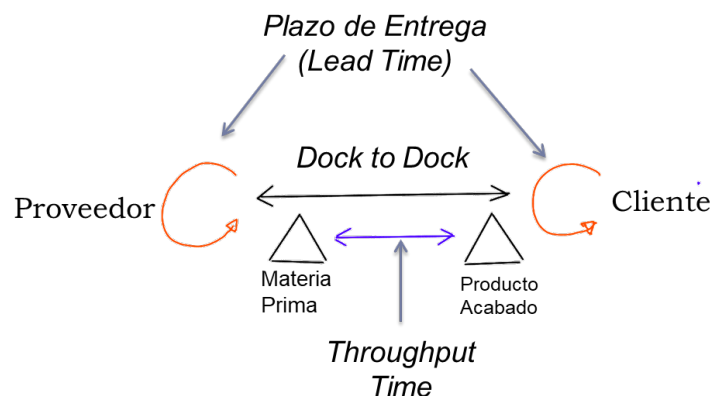


Ilustración 7: Lead Time, Dock to Dock Throughput Time

TIEMPOS DE OPERACIÓN

Se denomina **Tiempo de Takt** (*Tiempo de Takt*) al tiempo promedio entre dos solicitudes consecutivas. Así si una empresa recibe 10 pedidos al día (de 8 horas), el Tiempo de Takt es de 0,8 horas por pedido. La palabra *takt* es de origen alemán y hace referencia al “ritmo del compás”. Es el ritmo que permite la sincronización.



Se denomina **Tiempo de Ciclo (Cycle Time)** al tiempo promedio entre dos entregas consecutivas (es decir al tiempo necesario para cumplir un ciclo). La inversa del tiempo de ciclo mide el ritmo de producción del recurso. Si el tiempo de ciclo es mayor que el tiempo de takt la organización tendrá que disponer de más recursos, o la cola de peticiones pendientes crecerá.

Pero las máquinas (o los recursos) no están siempre trabajando. El tiempo de ciclo considerando las necesidades de mantenimiento y reparación (y otro tipo de pérdidas) se suele llamar **tiempo de ciclo efectivo**.

Para calcular el tiempo de ciclo efectivo se suele utilizar el concepto de disponibilidad (un porcentaje del tiempo total), que se obtiene al dividir el **tiempo medio entre fallos (mtbf – mean time between failure)** a la suma del **mtbf** y el **tiempo medio de reparación (mttr – mean time to repair)**.

En muchos casos se incorpora de manera separada el llamado **tiempo de setup, tiempo de preparación o tiempo de cambio**. Es al tiempo necesario para producir la primera pieza buena de una orden desde que se produjo la última pieza buena de la orden anterior.

A efectos de cálculo (y aunque son diferentes), cuando los lotes son pequeños, el tiempo de ciclo podría incluir el tiempo de setup.

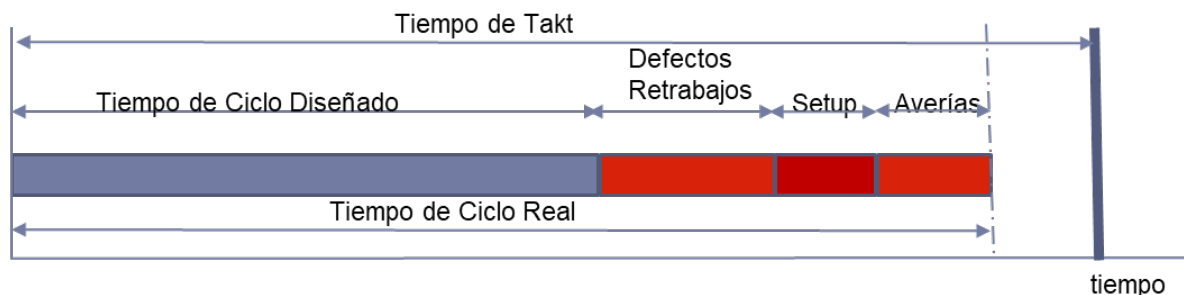


Ilustración 8: Tiempo de Ciclo Estimado y Real

LOS TIEMPOS DE MANTENIMIENTO

LA CURVA DE LA BAÑERA

Todas las máquinas según su ciclo de vida pasan tres fases y en cada una de ellas la probabilidad de fallo es diferente (es lo que se conoce como “curva de bañera”).



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

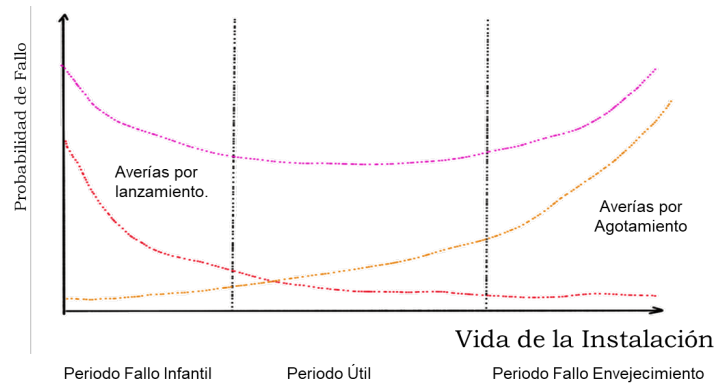


Ilustración 9: La curva de bañera del mantenimiento (Fuente: Elaboración Propia)

En la primera la productividad es menor de la nominal porque hay que aprender a manejarla, con los productos y los operarios de la empresa compradora, y también con su suministro de energía y sus sistemas de información. En función de la máquina y dependiendo del contrato de compra de la máquina, es posible que de esta fase se encargue la empresa instaladora. Y podría ser que el acuerdo sea no pagar a la empresa instaladora hasta que se alcance el punto en que la máquina es capaz de sostener la velocidad nominal. Si este periodo se alarga, esa máquina se convertiría en la más rentable de la empresa compradora (y en la ruina de la instaladora).

Durante la etapa central la máquina va a su velocidad nominal y se estropea siguiendo patrones más o menos predictibles. Puede ser debido al desgaste de componentes de la máquina, al mal uso, o la baja calidad de los productos, o a causas aleatorias externas, De hacer esta fase tan larga como sea posible se debiera encargar el departamento de mantenimiento pero también el trabajador de la máquina tiene su responsabilidad relevante.

En la última la máquina comienza a fallar demasiado frecuentemente. En ocasiones porque fue diseñada para que ocurra de ese modo (¿obsolescencia programada?), en ocasiones porque la complejidad de la máquina dificulta hacer un mantenimiento de todas y cada una de las piezas que están sufriendo un desgaste natural. Podría ser el momento de sustituir la máquina.

El enfoque *Lean* respecto a esta fase final de la vida de las máquinas es un enfoque diferente. El pilar *Jidoka* del *Lean Manufacturing* incluye el mantenimiento de las máquinas. También de las máquinas viejas. Las máquinas viejas pueden estar paradas (porque ya están amortizadas) pero si están en perfecto orden de uso podrán hacer cualquier producto, da igual si de un modo más lento, en la cantidad adecuada.



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

DISPONIBILIDAD, TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS, TIEMPO DE REPARACIÓN

Del análisis de los tiempos de fallo y de reparación se obtienen dos datos precisos. El tiempo medio entre fallos (*MTBF – mean time between failure*) y el tiempo medio de reparación (*MTTR – mean time to repair*).

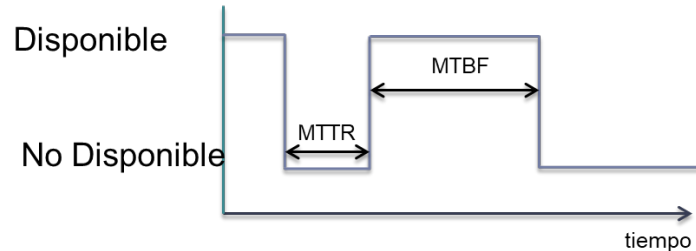


Ilustración 10: MTTR y MTBF (Fuente: Elaboración Propia)

Ambos permiten calcular la disponibilidad de la máquina:

$$a = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Hay un aspecto relevante en el momento de utilizar el concepto de disponibilidad. Si el *mtrr* es más pequeño que el tiempo de ciclo, la disponibilidad simplemente baja el ritmo de producción (incrementa el tiempo de ciclo).

Pero si el *mtrr* es mucho mayor que el tiempo de ciclo, no sólo baja la capacidad productiva sino que hay que disponer *buffer* suficientemente grandes para proteger la productividad de las estaciones posterior y anterior.

El adecuado dimensionamiento de los buffers de protección probablemente exija una simulación. En ese caso se recomienda utilizar una distribución *Weibull* para la descripción del tiempo medio entre fallos y una distribución *LogNormal* para la descripción del tiempo medio de reparación.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO, PREDICTIVO, PREVENTIVO

Pero lo importante no es protegerse de las averías sino que estas no ocurran, o si ocurren afecten lo mínimo posible al resto del sistema productivo.

Se plantean diferentes tipos de mantenimiento según su relación con la avería: cuando ocurre o antes de que ocurra.

Se denomina **mantenimiento correctivo** a aquel que se hace cuando la avería ya ha ocurrido y trata de devolver la máquina a su actividad convencional. Dependiendo de la avería deberá ser inmediata, o podrá ser pospuesto. Incluso podrá ser una reparación en toda regla o un “parche”. Son evidentes, aunque se



intentan pasar por alto, los efectos que en la vida de la máquina tiene no reparar convenientemente las averías.

Se denomina **mantenimiento preventivo** a un conjunto de rutinas que periódicamente inspeccionan con el objetivo de detectar pequeños problemas antes de que ocurran los grandes problemas. El objetivo es que la máquina trabaje sin problemas en el periodo de tiempo en el que está previsto que trabaje. El mantenimiento preventivo tiene a su vez dos grandes componentes que es el mantenimiento planificado y la sustitución predictiva. El monitoreo continuo de la actividad de la máquina permite también anticipar el momento de la revisión.

Con el término **mantenimiento productivo** se hace referencia a un programa de actividades que añaden al objetivo del mantenimiento correctivo y productivo, el objetivo de mejorar la productividad general de las instalaciones.

Se denomina **mantenimiento autónomo** a una estrategia (generalmente asociada al mantenimiento productivo) en el que los ajustes y mantenimientos menores son realizados por los propios operadores de las máquinas. Para poder formar parte de un equipo de mantenimiento autónomo es necesario que los trabajadores tengan unas ciertas habilidades:

- a) Entender las funciones y los componentes de la máquina
- b) Detectar anomalías en el funcionamiento de la máquina
- c) Detectar problemas de calidad en los productos
- d) Definir las causas de las anomalías y de los problemas
- e) Proponer (e implementar mejoras)

Para lograr esa habilidad, además de mucho tiempo, el operador requiere entrenamiento y una asignación de responsabilidades que empiezan porque cuando el mantenimiento es mayor, el trabajador debe participar también el mismo.

El mantenimiento preventivo puede parecer más costoso que el correctivo (no digamos que el productivo). Sin embargo, la planificación del mantenimiento evita costes ocultos difícilmente cuantificables para una empresa pequeña (más fácilmente en las grandes).

Dada la naturaleza estocástica de las averías, es habitual que las pequeñas empresas eviten los costes directos del mantenimiento preventivo y confíen en la suerte para que no ocurra lo que, finalmente, ocurre. Y, entonces, la culpa es de Murphy.



LOS TIEMPOS DE PREPARACIÓN

Se denomina **tiempo de setup, tiempo de preparación, tiempo de cambio**, al tiempo que se dedica a preparar la máquina para que comience el siguiente lote productivo. Al comenzar el lote puede haber un periodo en el que, aunque ya se está produciendo producto, está sujeto a controles de calidad o a ritmos de producción aún no estables.

En la práctica el setup se da también cuando el trabajador tarda más en alcanzar el ritmo de producción estándar al cambiar de actividad.

El tiempo de setup va vinculado a preparar los útiles nuevos, cambiar las materias primas, pasar las primeras unidades de la nueva orden hasta poder hacer un control de la calidad, pero también a limpiar la máquina de los restos que haya dejado la orden anterior, quitar los útiles anteriores y dejar la máquina disponible para volver a empezar.

El tiempo de setup puede ser dependiente de la secuencia (por ejemplo, al cambiar de formato en una máquina de embotellar, o cambiar de sabor del refresco). En ese caso la secuencia de producción puede tener en cuenta la denominada matriz de cambios.

El *setup* consume tiempo de máquina y de los trabajadores de la máquina, puede consumir materiales e incluso tiempo del equipo de mantenimiento que puede tener que venir a dar soporte. En ese caso la programación de la actividad tendrá que tener en cuenta a ese recurso.

Hay trabajadores y trabajos en los que lo más “entretenido” del trabajo es el setup del mismo modo que en otros entornos (o en otros turnos) lo que le gustaría al trabajador es seguir con la serie hasta el final.

El tiempo de cambio afecta la saturación de la máquina automáticamente sin cambiar las condiciones de producción. Es por ello que tratar de reducirlo es una manera inmediata de liberar recursos en las instalaciones, permitiendo a su vez reducir el tamaño de lote de fabricación.

SMED es el acrónimo que identifica la metodología más habitualmente utilizada en la reducción del tiempo de cambio de partida (Shingo, 1990). El origen de esta metodología se remonta a los orígenes del sistema *Just In Time*.

La metodología distingue entre preparación interna y preparación externa. Y trata en primer lugar de separarlas e identificarlas, en segundo lugar trata de convertir el cambio interno en externo, y posteriormente trata de reducir el tiempo de ambos tiempos. El cambio externo es el que se puede ejecutar mientras la máquina aún está produciendo la orden anterior. El cambio interno requiere que la máquina esté parada.



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

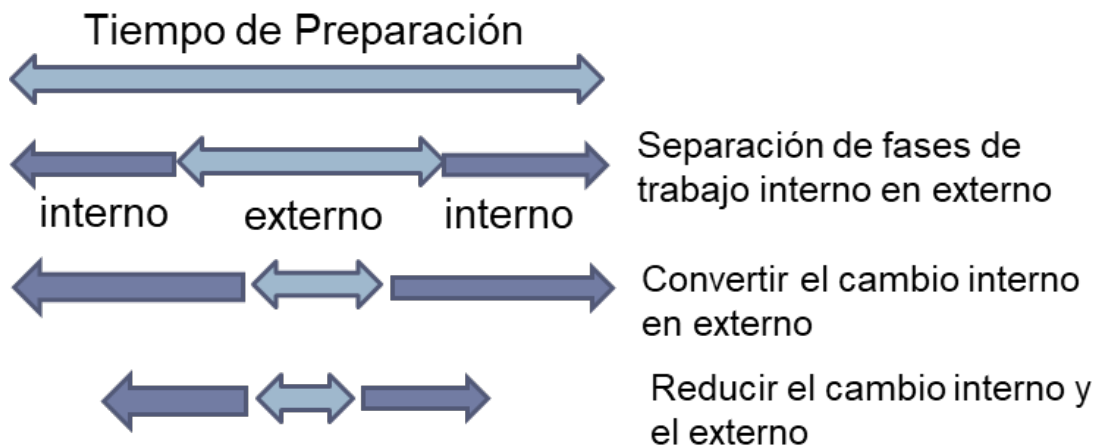


Ilustración 11: Las tres fases del SMED

ESTIMANDO TIEMPOS

Al diseñar o modificar un proceso no sólo es importante conocer qué se va a hacer, sino que también se le pide al diseñador que indique cuánto va a costar en ejecutarse y cuántos recursos hacen falta para ello

La estimación de tiempos es una de las tareas fundacionales de la ingeniería industrial. Se trata de establecer el mejor modo de hacer, y dicho mejor modo de hacer suele ir vinculado al tiempo que requiere.

Sin una estimación de los tiempos necesarios no se pueden comparar métodos alternativos, estimar las necesidades de mano de obra, planificar y controlar las operaciones, definir un sistema de coste realistas, establecer fechas de entrega, identificar los trabajadores sub-estándar o entrenar a nuevos trabajadores.

Lo que no se define no se puede medir

Sin una definición de los métodos difícilmente se puede establecer el tiempo necesario para realizarlos.

La disciplina conocida como **Estudio del Trabajo** tiene dos grandes dimensiones: la ingeniería **de métodos** y el **estudio de tiempos**.



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

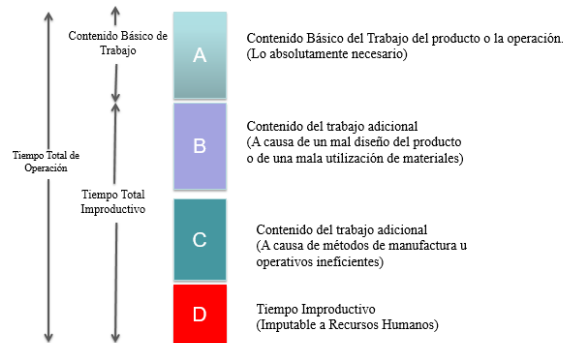
ROGLE - UPV

El manual de referencia que se debe utilizar es el de la OIT (Kanawaty, 2011) que teniendo en cuenta que la OIT es una organización internacional donde intervienen sindicatos y patronal es una buena referencia¹.

INGENIERÍA DE MÉTODOS

El estudio o ingeniería de métodos es el análisis sistemático y crítico de las maneras de hacer el trabajo existentes o propuestas con el objetivo de hacer las más fáciles, eficientes y baratas (Sempere *et al.*, 2003).

Se investigan los factores que influyen en la eficiencia y economía de las situaciones estudiadas con el fin de efectuar mejoras. Teniendo en cuenta que el tiempo total de Operación se distribuirá entre contenido básico y adicional de trabajo y el tiempo directamente improductivo.



Sin una definición de los métodos difícilmente se puede establecer el tiempo necesario para realizarlos. Porque

Lo que no se define no se puede medir

La definición de los métodos exige muy habitualmente observarlos, graficarlos y compararlos. Probablemente exija acudir a varios de los trabajadores para observar que muy habitualmente cada uno lo hace de una manera (siempre la “más óptima” según su particular criterio, aunque improbablemente se han evaluado todas las alternativas posibles para llegar a la conclusión de que es la mejor entre todas las posibles).

¹ Es tan buena referencia que es posible encontrar en la red el libro en pdf completamente escaneado sin más que buscar con el nombre del autor y el título de la obra.



La Ingeniería de Métodos pretende:

1. Mejorar los Procesos y los procedimientos
2. Mejorar la disposición del lugar de trabajo (máquinas e instalaciones)
3. Economizar el esfuerzo humano y reducir la fatiga innecesaria
4. Mejorar la utilización de materiales, máquinas y mano de obra
5. Crear mejores condiciones de trabajo.

El registro y examen crítico de los modos de realizar actividades permitirá sentar las bases para las mejoras (Kanawaty, 2011)-

Los siguientes 8 pasos constituyen un enfoque metodológico:

1. Seleccionar el trabajo a estudiar y definir sus límites
2. Registrar por observación directa los hechos relevantes y recolectar de fuentes apropiadas los datos adicionales que sean necesarios
3. Examinar de forma crítica el modo en que se realiza el trabajo, su propósito, el lugar en que se realiza, la secuencia en que se lleva a cabo y los métodos utilizados.
4. Establecer diferentes métodos de ejecutar variando los presupuestos sobre los que se diseñó el original.
5. Seleccionar el método más adecuado (práctico, económico, eficaz, inclusivo...)
6. Definir el nuevo método de forma clara y presentarlo a todas las personas a quienes pueda concernir
7. Implantar el nuevo método como una práctica normal y formar a todas las personas que han de utilizarlo
8. Controlar la aplicación del nuevo método e implantar procedimientos adecuados para evitar una vuelta al uso del método anterior

ESTUDIO DE TIEMPOS

La definición de los métodos exige muy habitualmente observarlos, graficarlos y compararlos. Probablemente exija acudir a varios de los trabajadores para observar que muy habitualmente cada uno lo hace de una manera (siempre la “*más óptima*”, aunque probablemente no se han evaluado todas las alternativas posibles para llegar a la conclusión de que es la mejor entre las posibles).



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

Una vez definidos los métodos, existen diferentes herramientas para estimar tiempos. Siendo las más utilizadas las siguientes.

1. El muestreo estadístico
2. La estimación analítica
3. Los datos estándar elementales
4. El Cronometraje
5. Los tiempos predeterminados

El **muestreo estadístico** es una herramienta de fundamento estadístico, aparentemente sencilla de utilizar, para conocer cuánto del tiempo se está dedicando a cada parte de un determinado trabajo. Se trata de hacer un muestreo que confirme la validez de una hipótesis previa. Es decir, si creo que el 25% del tiempo el trabajador está preparando la máquina, no es necesario cronometrar toda su actividad diaria. Basta con muestrear de modo suficiente para confirmar la hipótesis. Se utiliza cuando los trabajos a estimar son muy heterogéneos y tienen tiempos de ciclo largos. En muchos lugares se utiliza como primera aproximación para entender/validar la intuición de dónde están las oportunidades de mejora.

La **estimación analítica** exige dividir la actividad en fragmentos más pequeños y reconocibles. El experto, a partir de su conocimiento y experiencia, estima el rendimiento de los recursos a disponer para ejecutar cada uno de los fragmentos y posteriormente suma todos los tiempos necesarios. Se puede decir que el concepto de *Work Breakdown Structure* que se utiliza en gestión de proyectos es un tipo de estimación analítica.

Los **datos estándar elementales** permiten estimar la cantidad de trabajo necesario en la introducción de un nuevo producto porque se estudiaron y guardaron para productos anteriores el tiempo requerido. Básicamente la empresa aprende del coste que supone realizar una operación y lo puede utilizar para estimar el tiempo que requerirá una operación similar. Es utilizado de manera sistemática por las grandes empresas en el diseño de sus sistemas productivos. También es utilizado de manera intuitiva y poco sistemática en las pequeñas empresas para presupuestar los trabajos.

CRONOMETRAJE

Si la tarea se está ejecutando, quizá lo mejor sea la toma directa de tiempos: **cronometraje**. Aunque parece sencilla esta actividad es muy difícil de realizar. Exige definir las operaciones con detalle y suficiente experiencia para saber si el



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

trabajador está yendo muy deprisa o muy lento, y si el ritmo es sostenible. El cronometraje se usa cuando los ciclos de trabajo son repetitivos.

Dado que las otras técnicas exigen un grado de abstracción elevado, el cronometraje es la técnica más habitualmente utilizada (lo que no quiere decir que sus resultados sean correctos o sea bien utilizada).

Para hacer bien un estudio de tiempos mediante cronometraje hay que:

1. Seleccionar el trabajo a ser cronometrado
2. Obtener toda la información disponible sobre el trabajo y sobre las condiciones que pueden afectarle
3. Descomponer el trabajo a analizar en elementos.
4. Cronometrar el tiempo de ejecución de cada elemento.
5. Evaluar al cronometrar si la velocidad es normal
6. Ajustar el tiempo obtenido a una velocidad normal.
7. Añadir al tiempo los factores de compensación por fatiga, necesidades personales, posibles contingencias-
8. Calcular el tiempo total al multiplicar el número de veces que cada elemento se repite.
9. Describir el trabajo para el que se ha desarrollado el estándar.
10. Probar y revisar los estándares cuando sea necesario.

Lo poco sistemático que se suele ser cuando se toman tiempos hace que en realidad tomar tiempos por la vía de cronometrar sea una manera poco adecuada para conocer el tiempo necesario para realizar una operación.

Dos son las fuentes de error más habituales que conviene considerar: la valoración del ritmo de trabajo (qué es normal, rápido, lento) y el olvido de los suplementos de descanso. Este último puede suponer entre un 10% y un 15%. (Miralles-Insa, 2015)

Los suplementos por descanso son de tres tipos: Los suplementos fijos variables o de contingencia. Los suplementos fijos dependen de necesidades personales y fatiga básica. Los suplementos variables están ligados a la tensión en el trabajo (precisión, riesgo, monotonía) o ambientales (ruidos, calor, iluminación...). Los suplementos por contingencias incluyen aspectos como aprendizaje, formación o implantación del nuevo método, por comienzo o cierre, por ajuste de herramientas o limpieza...

TIEMPOS PREDETERMINADOS

Los tiempos predeterminados son tablas que asignan a movimientos (generalmente micromovimientos) un tiempo de ejecución realizado a través del estudio de muchas muestras de operaciones diversificadas. El análisis detallado de la tarea a ejecutar y su descomposición en elementos se ha de hacer igualmente, pero al utilizar tablas de tiempos validadas permite una estimación más acertada y menos subjetiva que el cronometraje.



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

Están originalmente asociados a pequeños movimientos u operaciones elementales del tren superior (alcanzar, mover, coger, posición, soltar, desmontar, girar, presionar y manivela), del tren inferior (andar, paso lateral, poner rodilla en suelo) y movimientos de enfoque visual.

La metodología para utilizar los tiempos predeterminados es determinar los movimientos básicos, definir las variables que les afectan, buscar en las tablas correspondientes a cada elemento básico, sumar y aplicar los márgenes convenientes. Los tiempos predeterminados se utilizan para operaciones manuales en un centro de trabajo con tiempos de ciclo cortos.

Existen en el mercado diferentes juegos de tablas que con mayor o menor nivel de detalle estiman la duración de los movimientos elementales siendo las de uso más habitual MTM, MODAPTS y MOST. Cada una de ellas con sus ventajas e inconvenientes puesto que cada una de ellas tiene su propio foco. Y además cada uno de los sistemas ofrece opciones de diferente nivel de detalle.

Motion Length in cm		≤ 20	> 20 to ≤ 50	> 50 to ≤ 80	
Distance Class		1	2	3	
Get and Place		Code	1	2	3
			TMU		
≤ 1 kg	easy	approx. AA	20	35	50
		loose AB	30	45	60
		tight AC	40	55	70
	difficult	approx. AD	20	45	60
		loose AE	30	55	70
		tight AF	40	65	80
	handful	approx. AG	40	65	80
	> 1 kg to ≤ 8 kg	approx. AH	25	45	55
		loose AJ	40	65	75
tight AK		50	75	85	
> 8 kg to ≤ 22 kg	approx. AL	80	105	115	
	loose AM	95	120	130	
	tight AN	120	145	160	
Place		Code	1	2	3
			TMU		
	approx. PA	10	20	25	
	loose PB	20	30	35	
	tight PC	30	40	45	

Motion Length in cm		≤ 20	> 20 to ≤ 50	> 50 to ≤ 80	
Distance Class		1	2	3	
Handle Tool		Code	1	2	3
			TMU		
	approximate HA	25	45	65	
	loose HB	40	60	75	
	tight HC	50	70	85	
Operate		Code	1	2	3
	simple BA	10	25	40	
	compound BB	30	45	60	
Motion Cycles		Code	1	2	3
	one motion ZA	5	15	20	
	motion sequence ZB	10	30	40	
	re-position and one motion ZC	30	45	55	
	tighten or loosen ZD		20		
Body Motions		Code	TMU		
	Walk / m KA		25		
	Bend, Stoop, Kneel (incl. arise) KB		60		
	Sit and Stand KC		110		
Visual Control		VA	15		

Fuente <http://blog.ergo-mtm.it/wp-content/uploads/2016/04/UAS-ENG.jpg>

De toda la tabla anterior quizá lo más curioso sea saber que los TMU son una unidad de tiempo que equivale a 36 milisegundos que es el tiempo que tardaba en pasar un fotograma en una película para generar la ilusión del movimiento.



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

EL EFECTO APRENDIZAJE

La repetición de una tarea de manera sistemática es el mejor modo de aprender. Y cuando el ser humano aprende es capaz hacer la misma tarea con menos esfuerzo y con mayor precisión.

Si el aprendizaje se mide en unidades producidas por hora, se denomina curva de aprendizaje a la representación gráfica del incremento de productividad en función del número de repeticiones.

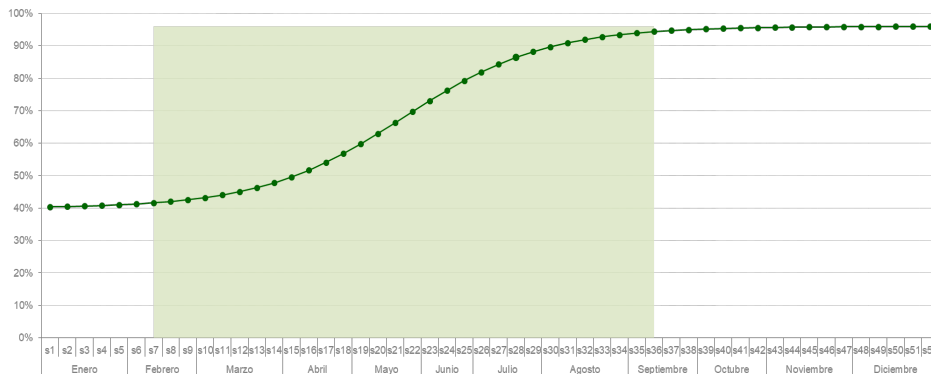


Ilustración 12: Curva de Aprendizaje expresada en función del tiempo

De acuerdo a la anterior representación, la curva de aprendizaje crece lentamente al principio, le sigue un crecimiento exponencial, hasta alcanzar una meseta de productividad con crecimientos muy moderados.

La mejora ligada a la repetición se produce por diferentes razones. La más evidente es porque mejora el conocimiento del proceso y con él se reducen las dudas y las decisiones. También se produce el efecto porque mejoran las habilidades manuales. Esas razones son intrínsecas al operario, pero también mejoran la eficiencia de la operación por la incorporación de útiles y por la mejora en la disposición física de los productos.

Una manera simple de expresar el efecto aprendizaje es la tasa de aprendizaje (p). La tasa de aprendizaje es el valor porcentual en tiempo de operación que se obtiene al duplicar el número de repeticiones. La tasa de mejora sería el complementario porcentual (1-p).

Para algunos autores la curva de aprendizaje es una expresión de las leyes de potencia, en la que el tiempo para realizar la n-ésima repetición de una tarea sigue la función expresada en la siguiente fórmula:

$$T_n = T_0 n^r$$



Siendo T_n el tiempo en el que se realiza la n -ésima repetición. Y r un exponente negativo que debería ser estimado en las primeras repeticiones. La tasa de aprendizaje sería $p = 2^r$ y por tanto $r = \log_2(p)$

Diferentes autores sitúan el valor de la tasa de aprendizaje entre el 75% y el 95%. Las tablas insertadas a continuación presentan el valor de los tiempos por unidad resultantes para tasas del 80% y el 90%. Es interesante destacar que mientras se produce el efecto aprendizaje se han de realizar piezas y que estas tienen un coste. Por ello se calcula la tasa de aprendizaje promedio.

unidades producidas	mins / unidad	mins acumulados	mins /unidad promedio
1,0	100,0	100,0	100,0
2,0	90,0	190,0	95,0
4,0	81,0	355,6	88,9
8,0	72,9	657,5	82,2
16,0	65,6	1204,2	75,3
32,0	59,1	2191,6	68,5
64,0	53,2	3972,0	62,1
128,0	47,9	7179,6	56,1
256,0	43,1	12956,0	50,6
512,0	38,8	23356,4	45,6
1024,0	34,9	42080,5	41,1

unidades producidas	mins / unidad	mins acumulados	mins /unidad promedio
1,0	100,0	100,0	100,0
2,0	80,0	180,0	90,0
4,0	64,0	314,2	78,5
8,0	51,2	534,5	66,8
16,0	41,0	891,9	55,7
32,0	32,8	1467,6	45,9
64,0	26,2	2392,0	37,4
128,0	21,0	3873,4	30,3
256,0	16,8	6245,7	24,4
512,0	13,4	10042,9	19,6
1024,0	10,7	16119,4	15,7

Ese valor, debe ser validado en cada caso, pues depende de las personas implicadas, de los productos manejados, de las máquinas utilizadas y de la capacidad del sistema de aprender y de expresar lo aprendido.

Si el efecto aprendizaje fue documentado en producción en los años 30 del siglo XX, 20 años después el BCG propuso la **curva de experiencia** como modo de mostrar el mismo efecto para las organizaciones como un todo.

Ni todas las personas aprenden igual, ni todas las máquinas aprenden (si alguna aprenden) ni el efecto aprendizaje se muestra siempre en el mismo nivel. Es por ello que los sistemas se desequilibran con la actividad. Es decir, un diseño en el que las cargas de trabajo estaban perfectamente bien calculadas pasará a estar desequilibrado por la mera repetición de actividades. Sólo este hecho debería llevar a todos los directores de operaciones (si los hubiere) de todos los organismos (públicos o privados) a permanentemente reevaluar las cargas de trabajo para reasignar tareas (pero eso les obligaría a reunirse con los sindicatos, definir procesos, tener que acordar un modo de medición, y definir un argumento por el que cambiar la asignación de trabajadores. Demasiado trabajo quizá.

En algunos casos los incentivos para mostrar lo aprendido, limitarán el aprendizaje (por ejemplo, contratos realizados por horas de trabajo en los que la



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

reducción de tiempo reduce los ingresos de los trabajadores). O incluso los incentivos por productividad que, cuando se diseñaron se fijó un tope “inalcanzable”, y que una vez pasa el tiempo se alcanza de manera sistemática.

Para evitar el problema de que las cosas se pudieran hacer mejor de lo que se hacen (porque los competidores sí están haciéndolo) algunas empresas subcontratan su actividad. De este modo sí habrá alguien con un beneficio directo de “reorganizar”: el dueño de la subcontrata. El inconveniente es que entonces la principal no se beneficia del “efecto aprendizaje”. Y eso lo resuelve la principal con un contrato en el que obliga a una reducción de precios al cabo de un año.

LOS TIEMPOS ESPERANDO

“Vinga va, que fem tart”

El modo más utilizado para coordinar actividades es esperar. No es desde luego el más eficiente, pero si para poner en marcha una actividad hay que tener la máquina, el trabajador, los materiales (y en ocasiones al cliente) lo esperable es que alguien tenga que esperar (o todos). La espera es lo esperable: no lo eficiente ni tampoco lo razonable.

- Cuando un cliente entra en un restaurante de comida rápida y hay 50 clientes esperando, que se atienden a razón de 1 cliente por minuto, esperará 50 minutos para ser atendido durante 1 minuto.
- Si un cliente emite un pedido, y en la empresa se procesan (para ser más eficiente) los miércoles por la mañana, se acaban de incorporar 5 días al plazo de entrega.
- Si para hacer más eficiente un proceso administrativo se divide en 4 etapas, pero se permite que cada una de las etapas se retrase hasta una semana para “poner un sello”, se acaban de retrasar la resolución 4 semanas.
- Si para garantizar el cumplimiento de un reglamento hace falta una comisión que se reúne una vez cada 5-6 semanas, el plazo de resolución acaba de crecer en un mes.
- Si para fabricar los muebles de una cocina se estructura la operación en 8 etapas, y se traspasa la producción de una etapa a la siguiente cada día, se acaban de incorporar casi dos semanas en el plazo de entrega.
- Si en una empresa que fabrican 1000 coches al día requiere almacenes con capacidad de 2000 carrocerías en total, se ha incrementado en dos días al plazo de entrega
- Si para protegerse del retraso en un trámite aduanero (por si acaso) se dispone de un stock que duplica el volumen de producción ligado al retraso (por si acaso) se ha sumado al plazo de entrega un tiempo equivalente a 3 veces el posible retraso.
- Si para aplicar una quimioterapia es necesario que el paciente vaya a primera hora de la mañana a hacerse una analítica, y se cita a todos los pacientes del mismo doctor el mismo día (para que el doctor sea más eficiente en su gestión) a las 08:00 (porque es cuando abren) el paciente paciente tendrá que hacer cola (poca) para que le extraigan la sangre, su sangre tendrá que hacer cola (un poco más) para ser analizada, su análisis



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV

esperará a que el médico pueda atenderlo (bastante más porque tiene un gran número de pacientes que atender) y si la suerte permite que proceda la quimio, enviará una orden a farmacia, dónde habrá órdenes similares pero distintas que procesar, y finalmente el paciente impaciente, podrá recibir su tratamiento 8 horas después de haber llegado al hospital (en aras de la eficiencia).

Todas las esperas siempre tienen una explicación. Una explicación que cuanto más sofisticada será menos justificada. Una explicación que dejará tranquilos a algunos (los que detentan el poder en el sistema) e igual a los otros (los sufridores del mismo).

En ocasiones (pocas) el tiempo de operación efectivo es un componente importante del plazo de entrega. En esos casos reducir el tiempo de ciclo (incrementar la velocidad) reducirá el tiempo de entrega y será razonable hacer un esfuerzo en ello.

Sin embargo, en la mayor parte de las ocasiones el plazo de entrega es varias veces el tiempo de ciclo. Si ese es el caso es porque el producto está esperando en diferentes lugares. De hecho, esa espera es el componente más importante del *throughput time*. Si en una empresa u organización se considerara que el tiempo de entrega al cliente, el *throughput time*, es excesivo se pondrían en marcha (con casi toda probabilidad) iniciativas para reducir los tiempos de operación.

El plazo de entrega se podrá mejorar por la vía de acercar el punto de desacople al cliente (pero esto es caro) también se puede mejorar reduciendo el *throughput time*, y eso se logra reduciendo o limitando la cantidad de trabajo-en-curso (*WIP-Work In Progress*), y para ello hay que reducir o limitar el tamaño de los buffers. Buffers que aparecen como setas en cualquier actividad que no los limita explícitamente.

Las colas (los buffers, los stocks, las paradas de máquina) crecen con la variabilidad (tiempos de ciclo variables, tiempos de setup, averías no programadas, clientes que aparecen cuando lo consideran oportuno y pedidos que se habían quedado estancados no se sabe dónde) y no desaparecen porque falta capacidad (o voluntad) para reducir el tamaño de la cola.

Salvo que la actividad se programe con detalle. Lo que exige conocer los tiempos (y que luego se cumplan) y también exige darle un tiempo de llegada a los clientes (y que luego vengan).

Para entender, mejorar, gestionar y controlar los tiempos de espera existe una disciplina de la investigación operativa que puede ayudar: la denominada "Teoría de Colas". En este documento se puede encontrar un apéndice que puede ser interesante pero que es mucho más que las hojas escritas (Gross *et al.*, 2008).

Para entender, mejorar, gestionar y controlar la temporización de las actividades existe una disciplina de la investigación operativa que puede ayudar: "Scheduling". En este documento se puede encontrar una brevísima aproximación que se debe ampliar los buenos manuales que existen al efecto (Pinedo, 2016)



BIBLIOGRAFÍA

Gross, D. *et al.* (2008) *Fundamentals of queueing theory*. Wiley.

Kanawaty, G. (2011) *Introducción al estudio del trabajo*. OIT.

Miralles-Insa, C. (2015) 'Cálculo de suplementos de fatiga para la definición de estándares de trabajo'. doi: <http://hdl.handle.net/10251/53060>.

Pinedo, M. L. (2016) *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*. Springer.

Rius-Sorolla, G. *et al.* (2015) 'Evaluación de dos estrategias de aprovisionamiento coordinado mediante la dinámica de sistemas: caso de estudio en el sector de materiales de la construcción', *Dirección y Organización*, 55, pp. 44–51.

Saez-Mas, Aida; García-Sabater, Jose P.; Morant-Llorca, J. (2018) 'Using 4-layer architecture to simulate product and information flows in manufacturing systems', *Int j simul model*, 17, pp. 30–41. doi: 10.2507/IJSIMM17(1)408.

Sancho Chilet, H. (2020) *Análisis y Propuesta de Cambio del Proceso Productivo de Una Línea de Mecanizado de Pilares Dentales en Una Planta del Sector de Dispositivos Médicos*. Universidad Politécnica de Valencia.

Sempere, F. *et al.* (2003) *Aplicaciones de mejora de métodos de trabajo y medición de tiempos*. Ed. Univ. Politéc. Valencia. Available at: <http://books.google.com/books?id=OWBFGz2VR5EC&pgis=1> (Accessed: 22 September 2019).

Shingo, S. (1990) *Una revolución en la producción : el sistema SMED*. Edited by TGP Tecnologías de Gerencia y Produccion. Madrid.

Vidal-Aragon Reviriego, L. (2018) *Desarrollo e Implementación de Un Sistema de Planificación y Control de Operaciones para Una Empresa Fabricante de Nylon*. Universidad Politécnica de Valencia.



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

Tiempo y Operaciones

<http://hdl.handle.net/10251/137437>

ROGLE - UPV