

## Capítulo 9 Estudio de tiempos

### 9.1 Conceptos

El estudio de tiempos se suele asociar con los sistemas de incentivos o primas (ver capítulo 13); en la medida en que se considere que los incentivos a la cantidad de producción se encuentran en regresión, los estudios de tiempos irían perdiendo interés progresivamente. Pero no son los incentivos la única ni siquiera la principal aplicación de los estudios de tiempos. Ya se ha visto en el capítulo 8 el papel esencial que desempeña el conocimiento de los tiempos en el diseño, mejora y comparación de métodos; además, los tiempos son indispensables para la planificación, el control y el cálculo de presupuestos. Por consiguiente, el estudio de tiempos sigue teniendo plena actualidad y la ha de seguir teniendo en el futuro, aunque ciertamente puede haber algunos tipos de trabajos para los que no tenga sentido.

Con el fin de conocer los tiempos y dejando aparte las tablas o gráficos correspondientes a tareas muy repetitivas en una empresa o en un sector de actividad (*tablas de datos normalizados* que, en definitiva, proceden de cronometrajes o aplicaciones de sistemas de tiempos predeterminados), los procedimientos disponibles son: *cronometraje, sistemas de tiempos predeterminados y muestreo de trabajo*.

#### 9.1.1 Cronometraje

Como su nombre indica, se basa en la medida de tiempos con un cronómetro o instrumento equivalente (cronómetros analógicos o digitales o calculadoras de bolsillo que registran los datos en un soporte magnético, lo cual facilita su tratamiento posterior) y es el procedimiento más antiguo y, probablemente, más conocido. El cronometraje se puede hacer por observación directa del trabajo del operario o a través de una grabación en vídeo (o una filmación cinematográfica como las de Gilbreth, pero la utilización del vídeo es mucho más cómoda y económica).

Antes de proceder a las observaciones se debe disponer de una descripción del método

y se debe asimismo haber delimitado de forma precisa los diversos *elementos* que componen el *ciclo de trabajo*. El método ha de ser estable, tanto en el sentido de que no experimente modificaciones a lo largo del tiempo como en cuanto al tiempo medio dedicado por el operario o el elemento productivo de que se trate a la ejecución del elemento (es decir, normalmente no se realizará, salvo para fines especiales, el cronometraje de un método cuya implantación se encuentre en una fase de entrenamiento, en la que el efecto de aprendizaje puede ser muy sensible). Las observaciones del tiempo se efectúan para cada uno de los *elementos*, que muchas veces coincidirán con los que aparecen en la descripción del método; pero no siempre, por diversos motivos: por una parte, los *elementos* a cronometrar no pueden ser muy breves (lo que induciría errores en las observaciones), ni muy largos (porque, como se verá, se supone que el operario mantiene la velocidad de ejecución a lo largo de todo el tiempo correspondiente al elemento y esto podría dejar de ser cierto si el tiempo total correspondiente es muy prolongado); por otra, los elementos deben definirse de tal forma que se distinga perfectamente el instante en que termina uno o comienza el siguiente (idealmente, este instante debe corresponder a una señal fácilmente perceptible, como el contacto entre una mano y la pieza, el ruido de la pieza al caer en una caja, etc.). Los elementos pueden clasificarse según distintos puntos de vista (manual - a máquina parada o con máquina en marcha -, automáticos, etc.) y según cuál sea el tipo de elemento tendrá características que influirán en las formas de llevar a cabo el cronometraje (si el material es homogéneo, un elemento correspondiente al funcionamiento automático de una máquina se ejecutará en un tiempo prácticamente constante, en tanto que el tiempo necesario para ejecutar un trabajo manual, de preparación de una máquina o una pieza, por ejemplo, será variable porque dependerá de la concentración y la velocidad con que el operario se dedique a la tarea).

Provisto de la descripción del método, que incluye su descomposición en elementos, el cronometrador observa el desarrollo del trabajo y, para cada elemento, anota el *tiempo de reloj* y la *actividad* desarrollada por el operario.

A diferencia de lo que ocurre en cualquier otra disciplina científica o técnica, en que la unidad de tiempo es el segundo, en cronometraje está muy arraigada la tradición de utilizar otras unidades (como la centésima de minuto o la diezmilésima de hora, entre otras - recuérdese el *wink* o *guiño* de Gilbreth), lo cual en cierto modo tiene muy poca importancia, puesto que es fácil pasar de unas a otras unidades si conviene, pero no contribuye a facilitar la interpretación inmediata de los valores por parte de personas no avezadas.

La palabra "actividad" tiene, desde luego, muchas acepciones, pero, en el contexto de los estudios de tiempos significa *una evaluación, que lleva a cabo el cronometrador, de la velocidad a que el operador ejecuta la tarea en relación a una velocidad que se considera normal*. Las escalas de actividad que han sido definidas y que de hecho se utilizan son diversas, pero si las definiciones están claras no hay ninguna dificultad en pasar de la una

a la otra. En la escala centesimal la base es el valor 100; en la Bedaux, 60; en la 75-100, 75. La actividad normal se define en relación a determinadas tareas (por ejemplo, andar a 4'8 km/h, sin carga, en suelo llano y sin accidentes), pero es evidente la dificultad de comparar definiciones que se refieran a tareas distintas así como la de aplicar una de estas definiciones a una tarea distinta de la considerada en la propia definición. De ahí la necesidad de entrenar a los cronometradores y comprobar periódicamente sus evaluaciones de actividad (mediante películas o vídeos pasados a distintas velocidades, etc.), pero se ha de ser consciente de que la evaluación de la actividad tiene un componente subjetivo inevitable. De ello resulta que la evaluación de la actividad siempre puede resultar polémica, especialmente cuando el cronometraje es un elemento en un sistema de incentivos, ya que en este caso las discrepancias en la apreciación tienen repercusiones muy directas en los ingresos de los trabajadores. La actividad se puede expresar, sin referencia a ninguna escala de actividad concreta, mediante el *factor de actividad*, cociente entre la actividad estimada y la actividad normal; el valor del factor de actividad es, por consiguiente, del orden de 1. Independientemente de que en un período breve un operario pueda alcanzar valores más altos, normalmente se considera que la actividad máxima que se puede mantener permanentemente sin perjuicio para la salud (lo que a veces se denomina *actividad óptima*) está 1/3 por encima de la normal (corresponde a 133'33 en la escala centesimal - aunque en muchos textos, con el argumento de que este valor no es cómodo, se asocia a la actividad óptima, en escala centesimal, el valor 140, que no es coherente con los valores de la actividad óptima en las otras escalas -, 80 en la Bedaux i 100 en la 75-100, tal como aparece en la propia designación de esta escala). Por supuesto, la estimación de la velocidad de ejecución que lleva a cabo el cronometrador no puede ser ni se pretende que sea muy precisa, por lo cual el valor de la actividad, que en principio es uno cualquiera en un intervalo continuo, en la práctica suele corresponder a una escala discreta (con valores de 5 en 5, por ejemplo: 60, 65, 70,... Bedaux).

Los instrumentos tradicionalmente utilizados en cronometraje para la lectura de tiempos son cronómetros analógicos de diversos tipos, con diversas modalidades de lectura (continua - se lee el tiempo que marca el reloj, que va aumentando desde el valor inicial - , o con puesta a cero; cronómetro retrapante - la manecilla arrastra un indicador y cuando el operario finaliza la ejecución del elemento de trabajo el cronometrador pulsa un botón que detiene el indicador, lee la posición del mismo y lo libera seguidamente para que vuelva a moverse juntamente con la manecilla -; también existe una modalidad que utiliza tres cronómetros que el cronometrador acciona simultáneamente con una varilla - a cada golpe de varilla y rotativamente, uno de los cronómetros se detiene, otro se pone en marcha y el tercero vuelve a cero -; el cronometrador anota el tiempo y la actividad en un impreso preparado al efecto (que básicamente, además de los datos identificativos - tarea, operario, cronometrador, fecha, etc. - consta de tres columnas, para anotar el elemento, el tiempo de reloj y la actividad), dispuesto sobre un soporte o tablilla en el que también se suele sujetar, mediante pequeños dispositivos, el cronómetro o cronómetros; se puede discutir con mayor extensión acerca de estos detalles y de las ventajas e inconvenientes

de cada uno de estos instrumentos y formas de proceder, pero estas cuestiones son más propias del oficio de cronometrador y, por otra parte, estos instrumentos tradicionales pueden ser substituidos con ventaja por otros más modernos, que van desde los cronómetros digitales, con menor o mayor número de funciones, ligeros, compactos, precisos y económicos, hasta sistemas muy complejos que integran una cámara de vídeo y un ordenador, pasando por calculadoras de bolsillo con reloj incorporado y un software adaptado a la función de cronometrar. A estas últimas, y para aplicaciones corrientes, corresponde seguramente, como se suele decir ahora, la mejor relación calidad/precio; un ejemplo de modalidad de utilización de estas calculadoras en cronometraje es el siguiente: a cada elemento se le asocia una tecla de un cierto conjunto y se reserva otro conjunto (por ejemplo, las teclas de función) para asociarlo a diversos niveles de actividad; cuando se inicia un elemento, el cronometrador pulsa la tecla que tiene asociada (lo que desencadena la grabación en una memoria de una información con el código del elemento y el instante en que se ha pulsado la tecla), estima la actividad y pulsa entonces la tecla correspondiente (lo que graba la información relativa a la actividad) y finalmente, pulsa una tecla de fin de elemento o la correspondiente al inicio del elemento siguiente y así sucesivamente hasta que termina la sesión de cronometraje. Estos instrumentos no sólo facilitan significativamente la tarea de toma de datos sino que también permiten una más rápida y segura elaboración de los mismos, con programas ejecutables en la propia calculadora, o previa transferencia de las informaciones recogidas a un ordenador.

Distintos operarios pueden trabajar a distintas actividades y un mismo operario también puede trabajar a distintas actividades, según los días, los momentos del día, su estado de ánimo, etc. Por consiguiente, los tiempos de reloj de un mismo elemento de trabajo, observado repetidamente, no son comparables; hay que eliminar la repercusión de la actividad. El producto del tiempo de reloj por el factor de actividad es el *tiempo normal*, el cual, si la actividad estuviera bien estimada y no hubiera ningún otro factor de variación, debería ser constante para todas las observaciones. Realmente, no sucede así; incluso dejando a un lado los errores en la apreciación de la actividad (inevitables porque se trata de una estimación con un cierto componente subjetivo y porque, como se ha dicho, la actividad en la práctica se evalúa sobre una escala discreta), pequeñas variaciones en la posición de las herramientas o de los materiales, o en la calidad de estos últimos, y en la forma de trabajar del operario producen una dispersión de los tiempos normales. Por consiguiente, los valores de los tiempos normales correspondientes a observaciones repetidas de un mismo elemento presentan una distribución más o menos dispersa, de donde se deduce, en primer lugar, que nunca basta, para estimar con rigor el tiempo de un elemento, con una sola observación, ya que ésta no da información alguna sobre la dispersión ni, por lo tanto, sobre el intervalo de confianza asociado a la adopción, como valor estimado, del correspondiente a esta hipotéticamente única observación y, en segundo lugar, que habitualmente, por no decir siempre, se requiere un valor que represente el conjunto de las observaciones, o *tiempo normal representativo*, para cuyo cálculo lo mejor es hallar la media de los tiempos normales de las diversas observaciones, previa eliminación de las que sean consideradas anómalas. El *tiempo normal representativo*

de un elemento es, pues, la estimación de la media del tiempo necesario para ejecutar un elemento de trabajo a actividad normal. El cálculo de este *tiempo normal representativo* requiere la realización de unas multiplicaciones, para pasar del tiempo de reloj al tiempo normal de cada observación, y una suma y una división para calcular la media; en definitiva, operaciones sencillas, cuya realización no supone dificultad ninguna, aunque, hace unos años o unas décadas, cuando los instrumentos de cálculo estaban menos desarrollados y eran más caros, lentos y pesados, podía suponer una tarea algo larga y tediosa. No es de extrañar, por consiguiente, que se desarrollaran procedimientos de cálculo más expeditivos (por ejemplo, calcular la media de los tiempos de reloj y la media de las actividades y, con estos valores, estimar el tiempo normal representativo; e incluso realizar estos cálculos con ayuda de gráficos - por ejemplo, hallar la media de los tiempos de reloj ajustando previamente un triángulo a un histograma de los mismos y hallando el centro de gravedad de este triángulo como punto de intersección de sus medianas- que proporcionan valores parecidos al que se obtiene efectuando el cálculo como es debido pero que en general presentan desviaciones, de diverso signo, respecto al mismo; en definitiva, no existe justificación ninguna, ni siquiera la de ahorro de tiempo para la realización de los cálculos, para utilizar, hoy en día, tales procedimientos, a algunos de los cuales, no obstante, se les ha de reconocer la virtud de que, por su propia naturaleza, obligaban a realizar representaciones gráficas de la distribución de los valores obtenidos que permitían detectar anomalías o peculiaridades en los mismos; la adopción, sin más, de procedimientos más automatizados de tratamiento de la información puede hacer perder de vista la necesidad de tales representaciones gráficas, que sigue subsistiendo.

En efecto, antes se ha definido el *tiempo normal representativo* de un elemento como la media de los tiempos normales de las diversas observaciones *previa eliminación de aquellas consideradas como anómalas*. Ello requiere un comentario. Tal como se ha dicho, en principio cabría esperar que los tiempos normales correspondientes a diversas observaciones tuvieran el mismo valor, pero que una reflexión más cuidadosa lleva a la conclusión, confirmada por la práctica, de que ello no es exactamente cierto, puesto que el tiempo de ejecución no sólo depende de la actividad del operario sino de la resultante de un conjunto de pequeñas causas, muchas de las cuales se puede suponer razonablemente que son independientes; lo que cabe esperar, por tanto, es que la distribución del tiempo normal sea parecida a una ley normal o, al menos, que sea una distribución unimodal, con una dispersión aproximadamente simétrica y más o menos acentuada alrededor de su valor central. Si dibujamos el histograma de los tiempos de reloj es fácil ver si los datos obtenidos en las observaciones se ajustan a este esquema; en caso contrario (distribución multimodal o marcadamente asimétrica u observaciones aisladas - tiempos muy pequeños o muy grandes en relación a la mayoría -), algo no encaja en el marco de las hipótesis (método mal descrito, observaciones erróneas, etc.) y en la medida en que sea posible se debe indagar qué es ello; para eliminar una observación no basta con que se salga del esquema previsto: lo equivocado puede ser el esquema y no la observación, cuyo análisis puede proporcionarnos, por consiguiente, indicaciones extremadamente valiosas. Así pues, para analizar y cribar las observaciones se ha de

considerar indispensable una representación gráfica, un histograma, de los tiempos normales; lo que no se puede hacer o, mejor dicho, puesto que hay quien lo hace, no debería hacerse, es eliminar, sin más, las observaciones que no cumplan determinadas condiciones mediante algún procedimiento digamos automático (y a veces con pretensiones estadísticas, tal como eliminar las observaciones que no se encuentran en un intervalo de más menos dos desviaciones típicas en relación a la media); de este modo se pierde una información que puede ser muy valiosa; en este sentido, cuando los datos se elaboran mediante software adquirido es muy importante conocer los detalles del tratamiento.

Lo dicho en el párrafo anterior no es particular o específico del cronometraje, puesto que, después de todo, sólo se trata de adoptar las precauciones habituales para la estimación de un parámetro de la distribución de una variable aleatoria (el tiempo normal, en este caso).

El tiempo normal representativo es, por tanto, una estimación de la media de una variable aleatoria y como tal, para un riesgo de error dado, tiene asociado un intervalo de confianza que depende del número de observaciones y de la distribución y dispersión de la propia variable (que, de hecho, conocemos únicamente a través de la muestra); para ciertas hipótesis (distribución normal de los tiempos normales o muestras suficientemente grandes para que la distribución de sus medias se ajuste aceptablemente a una ley normal) que en la práctica resultan poco restrictivas (si todas las etapas anteriores han sido cubiertas satisfactoriamente), se puede calcular el número de observaciones necesario para obtener un intervalo de confianza dado, para un riesgo de error previamente determinado. Para ello hay que partir de la información proporcionada por una pequeña muestra inicial, con la que podremos calcular el número de observaciones de la muestra definitiva (a reserva de que la información proporcionada por esta última no desmienta los cálculos realizados a partir de la muestra inicial).

En los supuestos expresados, si se conoce la  $\sigma$  de la población, el intervalo de confianza de la media es:

$$\bar{x} \pm t_{\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

donde  $t_{\alpha}$  es el valor correspondiente de la ley normal para el nivel de confianza  $1-\alpha$  (1'96 para  $1-\alpha=0'95$ ).

De hecho,  $\sigma$  no es conocida y en su lugar se utiliza la estimación obtenida por medio de una muestra de  $n$  observaciones:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}}{n-1}$$

por lo cual la  $t_{\alpha}$  es la de Student-Fisher, próxima a la de la ley normal, salvo para valores pequeños de  $n$ .

Así pues, la expresión del intervalo de confianza es, con la estimación de la desviación tipo obtenida de la muestra inicial:

$$\bar{X} \pm t_{\alpha} \frac{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}}{\sqrt{Nn(n-1)}}$$

por lo que si se desea una precisión  $\pm k$ :

$$N \geq \frac{t_{\alpha}^2 \left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right]}{k^2 n(n-1)}$$

y si se desea una precisión relativa  $\pm p$ :

$$N \geq \frac{t_{\alpha}^2 n \left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right]}{p^2 \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 (n-1)}$$

Supóngase que han sido efectuadas 10 observaciones de la realización de un determinado elemento de trabajo, con los resultados siguientes:

Act. esc. Bedaux	60	60	70	70	70	80	80	80	80	90
T. reloj	95	83	87	89	64	86	81	76	68	73

Los tiempos normales son, por consiguiente:

95	83	102	104	75	115	108	101	91	109
----	----	-----	-----	----	-----	-----	-----	----	-----

De donde:

$$n = 10; \quad \sum_{i=1}^n x_i = 983; \quad \sum_{i=1}^n x_i^2 = 98011$$

por lo que, para  $k=1$  y  $\alpha=0'05$ :

$$N \geq \frac{2'262^2 \times [10 \times 98011 - 983^2]}{1^2 \times 10 \times 9} = 785'7 \quad (786)$$

y para  $p=0'01$  (1%) y  $\alpha=0'05$ :

$$N \geq \frac{2'262^2 \times 10 \times [10 \times 98011 - 983^2]}{0'01^2 \times 983^2 \times 9} = 813'2 \quad (814)$$

(en ambas expresiones figura el valor 2'262, que es el correspondiente, para  $\alpha=0'05$ , a la ley de Student-Fisher con  $n-1=9$  grados de libertad).

El intervalo de confianza correspondiente a la muestra inicial es:

$$98'3 \pm 2'262 \sqrt{\frac{10 \times 98011 - 983^2}{10^2 \times 9}} = 98'3 \pm 8'9$$

El hecho de que los tiempos normales de este ejemplo presenten una fuerte dispersión da lugar a que la estimación obtenida con la muestra inicial sea muy poco precisa y que, para la precisión requerida, se necesite una muestra con un número de observaciones muy elevado.

Obtenidos los tiempos normales representativos de cada elemento del ciclo, se puede obtener, por suma ponderada con las frecuencias de los elementos dentro del ciclo, el tiempo normal representativo de todo el ciclo. Dichas frecuencias pueden ser iguales a 1 y también superiores e inferiores a este valor (lo que corresponde, respectivamente, a elementos que se repiten dentro del ciclo o que sólo aparecen una vez cada cierto número de ciclos). Si el ciclo consta de  $n$  elementos, con frecuencias y tiempos normales representativos iguales, respectivamente, a  $t_i$  y  $f_i$  ( $i=1, \dots, n$ ), la estimación del tiempo normal representativo correspondiente al ciclo,  $T$ , es:

$$T = \sum_{i=1}^n f_i t_i$$

Esta estimación tiene asociado, para un cierto riesgo, un intervalo de confianza que se



puede determinar a partir de las dispersiones de los tiempos normales representativos de los elementos que componen el ciclo.

El tiempo normal representativo del ciclo es una estimación de la media del tiempo que necesitaría un operario para ejecutar todo el ciclo a actividad normal. Pero este valor no se puede tomar como base para calcular, por ejemplo, la producción diaria de un operario, porque no tiene en cuenta los tiempos para necesidades personales y para recuperación de la fatiga. Para la estimación de estos tiempos se aplica un coeficiente al tiempo normal representativo correspondiente; los coeficientes se obtienen mediante tablas más o menos complejas, que proporcionan los valores de los mismos para diversas condiciones de trabajo. Si el ciclo de trabajo es homogéneo se puede utilizar un coeficiente único para todo el ciclo pero, en general, cada elemento ha de tener su propio coeficiente. De este modo se obtiene el *tiempo tipo* o *tiempo estándar*. Concretamente, si  $k_i$  es el coeficiente aplicable al elemento  $i$ ; el tiempo tipo del ciclo se obtiene mediante la expresión:

$$T' = \sum_{i=1}^n (1+k_i) f_i t_i$$

Se ha de tener en cuenta que la fatiga es un fenómeno muy complejo y relativamente poco estudiado, que además depende de las características individuales de las personas (y además es evidente que, por grandes que fueran los suplementos, la recuperación de la fatiga no sería total: es lógico que el trabajador esté más fatigado cuando termina su turno que cuando lo inicia, obiedad que se enuncia para poner de manifiesto que el propio concepto de recuperación de la fatiga no resulta fácil de definir); por añadidura, las tablas más divulgadas para el cálculo de suplementos no suelen informar sobre el posible fundamento de los valores que contienen, por lo que la determinación de tales suplementos se convierte con frecuencia en una cuestión polémica.

En el libro de la OIT, *Introducción al estudio del trabajo*, se incluye una tabla muy completa para el cálculo de suplementos; pero obsérvese lo que se dice textualmente al respecto en la propia obra citada (p. 271): "Es preciso indicar aquí en términos muy claros que la OIT no ha adoptado, y no es tampoco probable que adopte, normas relativas a la determinación de suplementos. El texto que sigue presenta ejemplos de cálculo de suplementos en diferentes condiciones. Se trata, pues, de simples ejemplos con fines pedagógicos, y no de pautas aconsejadas por la OIT al respecto". Es decir, aunque se haga referencia a veces a la "tabla de suplementos de la OIT", está claro que tal tabla no existe y que la OIT no respalda, con la autoridad que cada cual le reconozca, tabla alguna. Cabe añadir que algunas veces lo que se denomina "tabla de la OIT" no es ni siquiera la que aparece en la última edición de la obra citada; se ha difundido bastante, directamente a través de la práctica del cálculo de tiempos y también porque ha aparecido en muchos libros sobre el tema, la tabla de la "Personnel Administration Ltda.", que es muy, excesivamente, simple, tanto por lo que respecta a los tipos de condiciones de trabajo que

considera como por las indicaciones, muy someras, sobre su evaluación (además, esta tabla distingue entre hombres y mujeres y las diferencias en los valores atribuidos a los suplementos para los unos y para las otras parecen, en algunos casos, difíciles de justificar a estas alturas). Es curioso, por otra parte, que salvo la distinción entre sexos a que se ha hecho referencia, en las tablas que se acaba de comentar, no se suele hacer ninguna otra, como parece lógico, puesto que la edad y la complejidad influyen sin duda en la fatiga que puede producir al trabajador una tarea determinada.

Así pues, es lógico, dada la falta de un fundamento sólido para la determinación de los suplementos, que ésta, como ya se ha apuntado, sea polémica y que en la práctica acabe resultando de un pacto entre la empresa y los representantes de los trabajadores.

Aunque el cálculo de los suplementos a través del procedimiento que se ha esbozado puede dar a veces cifras que cabe considerar excesivamente bajas (es lo que sucede cuando elementos que exigen un esfuerzo de gran intensidad son muy breves y el suplemento que les corresponde tiene una repercusión escasa en el tiempo tipo del ciclo), no se ha de perder de vista que en trabajos digamos corrientes no es raro que los coeficientes  $k_i$  sean del orden de 0'15 (es decir, que el suplemento para necesidades personales y recuperación de la fatiga es un 15% del tiempo normal) y que, como es lógico, para trabajos que se desarrollan en condiciones duras (en una cámara frigorífica, por ejemplo) los coeficientes son aún mayores. Es decir, la fracción de la jornada laboral que corresponde a los suplementos no es, ni con mucho, insignificante.

Finalmente, una vez establecidos los suplementos se ha de determinar su distribución en el tiempo, teniendo en cuenta que sólo pueden cumplir su función (necesidades personales o recuperación de la fatiga) si su duración alcanza ciertos valores mínimos, por debajo de los cuales no pueden ser computados como tiempos de interrupción del trabajo, por lo que deben agruparse en unos pocos intervalos convenientemente situados a lo largo de la jornada.

### 9.1.2 Sistemas de tiempos predeterminados

Otro método para estimar el tiempo necesario para realizar un ciclo de trabajo consiste en establecer un relación de movimientos elementales y determinar y registrar en tablas los tiempos correspondientes. Entonces, cada ciclo de trabajo se descompone en una secuencia de movimientos entre los que forman parte de la lista, se buscan los tiempos en la tabla y se suman. De hecho las bases para el desarrollo de estos sistemas fueron establecidas por Gilbreth, aunque fue A. B. Segur quien añadió la dimensión tiempo a los movimientos elementales (en 1927 escribió: "dentro de límites prácticos, el trabajo que necesitan todos los expertos para ejecutar movimientos verdaderamente fundamentales es un valor constante"); de todos modos, los trabajos de Segur tuvieron una difusión

restringida y la expansión de los sistemas de tiempos predeterminados se debe en primer lugar a J. H. Quick y sus colaboradores, que en 1934 crearon el sistema *Work Factor* y, sobre todo, a H. B. Maynard, G. J. Stegemerten y J. L. Schawb, a quienes se debe el sistema MTM (*Methods Time Measurement*), empezado a desarrollar en 1946, en la Westinghouse Electric Corporation.

De hecho el sistema ideado por Maynard y sus colaboradores dio inicio a una amplia familia de procedimientos MTM especializados para el estudio de diversos tipos de trabajos con mayor o menor detalle. El MTM-2 es una versión simplificada, aparecida en 1965, que por su mayor facilidad de aprendizaje y utilización ha contribuido significativamente a la amplia implantación de los sistemas MTM.

Los sistemas existentes son muy numerosos (más de 200, según *Introducción al estudio del trabajo*) y se distinguen, principalmente, por su finalidad (aplicación a uno u otro tipo de trabajo), por los movimientos elementales que forman parte de la lista y por el detalle en la descomposición en movimientos elementales (incluso dentro de una misma "familia" de métodos, como ocurre en los MTM), así como, accesoriamente, por las unidades de tiempo adoptadas (en MTM la unidad es la *tmu*, igual a 1/100.000 horas) y por la actividad a que están referidos los tiempos de los movimientos elementales.

Con las tablas de tiempos predeterminados no es indispensable la observación (sólo hay que observar los métodos vigentes, para proceder a su descomposición en movimientos elementales) y, por lo tanto, se puede estimar el tiempo correspondiente a un método que se desea evaluar pero que todavía no ha sido aplicado; por el mismo motivo, el tiempo estimado no depende de que el operario esté más o menos familiarizado con el método y, además, desaparece, para el usuario, la necesidad de valorar la actividad (aunque no se ha de perder de vista que, probablemente, los tiempos de las tablas se han determinado a partir de cronometrajes) y de hacer cálculos estadísticos con las observaciones. Por supuesto, dos informaciones esenciales que han de figurar en las tablas de cualquier sistema de tiempos predeterminados son la unidad de tiempo adoptada y la actividad a que corresponden los tiempos de la tabla.

Si las tablas son suficientemente detalladas y adaptadas al tipo de trabajo que se trata de analizar (por lo dicho, no todas las tablas son adecuadas para todo tipo de trabajo), subsisten, como inconvenientes, el tiempo necesario para familiarizarse con el manejo de las tablas y que, normalmente, su aplicación es muy laboriosa, porque el ciclo de trabajo, si no es muy simple, comprende un número elevado de movimientos elementales.

Información detallada sobre el MTM se puede consultar en la citada obra de la OIT Las figuras 9.1.2.1 y 9.1.2.2 recogen algunos elementos sobre el MTM-2, que permiten hacerse una idea sobre sus características.

CATEGORÍA	SÍMBOLO
RECOGER	GA GB GC
PONER	PA PB PC
REASIR	R
APLICAR PRESIÓN	A
EMPLEAR LOS OJOS	E
MOVER EL PIE	F
DAR UN PASO	S
INCLINARSE Y LEVANTARSE	B
FACTORES PESO	GW PW
HACER GIRAR	C

*Fig. 9.1.2.1 Categorías utilizadas en el sistema de tiempos predeterminados MTM-2. Los símbolos son abreviaturas de los correspondientes términos en inglés (G: grasp; E: eye motion, etc.). Como se ve, RECOGER y PONER presentan tres variantes (A, B, C); para asignar tiempo a estos movimientos se tiene en cuenta el peso del objeto involucrado, a través de los FACTORES PESO (GW y PW).*

**RECOGER** es una acción que tiene por objeto predominante dirigir la mano o los dedos hacia un objeto, asirlo y seguidamente soltarlo.

*Empieza:* al estirar la mano hacia el objeto.

*Comprende:* los actos de aproximar la mano, dominar el objeto y seguidamente dejar de dominarlo.

*Termina:* cuando se suelta el objeto.

**Clasificación:**

**GA:** no se requiere movimiento alguno para asir (ejemplo: apoyar la palma de la mano sobre una caja para empujarla al otro lado de la mesa).

**GB:** se requiere un movimiento para asir, pero basta cerrar la mano o los dedos con un solo movimiento (ejemplo: recoger de una mesa un objeto tal como un cubo de 2 cm de arista no rodeado por otros objetos).

**GC:** no basta cerrar la mano o los dedos con un solo movimiento (ejemplo: tomar entre los dedos el borde de una página de un libro para pasarla).

**MOVER EL PIE** es hacer un movimiento limitado de la pierna o el pie sin la finalidad de mover el cuerpo.

*Empieza:* con el pie o la pierna en posición de descanso.

*Comprende:* un movimiento que no supere 30 cm, articulado en la cadera, la rodilla o el empeine.

*Termina:* con el pie en un lugar distinto que antes.

(en cambio **DAR UN PASO** es un movimiento de la pierna que tiene por objeto desplazar el cuerpo o bien un movimiento de la pierna de más de 30 cm).

*Fig. 9.1.2.2 Ejemplos de definiciones de movimientos elementales en MTM-2. Como se puede observar, son muy precisas y deben aplicarse con rigor para garantizar la calidad de los resultados obtenidos.*

### 9.1.3 Muestreo de trabajo

Así como se puede estimar qué proporción de un colectivo determinado sostiene una opinión determinada o prefiere o compra determinado producto, sin necesidad de entrevistar a todos los miembros del grupo, se puede estimar la proporción de tiempo activo o inactivo de una persona o de una máquina o qué proporción se dedica a cada uno de un cierto número de tipos de tareas, a través de un muestreo de trabajo.

El muestreo de trabajo (Tippett, 1934) consiste en hacer, en instantes elegidos al azar, observaciones en las que se anota cuál de los casos establecidos a priori es el que efectivamente se da en aquel momento; las proporciones correspondientes a la muestra se adoptan como estimaciones de las proporciones reales. Para que el muestreo pueda proporcionar resultados válidos hay que tomar precauciones: los instantes han de ser determinados realmente al azar (si no, los resultados pueden estar sesgados) y se ha de precisar perfectamente el momento en que se debe efectuar la observación. Por supuesto, se ha de calcular el número de observaciones necesario para obtener un determinado intervalo de confianza, con un riesgo de error dado; este número, por cierto, según como se establezcan estos parámetros, puede ser muy elevado (cientos e incluso miles de observaciones), porque la información que proporciona cada observación, que es meramente cualitativa y no cuantitativa, es escasa (a diferencia de lo que ocurre en el cronometraje, en que cada observación proporciona unos números).

Si una población contiene una proporción  $\omega$  de elementos que poseen una cierta propiedad, el intervalo de confianza de la estimación de dicha proporción obtenida con una muestra de  $N$  observaciones es:

$$\hat{\omega} \pm t_{\alpha} \sqrt{\frac{\omega(1-\omega)}{N}}$$

donde la  $t_{\alpha}$  es la de la ley normal. Como  $\omega$  no es conocido se substituye su valor por el correspondiente a una muestra de  $n$  observaciones,  $\omega'$ , y se calcula el intervalo de confianza con la expresión:

$$\hat{\omega} \pm t_{\alpha} \sqrt{\frac{\omega'(1-\omega')}{N}}$$

por lo cual, si se desea una precisión  $\pm k$ :

$$N \geq \frac{t_{\alpha}^2 \omega'(1-\omega')}{k^2}$$

y si se desea una precisión relativa  $\pm p$ :

$$N \geq \frac{t_{\alpha}^2 (1-\omega')}{\omega' p^2}$$

Obsérvese que, tal como ocurre con las expresiones del tamaño de la muestra en el cronometraje, dicho tamaño crece con el *cuadrado* de la precisión requerida (para reducir a la mitad el intervalo de confianza se ha de cuadruplicar el tamaño de la muestra).

La aplicación de estas expresiones da, para los valores expresados de  $w'$ ,  $k$  y  $p$ , los tamaños mínimos de muestra que aparecen en la tabla (siempre para  $\alpha=0.05$ ):

$w'$	$k$	$p$	$N \geq$
0'250	0'025	0'100	1153
0'250	0'100	0'400	72
0'100	0'010	0'100	3458
0'500	0'010	0'020	9604

Por lo tanto, una gran exigencia sobre la precisión conduce a tamaños de muestra muy elevados.

El muestreo es un procedimiento adecuado para hacer diagnósticos globales de un taller o de una sección de una empresa (aunque ello presenta problemas de correlación entre las observaciones, es corriente que éstas se efectúen a lo largo de una ruta, cuyo recorrido inicia el observador en los instantes determinados aleatoriamente) o para el estudio de trabajos que no se repiten con total regularidad (caso de muchos servicios).

## 9.2 Bibliografía

- [1] LOUZOUN, D. *La méthode des observations instantanées*. Les Éditions d'Organisation, 1974.
- [2] RUIZ RECIO, R. *Cómo calcular los tiempos de trabajo*. Deusto, 1970.

## Comentarios

La brevedad de esta relación de referencias se debe al hecho de que la mayoría de las que son adecuadas para el estudio de métodos lo son también para el estudio de tiempos. Así pues, se remite al punto 8.2 para la mayoría de textos recomendables. Los incluidos en esta sección se refieren específicamente al estudio de tiempos: [2] es un texto asequible por su brevedad, pero poco crítico; [1] versa sobre el muestreo de trabajo.

### 9.3.- Problemas resueltos

9.3.1 Una empresa está realizando un estudio de métodos y tiempos en una de sus secciones.

Al objeto de determinar, una vez definido el método de trabajo, el tiempo tipo correspondiente a una operación, la empresa procede a establecer, por cronometraje, los datos de tiempo y actividad correspondientes a 10 observaciones, que resultan ser los siguientes:

Tiempo (segundos)	Actividad (esc.cent.)
110	110
114	105
122	100
126	95
116	105
135	90
103	120
99	120
133	90
136	90

Se desea estimar el tiempo normal representativo con un error del 5% y un nivel de confianza del 95%. ¿Cuál es el número mínimo de observaciones necesario?

¿Cuál es la estimación del tiempo normal representativo y el correspondiente intervalo de confianza? Las 10 observaciones anteriores se pueden ampliar, si es necesario, con los datos que aparecen al final de este enunciado.

Esta operación se realiza, a máquina parada, doce veces dentro de un ciclo de trabajo que comprende asimismo otros elementos de trabajo, con una frecuencia de una vez por ciclo



y con un tiempo normal, para el conjunto de dichos elementos, de 260 segundos.

Hay tres operaciones manuales que se llevan a cabo con la máquina en marcha y que suponen, en conjunto, por ciclo, un tiempo normal de 250 s. El tiempo de máquina es de 350 s.

Se trata de determinar el tiempo tipo del ciclo teniendo en cuenta que para las actividades manuales los suplementos se han estimado en un 12% y que se ha convenido conceder suplementos a los elementos automáticos, de modo que en este caso el tiempo de máquina se aumenta en un 23%.

Si el salario garantizado es de 800 PTA/hora, ¿qué retribución correspondería, según el sistema Rowan, a un operario que, realizando las operaciones descritas anteriormente, consiguiera completar en una semana de 40 horas, sin paros, un total de 70 ciclos de trabajo?

Tiempo (segundos)	Actividad (esc.cent.)
125	95
126	95
106	115
103	115
107	110
121	100
120	100
99	120
102	120
98	125
115	105
118	100
119	100

En primer lugar, se calcula el tiempo normal, TN, de cada observación:

$$TN = TR \cdot FA$$

Donde TR es el tiempo de reloj y FA el factor de actividad (cociente entre la actividad estimada A y la normal,  $A_0$ ):

$$FA = A/A_0$$

En este caso, la escala en que se ha expresado la actividad es, obviamente, la centesimal, en la cual  $A_0 = 100$ .

Los tiempos normales de las observaciones son, por consiguiente, los que figuran en la tabla:

Tiempo normal (segundos)
121'0
119'7
122'0
119'7
121'8
121'5
123'6
118'8
119'7
122'4

De donde la media de la muestra,  $\tau$ , es 121'02 s y el estimador de la variancia de la población:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [t(i) - \tau]^2}{n-1} = \frac{20'516}{9} = 2'28$$

y  $\hat{\sigma} = 1'51$ , por lo cual, el intervalo de confianza, con un nivel de confianza del 95%, es:

$$121'02 \pm 1'51 \cdot t_{\alpha}$$

donde  $t_{\alpha}$  es la que corresponde a la ley de Student-Fisher, con  $n-1$  grados de libertad (9 grados de libertad en este caso), es decir,  $t_{\alpha} = 2'262$ , por lo cual el intervalo de confianza es:

$$121'02 \pm 1'51 \times 2'262 = 121'02 \pm 3'42$$

que es suficientemente preciso.

Adoptando, pues, como valor del tiempo normal representativo el de 121 s, el tiempo tipo del ciclo es:

$$1'12 \times (12 \times 121 + 260) + 1'23 \times 350 = 2347'9 \text{ s}$$

El tiempo concedido para la realización de los 70 ciclos de trabajo es, por consiguiente:

$$\frac{2347'9 \times 70}{3600} = 45'65 \text{ h}$$

El salario será la suma del correspondiente al tiempo empleado, 40 h, más la retribución del tiempo ahorrado ( $45'65 - 40 = 5'65$  h a la tasa correspondiente al sistema Rowan, es decir, el producto de la tasa horaria por el cociente entre el tiempo empleado y el concedido:

$$800 \times 40 + 800 \times \frac{40}{45'65} \times 5'65 = 35960'6$$

**9.3.2** Uno de los empleados de la sección de expediciones de una empresa tiene a su cargo el etiquetado y la paletización de las cajas. En un cronometraje se han obtenido, para la operación de etiquetado, los valores siguientes:

Tiempo (segundos)	Actividad (esc.cent.)
58	120
62	110
55	100
63	95
61	100
66	90
65	95
56	105
60	90
52	100

El mismo empleado apila las cajas sobre una paleta (palet), que admite doce cajas y que, una vez completo, es transportado a la zona de expediciones, en la que el empleado lo deposita y recoge una paleta vacía, que transporta a la zona de etiquetado, en la cual se vuelve a iniciar el ciclo.

Se dispone de los datos siguientes:

Operación	Tiempo observado (seg.)	Actividad
Apilar una caja	30	100
Transportar paleta llena	150	120
Depositar paleta llena	120	90
Recoger paleta vacía	50	100
Transportar paleta vacía	130	110

Se trata de determinar el tiempo normal y el tiempo tipo o estándar correspondientes al ciclo de trabajo, sabiendo que los suplementos son del 12%.

Se desea también determinar la paga que recibirá dicho operario por el trabajo de una semana en la que ha etiquetado y paletizado 972 cajas (81 paletas). Durante esta semana

laboral, de 40 h, se han producido paros no imputables al trabajador que han supuesto un total de 5 horas; el salario garantizado es de 500 PTA/h; el tiempo de paro no imputable al trabajador se retribuye según este salario, mientras que el resto se retribuye a prima según el sistema Halsey-Weir.

Los datos disponibles permiten estimar el tiempo tipo del ciclo, pero no son suficientes para estimar los intervalos de confianza. El cálculo de una prima no debe hacerse con observaciones tan pobres (una sola para cada uno de los elementos de trabajo salvo uno).

Para el etiquetado, los tiempos normales son los siguientes:

Tiempo normal (segundos)
69'6
68'2
55'0
59'9
61'0
59'4
61'8
58'8
54'0
52'0

Cuya media es 59'97 s (se adoptará el valor 60 s).

Por consiguiente, el tiempo normal representativo del ciclo es:

$$60 \times 12 + 30 \times 1'00 \times 12 + 150 \times 1'20 + 120 \times 0'90 + 50 \times 1'00 + 130 \times 1'10 = 1561 \text{ s}$$

y el tiempo tipo:

$$1'12 \times 1561 = 1748 \text{ s}$$

Así pues, el tiempo concedido para la realización de las 81 paletas es:

$$\frac{81 \times 1748}{3600} = 39/33 \text{ h}$$

Y la retribución:

$$500 \times 40 + \frac{500}{2} [ 39/33 - ( 40 - 5 ) ] = 21082/5 \text{ PTA}$$