

 UNCUYO UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO	 FACULTAD DE INGENIERÍA	Ernesto Romito
Administración de Operaciones Ingeniería Industrial		

Medición del trabajo

Introducción

“¿Amas la vida? Entonces no malgastes el tiempo, pues de eso está hecho el elemento fundamental de la vida” Benjamín Franklin – Junio de 1746

La medición del trabajo y el estudio de métodos tienen sus raíces en la actividad de la administración científica. Frederick Taylor mejoró los métodos de trabajo mediante el estudio detallado de movimientos y fue el primero en utilizar el cronómetro para medir el trabajo. Fue él quien estableció la idea de fijar un estándar de producción.

La medición del trabajo, como su nombre lo indica, es el medio por el cual puede medirse el tiempo que se invierte en ejecutar una operación o una serie de operaciones de tal forma que el tiempo improductivo se destaque y sea posible separarlo del tiempo productivo. Así se descubren su existencia, naturaleza e importancia, que antes estaban ocultas dentro del tiempo total.

La medición del trabajo es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea definida, efectuándola según una norma de ejecución preestablecida.

Propósitos de la medición del trabajo

Las técnicas de medición del trabajo se pueden utilizar para los siguientes propósitos:

- Evaluar el comportamiento del trabajador: Esto se lleva a cabo comparando la producción real durante un período dado de tiempo con la producción estándar determinada por la medición del trabajo.
- Planear las necesidades de la fuerza de trabajo: Para cualquier nivel de producción futura, se puede utilizar medición del trabajo para determinar que tanta mano de obra se requiere.
- Determinar la capacidad disponible: Para un nivel dado de fuerza de trabajo y disponibilidad de equipo, se pueden utilizar los estándares de medición del trabajo para proyectar la capacidad disponible.

- Determinar el costo de un producto: Los estándares de mano de obra, obtenidos mediante la medición del trabajo, son uno de los ingredientes de costeo.
- Comparación de métodos de trabajo: Cuando se consideran diferentes métodos para un trabajo, la medición del trabajo puede proporcionar la base para la comparación de la economía de métodos. Esta es la esencia de la administración científica, idear el mejor método con base en estudios rigurosos de tiempo y movimiento.
- Facilitar los diagramas de operaciones: Uno de los datos de salida para todos los diagramas de sistemas es el tiempo estimado para las actividades del trabajo. Este dato es derivado de la medición del trabajo.
- Establecer incentivos salariales: Bajo incentivos salariales, los trabajadores reciben más paga por más producción.

Dado que existen muchos usos diferentes de la medición del trabajo, debe decidirse cuidadosamente cuál seleccionar. Y aún más: antes de plantearnos el método a seleccionar, debemos cuestionarnos si realmente es necesario llevar a cabo tal estudio. Por ejemplo, en una compañía manufacturera altamente automatizada o de capital intensivo, el costo de mano de obra directa suele ser inferior al 10% del costo total de fabricación del producto. Realizar un estudio de medición del trabajo de cada operación puede ser más costoso que el valor de cualquier ahorro en mano de obra.

Otro motivo para no utilizar estas herramientas es evitar interferencias con el comportamiento general de la planta. Los estándares de tiempo no son útiles cuando interfieren con los sistemas de producción o la estrategia en uso. Por ejemplo, en las instalaciones JIT (*Just In Time* = Justo a tiempo) se requiere que un trabajador detenga su trabajo cuando los centros de trabajo usuarios no requieren componentes.

Estándares de tiempo

El resultado principal de algunos tipos de actividades de medición del trabajo es un estándar de producción, llamado también un estándar de tiempo o simplemente estándar. Un estándar de se puede definir como **la cantidad de tiempo que se requiere para ejecutar una tarea o actividad cuando una persona capacitada trabaja a ritmo normal con un método preestablecido**. Esta definición incluye algunas características clave:

Primero, un estándar es normativo. Esto define la cantidad de tiempo que debe requerirse para trabajar bajo ciertas condiciones. Un estándar no es solamente el promedio del tiempo transcurrido, debido a que los promedios transcurridos reflejan cuanto tiempo ha tomado realizar una tarea, no necesariamente cuanto tiempo **debió** haber tomado.

Un estándar también requiere que se preestablezca un método para el trabajo o actividad. Generalmente el mejor método se desarrolla para eliminar movimientos desperdiciados y para dar forma continua al trabajo cuando sea posible.

Por último, un estándar requiere que una persona capacitada realice el trabajo a un ritmo normal. Una persona que es apropiada para el tipo de trabajo en cuestión debe seleccionarse y capacitarse cuidadosamente para seguir un método. Un ritmo normal significa que la persona no está trabajando demasiado rápido ni demasiado lento sino a un ritmo que puede ser sostenido por la mayoría de los trabajadores durante toda una jornada.

Un estándar se puede expresar en dos formas:

1. El tiempo requerido por unidad de producción
2. La producción por unidad de tiempo

En casos complejos donde el trabajo es una tarea o actividad para la cual no existe una unidad conveniente de producción, se debe definir un estándar como el tiempo que se requiere para realizar la tarea o actividad.

Estudio de métodos

La mayoría de las mejoras resultantes de la medición del trabajo radica en los estudios fundamentales de métodos, que preceden a los estudios de tiempo en sí. No obstante que los estándares de tiempo se utilizan para propósitos de control, los estándares por sí solos no mejoran la eficiencia. Una gran cantidad de mejora productiva durante el siglo XX se ha debido a la aplicación de estudio de métodos.

El estudio de métodos es el registro y examen crítico, sistemático de los modos existentes y proyectados de llevar a cabo un trabajo, como medio de idear y aplicar métodos más sencillos y eficaces de reducir costos. Se utiliza para reducir el contenido de trabajo de la tarea u operación.

Los fines del estudio de métodos son:

- Mejorar los procesos y procedimientos
- Mejorar la disposición de la fábrica y lugar de trabajo, así como los modelos de máquinas e instalaciones
- Economizar el esfuerzo humano, reduciendo la fatiga innecesaria
- Mejorar la utilización de materiales, máquinas y mano de obra
- Crear mejores condiciones de trabajo

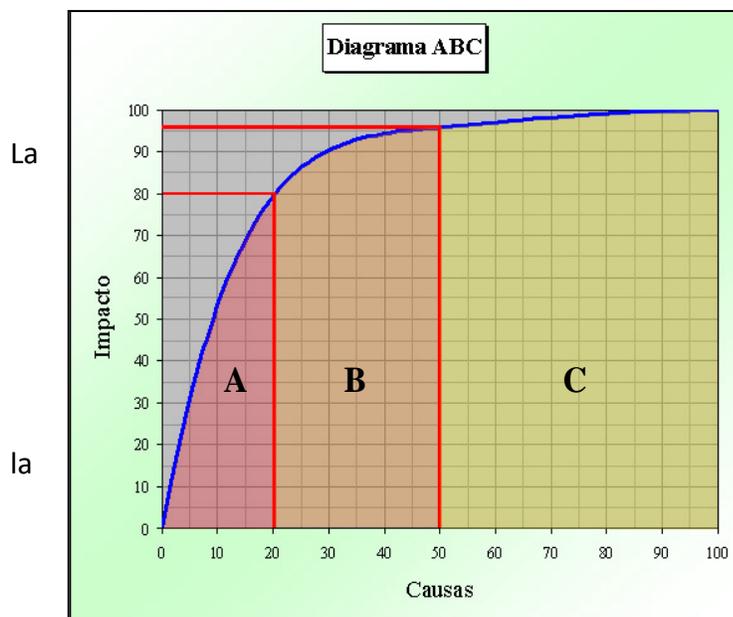
El estudio de métodos, mediante sus diferentes técnicas, apunta mejorar la utilización de los recursos (siempre limitados, escasos y costosos) mediante la aplicación de las conclusiones en forma leve, progresiva y continua.

Al examinar cualquier problema es necesario seguir un orden bien determinado. No hay que dejarse engañar por la sencillez del procedimiento básico y creer que el estudio de métodos es fácil y por tanto sin importancia. Por el contrario, puede llegar a ser muy complejo.

Seleccionar

Cuando se trate de decidir si deberá aplicarse el estudio de métodos a determinado trabajo, se deberán tener presentes consideraciones de índole económica, de orden técnico, de seguridad y medio ambiente y las reacciones humanas.

- Consideraciones de índole económica: Son importantes en todas las etapas. Sería, naturalmente, perder el tiempo iniciar o continuar una larga investigación cuando el trabajo sea de poca importancia o se piense que no va a durar.
- Consideraciones de orden técnico: Deben ser prioritarias las actividades que constituyen un cuello de botella para el resto del trabajo u operación. Pequeñas mejoras realizadas en estas actividades repercutirán en grandes beneficios. Otro criterio para la selección de la tarea a estudiar es aquella que contenga desplazamientos importantes de materiales o personas. Estas tareas suelen tener un gran contenido de movimientos y traslados innecesarios. Por último, las operaciones basadas en trabajo repetitivo, que ocupen muchos obreros y pueda durar mucho tiempo.
- Consideraciones de Seguridad y Medio Ambiente: Todas aquellas actividades, que por su naturaleza tengan un alto impacto en la seguridad de las personas que las desarrollan o las instalaciones y el medio ambiente, son factibles de mejora mediante el estudio de métodos.
- Consideraciones humanas: Si la tarea es repetitiva o monótona, seguramente el factor humano tendrá un peso importante en la productividad que puede estar asociado a la falta de motivación. Estas consideraciones están entre las más difíciles de prever, pues es preciso imaginar por anticipado los sentimientos e impresiones



que despertará la investigación o el cambio de métodos.

valoración que se le dará a estas consideraciones dependerá del ámbito en que se aplique el estudio. Sin embargo, existe una regla empírica que hace de la selección un factor clave a la hora de comenzar un estudio: "Unos pocos factores vitales son causa de la mayoría de los problemas y muchos factores

triviales son la causa de los pocos problemas restantes”. El Diagrama de la curva ABC, que puede considerarse como una variante del diagrama de Pareto, se basa en la confección de una curva que enmarca el total de los elementos o problemas clasificándolo en 3 zonas:

La zona A: donde con el 20% de los elementos causa, se puede controlar el 80% de los problemas, a esta área también se la conoce por el nombre de área de resultado clave o ARC.

La zona B: es la zona de interés medio, donde un 30% de los elementos causa son responsables de un 15% de los inconvenientes. Esta zona no llega a ser interesante mientras no se haya controlado la zona A.

La zona C: en ella se encuentran un gran número de elementos causa (cerca de la mitad) que poseen una influencia muy reducida en la solución final de los problemas, por lo que no vale la pena considerarlas.

Registrar

Después de elegir el trabajo que se va a estudiar, la siguiente etapa del procedimiento básico es la dedicada a registrar todos los hechos relativos al método existente. El éxito del procedimiento íntegro depende del grado de exactitud con que se registren los hechos. Las anotaciones deben ser claras y concisas.

Para describir todo lo que se hace, incluso en un trabajo muy sencillo que tal vez se cumpla en unos pocos minutos, probablemente se necesiten varias páginas de escritura, que requerirán atentos estudios antes de tener la totalidad seguridad de que se asimiló todos los detalles. En tareas más complejas, el registro puede volverse más dificultoso. Por ello, se han ideado técnicas de anotación de modo que pueden consignarse informaciones detalladas con precisión y de forma estandarizada. Veremos algunas de las técnicas más empleadas:

- **Cursograma sinóptico del proceso:** es un diagrama que presenta un cuadro general de cómo se suceden las principales operaciones e inspecciones sin tener en cuenta quien las ejecuta ni donde se llevan a cabo. Ver simbología y ejemplos en el Anexo.
- **Cursograma analítico:** es un diagrama que muestra la trayectoria de un producto o procedimiento señalando todos los hechos sujetos a examen mediante el símbolo que corresponda. Se discriminan en el diagrama lo que hace el operario, el material y el equipo o maquinaria. Ver simbología y ejemplos en el Anexo.
- **El diagrama de recorrido:** se utiliza como complemento del cursograma analítico. Se construye sobre un plano en planta (a escala) de las instalaciones con sus máquinas, puestos y zonas de trabajo indicados en sus respectivos lugares. A partir de las observaciones hechas se trazan los movimientos de los materiales, piezas o productos objeto de estudio. Ver simbología y ejemplos en el Anexo.

- **El diagrama de hilos:** es un plano o modelo a escala en que se sigue y mide con un hilo el trayecto de los trabajadores, de los materiales o de los equipos durante una sucesión determinada de hechos. Ver simbología y ejemplos en el Anexo.
- **Diagrama de actividades múltiples o diagrama hombre-máquina:** Es un diagrama en el que se registran las respectivas actividades de varios objetos de estudio (operario, máquina o equipo) según una escala de tiempos común para mostrar la correlación entre ellas. Ver simbología y ejemplos en el Anexo.
- **Gráfico de trayectoria:** Es un cuadro donde se consignan datos cuantitativos sobre los movimientos de trabajadores, materiales o equipo entre cualquier número de lugares y durante cualquier período de tiempo. Ver simbología y ejemplos en el Anexo.
- **Diagrama bimanual:** es un cursograma en que se consigna la actividad de las manos (extremidades) del operario indicando la relación entre ellas. Ver simbología y ejemplos en el Anexo.

Simograma: es un diagrama, a menudo basado en un análisis cinematográfico, que se utiliza para registrar simultáneamente, con una escalad de tiempos común, los micro movimientos referentes a diversas partes del cuerpo o de una máquina. El término “simo” es una contracción abreviada de la expresión en inglés “*simultaneous motion*”. Ver simbología y ejemplos en el Anexo.

Examen crítico sistemático

La técnica del interrogatorio es el medio de efectuar el examen crítico sometiendo sucesivamente cada actividad a una serie sistemática y progresiva de preguntas:

Propósito	¿Qué se hace?	¿Por qué hay que hacerlo? ¿Qué otra cosa podría hacerse? ¿Qué debería hacerse?
Lugar	¿Dónde se hace?	¿Por qué hay que hacerlo allí? ¿En qué otro lugar podría hacerse? ¿Dónde debería hacerse?
Sucesión	¿Cuándo se hace?	¿Por qué se hace en ese momento? ¿Cuándo podría hacerse? ¿Cuándo debería hacerse?
Persona	¿Quién lo hace?	¿Por qué lo hace esa persona? ¿Quién otro podría hacerlo? ¿Quién debería hacerlo?
Medios	¿Cómo se hace?	¿Por qué se hace de ese modo? ¿De qué otro modo podría hacerse? ¿Cómo debería hacerse?

Idear el método perfeccionado

Se suele decir que acertar en la pregunta es saber la mitad de la respuesta. Y frecuentemente son los mismos operadores, quienes realizan el trabajo a diario, quienes ofrecen la respuesta. Es tan solo que probablemente nunca se cuestionaron el propósito, el lugar, la sucesión, la persona ni los medios para llevar a cabo un trabajo.

De las respuestas recogidas en el examen crítico sistemático surgirá un método proyectado. Lo primero que deberá hacerse es registrar el método proyectado en un cursograma analítico para compararlo con el método original de que no pasó nada por alto.

El método proyectado deberá estar orientado a la reducción de costos, reducción de tiempos muertos, realización de tareas más seguras y, fundamentalmente, a la agregación de valor.

Definir el método perfeccionado

El nuevo modelo deberá replantearse de modo profundo quedando perfectamente definidos el propósito, el lugar, la sucesión, la persona y los medios para llevar a cabo el trabajo.

Deberá cuantificarse en forma tan detallada como sea posible, los beneficios (reducción de costos, reducción de tiempos muertos, realización de tareas más seguras y agregación de valor) del nuevo método.

Implementar

El nuevo método debe aplicarse con el mayor cuidado y tacto. A nadie le gusta que se ponga en evidencia su falta de eficiencia, especialmente ante sus superiores. El trabajador pierde la confianza en sí mismo y puede preguntarse si no será reemplazado por otro y se deja dominar por la inseguridad.

Para que el estudio del trabajo se aplique con éxito es indispensable contar con la comprensión y el apoyo del personal dirigente en todas sus categorías.

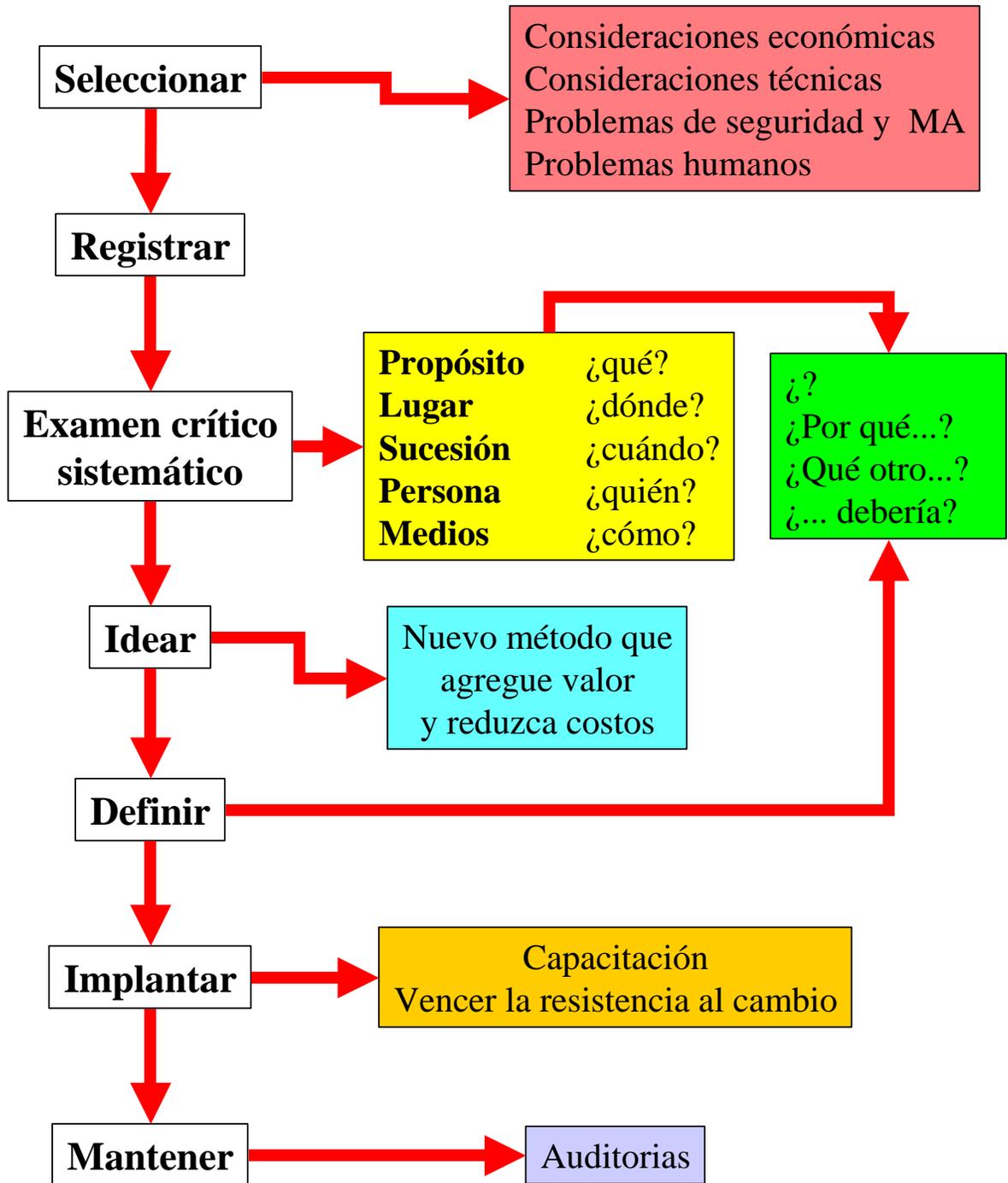
La capacitación es sin duda la principal herramienta para la implementación de metodologías novedosas. Se debe explicar con detenimiento las ventajas y beneficios del método de trabajo propuesto, haciendo hincapié de las causas que permitieron mejorar la metodología.

Por otro lado, resulta difícil que quien propone la nueva metodología tenga aceptación por parte de quienes poseen experiencia en el puesto de trabajo. La mejor manera de vencer la resistencia al cambio es hacer partícipe al ejecutor del trabajo desde un principio, y hacerlo sentir parte del proyecto de cambio poniendo de manifiesto que fueron sus propuestas las que se desean implementar.

Mantener

Uno de los errores más frecuentes en el estudio de métodos, es descuidar el seguimiento de la implementación del nuevo método de trabajo. Debe aplicarse un sistema de auditorías durante los primeros meses de implementación hasta que la organización en su conjunto lo asimile como parte normal del trabajo.

Diagrama del procedimiento básico del Estudio de métodos



Estudio de tiempos

El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los *elementos* de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida.

El enfoque del estudio para la medición del trabajo utiliza un cronómetro para determinar el tiempo requerido para finalizar tareas determinadas. El trabajo a estudiar se divide en partes o elementos mensurables y cada elemento se cronometra individualmente.

Información de la tarea

Antes de iniciar el estudio propiamente dicho deberá registrarse, a partir de lo observado, los datos aplicables a la operación del caso. Es importante registrar toda la información pertinente obtenida por observación directa, por si acaso se debe consultar posteriormente el estudio de tiempos. Si la información es incompleta, el estudio puede ser prácticamente inútil a los pocos meses. Se detallan algunas consideraciones requeridas respecto a la información de la tarea:

- Información que permita detallar e identificar rápidamente el estudio cuando se necesite
- Información que permita identificar con exactitud el producto o pieza que se elabore
- Información que permita identificar con exactitud el proceso, el método, instalación de maquinaria, etc.
- Información que permita identificar la mano de obra interviniente
- Duración del estudio
- Condiciones físicas de trabajo

Descomponer la tarea en elementos

La descomposición de una tarea en elementos, es el corazón de la mayoría de herramientas de Estudio del Trabajo. Esto permite focalizar el estudio con gran nivel de detalle, permitiendo realizarlo de modo sistémico para luego unir los elementos en un todo. Analicemos algunas definiciones:

Elemento: es la parte delimitada de una tarea definida que se selecciona para facilitar la observación, medición y análisis.

Ciclo de trabajo: es la sucesión de los elementos necesarios para efectuar una tarea u obtener una unidad de producción.

El *British standard glossary of terms in work study* ha clasificado 8 tipos de elementos:

1. Elementos repetitivos: son los que reaparecen en cada ciclo del trabajo estudiado.
2. Elementos casuales: son los que no reaparecen en cada ciclo del trabajo, sino a intervalos regulares o irregulares de tiempo.
3. Elementos constantes: son aquellos cuyo tiempo de ejecución es siempre igual.
4. Elementos variables: son aquellos cuyo tiempo de ejecución cambia de un ciclo a otro según características del producto, equipo o proceso.
5. Elementos manuales: son los que requieren de la intervención de un trabajador.
6. Elementos automáticos: son los que no requieren de la intervención de una persona.
7. Elementos dominantes: son los que duran más tiempo en el ciclo de trabajo.
8. Elementos extraños: son los observados durante el estudio y que al ser analizados no resultan ser una parte necesaria del trabajo.

De acuerdo al tipo de trabajo que se esté estudiando será la delimitación de cada elemento, pero existen algunas pautas generales:

Los elementos deberán ser de fácil identificación y de comienzo y fin claramente definidos, de modo que una vez fijados puedan ser reconocidos.

Los elementos deberán ser tan breves como sea posible, con lo que el analista pueda cronometrar. Las opiniones difieren en cuanto a la unidad mínima, pero una gran mayoría de analistas expertos asegura que entre 2 y 3 segundos se obtienen buenos resultados.

Los elementos manuales debieran separarse de los mecánicos.

Los elementos constantes debieran separarse de los variables, así como es recomendable separar los elementos casuales y extraños.

Es preciso reiterar la importancia de dividir, definir y describir adecuadamente los elementos. Los elementos deben comprobarse durante varios ciclos y consignarse por escrito antes de cronometrarlos.

Medición de los tiempos de cada elemento

Teniendo la información de la tarea a estudiar y la descomposición de elementos se procede, entonces a la medición en campo. Para ello es suficiente contar con un cronómetro y una planilla donde registrar el inicio y finalización de cada uno de los elementos. Existen dos técnicas básicas para la medición: Cronometraje acumulativo, en que el reloj funciona de modo interrumpido durante todo el estudio. En el cronometraje con vuelta a cero, los tiempos se toman partiendo de cero cada vez que se da inicio a un nuevo elemento.

El estudio de tiempos es una técnica de muestreo, y como tal, la exactitud con que los valores finales reflejen los verdaderos tiempos de los elementos de una operación y su tiempo total depende, además de la precisión del registro, del tamaño de la muestra. El

número de ciclos que deberán observarse para obtener un tiempo representativo de una operación se da en estas pautas:

1. Rara vez se calcula un tiempo tipo a partir de los apuntes de un solo estudio, porque es preferible observar el trabajo en diferentes condiciones.
2. El número de ciclos durante los cuales debe observarse una tarea varía en razón directa de las variaciones de los tiempos de los elementos de dicha tarea.
3. El número de ciclos a observar dependerá del grado de exactitud que se desee*.
4. El estudio debe proseguirse durante un número de ciclos que permita observar varias veces los elementos infrecuentes.

Tiempos normales

Para que la información registrada hasta ahora tenga validez, es preciso incluir una clasificación de desempeño para normalizar el trabajo. La aplicación de un factor de actuación da lo que se conoce como tiempo normal. Por ejemplo si un operador realiza una tarea en 2 minutos y el analista de estudio de tiempo calcula que está trabajando un 20% más rápido de lo normal, el tiempo normal se calcularía como 2 minutos + 0.20 x 2 minutos = 2,4 minutos.

Lo expresado puede resumirse en la siguiente ecuación:

TN = TO x FA	TN = Tiempo Normal TO = Tiempo Observado FA = Factor de Actuación
--------------	---

Tiempo de ciclo

Habíamos adelantado que el ciclo de trabajo es la sucesión de los elementos necesarios para efectuar una tarea u obtener una unidad de producción. De modo que puede calcularse como la sumatoria de los tiempos empleados para desarrollar cada elemento.

Tiempo de ciclo = $\sum_{i=1}^{i=n} t_i$	t _i = Tiempo del elemento i n = Número de elementos
--	---

Debe tenerse en cuenta que esta ecuación responde al tiempo de ciclo puro, y suele confundirse con el tiempo de ciclo total de la tarea o trabajo que veremos más adelante.

* Número de observaciones requeridas para obtener un 95% de probabilidad de representar realmente la realidad de la tarea, donde (E = Error absoluto; P = porcentaje de ocurrencia de una actividad; N = número de observaciones)

$$E = \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}}$$

Otra observación importante, es que esta ecuación no es necesariamente una sumatoria aritmética. Esto ocurre solo **si la sucesión de elementos es estrictamente secuencial y no cabe su aplicación si uno o más elementos se desarrollan en forma simultánea** aunque más no sea en parte de su duración.

Tiempo muerto y tiempo en actividad. Factor de ocupación.

Frecuentemente encontramos que parte del tiempo para el desarrollo de una tarea o trabajo, los trabajadores o máquinas intervinientes están ociosos. Significa que aunque están abocados a la realización del trabajo no están realmente contribuyendo a la conclusión del mismo. A este tiempo se le denomina tiempo muerto. Es el tiempo que transcurre sin que el trabajador o la máquina esté agregando valor (frecuentemente tiempos de espera).

Suplementos

Es importante destacar que durante el transcurso de la observación se pudieron diferenciar por un lado el contenido de trabajo, que es la cantidad de trabajo que debe hacerse para terminar una tarea u operación y, por oposición, ciertos períodos improductivos. Cabe señalar, que tratándose del estudio de tiempos que se basa forzosamente en la medición del trabajo con valores numéricos, no se entiende por “trabajo” únicamente la labor física o mental realizada, sino que se incluye la justa cantidad de inacción o reposo necesaria para recuperarse del cansancio por dicha labor. De una manera más amplia, definiremos entonces: Contenido de trabajo de una tarea u operación es el tiempo normal + suplementos cuya determinación pasamos a describir:

Suplementos por contingencias: es el pequeño margen que se incluye en el tiempo tipo para prever legítimos añadidos de trabajo o demora que no compensa medir exactamente porque aparecen sin frecuencia ni regularidad.

Suplementos por descanso: es el que se añade al tiempo básico para dar al trabajador la posibilidad de reponerse de los efectos fisiológicos y psicológicos causados por la ejecución de determinado trabajo en determinadas condiciones para que pueda atender sus necesidades personales.

Suplementos de comienzo: es el que se invierte en los preparativos o esperas obligadas que necesariamente se producen al principio de un turno o período de trabajo (Ej.: tiempo de montaje de un equipo o máquina; período de calentamiento de un horno; entrada en régimen de una turbina; etc.)

Suplementos de cierre: son los que se invierten al final del turno o período de trabajo (Ej.: tiempo de desmontaje de un equipo o máquina; enfriamiento de un horno; limpieza de herramientas; etc.)

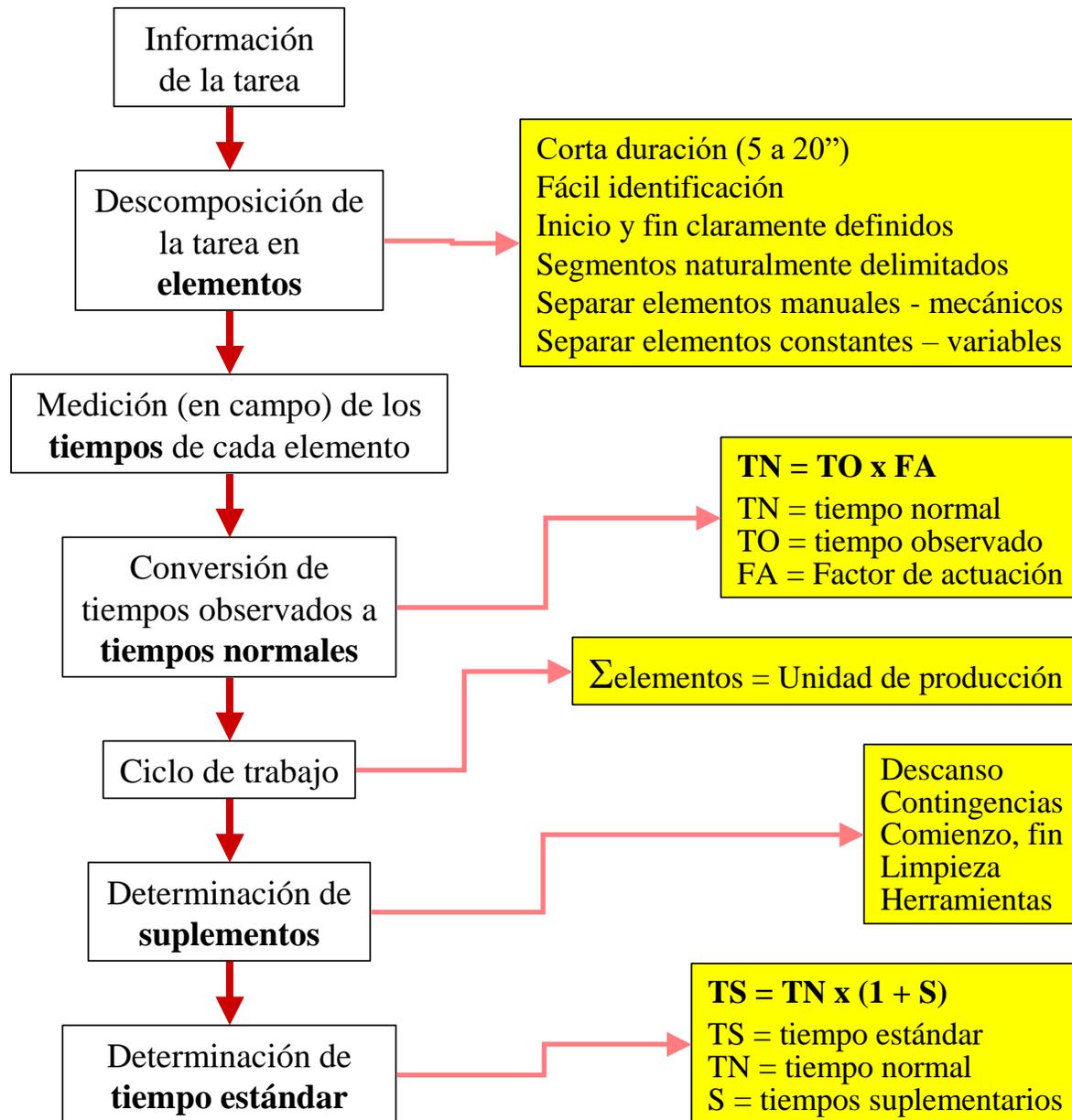
Suplementos por tiempos muertos: son los tiempos ociosos tanto para trabajadores o máquinas. En el transcurso de nuestro estudio, prestaremos especial atención a los tiempos muertos ya que enfocaremos nuestro esfuerzo en minimizarlos.

Tiempo estándar

Según la bibliografía a consultar la denominación puede ser variable: tiempo de ciclo total, tiempo tipo o como la denominaremos de ahora en adelante Tiempo estándar.

Definiremos el tiempo estándar como el tiempo necesario para efectuar una tarea u obtener una unidad de producción a un ritmo de trabajo normal y sostenible en el tiempo, realizada por personal calificado teniendo en cuenta todos los suplementos en condiciones predeterminadas.

Diagrama del procedimiento básico del Estudio de tiempos

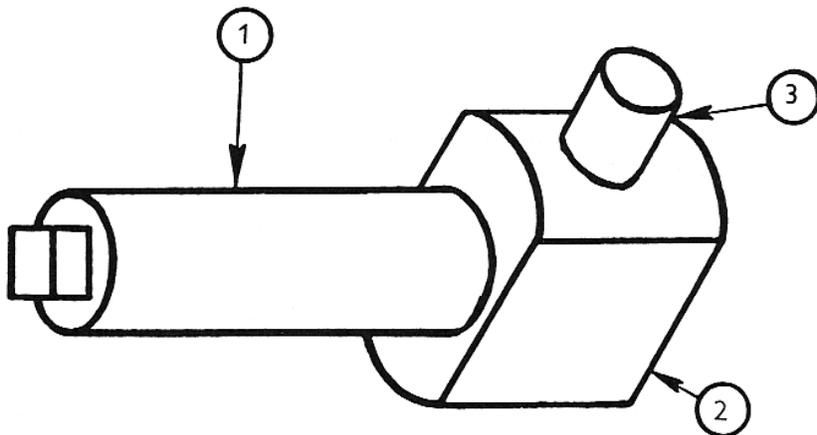


Técnicas de registro

Cursograma sinóptico del proceso

Simbología	
	Operación: indica las principales fases del proceso, método o procedimiento. Por lo común la pieza, materia o producto se modifica durante la operación.
	Inspección: Indica que se verifica la calidad y/o cantidad de productos.
	Transporte: Indica el movimiento de los trabajadores, materiales y equipo de un lugar a otro.
	Depósito provisional o espera: Indica demora en el desarrollo del trabajo.
	Almacenamiento permanente: Indica depósito de un objeto en un almacén.
	Actividades combinadas: En este ejemplo, se está inspeccionando la pieza durante su operación

Ejemplo: Montaje de un rotor de interruptor



1 – Eje

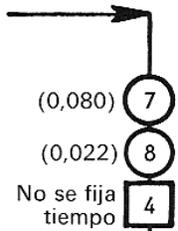
2 – Moldeado de plástico

3 - Pernete de tope

PERNETE DE TOPE
5 mm de diámetro
Acero BSS 32/4



MOLDEADO DE PLASTICO
Moldeado de resina de
fenolformaldehido



EJE
10 mm de diámetro
Acero S. 69



- Operación 1:* Cepillar, torneear, muescar y cortar en torno revólver (0,025 horas).
- Operación 2:* Cepillar el extremo opuesto en la misma máquina (0,010 horas).
El trabajo pasa entonces al departamento de inspección para ser sometido a:
- Inspección 1:* Verificar dimensiones y acabado. (No se fija tiempo.)
Del departamento de inspección, el trabajo pasa a la sección de fresado.
- Operación 3:* Aplicar fresa recta acoplada en fresadora horizontal (0,070 horas).
El trabajo pasa al banco de desbarbado.
- Operación 4:* Eliminar rebaba en banco de desbarbado (0,020 horas).
El trabajo vuelve al departamento de inspección.
- Inspección 2:* Verificar resultado final del fresado. (No se fija tiempo.)
El trabajo pasa luego al taller de galvanoplastia.
- Operación 5:* Desengrasar (0,0015 horas).
- Operación 6:* Cadmiar (0,008 horas).
Del taller de galvanoplastia el trabajo pasa nuevamente a inspección.
- Inspección 3:* Verificar resultado final. (No se fija tiempo.)
El moldeado de plástico debe llevar un orificio concéntrico al eje longitudinal.
- Operación 7:* Cepillar por ambos lados, taladrar y ajustar al diámetro deseado en torno revólver (0,080 horas).
- Operación 8:* Hacer un orificio transversal (para el pernete de tope) y desbarbar en taladradora de doble huso (0,022 horas).
El trabajo pasa al departamento de inspección.
- Inspección 4:* Verificar definitivamente dimensiones y acabado. (No se fija tiempo.)
Pasa al almacén de piezas terminadas hasta que se necesite para el montaje.

Operación 9: Montar el moldeado en la parte pequeña del eje y taladrar de lado a lado el agujero para el pernete de tope (0,020 horas).

La pieza ensamblada está ahora pronta para insertarle el pernete de tope, fabricado con una varilla de acero de 5 mm de diámetro de la manera siguiente:

Operación 10: Tornear una espiga de 2 mm de diámetro, biselar el extremo y cortar en un torno revólver (0,025 horas).

Operación 11: Quitar las rebabas con una pulidora (0,005 horas).
El trabajo pasa luego a inspección.

Inspección 5: Verificar dimensiones y acabado. (No se fija tiempo.)
El trabajo pasa al taller de galvanoplastia.

Operación 12: Desengrasar (0,0015 horas).

Operación 13: Cadmiar (0,006 horas).
El trabajo vuelve ahora a inspección.

Inspección 6: Verificar resultado final. (No se fija tiempo.)
Pasa al almacén de piezas terminadas, de donde sale para:

Operación 14: Fijar el pernete de tope al montaje, remachándolo ligeramente para afianzarlo (0,045 horas).

Inspección 7: Verificar por última vez el montaje terminado. (No se fija tiempo.)
Vuelve luego al almacén de piezas terminadas.

Diagrama de recorrido

Ejemplo: desmontaje, limpieza y desengrase de un motor

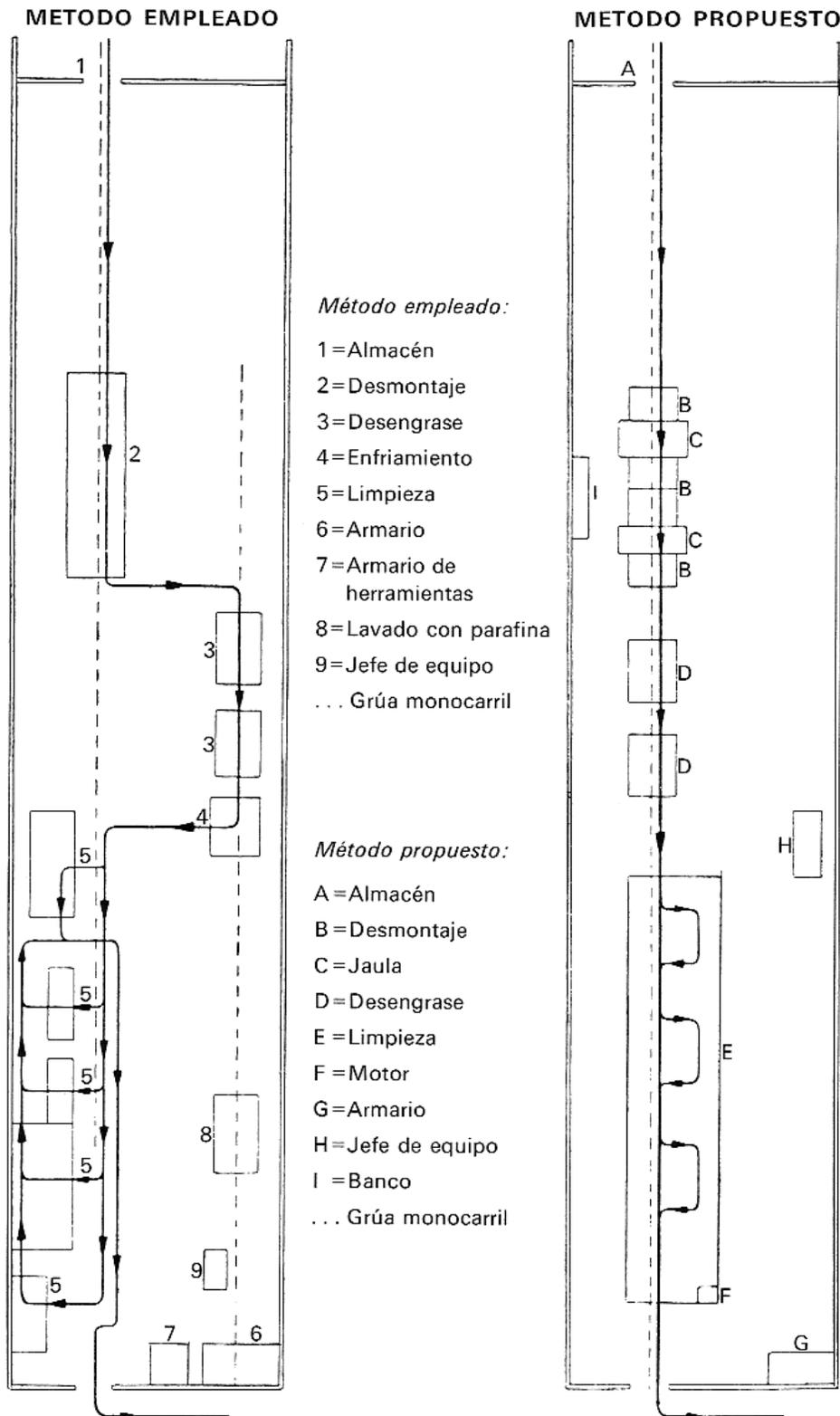


Diagrama de hilos

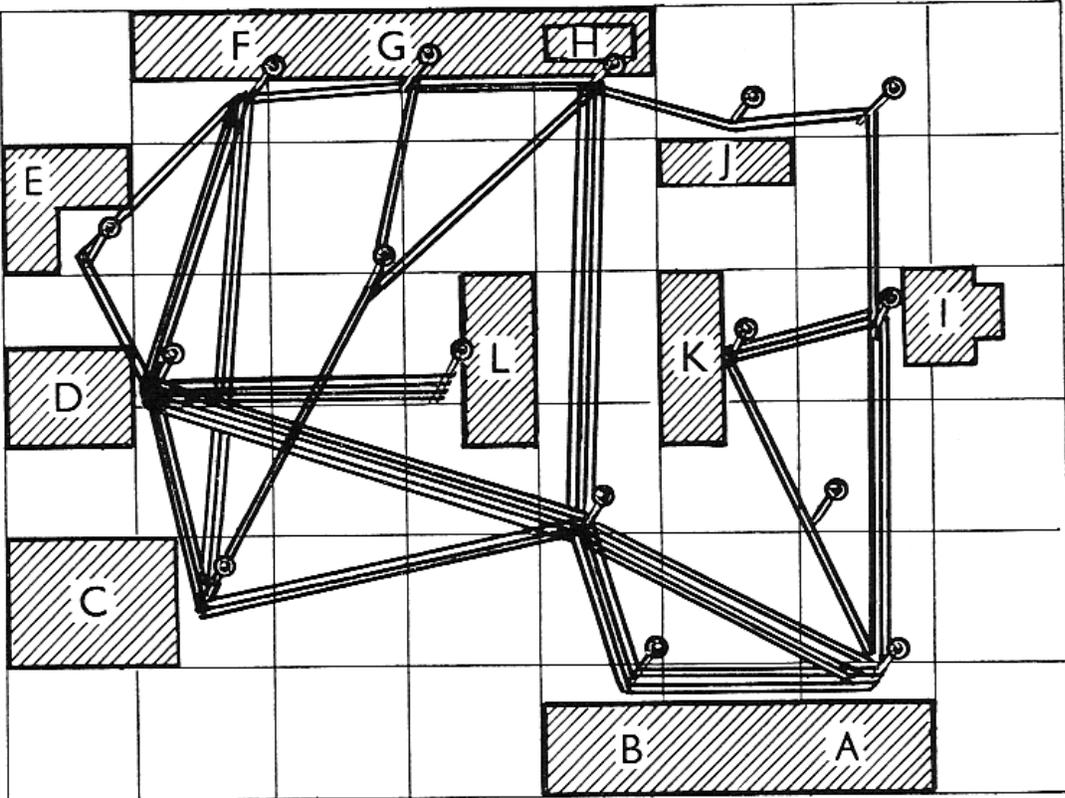
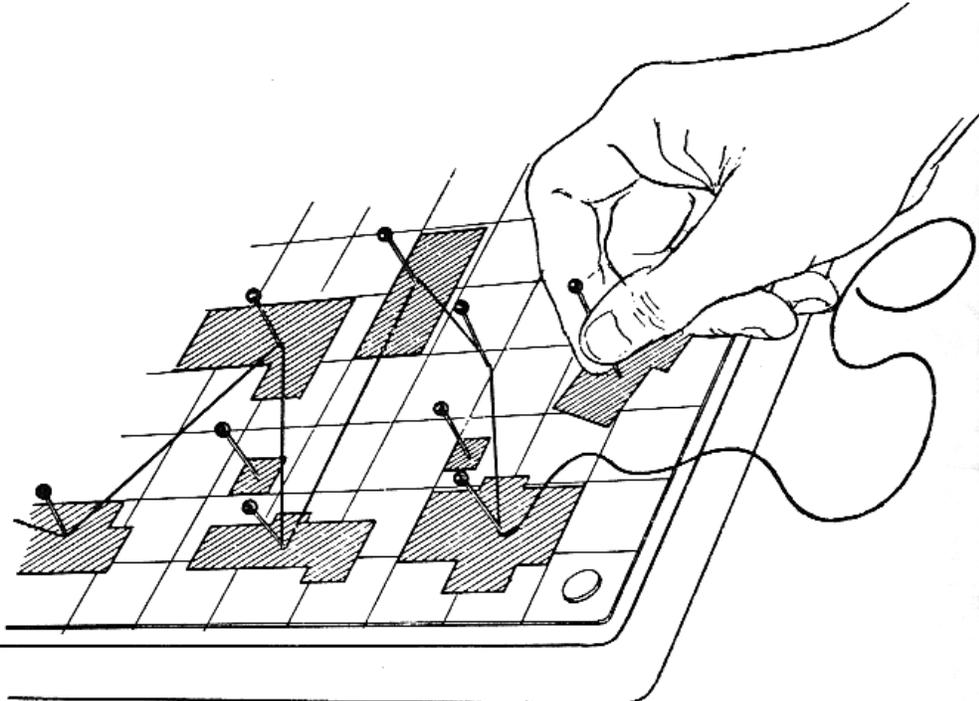


Diagrama de actividades múltiples o diagrama hombre-máquina

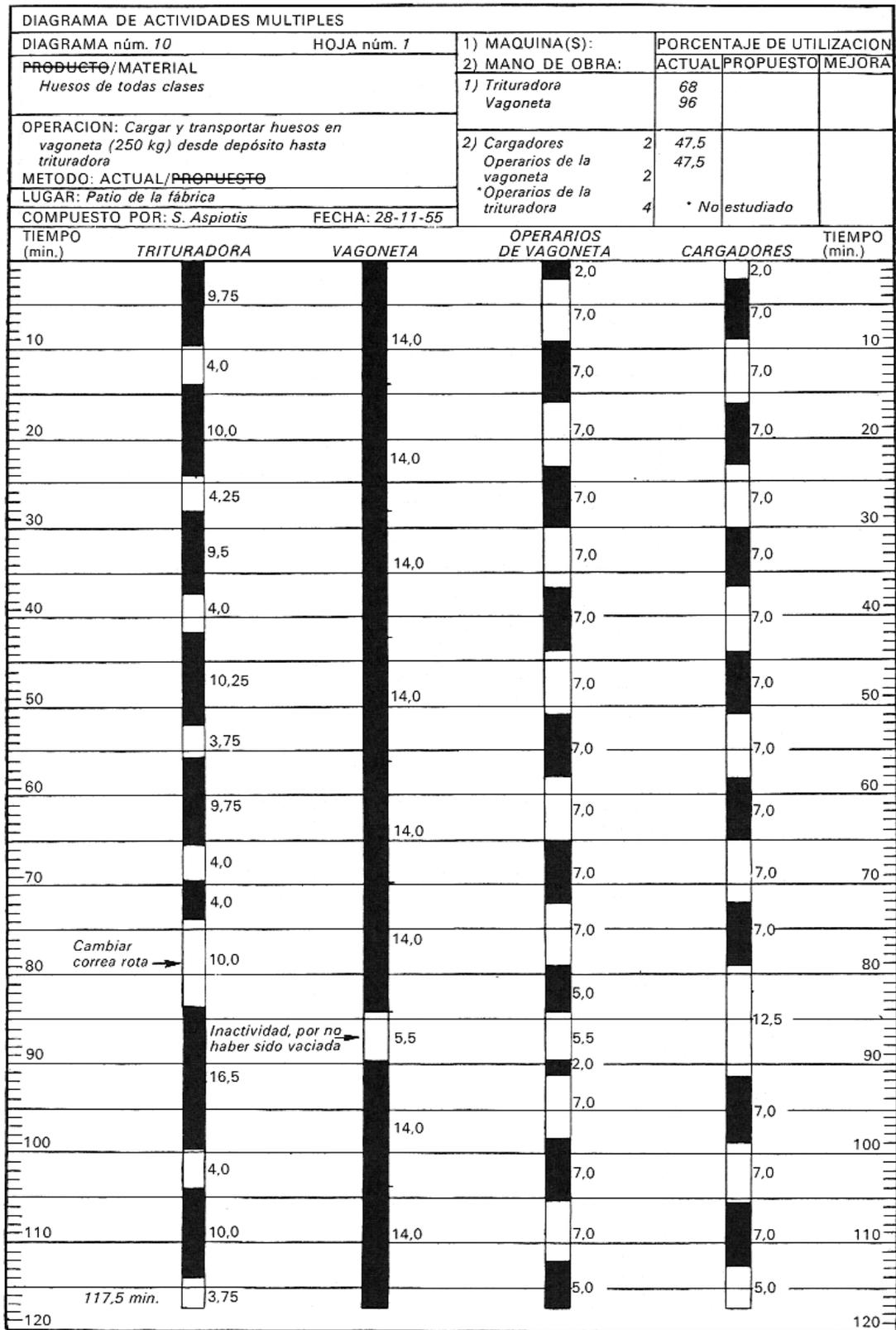
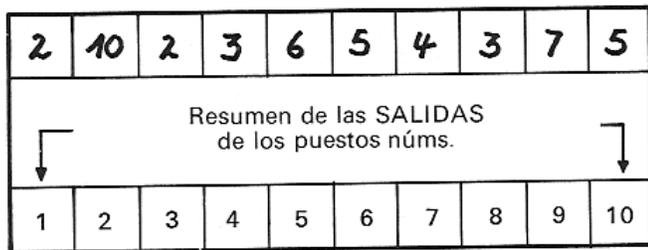
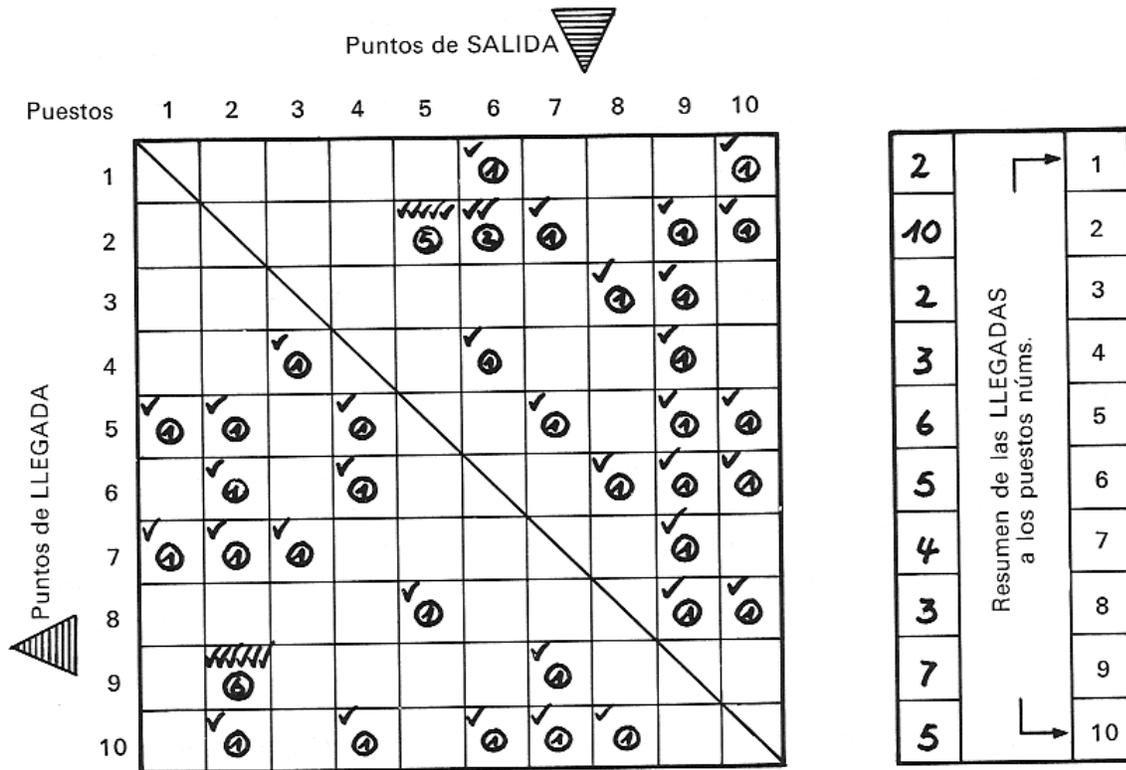


Gráfico de trayectoria



Plano esquemático de la oficina

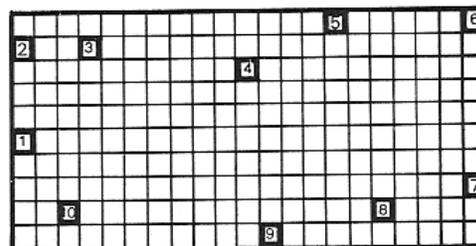
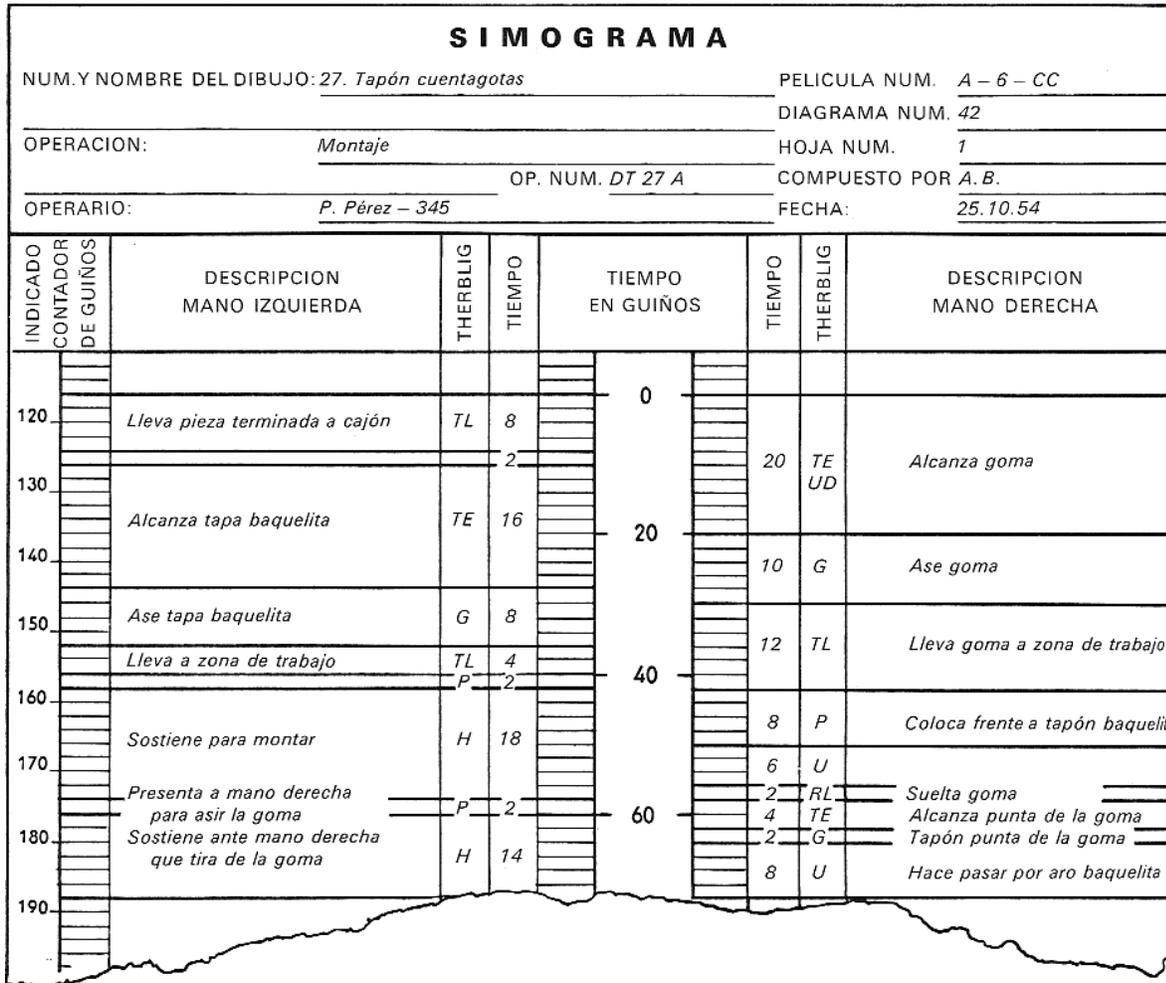


Diagrama bimanual

DIAGRAMA BIMANUAL					
DIAGRAMA núm. 1 HOJA núm. 1			DISPOSICION DEL LUGAR DE TRABAJO		
DIBUJO Y PIEZA: <i>Tubo de vidrio de 3 mm diám. y 1 m long.</i>			METODO ORIGINAL 		
OPERACION: <i>Cortar trozos de 1,5 cm</i>					
LUGAR: <i>Talleres generales</i>					
OPERARIO: <i>D. G.</i>					
COMPUESTO POR: <i>A. B.</i> FECHA: <i>22-7-52</i>					
DESCRIPCION MANO IZQUIERDA	○	⇨	□	▽	DESCRIPCION MANO DERECHA
<i>Sostiene tubo</i>					<i>Recoge lima</i>
<i>Hasta plantilla</i>					<i>Sostiene lima</i>
<i> Mete tubo en plantilla</i>					<i>Lleva lima hasta tubo</i>
<i>Empuja hasta fondo</i>					<i>Sostiene lima</i>
<i>Sostiene tubo</i>					<i>Muesca tubo con lima</i>
<i>Retira un poco tubo</i>					<i>Sostiene lima</i>
<i>Hace girar tubo 120°/180°</i>					<i>Sostiene lima</i>
<i>Empuja hasta fondo</i>					<i>Acerca lima a tubo</i>
<i>Sostiene tubo</i>					<i>Muesca tubo</i>
<i>Retira tubo</i>					<i>Pone lima en mesa</i>
<i>Pasa tubo a la der.</i>					<i>Va hasta tubo</i>
<i>Dobla tubo para partirlo</i>					<i>Dobla tubo</i>
<i>Sostiene tubo</i>					<i>Suelta trozo cortado</i>
<i>Corre a otra parte de tubo</i>					<i>Va hasta lima</i>
RESUMEN					
METODO	ACTUAL		PROPUESTO		
	IZQ.	DER.	IZQ.	DER.	
<i>Operaciones</i>	8	5			
<i>Transportes</i>	2	5			
<i>Esperas</i>	—	—			
<i>Sostenim.</i>	4	4			
<i>Inspecciones</i>	—	—			
Totales	14	14			

Simograma



Curvas de aprendizaje

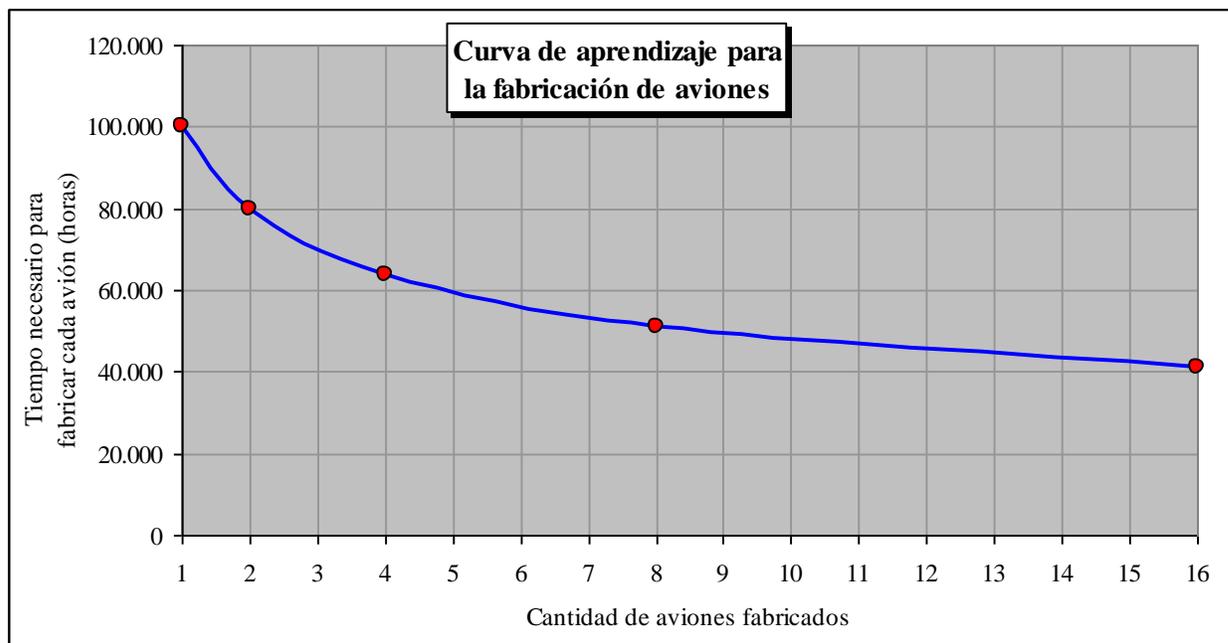
Podríamos definir al aprendizaje como la mejora que resulta cuando, al repetir un proceso, se gana destreza o eficiencia de la experiencia que se adquiere en cada repetición.

Una curva de aprendizaje es una línea que muestra la relación existente entre el tiempo de producción y el número acumulativo de unidades producidas.

Aplicación de las curvas de aprendizaje

La teoría de la curva de aprendizaje tiene una amplia gama de aplicaciones en el mundo empresarial. Las curvas de aprendizaje pueden aplicarse a individuos o a organizaciones.

Las curvas de aprendizaje fueron utilizadas por primera vez en la industria de la aviación. Se observó que mientras que la producción se duplicaba, había una reducción de 20% en la producción directa trabajador/horas por unidad entre las unidades duplicadas. Si se requerían 100.000 horas para la fabricación del primer avión, se necesitarían 80.000 horas para fabricar el segundo. La fabricación del cuarto avión demandaría 64.000. La construcción del octavo tomaría 51.200 hs y así sucesivamente.



La forma de la curva de aprendizaje es asintótica. Esto implica que a medida que se va adquiriendo experiencia, el tiempo empleado para realizar un determinado trabajo es cada vez menor. Pero esta reducción no es infinita. Llega un momento en que podemos considerarnos "expertos" en realizar ese trabajo y ya no hay mucho más que aprender, por ende el proceso de realización del trabajo no se puede mejorar mucho más por lo que no podemos esperar que el tiempo para realizar el trabajo disminuya sustancialmente.

La teoría de la curva de aprendizaje se basa en tres supuestos:

1. La cantidad de tiempo requerido para completar una tarea determinada (o una unidad de producción) será menor cada vez que se realice la tarea, justificado este hecho en que cada repetición aporta mayor experiencia para realizarla en el futuro.
2. El tiempo unitario disminuirá a una tasa decreciente. Es decir, el aprendizaje aportará cada vez menos reducción de tiempo.
3. La reducción en el tiempo seguirá un patrón predecible.

Cálculo del porcentaje de aprendizaje

Si la industria en cuestión lleva algún tiempo produciendo, el porcentaje de aprendizaje se puede obtener fácilmente con base en los registros. En términos generales, mientras más larga sea la historia de producción, más exacto será el cálculo. Dado que pueden presentarse diferentes inconvenientes durante las primeras etapas de producción, la mayoría de las empresas solo empiezan a recaudar datos para el análisis de la curva de aprendizaje cuando se han terminado algunas unidades.

Igualmente, se debe utilizar el análisis estadístico. Una curva de aprendizaje exponencial puede ajustarse para saber cuánto se adapta la curva a los datos anteriores.

Si la producción no se ha iniciado, el cálculo del porcentaje de aprendizaje se convierte en una conjetura que puede ser ilustrativa. Para este caso podemos optar por:

1. Suponer que el porcentaje de aprendizaje será el mismo de las anteriores aplicaciones dentro de la misma industria.
2. Asumir que será el mismo porcentaje registrado para los mismos productos o para productos similares.
3. Analizar las similitudes y diferencias existentes entre la puesta en marcha propuesta y las anteriores, y desarrollar un porcentaje de aprendizaje revisado que parezca el mejor para ajustarse a la situación.

Existen varias maneras de analizar los datos para adaptar una línea de tendencia. En nuestro caso, nos limitaremos al análisis logarítmico, ya que por lo general es el más eficiente dado que no requiere una enumeración completa de las combinaciones sucesivas de tiempo/producción. Además, cuando estos datos no estén disponibles, un modelo analítico que utilice logaritmos puede ser el método más conveniente para obtener los cálculos de la producción.

La forma normal de la ecuación de la curva de aprendizaje es:

$$Y_x = Y_1 x^{\left(\frac{\log n}{\log 2}\right)}$$

Y_x = Tiempo requerido para producir la unidad x

Y_1 = Tiempo requerido para producir la primera unidad

x = Número de unidades producidas

n = Porcentaje de aprendizaje

La curva de aprendizaje aplicada a los individuos

Existe una serie de factores que afectan el desempeño y la tasa de aprendizaje del individuo. Aquí hay dos elementos involucrados: la tasa de aprendizaje y el nivel de iniciación.

Es sabido la facilidad que tienen los niños para aprender, sin embargo, a temprana edad su falta de experiencia los hará incapaces de realizar ciertas tareas. Expondremos esto con un ejemplo:

Una empresa manufacturera necesita incorporar a una persona en el área de embalajes. El departamento de personal ha entrevistado a dos personas, Pedro y Juan, y le ha solicitado a cada uno realizar una serie de varias pruebas mecánicas simples como parte de la solicitud de empleo.

¿Cuál es más apto para el puesto? Ambos tienen algo en común, a medida que repiten la prueba mecánica, reducen el tiempo empleado para realizarla. Sin embargo, hay una diferencia entre ellos:

Inicialmente, Pedro demuestra ser más diestro. La primera prueba le demandó solo 6 minutos, mientras que a Juan le llevó 9 minutos terminarla.

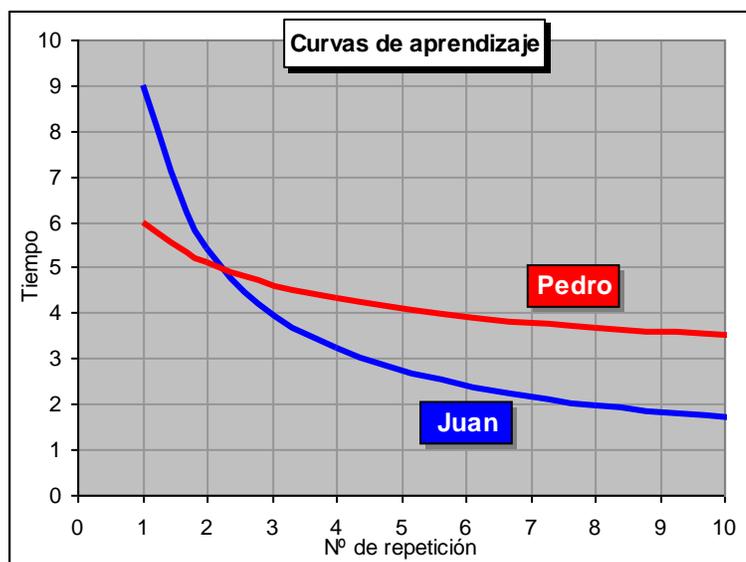
Sin embargo, Juan demuestra tener mejor capacidad de aprendizaje: en el segundo intento realizó la prueba casi tan rápido como Pedro, y en el tercero, logró hacerlo más rápido que su competidor.

Con algo de capacitación, Juan logrará embalar más piezas en una jornada laboral lo que lo hace más apto para el puesto.

Las curvas de aprendizaje nos ayudan a verificar si una persona se ajusta al perfil del puesto que necesitamos.

Mientras más plana es la curva, menor capacidad de aprender tiene la persona, y vice versa.

Sin embargo, una curva plana no siempre es desalentadora. Es necesario analizar la curva en su integridad: Una curva plana, dijimos implica que la persona no puede aprender mucho más sobre la tarea, pero esto podría deberse a que estamos tratando con una persona de mucha experiencia: no puede realizar la tarea más rápido, sencillamente, porque no es posible hacerlo. Más adelante veremos la ecuación matemática que diferencia una curva de la otra.



Veremos algunas pautas generales para mejorar el desempeño individual basadas en las curvas de aprendizaje:

- Correcta selección de los trabajadores: Se debe hacer una prueba para ayudar a la selección de los trabajadores. Estas pruebas deben ser representativas del trabajo planeado (pruebas de destreza para trabajos manuales, pruebas de habilidad mental para trabajos intelectuales, pruebas de interacción con los clientes para trabajos que requieren atención al público, etc.)
- Capacitación adecuada: En función de la curva de la persona, podremos programar la capacitación específica y saber de antemano la efectividad de la misma. Una persona con una curva más plana requerirá de mayor esfuerzo en capacitación para adquirir el conocimiento requerido.
- Motivación: Las ganancias en productividad basadas en las curvas de aprendizaje sólo se logran cuando existe una recompensa (ya sea monetaria o no)
- Especialización en el trabajo: En general, mientras más sencilla sea la tarea, más rápido será el aprendizaje.
- Ejercer un solo cargo (o unos pocos) al mismo tiempo: El aprendizaje de cada cargo es más rápido si se termina uno a la vez, en lugar de ejercerlos todos simultáneamente.

La curva de aprendizaje aplicada a las organizaciones

Las organizaciones también aprenden. Se ha sostenido que el aprendizaje organizacional es un factor crítico para sostener una ventaja competitiva. Para el individuo es fácil conceptualizar la manera como se adquiere y se retiene el conocimiento, y como esto da como resultado un efecto de aprendizaje individual. Ciertamente, una de las principales fuentes del aprendizaje organizacional es resultado del aprendizaje individual de los empleados. Una organización requiere conocimientos sobre tecnología, sobre los documentos que retiene y sobre los procedimientos operativos.

Muchas empresas invierten mucho esfuerzo en la gestión por mantener e incrementar el conocimiento:

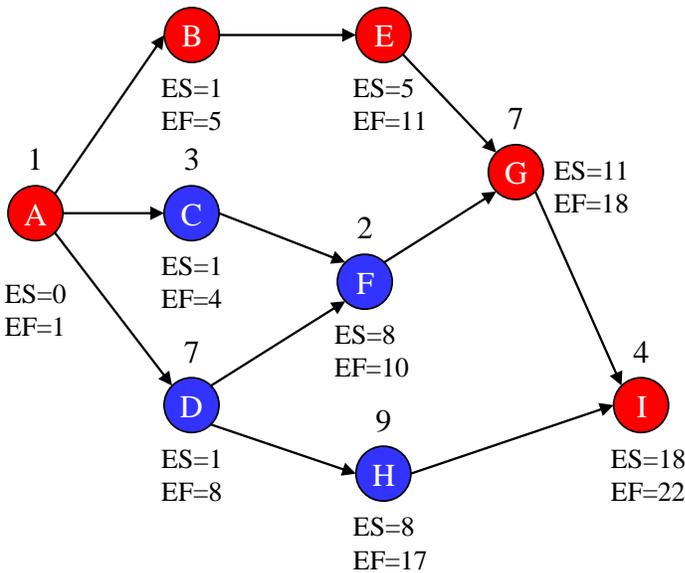
- ✓ La redacción y utilización de procedimientos favorece el aprendizaje organizacional. En la medida que las personas vuelcan su experiencia a los procedimientos mediante la actualización y revisión de los mismos, la documentación se vuelve más valiosa, y quienes tienen acceso a la misma logran aprender en poco tiempo el resultado de varios años.
- ✓ En materia de Seguridad, la difusión y discusión de accidentes e incidentes en toda la organización permite aprender de los errores cometidos en el pasado, otras unidades de negocio o incluso otras empresas del mismo rubro.

- ✓ Las *best practices* consisten en reuniones con grupos de diferentes dependencias o empresas con intereses afines, en las que se discuten temas específicos o resolución de problemas comunes.

El conocimiento organizacional, también puede depreciarse:

- x Insuficientes incentivos pueden dar lugar a que los individuos dejen las organizaciones.
- x Las tecnologías inaccesibles, difíciles de utilizar u obsoletas pueden dar lugar a la pérdida de información valiosa. Las incompatibilidades entre sistemas informáticos han sido responsables de la pérdida de mucha documentación importante para las empresas.

Planificación del trabajo



Parece una molécula, pero es el mapa que se utilizó para dirigir al pequeño ejército de ingenieros, electricistas, carpinteros, plomeros, y trabajadores que intervinieron en la reparación del World Trade Center después del atentado terrorista del 11 de septiembre que conmocionó a EEUU y el mundo.

El diagrama es solo una parte de una intrincada técnica de planificación del trabajo que permite no solo ver en qué etapa de trabajo se encuentra un proyecto, sino también para

determinar que hacer después, en donde se pueden presentar los principales obstáculos y como anticiparse a ellos y donde deben concentrarse los esfuerzos.

Los proyectos incluyen una amplia gama de actividades de manufactura y servicio. Los objetos de gran tamaño como buques, aviones de pasajeros y trenes se fabrican en forma de proyectos. La construcción de edificios, represas, caminos adoptan, también la forma de proyecto para su ejecución. Los servicios como la producción de películas, desarrollo de nuevos productos, mantenimiento o *revampings* (renovación) de instalaciones complejas también se presentan en forma de proyecto. ¿Qué es entonces un proyecto? Veamos algunas definiciones:

Proyecto: se puede definir como una serie de tareas relacionadas que por lo general están dirigidas a la consecución de un resultado importante y que requieren un período significativo de tiempo para realizarse.

Gerencia de proyectos: es la planificación del trabajo, dirección y control de recursos (personas, equipos, materiales) para cumplir con restricciones técnicas, de costos y tiempo.

Tarea es una subdivisión de un proyecto. Por lo general no dura más de unos pocos meses (o días) y es realizada por un grupo u organización. Si es preciso subdividir adicionalmente el proyecto, se pueden utilizar **subtareas**.

Hito: es un momento en el cual se desarrolla un evento importante. Es de duración insignificante en el proyecto

Estructura de fragmentación: define la jerarquía de las tareas y subtareas del proyecto

Camino crítico: es la secuencia de tareas que determinan la duración del proyecto. Ampliaremos esta definición más adelante.

Planificación, programación y control del trabajo

Una secuencia general para la toma de decisiones que se requieren en todos los proyectos es la planificación, la programación y control del trabajo.

La **planificación** se refiere a aquellas decisiones que se requieren al principio de un proyecto, por medio de las cuales se establece su carácter general y su dirección. Generalmente, la planificación de un proyecto establece los objetivos primordiales del mismo, los recursos requeridos y el tipo de organización que se utilizará.

La **programación** especifica con mayor detalle el plan del proyecto. Esta fase comienza con la elaboración de una lista detallada de las actividades del proyecto, que se denomina estructura de desglose del trabajo o estructura de fragmentación.

El **control** del proyecto se mantiene si se supervisa cada actividad conforme se lleva a cabo en el proyecto. Cuando se presenta una discrepancia significativa entre los resultados reales y el plan (o programa), entonces debe efectuarse una acción correctiva. Estas acciones correctivas pueden incluir revisión del plan, reasignación de fondos, cambios de personal u otros cambios en los recursos.

Métodos de programación

Si bien es indispensable manejar los métodos de programación a la hora de abordar un proyecto, debe tenerse en cuenta la importancia del trabajo en equipo. La administración de un proyecto efectiva exige responsabilidades claramente identificadas frente al proyecto, un sistema de reportes sobre el progreso sencillo y oportuno, y buenas prácticas de manejo de personas.

Los métodos de programación se desarrollaron a fines de los años 50. La técnica de evaluación y revisión de programas cuyas siglas en inglés son **PERT** (*program evaluation and review technique*) se desarrolló bajo el patrocinio de la Oficina de Proyectos Especiales de la Armada de Estados Unidos en 1958 como herramienta gerencial para programar y controlar el proyecto del submarino Polaris.

El método del camino crítico, en inglés **CPM** (*critical path method*), fue desarrollado en 1957 por J.E. Kelly de Remington-Rand, y M.R. Walker de Du Pont con el objeto de ayudar en la programación de paros para mantenimiento de plantas de procesamiento de químicos.

Diagrama de redes

Los métodos de programación con redes involucran el uso de algunos conceptos de programación importantes como el camino crítico y el tiempo libre. Estos conceptos de

programación con redes se describirán a continuación por medio de un **diagrama de red de tiempo constante**. Existen redes más complicadas que utilizan tiempos probabilísticos. El estudio de estas redes excede el alcance de esta materia y no serán explicados en este apunte.

Las modalidades básicas de PERT y CPM se concentran en buscar el camino de consumo de tiempo más largo en una red de tareas como base para planear y controlar un proyecto. La representación gráfica, tanto de PERT como CPM, utiliza nódulos y flechas en sus diagramas. Originalmente, PERT empleaba flechas para representar una actividad y CPM utilizaba nódulos. Además, PERT emplea tres estimaciones (optimista, pesimista y más probable) del tiempo requerido para realizar una tarea, mientras que CPM solo utiliza el tiempo más probable de ejecución de la tarea. Esta diferencia refleja el origen del PERT en programación de proyectos avanzados y en que la incertidumbre en los tiempos de ejecución de una tarea no puede dejarse al azar.

Dado que el objetivo de esta materia no es profundizar en las técnicas de programación, nos limitaremos a estudiar las redes de tiempo según CPM con un ejemplo sencillo:

Muchas de las compañías que han intentado entrar al mercado de computadoras de tipo notebook han fracasado. Suponga que su empresa cree que existe una gran demanda en este mercado porque los productos existentes no se han diseñado correctamente. Son muy pesados, muy grandes o demasiado pequeños para tener teclados de tamaño estándar. La computadora que usted quiere producir será lo suficientemente pequeña para llevarla en el bolsillo del saco. El tamaño ideal no medirá más de 10 x 15 x 2 centímetros, con un teclado que se puede doblar. No pesará más de 200 gramos, tendrá una pantalla LCD, una unidad de disco micro y puerto Ethernet. Estas características seguramente resultarán atractivas para quienes tienen que viajar por negocios, pero debe haber un mercado mucho más amplio que incluya estudiantes. Su precio de venta debe estar dentro del rango de US\$ 175-200.

Así pues, el proyecto consiste en diseñar, desarrollar y producir un prototipo de esta pequeña computadora. En la rápidamente cambiante industria de las computadoras, es crucial lanzar al mercado un producto de este tipo en menos de un año. Por consiguiente, al equipo de proyecto se le han dado cerca de cinco meses (20 semanas) para producir el prototipo.

La primera tarea del equipo de proyecto consiste en desarrollar un gráfico de red de proyecto y calcular la probabilidad de completar el prototipo de computador en el término de 20 semanas. Los siguientes son los pasos en el desarrollo de la red:

Identificación de las tareas

El equipo decide que las siguientes actividades constituyen los principales componentes del proyecto

- A. diseño de la computadora
- B. construcción del prototipo
- C. prueba del prototipo

- D. especificación de métodos (resumida en un informe)
- E. estudios de evaluación sobre equipo de ensamble automático
- F. un informe sobre el equipo de ensamble
- G. un informe final que resuma todos los aspectos del diseño, el equipo y los métodos.

A la hora de identificar las tareas de un proyecto para ser utilizadas con técnicas de programación, las mismas deben poseer algunas características: estar bien definidas, ser independientes y ordenadas secuencialmente.

Secuencia de actividades y construcción de la red.

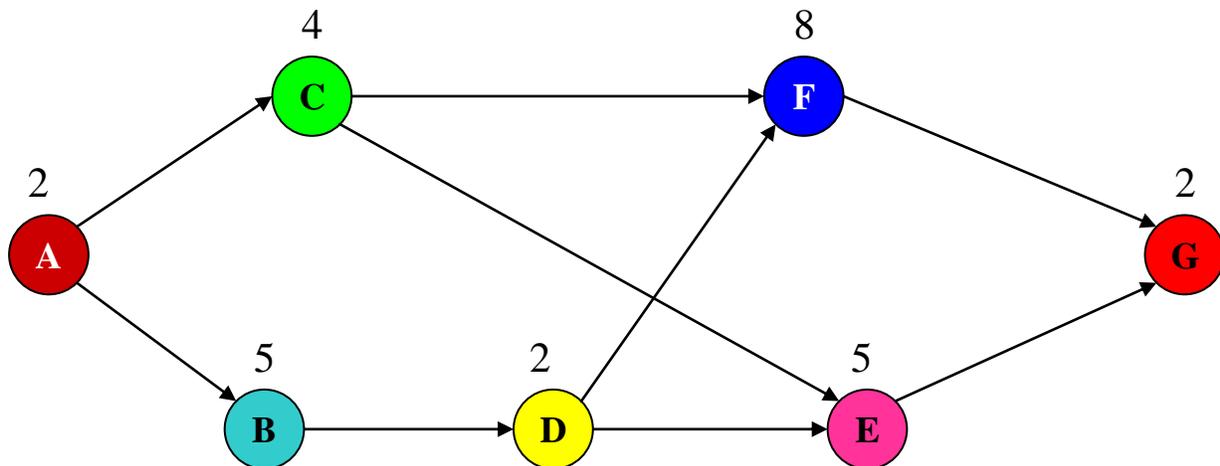
Con base en un intercambio de ideas con su personal, el gerente de proyecto desarrolla la tabla de precedencias y la red de secuencias. Las actividades se indican a manera de nodulos, y las flechas muestran la secuencia en que se deben completar las actividades. Al construir una red, asegúrese de que las actividades se coloquen en el orden adecuado y de que se mantenga la lógica de sus relaciones. Por ejemplo, sería ilógico tener una situación en que el suceso A viene antes del suceso B, el B sea antes del C y el C antes del A. Aplicado a nuestro ejemplo:

La tarea A (diseño de la computadora) es **predecesora** de la tarea B (construcción del prototipo). No es posible comenzar con la tarea B hasta que no haya finalizado la tarea A.

Lo mismo, dicho de diferente manera: la tarea B es **sucesora** de la tarea A. Cuando concluya la tarea A, recién podrá iniciarse la tarea B. La interrelación entre todas las actividades de este proyecto puede resumirse en la tabla siguiente:

Actividad	Predecesor	Sucesor	Duración
A Diseño	-	B - C	2
B Fabricación	A	D	5
C Evaluación	A	E – F	4
D Prueba	B	E – F	2
E Informe equipo	C – D	G	5
F Informe métodos	C - D	G	8
G Informe final	F	-	2

La misma información podemos visualizarla en forma gráfica mediante el diagrama de redes:



Cada círculo o nódulo representa una actividad o tarea. Encima de cada círculo se coloca la duración de la tarea. Las flechas describen la interrelación directa entre las tareas. Está claro que no podremos obtener el informe final (G) si no hemos realizado el diseño de la computadora (A), pero no hemos colocado ninguna flecha que una en forma directa las tareas A y G. Hacer esto solo complicaría el diagrama sin aportar información importante. Cuando hablemos de predecesoras o sucesoras nos estaremos refiriendo a tareas con relación directa.

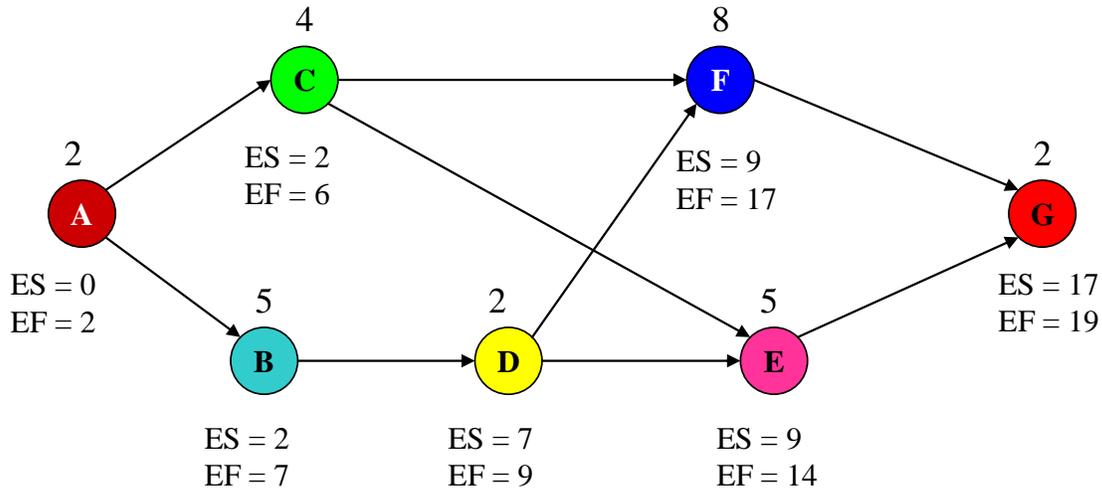
Tiempo de ejecución del proyecto

La ruta crítica es la secuencia más larga de actividades conectadas en la red y se define como la ruta con tiempo de holgura cero. El tiempo de holgura, a su vez, se calcula para cada actividad: este tiempo resulta de la diferencia entre el tiempo último y más temprano que se anticipa para la terminación de un evento. La holgura puede pensarse como la cantidad de tiempo que se puede demorar el inicio de una actividad determinada sin que retrase la terminación del proyecto. Para determinar el tiempo de holgura, hay que calcular cuatro valores de tiempo para cada actividad:

- Tiempo de inicio temprano (*early start time*) (ES): el tiempo más temprano posible en que puede comenzar la actividad.
- Tiempo de terminación temprano (*early finish time*) (EF): el tiempo de inicio temprano más el tiempo que se necesita para completar la actividad.
- Tiempo último de terminación (*late finish time*) (LF): el tiempo más tardío en que se puede completar una actividad sin retrasar el proyecto.
- Tiempo último de inicio (*late start time*) (LS): el tiempo último de terminación menos el tiempo que se necesita para completar la actividad.

El procedimiento para determinar estos valores y para determinar la holgura y la ruta crítica se puede explicar mejor haciendo referencia a la red sencilla que se ilustra en el ejemplo.

Las letras denotan las actividades; las cifras, encima de cada nódulo, denotan los tiempos de las actividades.



Diremos que nuestro proyecto comienza en el momento 0, y dado que nuestro proyecto comienza con la actividad A, el tiempo de inicio para A será $ES_A = 0$. La actividad A demandará 2 días en ejecutarse por lo que si empieza el día 0 finalizará el día 2. $EF_A = 0 + 2 = 2$.

La actividad B tiene como predecesora a la A. Solo cuando concluya la tarea A, recién podrá iniciarse la tarea B. Entonces el tiempo de inicio de la tarea B es igual al tiempo de finalización de su predecesora, la tarea A. $ES_B = EF_A = 2$. La tarea B demanda 5 días, por lo que si comienza el día 2, finalizará, como pronto el día 7. $EF_B = ES_B + 5 = 7$.

La misma metodología aplicaremos con el resto de las tareas basándonos en la siguiente ecuación:

$$ES_N = EF_{N-1} + T_N, \text{ donde}$$

ES_N = Tiempo de inicio temprano de la tarea N

EF_{N-1} = Tiempo de finalización temprano de la predecesora inmediata de N

T_N = Tiempo de ejecución de la tarea N

En principio, no debíamos tener ningún inconveniente para determinar los ES y EF de las tareas A, B, C y D. Sin embargo, cuando nos proponemos determinar el ES de la actividad E surge el interrogante: ¿Qué ES debemos adoptar para E? ¿ EF_C o EF_D ? La respuesta surge naturalmente si recordamos el concepto de predecesora: No es posible comenzar con una tarea, hasta que no haya finalizado su predecesora. Esto significa que para poder comenzar con la tarea E, necesariamente deben haber finalizado todas sus predecesoras (si tuviera más de una), por lo cual el tiempo de inicio de una tarea será igual al mayor tiempo de finalización de todas sus predecesoras: Las predecesoras de E son C y D y sus respectivos tiempos de finalización son $EF_C = 6$ y $EF_D = 9$. Para el día 6 habrá concluido la tarea C, pero aún estará en ejecución la tarea D. Recién el día 9 habrán terminado las dos predecesoras de E, por lo que el tiempo de inicio de E será 9. En base a lo visto hasta ahora, analice cual

será el tiempo de inicio de F y complete el resto del razonamiento. Si tiene dudas, revise el diagrama completo. Así como dijimos que el tiempo de inicio de la primera tarea marca el inicio del proyecto, el tiempo de finalización de la última tarea, nos dará el tiempo de ejecución del proyecto.

Determinación del camino crítico

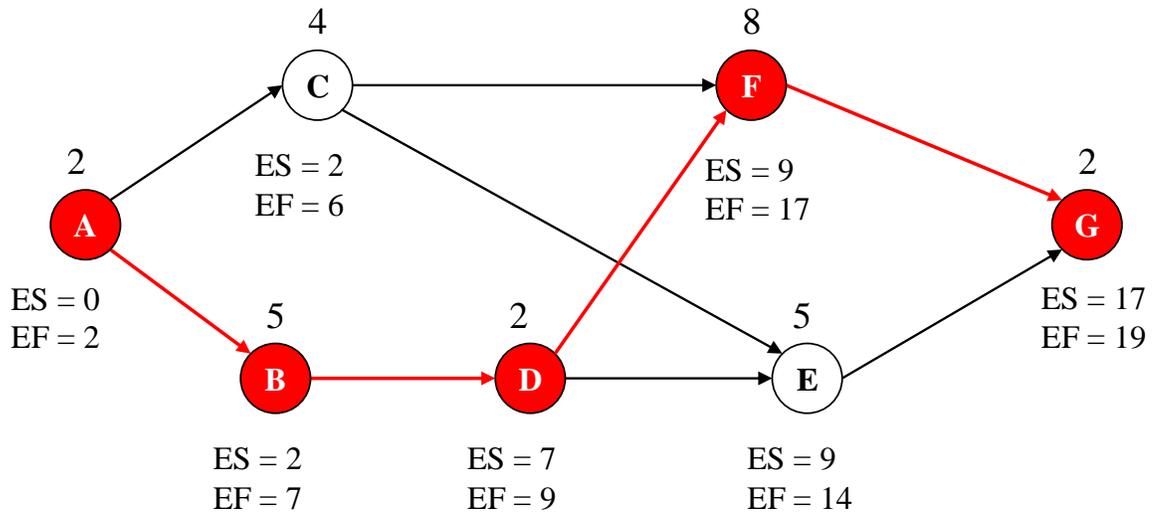
Aunque el procedimiento para hacer estos cálculos se puede presentar en forma matemática, es mucho más fácil explicar y entender el concepto si se presenta de una manera intuitiva. El método más sencillo es comenzar por el final del proyecto con el tiempo de terminación de la última tarea. Al trabajar de atrás para adelante, una actividad a la vez, se determina qué tanto tiempo se puede demorar el inicio de esta actividad sin afectar el inicio de la siguiente. Recordemos que el camino crítico es la secuencia más larga de actividades conectadas en la red y se define como la ruta con tiempo de holgura cero. Esto es, que no hay manera de acortar el tiempo de ejecución del proyecto. Es evidente que, si tenemos algún contratiempo en la tarea G, sí se afectará el tiempo total del proyecto. Esto convierte a la tarea G en tarea crítica.

Ahora que sabemos que G es una tarea crítica, la analizaremos en detalle. Podemos ver que su inicio está condicionado por la tarea E y F. Si la tarea E se demorara 3 días no modificaría el tiempo de inicio de la tarea G, y por ende, el tiempo total del proyecto. E tiene una holgura de 3 días y esto la convierte en tarea no crítica. Pero F tiene una holgura de 0. Cualquier demora en F generaría un retraso en el inicio de la tarea G, y en todo el proyecto. Esta condición convierte a la actividad F en tarea crítica. En general podemos determinar la holgura de una actividad de dos maneras:

$$H = LS - ES$$

$$H = LF - EF$$

Sabemos que G es crítica y F es crítica ¿qué tarea/s condiciona/n el inicio de F? El inicio de F está condicionado por la tarea D, ya que esta tiene holgura = 0. Esto transforma a D en tarea crítica. A su vez, el ES de D está condicionado por B, que también tiene holgura = 0 y por ende es crítica. Por último, El ES de B está condicionado por A, siendo A crítica. Nuestro camino crítico es entonces: A – B – D – F – G.



Una programación de inicio temprano es aquella que registra todas las actividades de acuerdo con sus tiempos de inicio temprano. Para las actividades que no forman parte de la ruta crítica, existe un tiempo de holgura entre la terminación de una actividad y el inicio de la siguiente. La programación de inicio temprano completa el proyecto y todas sus actividades lo más pronto posible.

Una programación de inicio tardío registra las actividades de modo que empiecen lo más tarde posible sin retrasar la fecha de culminación del Proyecto. Una de las razones por las que se emplea una programación de inicio tardío es que se puede ahorrar al posponer la compra de materiales, la utilización de mano de obra y otros costos hasta cuando sean realmente necesarios.