

## LA PROGRAMACIÓN CPM y PERT Y SUS APLICACIONES

Jorge Molina Hernández\*

### - **Introducción.**

Como introducción se hace necesario repasar algunos conceptos sobre Planificación General y sobre las técnicas de Programación y Control más utilizadas en la actualidad, también sobre el sistema Gantt, técnica que ha pasado a jugar sólo un papel complementario desde la aparición de los sistemas de Trayectoria Crítica o "Critical Path Method" y especialmente del Programa de Evaluación y Revisión Técnica o "Program Evaluation and Review Technique", ambos conocidos por sus siglas CPM y PERT respectivamente.

Es sabido que todo ejecutivo o supervisor, es decir, todo aquel que deba obtener resultados de su responsabilidad a través del trabajo de una o más personas que reciben sus instrucciones, realiza dos tipos de funciones: unas que se pueden denominar "Operativas o Técnicas", tales como Proyecto, Fabricación, Ventas, Contabilidad, etc., y otras que se pueden denominar "Directivas o de Administración". Mientras las primeras pueden cambiar para cada ejecutivo, ya que son distintas para el Jefe de Faena, Jefe de Mantenimiento de Equipos, Gerente de Finanzas, Jefe de Proyectos, o para el Jefe de Administración y Economía, mientras que las segundas son comunes a todos ellos.

### • **¿Cuáles son estas Funciones Directivas?**

Aunque hay un cierto desacuerdo entre los estudiosos de estas materias, las discrepancias no son mayores y la nómina de uso más frecuente es la establecida por Henry Fayol (1900) y por Frederick Taylor (1911), perfeccionada hasta nuestros días por autores como Harold Koontz y Cyril O' Donnell, que concluyen que las funciones del ejecutivo son: Planificación, Organización, Dirección, Coordinación y Control.

Diversos autores recomiendan algunas modificaciones a dicha lista de funciones, reemplazando denominaciones y las materias comprendidas. Sin embargo, en cualquiera nómina de Funciones Directivas, o Elementos Básicos de la Dirección, figurarán indefectiblemente dos de ellas: Planificación y Control.

Debido a lo anterior es posible decir que los sistemas, técnicas o herramientas CPM y PERT que vamos a estudiar, por el hecho de ser empleadas principalmente en la Planificación y Control, son de mucha importancia en toda Administración de Empresa.

### - **Ideas Generales sobre Planificación.**

#### • **¿Qué es lo que se entiende por Planificar?**

La Planificación es el elemento que, más que ningún otro, caracteriza la función de un Ejecutivo o Profesional de Alta

Categoría, e incluso incluye la acción más importante que éste realiza: la de TOMAR DECISIONES frente a alternativas.

- **Planificar significa:**

- Fijar metas u objetivos en base a una adecuada "Previsión".
- Formular las "Políticas" o normas generales de acción que deben seguir quienes tengan que adoptar decisiones, en relación con la forma de lograr dichas metas.
- Establecer las actividades (fases o pasos) necesarias para cumplir con las políticas fijadas. Esto es lo que se acostumbra frecuentemente a llamar el "Plan".
- Establecer un itinerario para la realización de cada uno de dichos pasos, es decir, el "Programa".
- Determinar el "Presupuesto" respectivo.
- Establecer todos los procedimientos a que se deberán ajustar todos aquellos que juegan un rol dentro de los planes trazados, para cumplir su cometido coordinada y sistemáticamente.

- **Enfocado desde otro punto de vista, se puede decir que para "Planificar" se realiza un proceso constituido por las etapas que siguen:**

- **Objetivos:** se fijan los objetivos o metas que se han previsto que se puede y que se debe o desea cumplir.
- **Análisis:** se juntan todos los antecedentes y se define qué es lo que se requiere reunir y realizar para alcanzar los objetivos, y se elaboran los diversos caminos e itinerarios que conducen a la obtención de las metas propuestas.
- **Evaluación:** se estudian los caminos e itinerarios alternativos que permiten alcanzar los Objetivos y se elige el qué, con los elementos en ese momento disponibles, se considera el mejor Plan Tentativo (secuencia de actividades e itinerarios correspondientes).
- **Perfeccionamiento:** se analiza el Plan Tentativo integral de la etapa anterior para determinar si es posible obtener mejores

caminos e itinerarios que el seleccionado.

- **Prueba o Simulación:** esta etapa sólo se aplica en los métodos de planificación más perfeccionados y consiste en estudiar el plan a través de una simulación, es decir considerando el plan como modelo se dan valores estimativos lógicos a los diversos factores y deducir el resultado de la aplicación del plan completo al aplicarle dichos valores. Esta simulación puede ser manual o mecanizada. Las técnicas de la llamada Investigación de Operaciones, especialmente la Programación Lineal y de Computación, son de valor relevante en esta etapa.
- **Difusión:** se promueve y asegura que el Plan es realmente conocido y que están en condiciones de utilizarlo todos aquellos que tengan alguna participación en el mismo. Se analizan las áreas que a juicio de ellos son débiles en el Plan, se les explican las razones que condujeron a la solución propuesta en esas áreas o se modifican los puntos que se estime.

Se obtiene así un Plan Definitivo, o simplemente "el Plan", el cual esté en el momento en condiciones de ser efectivamente utilizado por todos.

- **Implantación:** se inicia el proyecto con una vigilancia próxima para asegurarse que todos los participantes se están atendiendo estrictamente al Plan Definitivo aprobado y que se interpreta adecuadamente.

Por todo lo mencionado se confirma que la característica principal de la planificación consiste fundamentalmente en escoger, y surge un problema de Planificación cuando se descubre una línea de acción alternativa.

- **Algunos Conceptos sobre Control.**

En cuanto al Control, éste se encuentra íntimamente ligado a la Planificación. Se puede decir que la Planificación y el Control son inseparables. Desde luego, no hay

supervisor que pueda controlar una acción que no haya sido planificada en mayor o menor grado, ya que el concepto mismo del Control lleva consigo la tarea de “verificar” que la actuación del personal a su cargo sea realizada en la forma prevista.

Siendo la acción más característica de un supervisor y ejecutivo la de tomar decisiones, es fundamental para él evaluar las decisiones tomadas. Para esto es necesario conocer los resultados de las mismas. El único método para evaluar resultados es confrontar éstos con metas previas, acuciosas e inteligentes, es decir se requiere haber tenido un Plan; luego:

*EL PERFECCIONAMIENTO DE LA TOMA DE DECISIONES ESTÁ DIRECTAMENTE CONDICIONADO AL PERFECCIONAMIENTO DE LA PLANIFICACIÓN Y DEL CONTROL.*

Sin embargo es necesario dejar en claro que un Sistema de Control adecuado no tiene como único objetivo el descubrir fallas o desviaciones de los planes establecidos, sino que, yendo más allá, debe indicar las acciones correctivas necesarias para lograr acercarse nuevamente al Plan, tanto como sea posible. Un sistema de Control adecuado debe descubrir esas desviaciones, indicar donde se producen precisamente, quién es el responsable de ellas y qué debe hacerse para corregirlas, debiendo por último proporcionar todos los antecedentes que la re-planificación requiere, cuando ello sea necesario.

• **Áreas de Planificación.**

La Planificación, conforme a su propia definición, se puede desarrollar en todas las actividades y en todos los niveles de una organización o grupo humano que tenga objetivos comunes. La breve discusión anterior es igualmente válida para la Planificación del Desarrollo Económico y Social de un conjunto de naciones, de un país o de una región geográfica; como para la Planificación de una Campaña de

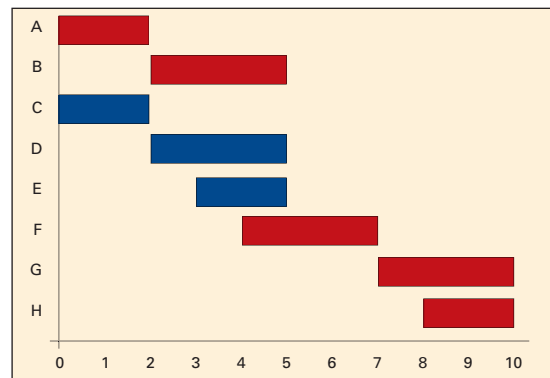
Ventas; de una Investigación Científica; del Desarrollo de un Producto; de la Producción de una Empresa Industrial; de los Trabajos de un Individuo o de la Construcción de una Obra.

La magnitud e importancia de los planes pueden ser distintos, podrán diferir los sectores o personas a que éstos se apliquen, podrán variar los factores que intervienen, así podrán ser más o menos complejos los recursos que se consideren o las técnicas de análisis y toma de decisiones; pero serán básicamente los mismos el proceso de planificación y los conceptos involucrados.

Definidas en la forma anterior, las funciones de Planificación y Control son para la industria en general de singular trascendencia para su propia productividad y por ende para la productividad de toda la nación.

• **El Sistema Gantt y sus Limitaciones.**

Especialmente durante la Primera Guerra Mundial y durante la época de post guerra el sistema de planificación era el llamado Sistema Gantt, cuyo gráfico es llamado Diagrama de Barras. Este sistema fue ideado por Henry L. Gantt, uno de los precursores de la llamada Dirección Científica. Desde aquellos años este sistema fue ampliamente aceptado en diversas áreas de la planificación. Las modificaciones introducidas en este lapso son real-



El diagrama de Gantt consiste en una representación gráfica sobre dos ejes; en el vertical se disponen las tareas del proyecto y en el horizontal se representa el tiempo. (Representación Básica).

mente de poca importancia, de ahí que aún hoy este sistema sigue siendo buena fuente de referencia. Al respecto el libro de Wallace Clark titulado *The Gantt Chart*, escrito en 1922, ha sido traducido a varios idiomas y editado en muchos países. Lo mismo se puede decir del Manual de Ingeniería de Maynard.

La Carta Gantt se aplica en los más diversos casos y su particularidad, en cuanto a la Planificación y Control, es que en el gráfico Gantt es diferente el trabajo que se plantea inicialmente del que se realiza efectivamente. Sin embargo se muestra en el mismo gráfico su relación mutua (porcentaje de avance) y la relación con el tiempo. Como perfeccionamiento del sistema se colocaron los Puntos o Flechas de Meta Parciales (Milestones), que corresponden a momentos importantes del proyecto.

El gráfico Gantt hasta hace unos años ha dado una visión rápida del plan provisto y del estado de progreso proyectado, sin embargo se apreciaron las debilidades o limitaciones siguientes:

- a. No indica claramente la secuencia que deben seguir las diversas actividades.
- b. No indica la dependencia o coordinación obligada entre esas actividades.
- c. No señala las actividades determinantes o críticas para el oportuno logro del objetivo final.
- d. No señala aquellas actividades que pueden ser pospuestas sin mayores consecuencias en cierto grado, ni la magnitud de dicho grado.
- e. No asegura uniformidad en la asignación de tiempos (estimación única, sin base común).
- f. No es fácil determinar el efecto general de una decisión alternativa, por ejemplo el traslado de recursos de una actividad a otra.
- g. Tampoco es fácil determinar el efecto general del incumplimiento de una etapa del programa.
- h. No señala la variabilidad de la estimación de tiempo necesario para cada actividad.

- i. No da una guía de la probabilidad de cumplimiento de cada etapa del programa, ni del cumplimiento del plan conjunto.
- j. No permite cuantificar rápidamente y en porcentaje de riesgo el efecto de una variación del plazo programado.

Los puntos f y g anteriores previenen que no es posible transformar el programa Gantt a un modelo matemático o computacional y, por lo tanto, no es posible utilizar las técnicas de simulación para verificar qué es lo que ocurre cuando cambia cualquier factor o premisa del programa.

Muchas de estas imperfecciones se han tratado de resolver mediante notas, siglas o signos convencionales, como podrían resultar sistemas de numeración que revelan secuencias, líneas que indican coordinación, etc. Pero a la postre todas esas soluciones han conducido, en casos complejos, a un gráfico que sólo sirve antes del comienzo del trabajo, y después es imposible cumplir el objeto de ser una herramienta visual sencilla y de uso permanente.

Desde antes de la Segunda Guerra Mundial y a medida que los recursos han ido escaseando, la competencia se ha hecho más intensa, el desarrollo tecnológico se ha acelerado, las ansias de progreso desde la post guerra y el aumento del nivel de vida de individuos y naciones se han intensificado; y un estado de carácter, prácticamente prebélico, se ha convertido en el estado normal del mundo, la importancia de la adecuada Planificación y de la oportuna corrección o ajuste de las medidas tomadas, es decir del Control, se han ido haciendo cada vez más notorias.

Para mejorar todo este proceso de Toma de Decisiones, los dirigentes de empresas han recurrido a los nuevos desarrollos tales como la Investigación de Operaciones, el Procesamiento de Datos y la Computación, la Ingeniería de

Sistemas, el Análisis Estadístico, etc. Una de estas herramientas la constituyen los sistemas de Planificación y Control llamados de "Trayectoria Crítica", especialmente los sistemas "CPM" y "PER".

Sin embargo, para decir verdad, los sistemas actuales incorporan al Gráfico Gantt a un complejo de procedimientos más perfeccionados, también en talleres este gráfico sirve para controlar detalles de asistencia o fechas fijadas como término a la tarea, con lo cual se logra elevar el sentido de cumplimiento del deber al trabajo.

- **Ventajas del uso de CPM y PERT.**

- Obliga a hacer un análisis muy detallado del proyecto y de los métodos y equipos que se utilizarán.
- Valioso como herramienta de venta u oferta. Da prestigio y demuestra preocupación por la eficiencia y los costos.
- Da los argumentos tan necesarios para la oportuna obtención de los planos.
- Mejora relaciones con los proveedores.
- Ayuda en el manejo de personal.

Ambos CPM y PERT son técnicas para el manejo de proyectos de todo tipo. A través de la aplicación de la Teoría de Redes, de amplio uso en la Ingeniería Eléctrica y otras áreas de ingeniería, de ciertos conceptos estadísticos y de otros elementos de análisis, el sistema PERT es un sistema CPM mejorado mediante el cálculo de probabilidades. En síntesis estos sistemas permiten los siguientes fines:

- Mejor uso de los recursos humanos, de capital y equipos disponibles y, por lo menos, mejores costos.
- Coordinación de las diversas actividades que concurren al desarrollo del trabajo y clara visualización de sus Interrelaciones.
- Reducción de los plazos de realización de los proyectos.

- Determinación del Grado de Seguridad (Probabilidad) de dar cumplimiento de los programas y detección de los aspectos críticos determinantes para corregir las desviaciones (control por excepción).

Los sistemas CPM y PERT están constituidos por un conjunto de procedimientos y de métodos manuales y mecanizados que pueden presentar diversas soluciones. Entonces se requieren decisiones, para lo cual los sistemas CPM y/o PERT pueden ser aplicados y deben ser estudiados cuidadosamente.

- **Sistema CPM - Principios de la Construcción de una Malla y su Análisis.**

- **Introducción.**

El análisis de una malla es un método de exponer el programa de un proyecto como un conjunto de diversas actividades, indicando sus Interrelaciones o Interdependencias entre uno de ellos y todas las demás. El análisis resultante de la malla permite enfocar los aspectos más importantes del programa de actividades, la mejor distribución de los medios con que se cuenta, la disminución de costos del programa, o las posibles variaciones en el cumplimiento de actividades.

- **Terminología.**

- Actividad o Flecha: Es un ítem del proyecto indicado en la malla.
- Evento o Nudo: Es el punto de la malla donde se encuentran dos o más actividades, ya sea en su comienzo o término.
- Tiempo Flotante: Es la diferencia entre el tiempo planeado y la duración efectiva de la actividad.
- Flotante Total: Es el tiempo total flotante que sobra de todas las actividades a desarrollar.
- Interferencia Flotante: Es el tiempo flotante que se ha utilizado para alguna actividad.

- Malla o Diagrama de Flechas: Es un diagrama mostrando la secuencia y la relación de todas las actividades de un proyecto.
- Actividad Muda o Muda: Es una actividad que no tiene duración y que no requiere tener requisitos. La Muda es usada para identificar posiblemente una actividad. No deben haber más de dos mudas en cada Nudo y sirven para mantener una lógica en la malla.
- Trayectoria Crítica: Muestra las actividades en un camino que indica la menor secuencia posible de los trabajos. En ese camino no existe un Tiempo Flotante. Normalmente la Trayectoria Crítica tiene un color rojo en la malla, para su identificación. En caso contrario se hace necesario marcar la línea crítica en la forma que se estime más conveniente.

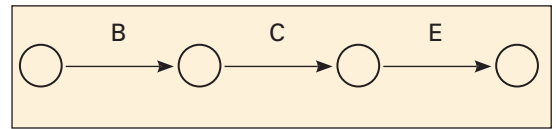
• **Construcción de la Malla.**

Se efectúa una lista de todas las actividades a desarrollar, junto al tiempo estimado para el desarrollo de cada una de las actividades. Estas informaciones deben ser agregadas con la posible Interrelación que pueda existir entre ellas. Por ejemplo: que la actividad G debe realizarse una vez se efectúen las actividades E y F.

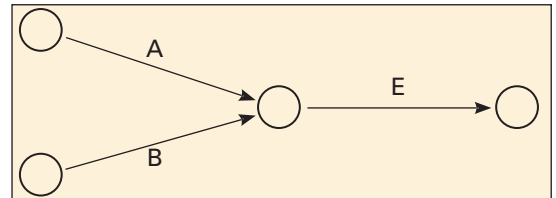
La malla puede ser dibujada de acuerdo a la lógica. Cada actividad es representada por una flecha cuya punta indica el flujo de tiempo empleado. El largo de la flecha no tiene relación con la duración de cada actividad. Cada flecha comienza y termina en un nudo, normalmente dibujado como círculo. Los nudos son numerados con un número, pero no necesariamente con una secuencia, sino de tal manera que el número del nudo es menor al comienzo de la flecha que el número del nudo a su término. Se recomienda numerar los nudos una vez dibujada la malla en su totalidad, con el objeto de evitar errores o repeticiones.

**Ejemplos:**

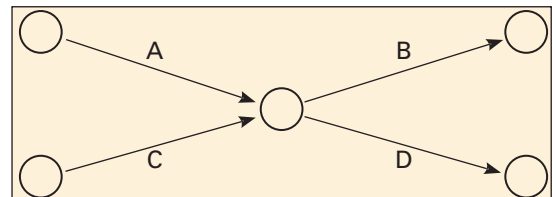
- La actividad E no puede iniciarse hasta que la actividad C haya terminado.



- La actividad E no puede partir hasta que las actividades A y B hayan sido completadas.

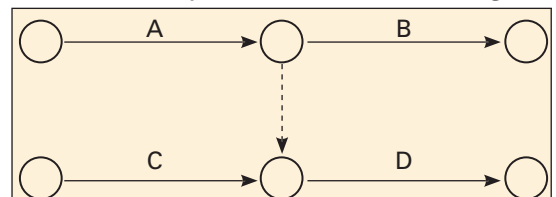


- Si consideramos las siguientes relaciones: La actividad B no puede iniciarse hasta que la actividad A esté lista, y la actividad D no puede iniciarse hasta que las actividades A y C estén listas, tal vez alguna persona intentaría dibujar la malla en la siguiente forma:



Sin embargo, un análisis lógico indicaría la siguiente malla, considerando que la actividad B no puede partir hasta que las actividades A y C deben estar completadas para que se inicie la actividad D, pero la actividad A debe estar lista para que se inicie la actividad B.

La malla queda entonces como sigue:



Lo que ha sucedido es que las actividades B y D se han juntado en el mismo nudo y es necesario crear una actividad muda para mantener la lógica original. La función de una flecha quebrada o en segmentos es para indicar una secuencia de los eventos. Las mudas no indican tiempo, pero la dirección de la punta de la flecha tiene muchísima importancia.

Se insiste en que los diagramas de mallas están relacionados solamente con la lógica, o sea no se toma en cuenta el apremio de hallar la forma más adecuada y la flecha no indica la duración de la actividad.

Cuando la malla ha sido dibujada se colocarán los números de los nudos que la componen, los cuales se numerarán sucesivamente desde el comienzo hasta el final de la malla. Para cualquiera flecha el número de su nudo inicial debe ser menor que su nudo final.

• **Sugerencias para el Trazado de su Malla.**

- Evite flechas o actividades que se crucen con otras.
- Dibuje en lo posible las flechas con líneas rectas.
- Trate en lo posible de mantener similitud en el trazado de las flechas.
- Trate de comenzar la malla a la izquierda.
- Haga varios borradores antes que la malla final.
- Use el mínimo número de mudas (o tiempos mudos), dos máximo por nudo.

• **Análisis de las Mallas.**

El procedimiento de análisis se debe hacer para ordenar las actividades individuales de dos maneras: Crítico y No Crítico. El análisis está basado en el cálculo del primero al último de todos los eventos que comprende la malla.

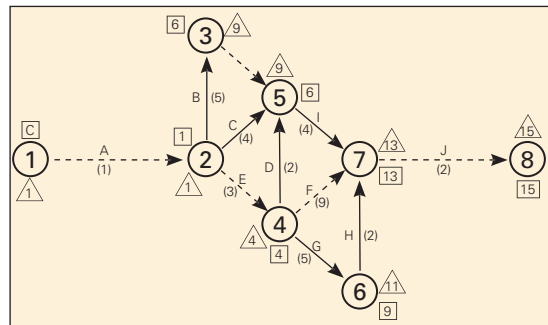
El tiempo total de la malla, de izquierda a derecha, se calcula así: "Al tiempo de la actividad que precede, el

que normalmente va debajo de la flecha y entre paréntesis, agregar la duración del evento que se trata de seleccionar el mayor de los valores que se obtienen en el nudo final". Estos números se colocan junto al nudo y dentro de un cuadrado.

Posteriormente, desde el último tiempo de cada evento que sucede en la malla, restar la duración del trabajo de la flecha a la izquierda a que está conectado y seleccionar el menor de los valores obtenidos. Este número de tiempo se coloca cercano a cada nudo y se encierra en un triángulo. Los nudos en los cuales hay cuadrados y triángulos con un mismo número interior son los que constituyen la fase crítica. La letra de la actividad o flecha se escribe arriba de cada flecha y al medio de cada una.

Este procedimiento de análisis evita posibles dudas que se suelen presentar, principalmente cuando la disposición de los nudos se ha efectuado en forma desordenada.

Ejemplo:



El camino o trayecto crítico es 1: 2: 4: 7: 8 y la duración total es de 15 unidades de tiempo.

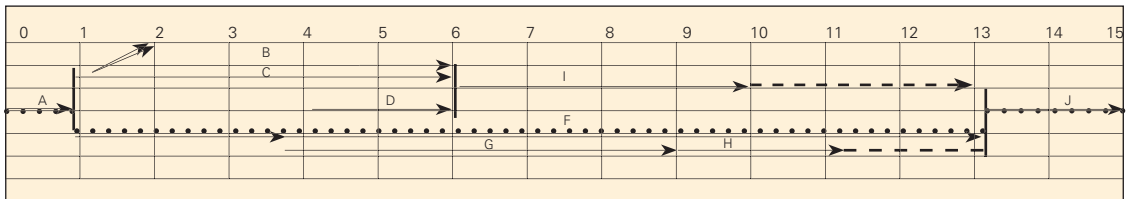
Es evidente que las actividades que se encuentran en el camino crítico han tenido varios tiempos en el tiempo floitante. Esto significa que el que planifica tiene algunas alternativas para las actividades que no son críticas. Puede, por ejemplo, que la flecha C pueda terminar

ese trabajo entre la unidad de tiempo 6 y 9, de modo que él decide terminar en el tiempo 9, por lo que podría tener dificultades con la actividad B que también puede terminar en 9 y entonces la actividad I tendría el riesgo de demorar su iniciación si cualquiera de las dos actividades mencionadas se retrasa.

La representación del tiempo dispuesto para una malla permite visualizar los efectos del tiempo flotante. Esta dis-

tribución de tiempo es considerada de la malla y sirve para disponer los tiempos de iniciación y término de las actividades flotantes y además, como se verá más adelante, para distribuir los especialistas con los que se cuenta en las diversas actividades, con lo que es probable que sea aumentado el tiempo total de ejecución de un proyecto, aunque de todas maneras ese tiempo será el más ventajoso que se puede esperar.

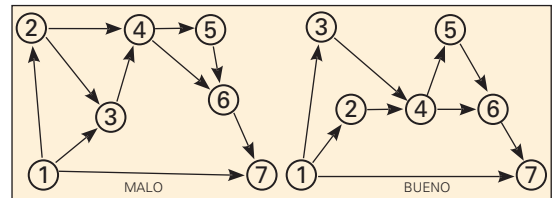
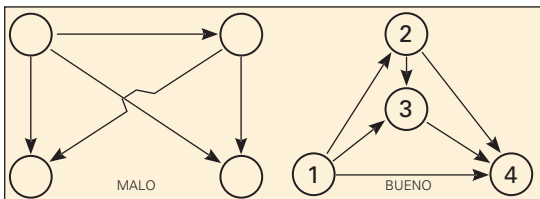
La distribución de tiempo para la malla anterior sería:



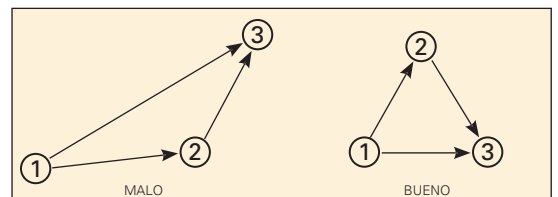
Referencia: Network Análisis. A. Battersby. Macmillan

- **Ventajas del Diagrama de Flechas.**
  - Permite un análisis sistemático.
  - Representa un resumen de todo el proyecto.
  - Permite responsabilizarse para la definición y ejecución de proyectos.
- **Algunas Reglas Recomendadas para la Construcción de Mallas (Network).**
  - Hay que tratar de no hacerlas cruzadas.

- Tratar de dibujar todas las flechas rectas.
- Se debe tratar de evitar variaciones en el largo de las flechas.

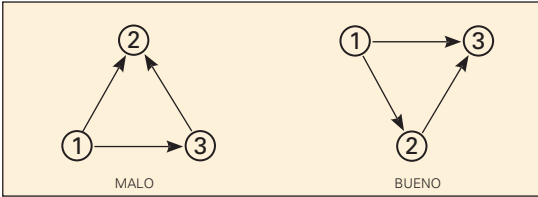


- Hay que tratar de hacer los ángulos lo más abiertos posibles.

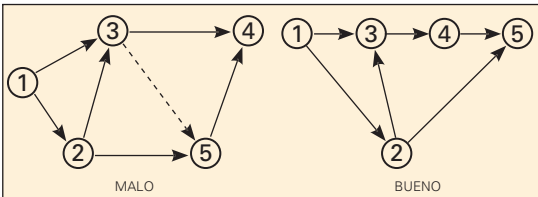




- Tratar de mantener los nudos de izquierda a derecha, o sea, dibujar un evento que se va a hacer más tarde que otros a la derecha del mismo.



- Están prohibidos los dummies o flechas mudas cuando éstas son innecesarias.



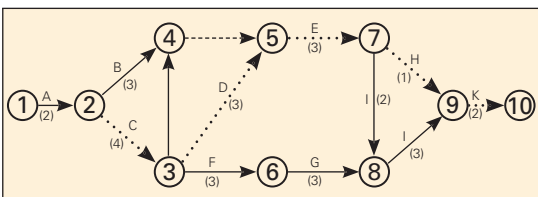
- La regla final es el estar seguro que el network o malla tenga solamente un punto de partida y un punto de llegada.

**• Generalidades.**

Las primeras 5 reglas son ideales pero no siempre se pueden seguir, en razón a que algún detalle sea incompatible con mantenerlas a todas en ejecución. Entonces estas reglas son de ayuda más que procedimientos rigurosos.

Lo más importante es tener presente que el largo de la flecha (arrow o actividad) no tiene relación con la duración del trabajo y el evento resultante, en cuanto a tiempo total de ejecución, será deducido de los trabajos incluidos en la malla.

**Ejemplo:**



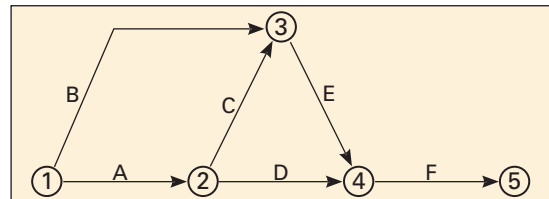
**• Ejercicios Básicos:**

- El trabajo A debe terminarse antes que los trabajos C y D. El trabajo B y C debe completarse antes que comience el trabajo E. El trabajo D y E deben completarse antes que el trabajo F pueda comenzar.

Lo primero que se recomienda es ordenar la pregunta, haciendo una tabla con los datos para esa pregunta:

ACTIVIDAD	DEPENDENCIA
A	-
B	-
C	A
D	A
E	B, C
F	D, E

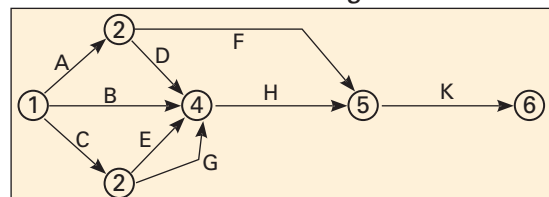
Considerando esta tabla la malla resultante sería la siguiente:



- Los trabajos D y F dependen del trabajo A. Los trabajos E y C dependen del trabajo C. El trabajo H depende de los trabajos B, D, E y G. El trabajo K depende de los trabajos H y F.

ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	ACTIVIDAD	DEPENDENCIA
A	-	E	C
B	-	F	A
C	-	G	C
D	A	H	B, D, E, G
		K	H, F

**La solución sería la siguiente:**

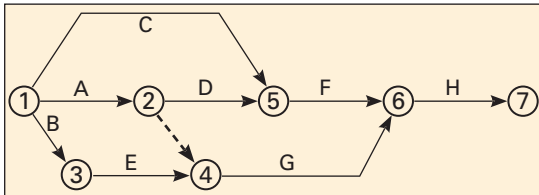


➤ El trabajo A debe completarse antes que las actividades D y G. La actividad B debe completarse antes que comience el trabajo E. El trabajo F debe comenzar después que los trabajos C y D.

El trabajo H debe iniciarse después que las actividades F y G. El trabajo G depende de la actividad E.

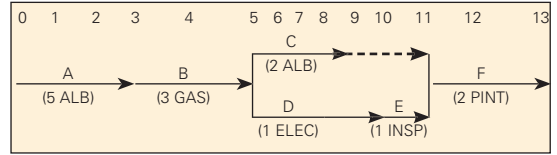
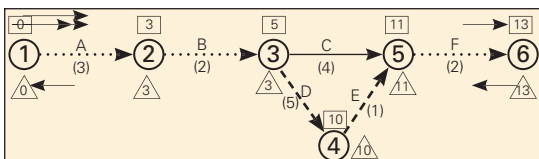
ACTIVIDAD	DEPENDENCIA
A	-
B	-
C	-
D	A
E	B
F	C y D
G	E y A
H	F y G

La malla quedaría como sigue:



➤ La tabla de actividades y el tiempo correspondiente a ellas es el que se indica. Efectuar la malla y el diagrama de tiempo.

ACTIVIDAD	DURACIÓN	TRABAJADORES	DEPENDENCIA
A	3	5 Albañiles.	-
B	2	4 Gásfiter.	A
C	4	2 Albañiles.	B
D	5	1 Electricista.	B
E	1	1 Inspector.	D
F	2	2 Pintores.	E y C



• **Problema a Resolver Aplicando los Antecedentes Anteriores.**

Un reactor y su estanque de alimentación son interconectados por un tubo de aislamiento de 3 pulgadas que necesita reemplazos periódicos. Hay válvulas a lo largo del tubo y en sus terminales, las cuales también necesitan ser reemplazadas periódicamente. No hay repuestos por las piezas anteriores. Pero hay planos y equipos para construirlas. La línea del tubo está instalada en altura, por lo cual se requieren andamios para el trabajo de reposición.

El Ingeniero Jefe está efectuando un plan de trabajo y un programa para discutirlo con el personal de operaciones. La flecha de cada actividad se ha establecido en cuanto a su duración en base a las experiencias en trabajos similares. La tabla de trabajos es la siguiente:

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	TIEMPO (Hrs.)	DEPENDENCIA
A	Chequear material recibido.	8	-
B	Comprar tubos.	200	A
C	Colocar andamiaje.	12	-
D	Sacar andamiaje.	4	I, M
E	Desactivar la línea de transmisión.	8	-
F	Prefabricar las secciones.	40	B
G	Colocar las nuevas secciones.	32	F, L
H	Unir secciones y válvulas.	8	G, K
I	Construir las válvulas.	225	A
J	Instalar las válvulas.	8	I, L
K	Instalar las maniobras necesarias para desarmar las válvulas y secciones viejas.	35	C, E
L	Colocar aislantes en la línea.	24	G, K
M	Efectuar pruebas de presión.	6	I
N	Completar detalles y comenzar el bombeo.	4	D, N

Construir una malla para el proyecto y determinar las actividades críticas. Además efectuar el diagrama de tiempos con la duración total de este proyecto, indicando también el total de horas que realizarán la totalidad de los trabajadores.

Nota: Si Ud. estuviera interesado en la aplicación de los procedimientos anteriores para un proyecto de planificación y control para aspectos de costos se recomienda el siguiente artículo: "Resource Allocation in project Network Models. A. Survey". E.W. Davies Journal of Industrial Engineering. Vol XVII.

Diciembre 1966, págs. 177 /188.

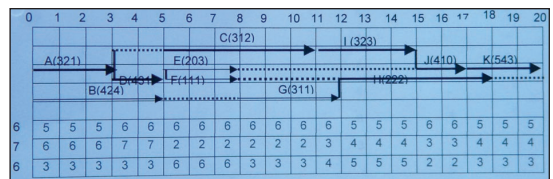
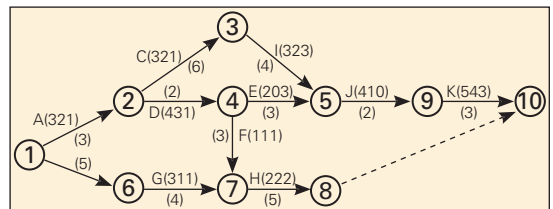
- **Problema del Sistema CPM aplicado a casos cuando se hace necesario adecuar la trayectoria crítica al número de trabajadores con que cuenta la Empresa.**

Es normal que la duración de la trayectoria crítica deba adecuarse, una vez obtenida la duración por medio de la malla, ya que no es conveniente tener que contratar especialistas durante pocos días para cumplir con el tiempo mínimo para realizar la trayectoria crítica. A continuación se verá como se puede alterar la duración del trabajo manteniendo el número máximo de trabajadores en cada especialidad que se cuenta o están contratados por la Empresa. Lo anterior es importante para alterar la duración total en un mínimo de tiempo.

Las siguientes actividades y los requerimientos específicos de trabajo han sido analizados y determinados para un proyecto. El planificador tiene que desarrollar una malla por el sistema CPM para completar el trabajo en el mínimo posible de tiempo. Los especialistas disponibles diariamente son los siguientes:

- TIPO 1 6
- TIPO 2 7
- TIPO 3 6

ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	DURACIÓN (Días)	REQUERIMIENTOS DE TRABAJADORES		
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
A	-	3	3	2	1
B	-	5	2	4	2
C	A	6	3	1	2
D	A	2	4	3	1
E	D	3	2	0	3
G	B	4	3	1	1
H	F, G	5	2	2	2
I	C	4	3	2	3
J	I, E	2	4	1	0
K	J	3	5	4	3



- **Observaciones.**

Como es posible comprobar, al desarrollar la malla por el sistema CPM, se puede encontrar que la duración de la trayectoria crítica es menor que la encontrada al considerar la limitación de trabajadores especialistas en la Empresa. Hemos visto que en este caso el tiempo mínimo es de 20 días y el procedimiento como puede observarse fue el hacer primero la trayectoria crítica, por el procedimiento señalado anteriormente en estos apuntes y luego en el diagrama de tiempo correr las flechas en la forma que se pueda encontrar un nuevo tiempo mínimo. Lógicamente se trató de efectuar el mínimo de cambios en las flechas de inicio y término de la

trayectoria crítica, ya que en caso contrario el tiempo se alargará como Ud. lo puede comprobar. No se ha querido dibujar la línea crítica ni sus cuadrados y triángulos en cada nudo para que sea una práctica para Ud. Debajo de la distribución de tiempo se colocó las limitaciones de trabajadores disponibles y día a día fue comprobándose si se cumplían las restricciones de la limitación de trabajadores especializados disponibles. Si bien es cierto, en proyectos de envergadura este procedimiento no es sencillo, hay que tener presente que se requiere mucha exactitud.

• **Problema para ser Resuelto.**

El siguiente proyecto ha sido planificado. El Ingeniero Jefe pide un análisis de los efectos de los cambios en la utilidad de los recursos.

Para producir esta información, Ud. ha sido requerido para examinar el efecto de reducir el número de recursos en cuanto a trabajadores sobre la base de paso a paso en las actividades desde la situación normal que existe actualmente. Para cada reducción de personal, Ud. debe obtener la duración del proyecto resultante y la malla general resultante adecuarla en la figura de dis-

tribución de tiempo:

El proyecto necesita los servicios de grupos de Albañiles, Electricistas y Gruesos.

ACTIVIDAD	DEPENDENCIA	DURACIÓN (Días)	REQUERIMIENTOS DE TRABAJADORES		
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
A	-	2	3	-	-
B	-	2	6	-	-
C	-	1	3	-	-
D	A	4	-	2	-
E	B	5	-	2	1
F	B	8	4	4	-
G	C	3	5	-	1
H	E	4	2	-	1
I	D	1	4	-	-
J	H, I	3	-	5	-
K	F, G	5	2	-	-

Se pide obtener el mínimo de trabajadores de cada especialidad que trabajan diariamente y el mínimo de tiempo para el proyecto.

**Nota:** Con lo expuesto, se estima contar con los conocimientos mínimos para iniciar la utilización del Sistema CPM e iniciar el estudio de cálculo de probabilidades para utilizar el computador al utilizar el Sistema PERT o aplicación del Sistema CPM.

\*\*\*



Henry L. Gantt  
1861-1919.