

SISTEMAS DE DESARROLLO



CONTROL DE PROYECTOS:

Diagrama de flechas: PERT y CPM

Metodología

Conclusiones

6° B – ELECTRÓNICA

2020

1. DIAGRAMA DE FLECHAS: PERT Y CPM

Los diagramas PERT/CPM fueron diseñados para proporcionar diversos elementos útiles de información para los administradores del proyecto. Primero, el PERT/CPM expone la "ruta crítica" de un proyecto. Estas son las actividades que limitan la duración del proyecto. En otras palabras, para lograr que el proyecto se realice pronto, las actividades de la ruta crítica deben realizarse pronto. Por otra parte, si una actividad de la ruta crítica se retarda, el proyecto como un todo se retarda en la misma cantidad. Las actividades que no están en la ruta crítica tienen una cierta cantidad de holgura; esto es, pueden empezarse más tarde, y permitir que el proyecto como un todo se mantenga en programa. El PERT/CPM identifica estas actividades y la cantidad de tiempo disponible para retardos.

1.1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos en gran escala han existido desde tiempos antiguos; este hecho lo atestigua la construcción de las pirámides de Egipto y los acueductos de Roma. Pero sólo desde hace poco se han analizado por parte de los investigadores operacionales los problemas gerenciales asociados con dichos proyectos.

El problema de la administración de proyectos surgió con el proyecto de armamento *Polaris*, que comenzó en 1958. Con tantas componentes y subcomponentes juntos producidos por diversos fabricantes, se necesitaba una nueva herramienta para programar y controlar el proyecto. El PERT (evaluación de programa y técnica de revisión) fue desarrollado por científicos de la oficina Naval de Proyectos Especiales. Booz, Allen y Hamilton y la División de Sistemas de Armamentos de la Corporación *Lockheed Aircraft*. La técnica demostró tanta utilidad que ha ganado amplia aceptación tanto en el gobierno como en el sector privado.

Casi al mismo tiempo, la Compañía *DuPont*, junto con la División *UNIVAC* de la *Remington Rand*, desarrolló el método de la ruta crítica (CPM) para controlar el mantenimiento de proyectos de plantas químicas de DuPont. El CPM es idéntico al PERT en concepto y metodología. La diferencia principal entre ellos es simplemente el método por medio del cual se realizan estimados de tiempo para las actividades del proyecto. Con CPM, los tiempos de las actividades son determinísticos. Con PERT, los tiempos de las actividades son probabilísticos o estocásticos.

El PERT/CPM fue diseñado para proporcionar diversos elementos útiles de información para los administradores del proyecto. Primero, el PERT/CPM expone la "ruta crítica" de un proyecto. Estas son las actividades que limitan la duración del proyecto. En otras palabras, para lograr que el proyecto se realice pronto, las actividades de la ruta crítica deben realizarse pronto. Por otra parte, si una actividad de la ruta crítica se retarda, el proyecto como un todo se retarda en la misma cantidad. Las actividades que no están en la ruta crítica tienen una cierta cantidad de holgura; esto es, pueden empezarse más tarde, y permitir que el proyecto como un todo se mantenga en programa. El PERT/CPM identifica estas actividades y la cantidad de tiempo disponible para retardos.

El PERT/CPM también considera los recursos necesarios para completar las actividades. En muchos proyectos, las limitaciones en mano de obra y equipos hacen que la programación sea difícil. El PERT/CPM identifica los instantes del proyecto en que estas restricciones causarán problemas y de acuerdo a la flexibilidad permitida por los tiempos de holgura de las actividades no críticas, permite que el gerente manipule ciertas actividades para aliviar estos problemas.

Finalmente, el PERT/CPM proporciona una herramienta para controlar y monitorear el progreso del proyecto. Cada actividad tiene su propio papel en éste y su importancia en la terminación del proyecto se manifiesta inmediatamente para el director del mismo. Las actividades de la ruta crítica, permiten por consiguiente, recibir la mayor parte de la atención, debido a que la terminación del proyecto, depende fuertemente de ellas. Las actividades no críticas se manipularan y remplazaran en respuesta a la disponibilidad de recursos.

1.2. USOS

El campo de acción de este método es muy amplio, dada su gran flexibilidad y adaptabilidad a cualquier proyecto grande o pequeño. Para obtener los mejores resultados debe aplicarse a los proyectos que posean las siguientes características:

- Que el proyecto sea único, no repetitivo, en algunas partes o en su totalidad.
- Que se deba ejecutar todo el proyecto o parte de él, en un tiempo mínimo, sin variaciones, es decir, en tiempo crítico.

- Que se desee el costo de operación más bajo posible dentro de un tiempo disponible.

Dentro del ámbito aplicación, el método se ha estado usando para la planeación y control de diversas actividades, tales como construcción de presas, apertura de caminos, pavimentación, construcción de casas y edificios, reparación de barcos, investigación de mercados, movimientos de colonización, estudios económicos regionales, auditorías, planeación de carreras universitarias, distribución de tiempos de salas de operaciones, ampliaciones de fábrica, planeación de itinerarios para cobranzas, planes de venta, censos de población, etc., etc.

1.3. DIFERENCIAS ENTRE PERT Y CPM

Como se indicó antes, la principal diferencia entre PERT y CPM es la manera en que se realizan las estimaciones de tiempo. El PERT supone que el tiempo para realizar cada una de las actividades es una variable aleatoria descrita por una distribución de probabilidad. El CPM por otra parte, infiere que los tiempos de las actividades se conocen en forma determinística y se pueden variar cambiando el nivel de recursos utilizados.

La distribución de tiempo que supone el PERT para una actividad es una distribución beta. La distribución para cualquier actividad se define por tres estimados:

1. El estimado de tiempo más probable, **m**.
2. El estimado de tiempo más optimista, **a**.
3. El estimado de tiempo más pesimista, **b**.

El tiempo más probable es el tiempo requerido para completar la actividad bajo condiciones normales. Los tiempos optimistas y pesimistas proporcionan una medida de la incertidumbre inherente en la actividad, incluyendo desperfectos en el equipo, disponibilidad de mano de obra, retardo en los materiales y otros factores.

En CPM solamente se requiere un estimado de tiempo. Todos los cálculos se hacen con la suposición de que los tiempos de actividad se conocen. A medida que el proyecto avanza, estos estimados se utilizan para controlar y monitorear el progreso. Si ocurre algún retardo en el proyecto, se hacen esfuerzos por lograr que el proyecto quede de nuevo en programa cambiando la asignación de recursos.

2. METODOLOGÍA

El método de camino crítico se divide en las siguientes etapas:

- Planificación.
- Programación.
- Análisis económico financiero.
- Control.

En nuestro caso en particular, nos interesa estudiar con más detalle las primeras dos etapas.

2.1. PLANIFICACIÓN

Por otro lado, la etapa de planificación puede dividirse en las siguientes subetapas:

- Listado de tareas.
- Asignación de prioridades y coordinación.
- Construcción de la red.

2.1.1. Numeración del Diagrama

Se realiza un listado de las tareas lo más completo posible siendo recomendable seguir el orden secuencial de ejecución. Las tareas se definen de acuerdo al grado de detalle con que se quiere realizar el análisis teniendo en cuenta la precisión esperada o deseada y la posibilidad de controlar. Las unidades de tiempo deberán ser homogéneas (horas, días, años).

2.1.2. Asignación de Prioridades

Se analiza la correspondencia entre tareas, aclarando el orden de precedencia entre ellas y cuáles se pueden realizar simultáneamente.

2.1.3. Construcción de la Red

La red es la representación gráfica del plan de un proyecto, que muestra las tareas y las relaciones existentes entre ellas, definiendo la estructura del proyecto.

Existen dos sistemas de redes: el método tarea-fecha o americano y el método de los potenciales. A continuación detallaremos el método de tarea-fecha.

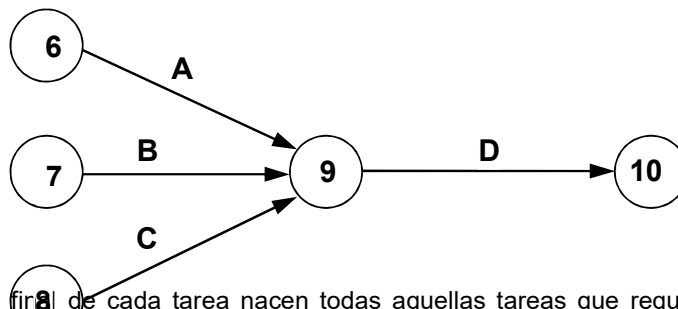
2.1.3.1. Método Tarea - Fecha

Las características principales y reglas de representación para realizar la red son las siguientes:

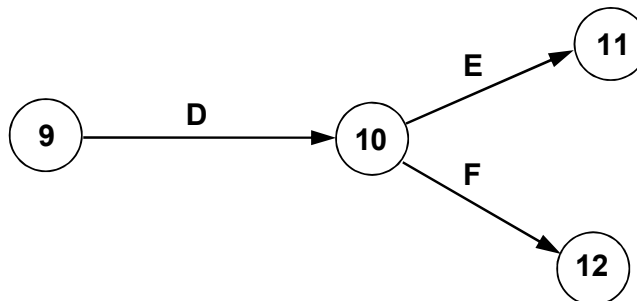
1. Cada tarea está representada por un arco entre dos nodos. Los acontecimientos se indican mediante círculos y las tareas con flechas.



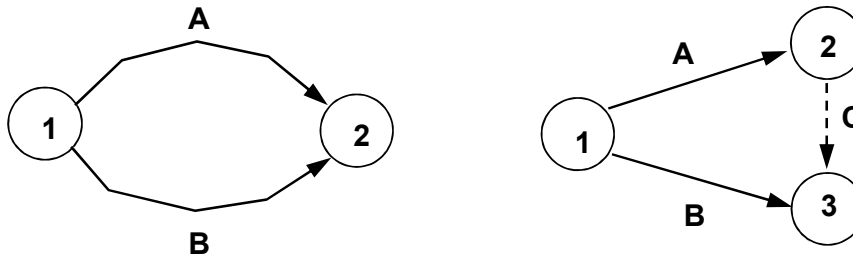
2. En el nodo inicial de cada tarea inciden todas las tareas que le anteceden, y es necesario que hayan sido concluidas antes de comenzar aquella.



3. Del nodo final de cada tarea nacen todas aquellas tareas que requieren que la tarea que estamos analizando haya sido realizada.



4. En la práctica surgen situaciones que hacen necesario la introducción de una herramienta denominada "tarea ficticia" para poder solucionarlas. Estas tareas carecen de realidad y por consiguiente no insumen ni tiempo ni recursos. Se las representa con trazo punteado. Damos un ejemplo a continuación:



2.2 PROGRAMACIÓN

La etapa de programación se divide en las siguientes subetapas:

- Asignación de tiempos a las tareas.
- Determinación del camino crítico.
- Márgenes.
- Fijación de la fecha de iniciación. Diagrama calendario.

2.2.1. Asignación de Tiempos a las Tareas

Será necesario a continuación estimar los tiempos de las tareas incluidas en la red. Para ello se podrá disponer de sistemas de estudio y medición del trabajo, de estadísticas históricas o de datos de ejecución de tareas iguales, similares o comparables.

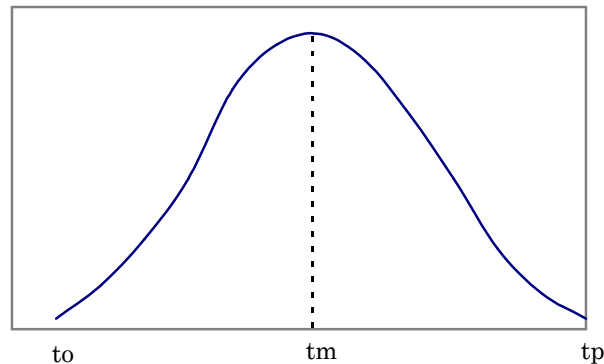
Cuando mencionamos las diferencias entre CPM y PERT, dijimos que para el primero, la determinación del tiempo de cada una de las tareas es estimado mientras que para el segundo la determinación es probabilística. Es decir, la técnica PERT hace un uso explícito de la teoría de la probabilidad mientras que en el CPM es intuitivo.

Sintetizando, el método PERT utiliza tres distintas estimaciones de tiempo, que se aplican al caso de planes desarrollados para aplicaciones no tradicionales, en que existe un desconocimiento total de la duración de una actividad:

- Estimación optimista (**to**): duración mínima en que la tarea puede ser finalizada.
- Estimación pesimista (**tp**): duración máxima en que la tarea puede ser totalizada.
- Estimación más probable (**tm**): representa el valor más probable, es decir el de mayor frecuencia, o sea, la moda.

Los dos valores extremos corresponderían a probabilidades del orden de 0,01. Con los datos anteriores debemos determinar el tiempo esperado y el desvío sistemático.

Como generalmente no conocemos la ley de distribución de los tiempos por tareas, dentro de las funciones que podrían representar el fenómeno se ha elegido como más representativa la ley Beta de Euler.



El tiempo esperado surge de la siguiente fórmula:

$$te = \frac{1}{6} \cdot (to + 4 \cdot tm + tp)$$

2.2.2 Determinación del Camino Crítico

El camino crítico es el conjunto de tareas sucesivas que vinculan el primer y último acontecimiento del proyecto, cuya suma de tiempos de duración es máxima y que señala, en consecuencia, que cualquier atraso, en alguna o todas las tareas del camino crítico, produciría un atraso equivalente en la concreción del proyecto. Existen distintos métodos para determinar el camino crítico.

2.2.2.1 Método Aritmético

Se suman los tiempos de duración de las tareas por los distintos caminos posibles y el camino de mayor duración de tiempo es el camino crítico.

2.2.2.2 Método de Comparación entre Fechas Tempranas y Tardías

Definimos:

1. **Fc** (fecha más cercana de un suceso): el valor **Fc** de cada suceso se obtiene por la suma de los valores del tiempo de cada una de las actividades que encadenan el suceso inicial con el suceso considerado, es decir, la **Fc** de un suceso es la suma de las duraciones de las actividades que a él conduce y se puede obtener sumando al **Fc** del suceso precedente la duración de la actividad que los une. El **Fc** de cada suceso es el tiempo mínimo necesario para llegar a él, y es la suma de los tiempos mínimos de las actividades que conducen al suceso por el camino más largo.
2. **FI** (fecha más lejana de un suceso): representa la fecha máxima en que tiene que ocurrir un suceso para que no sobrepase el tiempo calculado para el proyecto total. Para el cálculo de **FI** se usa el método inverso al que se usó para determinar el **Fc**: partiendo de la etapa final se va retrocediendo hasta la etapa inicial. Para cada etapa se resta de la **FI** de la etapa precedente el valor de tiempo de la actividad que las une. En el caso de que un acontecimiento vaya seguido de varias actividades, se calculan varios valores de **FI** y debe emplearse el menor de los valores, ya que el suceso debe tener lugar en una fecha suficientemente temprana, de modo que quede bastante tiempo para que todas las actividades que le siguen puedan ser realizadas.

2.2.2.3 Método Matricial

Se hace una matriz cuadrada colocando todos los nodos de iniciación en la primera columna y los nodos de finalización en la primera fila. En la intersección de cada nodo se coloca la duración de la correspondiente tarea.

Se coloca en el último casillero de la segunda fila la fecha temprana del nodo 1, es decir cero; luego se buscan las tareas que relacionan el nodo 1 con otros nodos. Entonces, a la fecha temprana del nodo 1 se le suma la duración de la tarea y se coloca esta suma en el último casillero de la fila 3 correspondiente al nodo 2. Siempre

que haya más de una tarea que termine en un nodo dado, se obtendrá más de una fecha temprana, eligiéndose siempre la mayor. Se repite la operación hasta la última fila.

Después se hace igual en cada columna, comenzando de la última donde sabemos que $F_c = F_l$ y vamos relacionando los nodos de atrás hacia adelante restando la duración de cada tarea. Cuando nos encontramos con más de una fecha tardía tomamos siempre la menor.

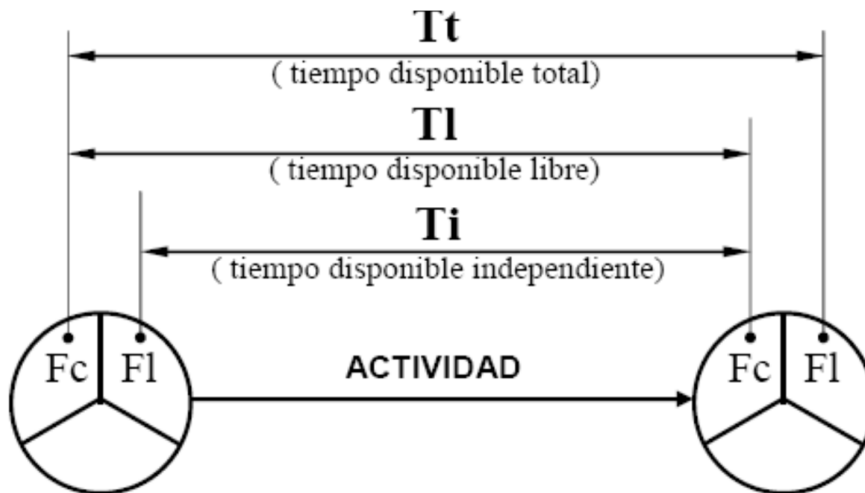
Como en el método anterior, los nodos que tengan igual fecha temprana y tardía serán las que determinen que por ellos pase el camino crítico.

2.2.3 Márgenes

Los márgenes o flotaciones se utilizan para realizar análisis económicos del proyecto y para analizar las posibilidades de control.

Definimos:

1. **Tt** (tiempo disponible total): Es el tiempo comprendido entre la fecha más cercana del suceso inicial y la fecha más lejana de un suceso final. Es por lo tanto el mayor período de tiempo del que se dispone para ejecutar la actividad.
2. **Tl** (tiempo disponible libre): Es el tiempo comprendido entre la fecha más cercana del suceso inicial y también la fecha más cercana del suceso final. Se llama libre porque es de libre disponibilidad para la actividad.
3. **Ti** (tiempo disponible independiente): Es el tiempo comprendido entre la fecha más tarde del suceso inicial y la fecha más cercana del suceso final. Se denomina independiente porque no depende de los conjuntos de actividades que preceden al suceso inicial y que suceden al suceso final.
4. **Ht** (holgura total): Es la diferencia entre el tiempo disponible total y la duración de la actividad. La holgura total es la cantidad de tiempo que se puede retrasar una actividad sin retrasar la terminación del proyecto.
5. **Hi** (holgura libre): Es la diferencia entre el tiempo disponible libre y la duración de la actividad. La holgura libre es la cantidad de tiempo que se puede retrasar la terminación de una actividad sin retrasar la terminación del proyecto ni el inicio de cualquier actividad siguiente.
6. **Hi** (holgura independiente): Es la diferencia entre el tiempo disponible independiente y la duración de la actividad. Las condiciones más desfavorables para el desarrollo de una actividad son que su suceso inicial ocurra en el tiempo más tarde y su suceso final en un tiempo más pronto. En estas circunstancias el tiempo disponible se llama independiente porque no depende de las condiciones de realización de las actividades restantes.
7. **Camino crítico**: Una vez calculadas las fechas más cercanas y más lejanas se verá que algunos sucesos tienen idéntica fecha del suceso final de las actividades que a él llegan y del suceso inicial de las actividades que de él salen. A dichos sucesos se les denomina sucesos críticos y a las actividades que unen dichos sucesos se les denomina actividades críticas. El camino formado por actividades críticas y que obligatoriamente se iniciará en el suceso inicial del diagrama y terminará en el suceso final del diagrama, se le llama camino crítico. Para determinar las actividades críticas se siguen los siguientes criterios:
 - Las holguras de todas las actividades que componen un camino crítico son nulas.
 - Y recíprocamente, todas las actividades cuyas tres holguras sean nulas pertenecen al camino crítico.



2.2.4. Fijación de la Fecha de Iniciación. Diagrama Calendario

La fecha de iniciación estará definida en función de la aprobación de la realización del proyecto.

El diagrama calendario consiste en representar la red lógica dentro de un calendario que va a contemplar los días hábiles. El camino crítico aparece en el centro como una sucesión de tareas donde no hay margen.

Esta representación, donde los vectores que representan a las tareas son proporcionales al tiempo de duración de las mismas, es ideal para la función de controlar la ejecución del proyecto, ya que una línea vertical trazada en un momento cualquiera, indica cuáles tareas están en ejecución y qué grado de avance tiene cada una, cuáles han sido realizadas, y cuáles serán emprendidas en el futuro.

Puede decirse que el camino crítico se transforma en un Gannt logrando entonces todas las ventajas de este diagrama para realizar el control.

3. CONCLUSIONES

El PERT y CPM han sido aplicados a numerosos proyectos. Empezando por su aplicación inicial al proyecto Polaris y al mantenimiento de plantas químicas, hoy ellos (y sus variantes) se aplican a la construcción de rutas y de edificios, al desarrollo y producción de artículos de alta tecnología tales como aviones, vehículos espaciales, barcos y computadores.

El PERT se desarrolló para proyectos en donde hubiera incertidumbre en el tiempo de las actividades (usualmente debido a que el proyecto nunca se había intentado antes y por tanto no había bases de datos, para los tiempos de las actividades). Esto condujo al enfoque probabilístico que se tomó. Mientras que en PERT los estimados de tiempo y sus distribuciones han sido de controversia, el PERT ha constituido una herramienta útil para la administración de proyectos. La principal desventaja es que no es funcional para grandes proyectos, debido a los tres estimados de tiempo que se requieren en cada actividad y a la capacidad limitada de los computadores actuales, para almacenar esta vasta cantidad de datos. Además, el costo de actualizar y mantener la información del proyecto con el tiempo en ambientes tan dinámicos, puede ser excesivamente prohibitivo.

Por otra parte, el CPM se desarrolló para manejar proyectos repetitivos o similares (Ej., mantenimiento de plantas químicas). Obviamente, se gana gran cantidad de experiencia con el tiempo en tales circunstancias, aun cuando dos proyectos puede que no sean iguales. Esta experiencia llevó al análisis de técnicas de colisión utilizadas en las redes CPM.

Mientras que el CPM y PERT son esencialmente lo mismo, sus matices hacen cada uno aplicable más que el otro en situaciones diferentes. En ambos métodos la información esencial deseada es la ruta crítica y las holguras. Estas, le permiten al director del proyecto hacer decisiones con base a información, basado en el principio de administración por excepción, sobre los planes y proyectos del trabajo actual y monitorear el progreso del proyecto.