

Capítulo Catorce

Programación de proyectos

Resumen del capítulo

- 14.1 Objetivos y trueques
- 14.2 Planeación y control en proyectos
- 14.3 Métodos de programación
- 14.4 Redes de tiempo constante
- 14.5 Método de diagramas de precedencia
- 14.6 Métodos PERT y CPM
- 14.7 Uso de los conceptos de administración de proyectos
- 14.8 Aspectos clave

Ejercicios en Internet para el estudiante

Problemas resueltos

Preguntas de análisis

Problemas

Bibliografía seleccionada

En el estudio que sobre la programación se hizo en el último capítulo se omitió un tipo importante de operación: el proyecto. Como ya se definió en el Capítulo 4, la forma de operaciones por proyecto se utiliza para producir un producto único, una sola unidad. Los proyectos se utilizan con mucha frecuencia para el desarrollo de nuevos productos, en la construcción y para otras actividades únicas. Debido a esto, la administración de un proyecto es bastante diferente a la de una operación continua.

Aunque en los proyectos existen muchas decisiones que difieren de las operaciones continuas, la preocupación primordial en este capítulo serán las decisiones relativas a la programación y planeación de proyectos. En la primera parte del capítulo se establecerá un amplio marco de referencias para la planeación de proyectos en el que se incluirán los objetivos de los proyectos y las actividades de planeación y de control que requieren. En la última parte del capítulo se describirán en profundidad métodos específicos de programación.

Los proyectos incluyen una amplia gama de actividades de manufactura y servicio. Los objetos de gran tamaño, como buques, aeronaves de pasajeros y plataformas de misiles se fabrican con base en un proyecto. Cada unidad se configura como artículo único y el proceso de manufactura con frecuencia se realiza de manera estacionaria, es decir que los materiales y la mano de obra deben llevarse hasta donde está el proyecto. La construcción de edificios se realiza casi siempre en forma

de proyecto. Los servicios tales como la producción de películas, la investigación y el desarrollo y la recaudación de fondos también se proporcionan como proyectos. En la Tabla 14.1 se enumera una amplia variedad de actividades de manufactura y de servicios que se manejan como tales.

14.1 OBJETIVOS Y TRUEQUES



En los proyectos generalmente existen tres objetivos diferenciados: costo, programa y desempeño. El **costo del proyecto** es la suma de los costos directos e indirectos que se le asignan a éste. La tarea del administrador del proyecto y del equipo encargado de su realización es controlar los costos que pueden controlarse directamente por la organización del proyecto. Éstos casi siempre abarcan los de la mano de obra, el material y algunos servicios de apoyo. Por lo común, el proyecto contará con un presupuesto para el mismo en el que se incluyen los costos que se le han asignado.

El segundo objetivo en la administración de proyectos es el **programa**. Es común que la fecha de terminación del proyecto y los objetivos intermedios se establezcan desde el comienzo. De la misma manera en que el administrador/equipo encargado del proyecto debe controlar los costos del mismo dentro de un presupuesto, debe controlar el programa para cumplir con las fechas establecidas. A menudo presupuesto y programa entran en conflicto. Por ejemplo, si el proyecto está atrasado respecto al programa, se necesita tiempo extra para ponerlo al corriente. Pero puede no haber fondos suficientes en el presupuesto como para soportar los costos del tiempo extra. Por tanto, debe tomarse una decisión de trueque entre tiempo y costo. La gerencia debe determinar si el objetivo del programa tiene la suficiente importancia como para justificar el aumento en el costo.

El tercer objetivo en la administración de proyectos es el **desempeño**, es decir, las características de desempeño del producto o servicio que produce el proyecto. Si éste se trata de la investigación y desarrollo de un nuevo tipo de máquina, el "desempeño" se refiere a las especificaciones de desempeño de la nueva máquina. Si el proyecto es una película, se refiere a la calidad de la película producida y a su recaudación subsecuente en taquilla. En este caso, el desempeño se puede especificar a través de una variedad de estándares filmicos respecto del elenco, el sonido, la filmación y la edición. El desempeño de un proyecto de servicio, como puede ser una película, generalmente es mucho más difícil de especificar que cuando se trata de un producto manufacturado.

TABLA 14.1

Ejemplos de proyectos.

Construcción de edificios	Filmación de películas
Introducción de nuevos productos	Enseñanza de un curso
Investigación y desarrollo	Diseño de una campaña publicitaria
Diseño de sistemas de computadora	Echar a andar o clausurar una planta
Instalación de equipo	Manufactura de un avión, de barcos y de máquinas grandes
Fotografías espaciales	Cuentas de auditoría
Recaudación de fondos	Planeación de una invasión militar

El desempeño también puede hacer necesario **trueque** entre el programa y el costo. En una película, por ejemplo, si ésta no satisface las expectativas de desempeño, quizá se requieran tomas adicionales o corregir el guión. Estos requisitos de desempeño pueden, a su vez, provocar modificaciones en el costo y en el programa. Como casi nunca es posible predecir el desempeño, el programa y las necesidades de costos con exactitud antes de comenzar un proyecto, quizá se necesiten numerosos trueques durante la realización del mismo.

14.2 PLANEACIÓN Y CONTROL EN PROYECTOS



Una secuencia general en la toma de decisiones administrativas para todos los proyectos es planeación, programación y control. La **planeación** se refiere a aquellas decisiones necesarias al comenzar un proyecto, que establecen su carácter y dirección generales. Por lo regular, en la planeación de un proyecto se establecen sus objetivos fundamentales, los recursos requeridos, el tipo de organización que se utilizará y las personas clave que lo administrarán y pondrán en práctica. Por lo común constituye una función de la gerencia media y alta y a menudo hay un equipo interfuncional que toma todas las decisiones importantes.

Cuando termina la planeación del proyecto, ésta debe documentarse mediante una carta o forma de autorización que sirve para iniciar actividades adicionales para el proyecto. La forma de autorización debe especificar todas las decisiones de planeación que se enlistan en la parte A de la Tabla 14.2.

La fase de **programación** se da cuando el equipo interfuncional especifica con mayor detalle el plan para el proyecto. Se inicia con la elaboración de una lista detallada de actividades del proyecto, a la que se denomina **estructura de desglose del trabajo**. Entonces se establece un programa detallado de tiempos para cada actividad mediante los métodos que se describen más adelante. Cuando se termina el programa de tiempos, puede desarrollarse un presupuesto con tiempos asignados,

TABLA 14.2

Proyecto de administración de actividades y decisiones.

A. Planeación

Identificar el cliente del proyecto
Establecer el producto o servicio final
Fijar los objetivos del proyecto
Calcular los recursos totales y el tiempo necesario
Decidir sobre la forma de organización del proyecto
Hacer citas personales clave (gerente de proyecto/etc.)
Definir las principales tareas necesarias
Establecer un presupuesto

B. Programación

Desarrollar una estructura detallada de las partes del trabajo
Estimar el tiempo necesario para cada tarea

Fijar la secuencia de las tareas en orden adecuado
Desarrollar un tiempo de inicio/alto para cada tarea
Elaborar un presupuesto detallado para cada tarea
Asignar personas a las tareas

C. Control

Monitorear el tiempo, el costo y el desempeño real
Comparar las cifras planeadas con las reales
Determinar si se necesitan acciones correctivas
Evaluar acciones correctivas alternativas
Tomar las acciones correctivas adecuadas

PRODUCCIÓN DEL BOEING 747. Grandes aeronaves se producen con los métodos de administración de proyectos.
© Mathew McVay/Stock Boston



el cual se relaciona con los tiempos de inicio y terminación de cada una de las actividades del proyecto. Por último, el personal del proyecto puede asignarse a las actividades individuales del mismo.

El **control del proyecto** lo lleva el equipo interfuncional, el cual supervisa cada actividad a medida que se realiza el trabajo correspondiente al proyecto. Las actividades deben monitorearse en cuanto a su tiempo, costo y desempeño y de acuerdo con el plan del proyecto. Cuando se da una discrepancia significativa entre los resultados reales y el plan, deben tomarse acciones correctivas. Entre ellas puede estar la revisión del plan, la reasignación de recursos, cambios de personal u otras modificaciones en los recursos. Como resultado de tales acciones correctivas el plan debe volver a ser factible y realista.

Lo ideal es que el estudio de la administración de proyectos cubra todos los aspectos de la planeación, la programación y el control, incluso los aspectos cuantitativos y de comportamiento. Sin embargo, debido a limitaciones de espacio, el resto de este capítulo se restringirá fundamentalmente a los métodos de programación cuantitativa.

14.3 MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN

Existen diversos tipos de métodos de programación. Generalmente se les clasifica como gráfica de Gantt o métodos de **red**. En los métodos de gráfica de Gantt se utiliza una gráfica de barras o de objetivos, como se muestra en la Figura 14.1. Los métodos de red utilizan una gráfica o red para mostrar las relaciones de precedencia.

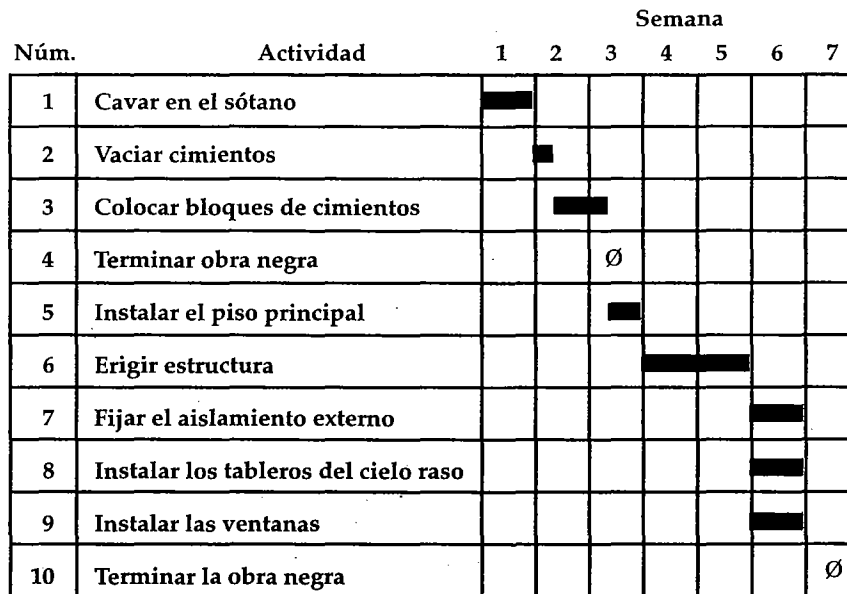
El método de programación de gráfica de Gantt que se describe aquí tiene mucho en común con el que se utilizó para los procesos intermitentes en el capítulo anterior. En cada caso, las duraciones de las actividades se muestran en la gráfica mediante una barra o una línea. Estas gráficas muestran también cuando se ha programado el inicio y el término de la actividad.

EJEMPLO

En la Figura 14.1 se muestra una gráfica de Gantt simplificada para la construcción de una casa. El tiempo se muestra en la horizontal y las actividades en la vertical. Cada actividad del proyecto se muestra como una barra sobre la gráfica a lo largo del periodo para el cual se programa la

FIGURA 14.1

Ejemplo de un proyecto con gráfica de Gantt.



■ Actividad

Ø Acontecimiento clave

actividad en particular. Adviértase que las actividades 1, 2 y 3 se programan en secuencia. Es decir, la actividad 1 debe terminarse antes de comenzar la 2 y esta última finaliza antes de iniciar la 3. La gráfica también indica que las actividades 7, 8 y 9 se hacen en paralelo, al mismo tiempo. La gráfica de Gantt, por lo tanto, señala no solamente cuánto tiempo se necesita para cada actividad, sino también cuándo tendrá lugar la misma.

Además de las actividades, las gráficas de Gantt también pueden mostrar los **acontecimientos o eventos clave**. Un acontecimiento clave es un instante en el tiempo, en tanto que una actividad es una tarea con cierta duración de tiempo. A menudo se utilizan los eventos clave para señalar el inicio o término de una o más actividades. En la Figura 14.1, un acontecimiento clave indica el fin de todo el trabajo de obra negra y otro, la terminación de toda la estructura.

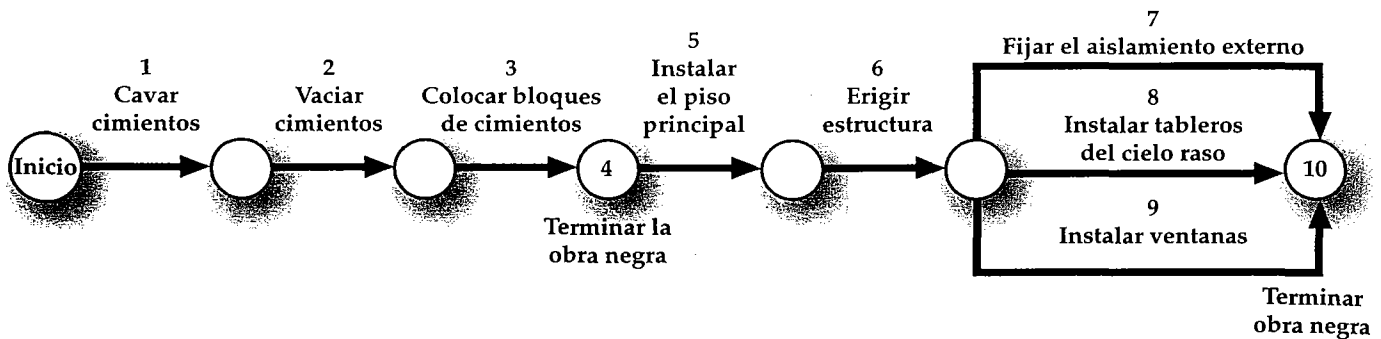
Las gráficas de Gantt se utilizan comúnmente en la programación de proyectos debido a que son fáciles de usar y hay mucha gente que las comprende. Sin embargo, en los proyectos complejos, resulta difícil programar el proyecto inicialmente y aún más reprogramarlo cuando ocurren cambios. El método de programación de proyectos con red resuelve estas dificultades.

La Figura 14.2 es un diagrama de red para la construcción de la misma casa que se muestra en la Figura 14.1. En la gráfica de red se muestran las actividades como flechas mientras que los acontecimientos clave (o eventos) se muestran como círculos.¹ Adviértase que el diagrama de red muestra claramente las **relaciones de precedencia** entre las actividades. El convencionalismo que se utiliza para dibujar estos

¹ Esta nomenclatura se denomina convencionalismo de **actividades en flecha** (AOA, por sus siglas en inglés). También existe el convencionalismo de **actividades en nodo** (AON, por sus siglas en inglés). Cuando se utiliza este último, las actividades se indican con círculos (o nodos) y las relaciones de precedencia entre las actividades se indican mediante flechas. El convencionalismo AON se estudia más adelante en este capítulo.

FIGURA 14.2

Gráfica de proyectos con red.



diagramas de red es que las actividades que van hacia un círculo (evento) deben terminarse antes de que se puedan comenzar las flechas que salen del círculo. Todas las flechas que entran a un círculo se denominan entonces **predecesoras** y todas las que salen de él, **sucesoras**. Todas las actividades predecesoras deben terminarse antes de poder comenzar alguna de las sucesoras.

La ventaja de los métodos de red, en comparación con la gráfica de Gantt, es que en la programación con redes las relaciones de precedencia se muestran en forma explícita en la red. Esto permite el desarrollo de un algoritmo de programación que toma en cuenta todas las relaciones de precedencia cuando se desarrolla el programa. Con las gráficas de Gantt, las relaciones de precedencia deben mantenerse en la cabeza del programador. En el caso de proyectos complejos, esto no puede hacerse con facilidad y se obtienen pocos resultados con ese método. Más aún, cuando una sola actividad en el tiempo cambia en la gráfica de Gantt, toda ésta debe reprogramarse a mano. La reprogramación puede hacerse automáticamente mediante un algoritmo de red. Por otro lado, las redes son más complejas, más difíciles de comprender y más costosas de utilizar que las gráficas de Gantt. Por tanto, deben emplearse en proyectos complejos, tales como la construcción del edificio más grande del mundo, como se describe en el recuadro de Líder en operaciones.

Los métodos de programación con redes involucran el uso de algunos conceptos importantes de programación, como son la ruta crítica y la holgura. Estos conceptos de programación con redes se describirán a continuación por medio de una red de tiempo constante. Las redes más complicadas, en las que se utilizan tiempos aleatorios, trueques entre tiempos y costos, y diagramas de precedencia se analizarán más adelante en este capítulo.

14.4 REDES DE TIEMPO CONSTANTE

En las **redes de tiempo constante** se supone que el tiempo destinado a cada actividad es constante. Éste es el caso más simple desde el punto de vista de la programación. Otros métodos más complicados se derivan de los de redes de tiempo constante.

EJEMPLO

En la Figura 14.3 se muestra una red de tiempo constante simple. En este ejemplo los eventos, o acontecimientos clave, se numeran en orden secuencial para que la cabeza de cada flecha

tenga un número mayor que el que tiene en su cola. Con esto se asegurará que todas las actividades y acontecimientos clave sucesores tengan números mayores a los de sus predecesores. A través del uso de este esquema de numeración se pueden realizar los cálculos de programación según el orden de los números y los predecesores se programarán antes que los sucesores.

Los números de eventos clave que se muestran en la Figura 14.3 permiten que cada actividad se identifique mediante su par de números de cola y de cabeza. Es decir, la actividad 1-2 identifica la actividad o flecha que va del evento 1 al evento 2. Las demás actividades se identifican de manera similar.

Algunas de las relaciones de precedencia que se indican en la Figura 14.3 son: la actividad 1-2 debe terminarse antes de que pueda comenzar la actividad 2-4 o 2-3. Las actividades 1-2, 2-3 y 1-3 deben terminarse, todas ellas, antes de que pueda comenzar la actividad 3-4. En general, deben terminarse todas las predecesoras antes de que pueda comenzar cualquier actividad sucesora. En esa figura también se muestran, inmediatamente a un lado de la flecha,

LIDER EN OPERACIONES

La construcción del edificio más alto del mundo se programó con software Primavera

El Kuala Lumpur City Centre en Malasia se programó con la ayuda del software Primavera. Este proyecto transformará un pedazo de tierra de 100 hectáreas en más de 18 millones de pies cuadrados de instalaciones comerciales, de tiendas al menudeo, hoteles, zonas recreativas y de entretenimiento en un paisaje tipo jardín que se desarrollará en fases a lo largo de 10 a 15 años.

El emblema central de este esfuerzo de desarrollo son las torres Petronas, dos edificios gemelos de 88 pisos que están enlazados por un puente aéreo único en los pisos 41 y 42. Cada torre alcanza una altura de 452 m sobre el nivel de la calle; son, al menos durante un corto periodo, el edificio más grande del mundo.

Para la planeación y programación de todo el proyecto, los gerentes del proyecto utilizaron el Primavera Project Planner, un software estándar para la administración de proyectos que utilizaron todos los contratistas generales y subcontratistas de este proyecto. Para facilitar la coordinación y la integración de los diversos programas y horarios, el gerente del proyecto estableció un programa maestro para todo el desarrollo con una serie de subproyectos para cada edificio o contrato principal dentro del desarrollo.

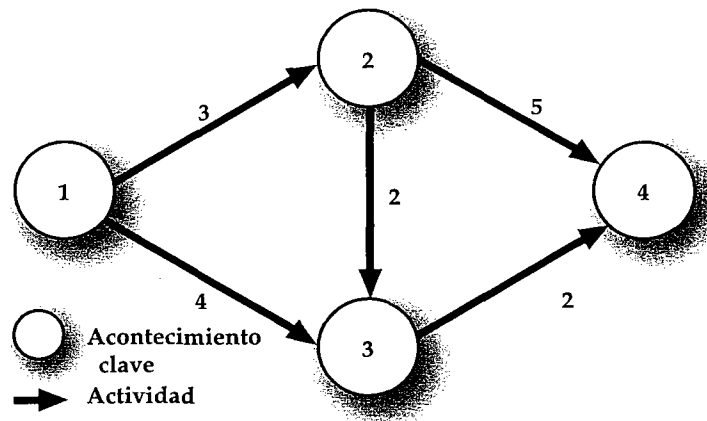
"Manejamos el programa para los aspectos de diseño y abastecimiento," afirma Les Brown, gerente senior de planeación, "mientras que los contratistas desarrollan y llevan los subcontratos individuales. Como parte del proceso, se les pide a los contratistas que preparen y sometan informes regulares estándar por escrito y gráficamente junto con un diskette Primavera para su proyecto."

Las redes para las torres gemelas contenían casi 7 000 actividades cada una, y trabajaban con un total de casi 25 000 actividades y 40 000 relaciones en 29 subproyectos. Para ayudarles a administrar este volumen de información, operaban el software para la administración del proyecto en una red de área local, para que los equipos individuales de administración del proyecto pudieran rastrear su propia información específica, pero también acceder a la información relacionada con el proyecto de otros contratos. El software para la planeación y programación del proyecto contribuyó a que este se terminara dentro de lo programado con lo que las torres gemelas pudieron inaugurarse a tiempo.

Fuente: Se adaptó del sitio en Internet de Primavera, www.primavera.com, de septiembre de 1998.

FIGURA 14.3

Diagrama de red.



el tiempo que se requiere para la terminación de cada actividad. Por ejemplo, la actividad 1-2 requiere de 3 días y la 1-3, de 4.

En ocasiones se necesitan **actividades ficticias** para poder dibujar el diagrama de la red. Una actividad ficticia es aquella que tiene un tiempo de duración de cero y que se utiliza para indicar únicamente una relación de precedencia. Por ejemplo, cuando dos actividades tienen al mismo predecesor y sucesor, se necesitará una actividad ficticia para dibujar la red, puesto que no es posible que ambas actividades tengan predecesores y sucesores idénticos cuando se utiliza el procedimiento normal. También se le requerirá cuando dos actividades tienen conjuntos de actividades predecesoras y sucesoras parcialmente comunes, pero no idénticas. Estas situaciones se muestran en la Figura 14.4, donde la actividad ficticia se representa con una flecha punteada. La actividad ficticia básicamente constituye un dispositivo que se utiliza para resolver las dificultades lógicas para el dibujo de las redes.

Una vez que se ha definido la red, pueden hacerse cálculos de programación. Para calcular el tiempo de inicio y terminación de las actividades, se necesita la siguiente nomenclatura:

- ES(a) = comienzo temprano de la actividad a
- EF(a) = terminación temprana de la actividad a
- LS(a) = comienzo tardío de la actividad a
- LF(a) = terminación tardía de la actividad a

Cada actividad tiene cuatro tiempos programados, como se definió antes. Estos tiempos se pueden calcular mediante un avance hacia adelante y un retroceso a través de la red.

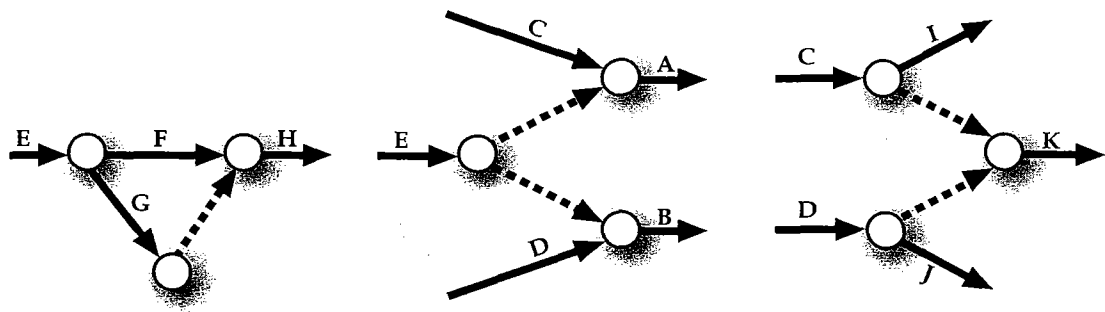
En primer lugar se hace un avance para calcular los tiempos de **inicio temprano** (ES) y **terminación temprana** (EF) directamente a partir de la red. Esto se hace comenzando al principio de la red y siguiendo a través de ella hasta el final. Se ilustrará este cálculo mediante el ejemplo anterior de la Figura 14.3.

EJEMPLO

Se comienza por fijar $ES = 0$ para la actividad 1-3 y $ES = 0$ para la actividad 1-2 puesto que ambas se ubican al principio de la red y deben comenzar en el momento cero por definición.

FIGURA 14.4

Situaciones de actividades ficticias.



a. Las actividades F y G tienen la misma predecesora (E) y la misma sucesora (H).

b. Las actividades A y B tienen una predecesora común (E), pero tienen predecesoras diferentes (C y D).

c. Las actividades C y D tienen una sucesora común (K), pero diferentes sucesoras (I y J).

Luego simplemente añadimos el tiempo de actividad para estas actividades hasta sus tiempos de inicio temprano para que lleguen a sus tiempos de terminación más tempranos posibles. Para este caso, la EF para la actividad 1–3 es $0 + 4 = 4$ y el EF para la actividad 1–2 es $0 + 3 = 3$. A continuación, la actividad 2–3 solamente tiene una actividad predecesora; por lo tanto, su tiempo temprano de inicio es igual al tiempo temprano de terminación de su predecesora. En este caso, el ES para la actividad 2–3 = 3, que es justamente el EF para la actividad 1–2. Como antes, se puede añadir el tiempo de actividad de la actividad 2–3 a su tiempo temprano de inicio para obtener el EF de la actividad 2–3, que es $3 + 2 = 5$. A continuación se programa la actividad 3–4, que tiene dos predecesoras, la actividad 2–3 y 1–3. Por lo tanto, para obtener el ES de la actividad 3–4, se debe tomar el máximo de los tiempos tempranos de terminación de sus predecesoras, puesto que la actividad 3–4 no puede comenzar hasta que ambas hayan finalizado. En este caso, el ES de la actividad 3–4 es $\max(5, 4) = 5$. El EF de la actividad 3–4 es solamente $5 + 2 = 7$. Finalmente, se calcula la ES de la actividad 2–4, que tiene solamente una predecesora, la actividad 1–2. En este caso, el ES de la actividad 2–4 es igual al EF de la actividad 1–2 = 3 y el EF de la actividad 2–4 es $3 + 5 = 8$. Se puede afirmar que el proyecto terminará en el máximo de los tiempos tempranos de terminación de todas las actividades que terminen. En este caso, el tiempo de terminación del proyecto será en el $\max(7, 8) = 8$.

La lógica que se ha seguido en estos cálculos puede expresarse mediante las fórmulas siguientes:

ES(a) = 0 para las actividades que comienzan

$$ES(a) = ES(a) + t(a)$$

$$ES(a) = \max [EF(\text{todas las predecesoras de } a)]$$

Tiempo de terminación del proyecto = $\max [EF \text{ (todas las actividades que terminan)}]$ donde $t(a)$ denota la duración de la actividad a .

Los cálculos de los avances que se acaban de hacer se muestran en la Figura 14.5. El inicio temprano y la terminación temprana de cada actividad se ubican en la parte superior de cada flecha.

También se necesita un retroceso para calcular los tiempos de **inicio tardío (LS)** y **terminación tardía**. El retroceso se basa en los cálculos siguientes:

$$LF(a) = \text{mín} [LS(\text{todos los sucesores de } a)]$$

$$LS(a) = LF(a) - t(a)$$

Estos tiempos tardíos se calculan comenzando con las últimas actividades de la red y prosiguiendo en reversa por toda la red en orden numérico. El tiempo de terminación del proyecto se fija igual a 8, con base en el pase hacia delante, y se le utiliza como tiempo LF para todas las actividades que terminan.

En el ejemplo de la Figura 14.5, los tiempos LS y LF se colocan en la parte inferior de cada flecha de actividad, como se muestra. Para ilustrar los cálculos, la última terminación para la actividad 2-3 es el tiempo 6, puesto que solamente existe un sucesor de la actividad 2-3, la cual tiene el inicio más tardío de 6. En el caso de la actividad 1-2 hay dos sucesores; la última terminación de la actividad 1-2 es 3, que es el mínimo de los inicios tardíos de las dos sucesoras: $\text{mín}(3, 4)$.

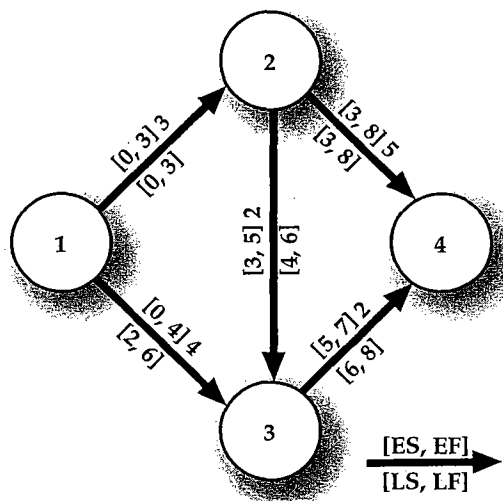
La información que se calcula a partir del avance y del retroceso se puede utilizar para diversos objetivos administrativos: 1) identificar la ruta crítica, 2) calcular la holgura, y 3) determinar la fecha final de terminación del proyecto. Una ruta es cualquier secuencia de actividades que conecte los eventos de inicio y de terminación de la red. Se define como **ruta crítica** a la ruta de tiempo más largo a través de la red. Por lo tanto, la ruta crítica limita la fecha de terminación del proyecto, puesto que es la ruta más larga de tiempos de actividad del principio al fin de la red.

En el ejemplo de la Figura 14.3, solamente hay tres rutas a través de la red: 1-2-4, 1-2-3-4 y 1-3-4. La duración de éstas es 8, 7 y 6, respectivamente. Estas duraciones se obtienen mediante la suma de tiempos a lo largo de las actividades sobre cada ruta. A partir de estos cálculos se desprende que la ruta 1-2-4 es la más larga de las tres y, por lo tanto, es la ruta crítica. Adviértase que la longitud de la ruta crítica es 8, que también es el tiempo de terminación del proyecto que se acaba de calcular. Por lo tanto, el avance, proporciona inmediatamente la longitud de la ruta crítica como tiempo de terminación del proyecto.

En los ejemplos grandes no es posible evaluar todas las rutas, como acaba de hacerse, para elegir la más larga, puesto que sencillamente hay demasiadas. Por lo tanto, los avances y retrocesos se utilizan directamente para encontrar la ruta crítica.

FIGURA 14.5

Tiempos de inicio y de terminación de la actividad.



En general, ésta consiste en las actividades para las cuales $ES = LS$ o, en forma equivalente, $EF = LF$. En otras palabras, las actividades críticas comprenden a la cadena más larga, puesto que lo más temprano que pueden comenzar es también lo más tarde que pueden comenzar. En el ejemplo, las actividades sobre la ruta crítica son 1-2 y 2-4, para las cuales $ES = LS$.

En la administración de un proyecto, todas las actividades sobre la ruta crítica deben supervisarse con cuidado. Si cualquiera de las actividades críticas se desliza (esto es, toma más tiempo del planeado), la fecha de terminación del proyecto se desplazará en una cantidad semejante. En un proyecto típico, con algunos cientos de actividades, solamente entre el 5 y el 10 por ciento de todas ellas se encuentran sobre la ruta crítica. Por lo tanto, la supervisión de las actividades críticas proporciona una reducción importante del esfuerzo administrativo.

La información que se calcula a partir de los avances y los retrocesos también permite el cálculo de la holgura. Hay dos tipos de holgura, o flotación: **holgura total** y **holgura libre**. Las definiciones de estos tiempos de holgura son las siguientes:

$$\text{Holgura total} = LS(a) - ES(a) = LF(a) - EF(a)$$

$$\text{Holgura libre} = \text{mín} [ES(\text{todas las sucesoras de } a)] - EF(a)$$

La holgura total es la cantidad de tiempo en que se puede incrementar la duración de una actividad sin retrasar la terminación del proyecto. Por lo tanto, la totalidad de las actividades de la ruta crítica tiene una holgura total igual a cero, puesto que $LS = ES$ y $LF = EF$ para las actividades críticas. Esto se muestra en la Tabla 14.3 como una holgura total de cero para las actividades 1-2 y 2-4. Adviértase que las actividades que no se ubican en la ruta crítica tienen una holgura total determinada por la diferencia entre LS y ES , o entre LF y EF (véase la Tabla 14.3).

La holgura libre es la cantidad de tiempo en que se puede incrementar el tiempo de una actividad sin retrasar el inicio de la actividad inmediatamente siguiente. Es libre en el sentido de que no se retrasa a la siguiente actividad por otras relaciones de precedencia en la red. Por otro lado, el uso de la holgura total muy al principio de una red de proyecto reducirá la holgura en las actividades de la sucesora más adelante en el proyecto. Por lo tanto, el uso de la holgura total en una actividad puede afectar las fechas de inicio de las actividades sucesoras a todo lo largo de la red, pero no se afectará la fecha final de terminación del proyecto. Si se emplea la holgura libre no se afectarán las fechas de inicio de la red.

La holgura libre de la actividad 1-3 es de un día, como se indica en la Tabla 14.3. Nótese que un retraso de un día en ésta no retrasará el inicio de su sucesora, la actividad 3-4, puesto que ésta no puede comenzar hasta el día 5 de cualquier forma. En este caso, la actividad 3-4 está limitada por la ruta 1-2-3, que tiene una longi-

TABLA 14.3

Ejemplos de proyectos.

Actividad	ES	EF	LS	LF	Holgura total	Holgura libre
1-2	0	0	3	0	0	0
1-3	0	4	2	6	2	1
2-3	3	5	4	6	1	0
2-4	3	8	3	8	0	0
3-4	5	7	6	8	1	1

tud de cinco días. De esta manera, es posible extender la actividad 1-3 de esta red en un día sin que esto tenga efecto alguno sobre su sucesora. Un argumento similar es válido para la actividad 3-4, que también tiene un día de holgura.

La tercera aplicación de los cálculos de los avances y retrocesos es el establecimiento de una **fecha de terminación** para el proyecto. Si la fecha que se calcula a partir del avance no es satisfactoria, quizás puedan ampliarse o acortarse las actividades sobre la ruta crítica para obtener una fecha aceptable. En este caso, quizás tengan que hacerse algunas compensaciones entre el costo, el desempeño y el tiempo. Los cálculos de red ayudan a evaluar tales compensaciones puesto que proporcionan una determinación precisa del efecto de cada cambio propuesto sobre la fecha de terminación del proyecto.

Ahora es evidente que los cálculos de red tienen diversas ventajas sobre las gráficas de Gantt. Las redes permiten una determinación precisa de la ruta crítica y de la holgura, además de la rápida evaluación de los cambios propuestos en el programa. Además, las ideas de la ruta crítica y de la holgura son conceptos importantes por derecho propio.

14.5 MÉTODO DE DIAGRAMAS DE PRECEDENCIA

Un método de diagramación de redes que ha obtenido cada vez más popularidad en los años recientes es el **método de diagramas de precedencia** (PDM, por sus siglas en inglés). Con el PDM las utilidades se presentan sobre nodos o círculos, y no sobre las flechas. Esta presentación invierte por completo el convencionalismo que se ha venido utilizando hasta ahora. En este método, las flechas representan las relaciones de precedencia entre las actividades.

Una de las ventajas de este enfoque es que elimina la necesidad de las actividades ficticias cuando se traza la red. Esto facilitará dibujarla en su forma inicial.

EJEMPLO

En la Figura 14.6 se muestra una red PDM para el problema de la Figura 14.3, que se ha utilizado en este capítulo. Se construye la Figura 14.6 al dibujar las actividades como recuadros y luego describiendo las relaciones de precedencia entre cada conjunto de actividades. Una ventaja importante de la red PDM es que permite dibujar el programa de la red a escala, como se muestra en la Figura 14.7. Esto permite a los usuarios advertir visualmente los tiempos en que se ha programado que ocurran las actividades, así como el tiempo que durarán y las relaciones de precedencia entre ellas. Esta forma de presentación es más fácil de utilizar y de explicar que los diagramas de red convencionales.

A partir de la Figura 14.7 resulta evidente que las actividades 1-2 y 2-4 forman la ruta crítica puesto que no existe holgura en estas actividades: ocupan por completo el tiempo desde cero hasta ocho. Por otro lado, las actividades 2-3 y 3-4 tienen cada una un día de holgura y la actividad 1-3 tiene dos días de holgura total, como se puede advertir en la Figura 14.7. Resulta sencillo visualizar, a partir de esta figura, el efecto de los deslizamientos de las actividades sobre el programa del proyecto. Por ejemplo, si la actividad 1-3 se desliza un día, no retrasará el inicio de la actividad 3-4. Por lo tanto, la actividad 1-3 tiene un día de holgura.

Además de la conveniencia de su formato, los diagramas de precedencia pueden utilizarse para representar relaciones de precedencia complejas. Por ejemplo, una

FIGURA 14.6

Redes PDM.

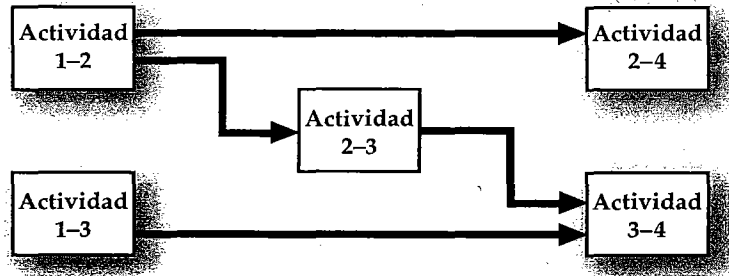


FIGURA 14.7

Programa de tiempo PDM.

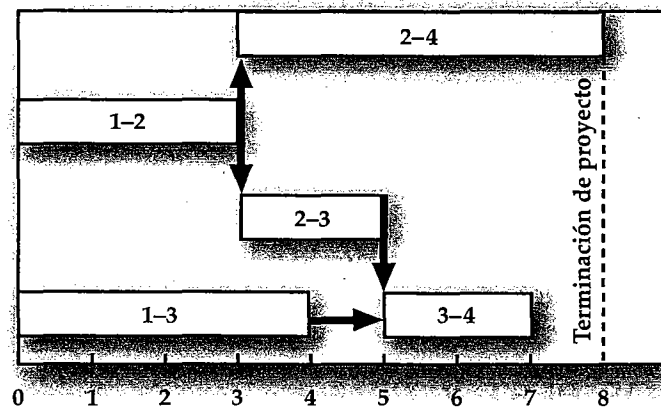
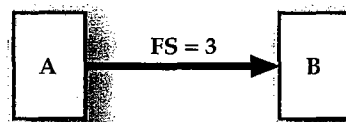


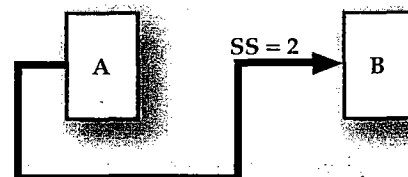
FIGURA 14.8

Relación de precedencia PDM.



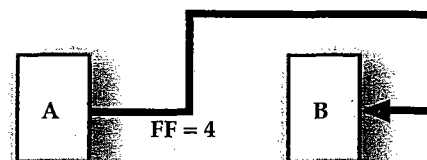
De terminación a inicio

El trabajo B puede comenzar no antes de tres días después de que se ha terminado el trabajo A.



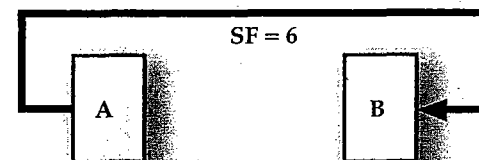
De inicio a inicio

El trabajo B puede comenzar no antes de dos días después de que ha comenzado el trabajo A.



De terminación a terminación

El trabajo B puede terminar no antes de cuatro días después de que se ha terminado el trabajo A.



De inicio a terminación

El trabajo B puede terminar no antes de seis días después de que se ha comenzado el trabajo A.

relación de inicio a inicio puede representarse mediante este método, donde una actividad no puede empezar hasta que otra también lo haya hecho. Las relaciones de

inicio a terminación y de terminación a terminación también pueden representarse en estas redes, además de la representación más convencional de inicio a terminación de las redes de tiempo constante. En el caso de inicio a terminación, la siguiente actividad no puede comenzar hasta que haya terminado la actividad precedente.

Todos estos casos, junto con los retrasos, se muestran en la Figura 14.8. Un retraso sencillamente significa que una actividad no puede comenzar ni terminar hasta un número determinado de días después, o después de que su predecesora comienza o termina. Adviértase en esta figura que la red convencional de tiempo constante se representaría con una relación de inicio a terminación donde $FS = 0$.

Estas relaciones adicionales podrían utilizarse, por ejemplo, en el caso de vaciar un piso de cemento. No se requiere colocar en su lugar todas las cimbras antes de comenzar esta labor. Sin embargo, deben comenzarse todas ellas antes de terminar el vaciado. Esta situación se muestra en la Figura 14.9 donde se ve que se deja pasar un día después de comenzar la instalación de las cimbras y antes de que pueda vaciarse el cemento. Esto se hace de manera muy sencilla con una relación de inicio a inicio y de terminación a terminación. Véase Burke (2001) para ejemplos más complejos.

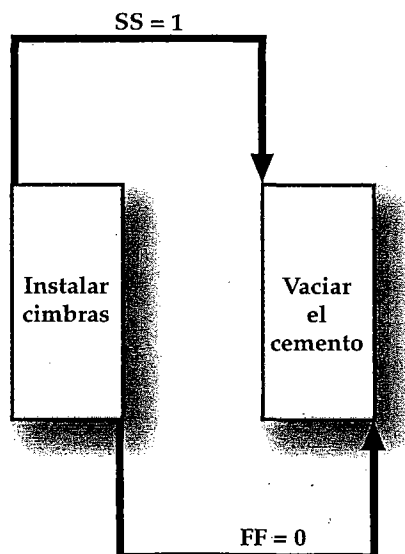
El método de diagrama de precedencia, debido a su flexibilidad, permite representar situaciones más complejas con mayor facilidad. Debido a esta característica y a las ventajas de presentación que ya se mencionaron, el PDM se utiliza más ampliamente para la programación de proyectos en la actualidad. Todos los códigos de computación permiten las redes PDM, y casi todos permiten también las presentaciones convencionales de redes.

14.6 MÉTODOS PERT Y CPM

La **Program evaluation review technique** (Técnica de revisión y evaluación de programas, PERT, por sus siglas en inglés) es un método de red para la programación de proyectos que se desarrolló por primera vez a mediados de la década de 1950 para el proyecto del submarino Polares. La técnica se utilizó para programar a más

FIGURA 14.9

Ejemplo del piso de cemento.



de 3 000 contratistas, proveedores y dependencias, y se le ha reconocido el mérito de adelantar el proyecto del submarino Polares en casi dos años.

PERT, como se definió originalmente, requería de tres estimaciones de tiempo para cada actividad: una optimista, una más probable y otra pesimista. En todas se reconoce la incertidumbre en el tiempo de actividad que es típica en los proyectos de investigación y desarrollo. A partir de estas tres estimaciones es posible convertir la red de PERT en una red de tiempo constante mediante el tiempo medio y los métodos que ya se describieron antes.

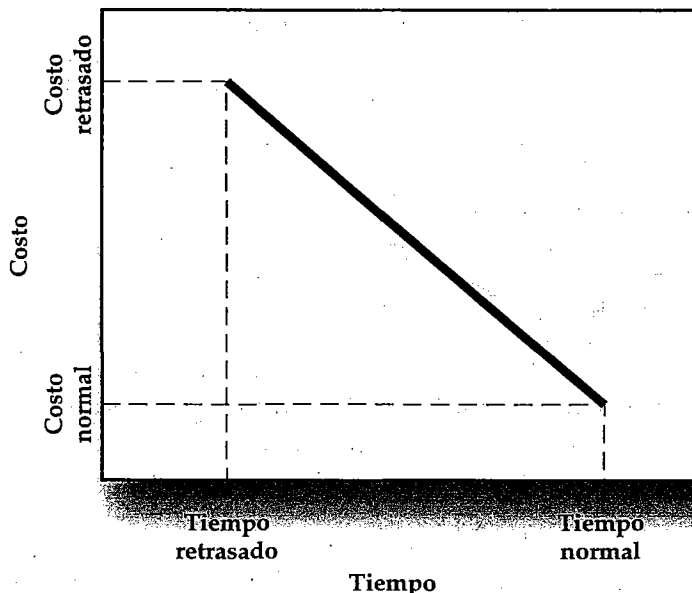
Pero no es posible eliminar tan fácilmente el problema de la incertidumbre en los tiempos de actividad. Manejar la incertidumbre de la aleatoriedad de las estimaciones individuales de tiempo es la esencia de la red PERT. Cuando los tiempos de actividad individual son aleatorios, lo mismo sucederá con el tiempo de terminación del proyecto. Por lo tanto, en este caso no es adecuado establecer fechas concretas para la terminación del proyecto. Habrá una determinada probabilidad para cumplir con cada fecha de terminación, lo cual es una función de la incertidumbre en las actividades individuales y en las relaciones de precedencia. La probabilidad que se asocia con los tiempos de terminación y de inicio de cada actividad o evento también se calculan para una red PERT.

Otro concepto que surge de la red PERT es la idea de una ruta crítica probabilística. De acuerdo con la lógica PERT, no existe una ruta crítica determinada. En vez de ello, cada actividad tiene una probabilidad de encontrarse en la ruta crítica; en algunos casos tal probabilidad será cercana a cero, en otros casos, cercana a uno. La ruta crítica en sí misma es aleatoria cuando los tiempos de actividad son inciertos. Tanto los tiempos probabilísticos de inicio de las actividades como las probabilidades de ruta crítica pueden calcularse fácilmente mediante una simulación de computadora.

El **método de la ruta crítica** (CPM, por sus siglas en inglés) se debe a los trabajos de E.I. du Pont de Nemours & Co., para programar el inicio y el paro de las plantas más importantes. Como las actividades de estas plantas se repiten con frecuencia, los tiempos se conocían bastante bien. Sin embargo, era posible comprimir el tiempo

FIGURA 14.10

Relación costo-tiempo en CPM.



de cualquier actividad gastando más dinero. Así, el CPM supone una compensación entre el tiempo y el costo en lugar de los tiempos probabilísticos que se utilizan con PERT.

El método CPM para programación de proyectos utiliza una función tiempo-costo del tipo que se muestra en la Figura 14.10 para cada actividad. La actividad se puede terminar proporcionalmente en menor tiempo si se gasta más dinero. Para expresar esta relación supuestamente lineal entre el tiempo y el costo se dan cuatro cifras para cada actividad: tiempo normal, costo normal, tiempo límite y costo límite.

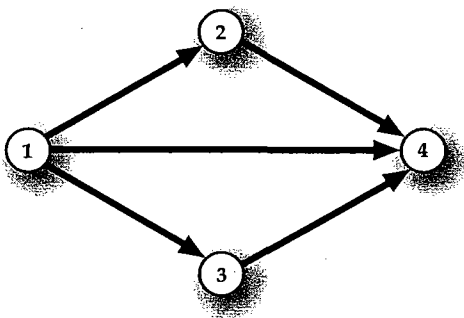
La red del proyecto se resuelve inicialmente utilizando los tiempos y costos normales para todas las actividades. Si el tiempo y el costo resultantes para la terminación del proyecto son satisfactorios, se programan todas las actividades en sus tiempos normales. Si el tiempo de terminación es demasiado largo, se puede terminar el proyecto a mayor costo.

Para cualquier tiempo dado de terminación del proyecto que sea inferior al normal existen innumerables posibilidades en la red, cada una con un costo total diferente. Esto ocurre debido a que es posible disminuir una gran variedad de tiempos de actividades diferentes para cumplir con cualquier fecha de terminación especificada para el proyecto. Todas estas posibilidades se pueden evaluar mediante un problema de programación lineal (LP, por sus siglas en inglés). El problema LP se utiliza para encontrar la solución que representa el costo total mínimo para cualquier tiempo dado de terminación del proyecto. [Para mayores detalles respecto a esta formulación, véase Antill y Woodhead (1990).]

A continuación se da un ejemplo para ilustrar los principios involucrados. En él se muestra cómo calcular los tiempos y costos normales y cómo determinar la mejor manera de reducir la terminación del proyecto en un día. Si bien este ejemplo se puede evaluar con facilidad, será necesario utilizar la programación lineal para evaluar todas las combinaciones a medida que la red se haga más compleja.

EJEMPLO

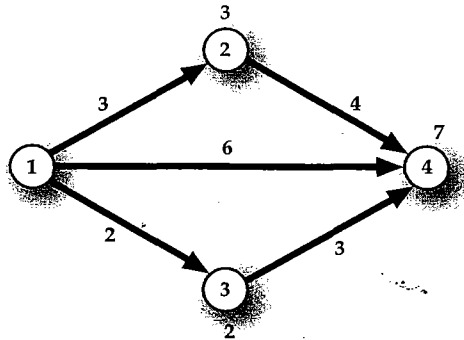
En seguida se muestra una red de proyecto, con tiempos de actividad y costos. Calcúlese el tiempo y el costo normales para el proyecto. También calcúlese la manera de menor costo para reducir un día la terminación normal del proyecto.



Actividad	Tiempo normal	Costo normal	Tiempo de retraso	Costo de retraso
1-2	3	40	1	80
1-3	2	50	1	120
1-4	6	100	4	140
2-4	4	80	2	130
3-4	3	60	1	140

Solución

El tiempo para la terminación normal del proyecto se calcula estableciendo todas las actividades en sus tiempos normales y avanzando hacia delante. El tiempo normal de terminación del proyecto resulta = 7. Véanse los cálculos de tiempo de los eventos a continuación:



El costo normal del proyecto es la suma de los costos normales de todas las actividades y es igual a 330 dólares.

Es posible reducir el tiempo de terminación del proyecto en seis días al reducir un día o bien en la actividad 1—2, o bien en la 2-4. Cuesta 20 dólares al día $(80-40)/2$ limitar la actividad 1-2 y 25 dólares al día $(130-80)/2$ reducir la actividad 2-4. Por lo tanto, resulta menos costoso reducir la actividad 1-2 un día para lograr un tiempo de terminación general del proyecto de seis días y un costo de 350 dólares.

Adviértase, a partir de este ejemplo, que es posible disminuir el tiempo de terminación del proyecto una unidad a la vez al incurrir en un costo mayor. Esto puede continuar hasta que todas las actividades en la ruta crítica se lleven al "límite" en cuanto a sus tiempos mínimos o hasta que otras rutas se vuelvan críticas. Las actividades restantes pueden tener alguna holgura. La administración puede determinar cuánto costará obtener cualquier tiempo dado de terminación del proyecto entre el tiempo normal y el tiempo mínimo de límite máximo sencillamente reduciendo una unidad el tiempo de terminación del proyecto cuando se llegue a los tiempos límite máximos.

14.7 USO DE LOS CONCEPTOS DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS



En la administración de proyectos se necesita mucho más que programar. Hay que planear el proyecto primero, y hay que establecer un control antes de programar. En la administración de proyectos se requiere una mezcla de habilidades conductuales y cuantitativas que a menudo implican el uso de equipos interfuncionales. De esta manera, los métodos de programación deben considerarse solamente como parte de un enfoque completo de la administración de proyectos.

Al seleccionar los métodos de programación de proyectos se debe realizar una compensación consciente entre los métodos complejos y los costos. Las gráficas de Gantt no deben considerarse como pasados de moda o como ingenuos. Más bien, como una alternativa que se justifica para proyectos en los que las actividades no están muy interconectadas o para proyectos pequeños. En estos casos, en los que la gráfica de Gantt es aconsejable, quizá el método de red no proporcione beneficios adicionales suficientes en relación con su costo.

Si se justifica el método de red, debe elegirse entre los métodos de tiempo constante, PERT, CPM, PDM u otros más avanzados. El método de tiempo constante es adecuado para casos en los que los tiempos de las actividades son más o menos constantes, o casi constantes. Si, por el contrario, éstos son aleatorios, debe escogerse una red PERT para reflejar directamente la incertidumbre. Por lo tanto, PERT se puede aplicar a situaciones tales como investigación y desarrollo, diseño de sistemas de computación, e invasiones militares, en las que se espera que cambien los tiempos de las actividades.

Por otro lado, los métodos CPM deben utilizarse cuando los tiempos de las actividades son bastante constantes pero pueden reducirse si se gasta más dinero. El CPM puede aplicarse cuando se trata de casos tales como proyectos de construcción, instalación de equipo e inicio de operaciones o cierre de una planta. Entre los métodos más avanzados de red están las redes generalizadas, las redes con limitaciones de recursos y la administración de proyectos que se basa en la teoría de las limitaciones. Estos métodos siguen desarrollándose y no se han utilizado ampliamente en la práctica.

El método PDM es el más popular por su capacidad de desplegar programas convenientemente y de representar complejas relaciones de precedencia. En la práctica, se ha encontrado que el PDM es fácil de usar y fácil de explicar a las personas que no se encuentran familiarizadas con las redes.

Los métodos de programación computarizada de redes se utilizan en la práctica. Existe un gran número de paquetes distintos de software estándar para cubrir toda la variedad de métodos de programación. En el recuadro de Líder en operaciones se describe cómo califica el gobierno de los Estados Unidos a los diversos paquetes de software para proyectos. Éstos no solamente representan un apoyo para la programación, sino que también ayudan en la contabilidad de los proyectos y en el control de su progreso.

14.8 ASPECTOS CLAVE

La planeación y programación de proyectos se refiere a una actividad de producción única, que se realiza una sola vez. Por eso, el problema de la programación es bastante distinto al de las operaciones en curso.

LÍDER EN OPERACIONES

El gobierno de los Estados Unidos califica los paquetes de software para proyectos

Cuatro paquetes se examinaron para determinar su conveniencia para la administración de proyectos. Los calificadores del gobierno seleccionaron el proyecto Microsoft como el paquete más avanzado, al que seguía de cerca en segundo lugar Primavera Systems, Inc., Sure Trak 2.0. Con un precio no tan alto se encontraron Scitor Corp's, Project Sheduler 7 y Kidasa Software, Inc., Milestones, Etc. 5.0. Se encontró que todos estos paquetes tenían un precio razonable, de entre 400 y 600 dólares al menudeo. Todos desempeñarán las funciones básicas que se requieren de la administración de proyectos, pero los paquetes con mejor calificación contenían más características que los calificadores consideraron los hacían de uso más fácil.

Fuente: *Government Best Buys*, 16 de octubre de 1997.

Los aspectos clave que se han cubierto en este capítulo son:

- Los tres objetivos de los proyectos son: tiempo, costo y rendimiento. Como estos objetivos entran en conflicto, constantemente deben realizarse trueques entre ellos en el curso de su administración.
- Todos los proyectos atraviesan tres fases: planeación, programación y control. En la primera se establecen los objetivos, la organización y los recursos para el proyecto. En la segunda, el programa de tiempos, los costos y las asignaciones de personal. En la tercera se supervisa el avance del proyecto en cuanto a su costo, su tiempo y su rendimiento; también se corrige el plan según sea necesario para lograr los objetivos del proyecto.
- La gráfica de Gantt es un método de programación para presentar las actividades del proyecto en un formato de gráfica de barras. La gráfica de Gantt es útil para proyectos pequeños o para aquellos en los que las actividades no se interrelacionan mucho.
- Existen tres métodos de programación de red: de tiempo constante, PERT y CPM. Todos ellos dependen de una red o de una gráfica para representar la relación de precedencia entre las actividades.
- Una red permite que se identifique la ruta crítica, la holgura y las actividades que necesitan reprogramarse. La ruta crítica es la ruta de mayor tiempo de actividades de principio a fin de la red. Las actividades de la ruta crítica tienen una holgura de cero y deben terminarse a tiempo para evitar el deslizamiento de la fecha de terminación del proyecto. La holgura es la cantidad de tiempo que se puede extender una actividad o evento clave que permite todavía que el proyecto se termine a tiempo.
- Es posible calcular los tiempos de inicio temprano, inicio tardío, terminación temprana, y terminación tardía si se avanza hacia atrás y hacia delante a través de la red.
- PERT constituye un método de programación de proyectos basado en una red que requiere tres estimaciones de tiempo para cada actividad: optimista, más probable y pesimista. Con ellas es posible calcular la probabilidad para la terminación de un proyecto en cualquier fecha especificada, además de los tiempos estándar de inicio y de terminación para cada actividad o evento clave.
- La CPM es un método basado en red que utiliza una compensación lineal entre tiempo y costo. Es posible terminar cada actividad en un tiempo inferior al normal si se apresura la actividad a un costo dado. Es decir, si el tiempo normal de terminación del proyecto no es satisfactorio, es posible llevar algunas actividades a su tiempo límite máximo para terminar el proyecto en menor tiempo a un mayor costo.
- El PDM es un método de red que presenta las actividades en círculos. Las relaciones entre ellos se indican mediante flechas que pueden representar una variedad de relaciones de inicio y terminación.

EJERCICIOS EN INTERNET PARA EL ESTUDIANTE



1. **Project Management Institute**
<http://www.pmi.org>

Vaya a este sitio de Internet para conocer esta organización profesional para la administración de proyectos. Lea acerca de las publicaciones y actividades disponibles.

2. **Primavera, Inc.**
<http://www.primavera.com/products/p3.html>

Haga un "clic" en "product information" y en "customers" para recopilar información acerca del software para planeación y programación de proyectos. Vaya a clase preparado para comentar lo que descubrió ahí.

3. **Microsoft Project**
<http://www.microsoft.com/office/project>

Seleccione el último software para administración de proyectos (Project 2000 cuando esta obra entró a prensa) y redacte un informe breve sobre sus principales características y capacidades para la planeación, la programación y el control de proyectos. Se puede correr la versión de demostración del Project 2000 para conocer el paquete.

4. **Listados de empleos**
<http://www.projectmanager.com>

Este sitio contiene listados de empleos para talento en administración de proyectos. Estúdielelos y venga a clase preparado para comentar sobre el tipo y la cantidad de empleos disponibles en el campo de administración de proyectos.

Problemas resueltos

Problema

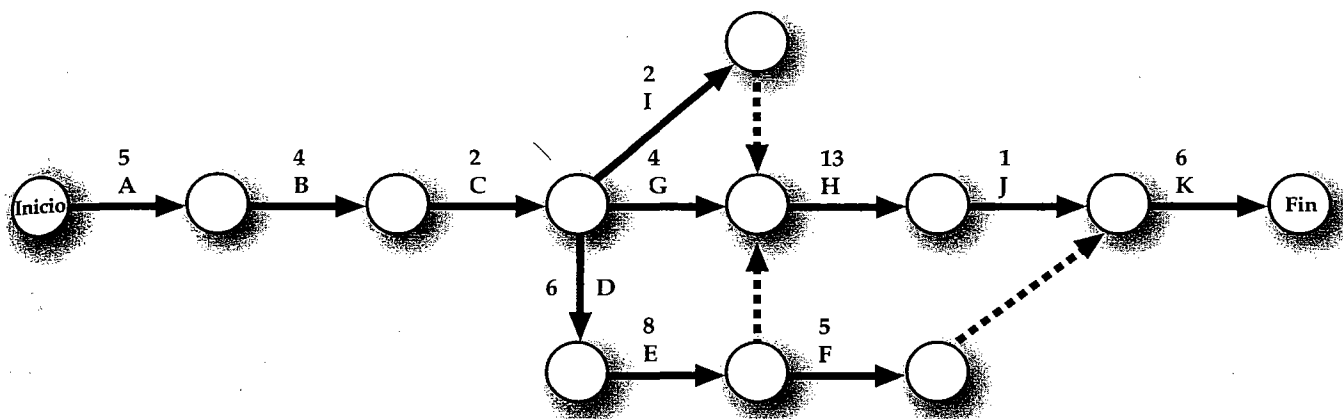
1. **Método de actividad en la flecha (red AOA).** A continuación se proporciona una lista de actividades, relaciones de precedencia y tiempos de actividad para un proyecto.

Nombre de la actividad	Predecesora	Actividades
A	—	5
B	A	4
C	B	2
D	A,C	6
E	D	8
F	E	5
G	C	4
H	D,E,G,I	13
I	C	2
J	G,H	1
K	F,H,J	6

- a. Dibuje un diagrama de red AOA para este proyecto.

Solución

La respuesta se muestra a continuación:

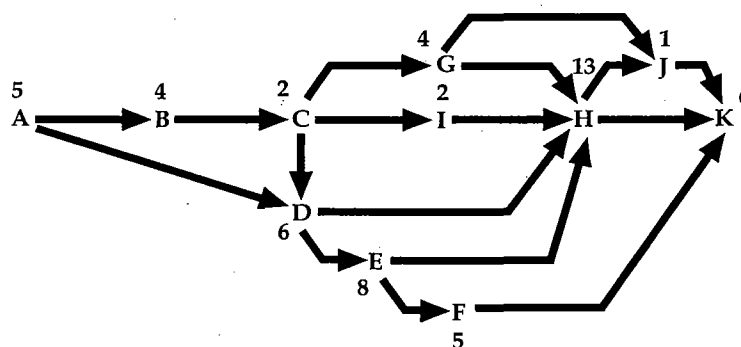


Problema

2. Método de diagramación por precedencia (red AON). Responda las preguntas siguientes utilizando los datos del problema resuelto 1:
 - a. Dibuje un diagrama para una red de actividad en el nodo.
 - b. Calcule el inicio temprano (ES), el inicio tardío (LS), la terminación temprana (EF) y la terminación tardía (LF) para cada una de las actividades en la red.
 - c. ¿Cuál es la ruta crítica? ¿Cuál es el tiempo esperado de terminación para el proyecto?

Solución

a.



b.

Nombre de la actividad	ES	LS	EF	LF	Holgura
A	0	0	5	5	0
B	5	5	9	9	0
C	9	9	11	11	0
D	11	11	17	17	0
E	17	17	25	25	0
F	25	34	30	39	9
G	11	21	15	25	10
H	25	25	38	38	0
I	11	23	13	25	12
J	38	38	39	39	0
K	39	39	45	45	0

- c. La ruta crítica se compone por las actividades que no tienen holgura:
A-B-C-D-E-H-J-K

Problema

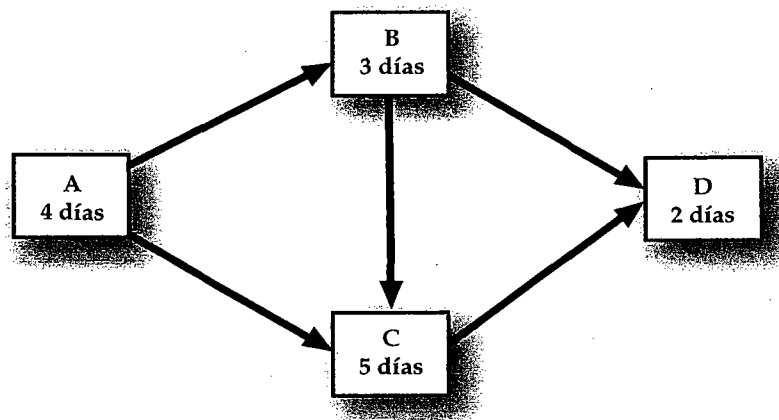
3. Se proporciona la siguiente información para una red CPM.

Actividad	Predecesora	Sucesora	Tiempo normal	Costo normal	Tiempo de retraso	Costo de retraso
A	—	B,C	4	\$50	2	\$100
B	A	D,C	3	60	2	80
C	A,B	D	5	70	3	140
D	B,C	—	2	30	1	60

- Dibuje la red AON en la que aparezcan los tiempos normales.
- Haga un avance y un retroceso para calcular ES, LS, EF, LF para cada actividad.
- ¿Cuál es el tiempo normal para terminación del proyecto y cuál el costo normal?
- ¿Qué se debe hacer para retrasar la red un día en su tiempo límite máximo?
¿En dos días?

Solución

a.



b.

Actividad	ES	EF	LS	LF
A	0	4	0	4
B	4	7	4	7
C	7	12	7	12
D	12	14	12	14

- El tiempo normal para la terminación del proyecto = 14, el costo normal = 210 dólares.
- Para un día, pueden retrasarse cualquiera de las actividades sobre la ruta crítica (A, B, C o D). El costo por día de retraso es (A = 25 dólares, B = 20 dólares, C = 35 dólares, D = 30 dólares). El menor costo de retrasar un día es, por lo tanto, la actividad B. En este caso, el costo del proyecto es de $210 + 20 = 230$ dólares para la terminación del proyecto en 13 días. Para retrasarlo dos días, también considérese la ruta crítica, pues ninguna otra ruta es mayor a 11 días. La actividad B no se puede retrasar otro día, por lo que el siguiente menor costo es al retrasar un día la actividad A. El costo total para la terminación del proyecto en 12 días es de $210 + 20 + 25 = 255$ dólares.

Preguntas de análisis

1. ¿Exactamente de qué manera se distingue la programación de proyectos de la de las operaciones en curso?
2. ¿Cómo auditaría usted, después del hecho, un proyecto para determinar si tuvo éxito o no?
3. Proporcione tres ejemplos de proyectos que no se dieron en el texto. ¿Estos proyectos son únicos, o se repiten de alguna manera?
4. Contraste y compare CPM y PERT como técnicas de programación de proyectos.
5. Defina los términos *ruta crítica*, *holgura libre* y *holgura total*.
6. ¿Cuál es la importancia administrativa de encontrar la ruta crítica a través de una red?
7. ¿De qué manera se utiliza la gráfica de Gantt como herramienta de programación? ¿Cuándo debe utilizarse de preferencia la gráfica de Gantt con respecto a los métodos con base en la red?
8. ¿Qué significa la necesidad de hacer compensaciones entre costo, desempeño y programa? Mencione algunos ejemplos.
9. ¿Por qué se requieren actividades simuladas en una red de proyecto AOA?
10. ¿Cuáles son las ventajas del enfoque PDM hacia la programación de proyectos?
11. ¿Por qué se requieren un paso hacia atrás y un paso hacia adelante para obtener un programa de proyecto?
12. ¿Cuál es la definición de hora más temprana de inicio y hora más tardía de inicio de una actividad y hora de terminación más temprana y más tardía de finalización de una actividad?

Problemas

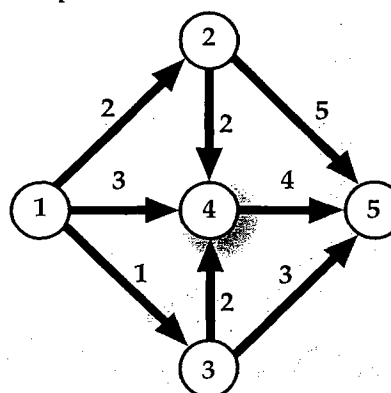
1. Una empresa de contadores públicos necesita las actividades siguientes para una auditoría:

Actividad	Predecesora inmediata	Sucesora inmediata	Tiempo de la actividad
a	—	b, e	3
b	a	d, f	2
c	—	d, f	4
d	b, c	g	2
e	a	g	5
f	b, c	—	6
g	e, d	—	5

- a. Prepare una gráfica de Gantt para este proyecto.
 - b. Dibuje una red AOA para este proyecto. Etiquete los eventos clave en orden secuencial.
 - c. Dibuje una red PDM.
 - d. Haga un avance y un retroceso para determinar el ES, el LS, el EF y el LF.
 - e. ¿Cuál es la ruta crítica y el tiempo de terminación del proyecto?
 - f. Si la terminación del proyecto debe reducirse dos días, ¿qué actividades podrían resultar afectadas?
2. Se necesita que las siguientes actividades se realicen para echar a andar a una planta:

Actividad	Predecesora inmediata	Sucesora inmediata	Tiempo de la actividad
a	—	c	3
b	—	d, e	2
c	a	f, g	1
d	b	f, g	4
e	b	g	4
f	c, d	—	2
g	e, c, d	—	3

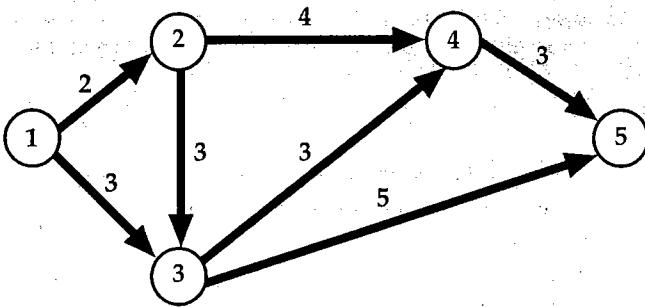
- a. Prepare una gráfica de Gantt para este proyecto.
 - b. Dibuje una red AOA para este proyecto.
 - c. Dibuje una red PDM.
 - d. Haga un avance y un retroceso para determinar el ES, el LS, el EF y el LF.
 - e. Calcule la holgura total y la holgura libre.
3. Un proyecto de construcción tiene las siguientes redes y tiempos de actividad:



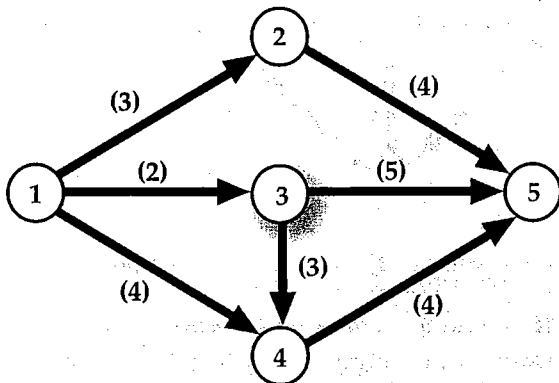
- a. Prepare una gráfica de Gantt para este proyecto.
 - b. Dibuje una red PDM.
 - c. Haga un avance y un retroceso en los tiempos de actividad.
 - d. Determine la holgura total y la holgura libre para cada actividad.
 - e. La actividad 1-4 se retrasará un día. ¿Qué efecto tendrá esto en el proyecto?
4. Echar a andar una planta se basa en la red de la página siguiente:
 - a. Dibuje una red AOA para este proyecto y póngale nombre a los eventos clave.
 - b. ¿Cuál es el tiempo de terminación del proyecto?
 - c. Identifique la ruta crítica.

Actividad	Predecesora inmediata	Sucesora inmediata	Tiempo de la actividad
a	—	d, e	4
b	—	g	8
c	—	f	2
d	a	g	3
e	a	—	5
f	c	—	5
g	b, d	—	6

5. Un empresario está iniciando un nuevo negocio. A continuación se proporcionan las actividades y los tiempos necesarios:



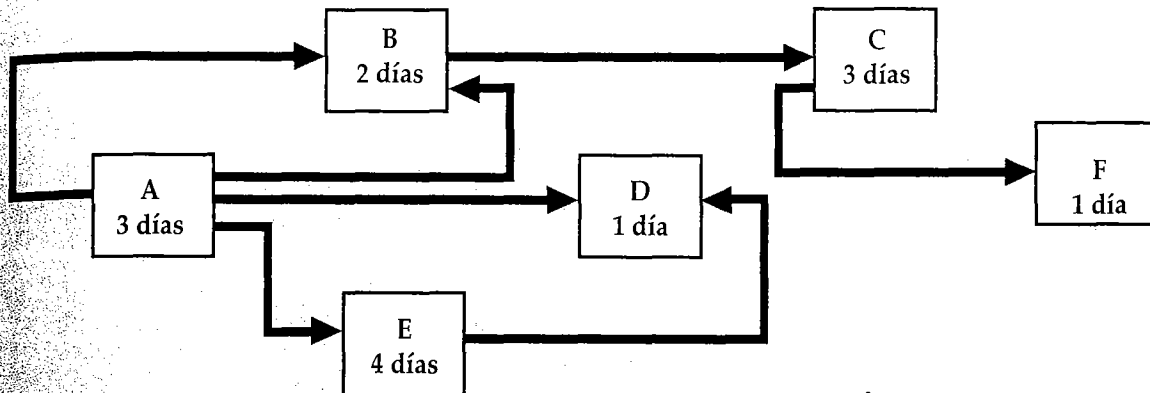
- Encuentre la ruta crítica y el tiempo de terminación del proyecto.
 - ¿Cuál es el ES, LS, EF y LF de cada actividad?
 - ¿Cuánta holgura total y holgura libre hay en la actividad 2-4?
6. Cuando se preparaba para enseñar una materia nueva, el profesor ha calculado los siguientes tiempos de actividades.



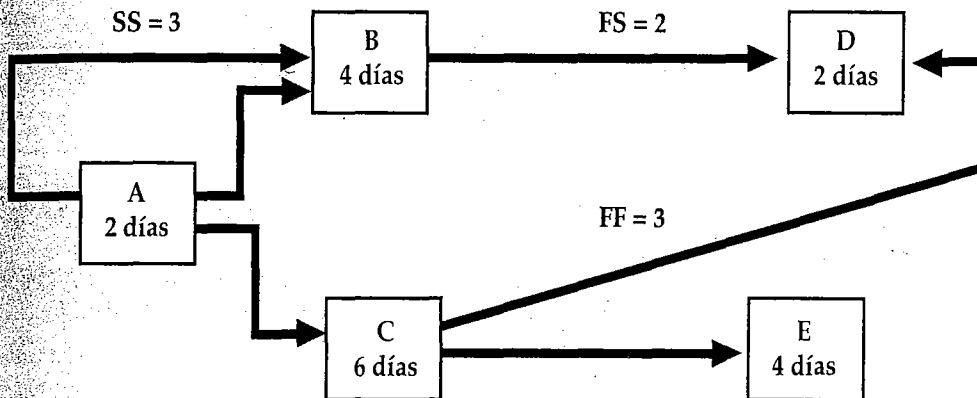
- Encuentre el tiempo de terminación del proyecto.
- ¿Cuál es la ruta crítica?

7. Un proyecto tiene las actividades y las relaciones de precedencia que se muestran en el diagrama PDM de actividad en los nodos en la parte superior de la página siguiente. La duración de cada actividad también se muestra dentro de cada recuadro del diagrama en la parte superior de la página siguiente.
- Describa las relaciones de inicio temprano y de terminación temprana que se muestran en el diagrama; por ejemplo, B no puede comenzar hasta que comienza A.
 - Calcule el tiempo para un inicio temprano y una terminación temprana para cada actividad haciendo un avance.
 - Calcule el último tiempo de entrada y de terminación para cada actividad haciendo un retroceso.

(para el problema 7)



8. La siguiente red PDM representa una campaña política en la que se utiliza un diagrama de actividad en el nodo.



- Describa las relaciones de comienzo y de terminación que se muestran en este diagrama.
 - Calcule los tiempos de inicio temprano y terminación temprana de cada actividad avanzando un paso hacia adelante.
 - Calcule los tiempos de inicio tardío y terminación tardía de cada actividad retrocediendo un paso.
9. La construcción de un edificio se fundamenta en la siguiente red CPM:
- | Actividad | Predecesora | Sucesora | Tiempo normal | Costo normal | Tiempo de retraso | Costo de retraso |
|-----------|-------------|----------|---------------|--------------|-------------------|------------------|
| A | — | B,C,D | 4 | \$100 | 2 | \$150 |
| B | A | E | 8 | 80 | 2 | 140 |
| C | B,A | F | 2 | 40 | 1 | 60 |
| D | A | F,G | 3 | 80 | 2 | 120 |
| E | B | G | 5 | 80 | 3 | 140 |
| F | C,D | G | 5 | 60 | 1 | 100 |
| G | E,F,D | — | 6 | 120 | 2 | 160 |
- ¿Qué actividad debe desempeñar el TA para reducir el tiempo de terminación del proyecto en un día?
 - ¿Qué actividades debe realizar el TA para reducir el tiempo de terminación del proyecto en dos días?
 - ¿Es posible retrasar la red tres días en total? Explique por qué sí o por qué no.
10. El profesor del problema 6 está considerando reducir el tiempo de terminación del proyecto. Puede contratar a un ayudante (Teacher assistant, o TA, por sus siglas en inglés) para que le ayude en el nuevo curso, pero esto le costará dinero adicional. El TA solamente puede ayudarlo a reducir el tiempo para las actividades 1-2, 3-4 y 1-4. En cada caso, el TA puede reducir el tiempo necesario un día por 150 dólares y dos días por 300.

- Dibuje la red para este proyecto y califique los eventos.
- ¿Cuál es el tiempo normal de terminación del proyecto y cuál el costo normal?
- Identifique la ruta crítica.