

CAPITULO II

PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO

2.1 Generalidades

Un proyecto define una combinación de actividades interrelacionadas que deben ejecutarse en un cierto orden antes que el trabajo completo pueda terminarse. Para optar a la realización de una obra hay que asociar como ya se mencionó anteriormente al proyecto según sus características, duración estimada de la obra y volumen estimado de la mano de obra. Una actividad en un proyecto, se ve como un trabajo que requiere tiempo y recursos para su terminación. En general, un proyecto es esfuerzo de un solo periodo; esto es, la misma sucesión de actividades puede no repetirse en el futuro. Además en los proyectos, realizados para las administraciones, hay que presentar la programación de la obra mediante diagrama de Gantt, con las previsiones del importe de cada certificación mensual.

De acuerdo con el autor Pedro Barber Lloret. (2006). “El buen transcurso de una obra depende en buena medida de la organización, programación y control que se haga la misma”. Para dominar esas técnicas, se deben conocer cuáles son las diferentes técnicas de representación gráfica, pasando por los gráficos de Gantt, hasta el estudio de las redes dispersas, tanto en el sistema CPM (Crítical Path Method), como en el PERT (Program Evaluation and Review Technique). Ambos ayudan a aportar los elementos administrativos necesarios para formar un método crítico, utilizando el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación, para buscar que el proyecto total sea ejecutado en el menor tiempo y al menor costo posible.

Anteriormente, la programación de un proyecto en cuanto al tiempo se hizo con poca o incluso sin planeación. La mejor herramienta conocida de "Programación" en ese entonces era el

diagrama de barras de Gantt, el cual especifica los tiempos de inicio y terminación de cada actividad en una celda de tiempo horizontal. “Los diagramas de Gantt son herramientas prácticas muy utilizadas en la administración de proyectos porque no sólo son económicas y fáciles de aplicar, sino que también presentan gran cantidad de información, donde el administrador puede descubrir de inmediato cuáles actividades van adelantadas en la programación y cuales están atrasadas.” (José Antonio Romero, 2006).

Su desventaja en este caso es que la interdependencia entre las diferentes actividades (la cual controla principalmente el progreso del proyecto) no puede determinarse a partir del diagrama de barras. Las complejidades crecientes de los proyectos actuales han demandado técnicas de planeación más sistemáticas y más efectivas con el objeto de optimizar la eficiencia en la ejecución del proyecto.

2.2 Planeación, Programas y Control

Los métodos de programación y control concentran la atención y los esfuerzos del Gerente del Proyecto y de su equipo sobre aquellos elementos que son más relevantes o críticos evitando errores o volver a rehacer el trabajo, anticipando el inicio de operación consecuentemente el retorno de la inversión.

La planificación exige la división del proyecto en partes: sistemas, subsistemas y componentes, tareas, definiendo la PBS (Project Breakdown Structure), identificando así las actividades que se quieren lograr o fin y sus mecanismos de control.

Las actividades fin son analizadas por especialidades tecnológicas identificando los sectores responsables, definiendo las funciones y los documentos necesarios para ejecutar cada una de ellas, esto se conoce con el nombre de WBS (Work Breakdown Structure) y son las actividades medio (el "cómo").

Una característica destacada de la Gerencia del Proyecto al planificar es que debe tener una gran capacidad analítica sin perder la visión del conjunto en ningún momento. La programación utiliza herramientas tales como:

- Redes (PERT y CPM)
- Diagramas de barras (GANTT)
- Curvas “S” o informes

Tales herramientas son fundamentales por su eficacia en la comunicación de la Gerencia del Proyecto y el resto de la empresa. 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 el, 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, auditorias, 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.

2.3 Planeación y Control de proyectos con PERT- CPM

La administración de proyectos ha evolucionado como un nuevo campo con el desarrollo de dos técnicas analíticas para la programación y control de proyectos. Tales son el Método de Ruta Crítica (CPM) y la Técnica de Evaluación y Revisión de Proyectos (PERT). Los métodos PERT y CPM están básicamente orientados en el tiempo en el sentido que ambos llevan a la determinación de un programa de tiempo. El PERT y CPM comprenden realmente una técnica y las diferencias, si existe alguna, son únicamente históricas. En adelante, ambas se denominarán técnicas de "programación de proyectos"

La programación de proyectos por PERT-CPM consiste en dos fases básicas: Programación y Control.

- Programación: se inicia dividiendo el proyecto en actividades. Las estimaciones de tiempo para estas actividades se determinan luego y se construye un diagrama de red (o de flechas) donde cada uno de sus arcos (flechas) representa una actividad. El diagrama de flechas completo da una representación gráfica de las interdependencias entre las actividades del proyecto. La construcción del diagrama de flechas como una fase de programación, tiene la ventaja de estudiar los diferentes trabajos en detalle, sugiriendo quizá mejoras antes del que el proyecto realmente se ejecute.

El objetivo de esta fase es construir un diagrama de tiempo que muestre los tiempos de iniciación y terminación para cada actividad, así como su relación con otras actividades del proyecto. Además, el programa debe señalar las actividades críticas (en función del tiempo). Para las actividades no críticas el programa debe mostrar los tiempos de holgura que pueden utilizarse cuando tales actividades se demoran.

- Control: Esto incluye el uso del diagrama de flechas y la gráfica de tiempo para hacer reportes periódicos del progreso. La red puede, por consiguiente, actualizarse y analizarse y si es necesario, determinar un nuevo programa para la porción restante del proyecto.

La programación no es el final del objetivo, sino una gran ayuda para la terminación del proyecto y es la determinación de tiempos para las operaciones que abarcan el proyecto; la suma de los tiempos constituye el tiempo total de terminación.

Por lo tanto se puede definir como “un diagrama o lista del trabajo por hacer, con sus tiempos asociados” (D’acosta Soler, Arturo, 2006). La programación es el proceso de seleccionar el método y el orden de trabajo a adoptar para el proyecto entre todos los caminos y secuencias por los que pudiera realizarse.

La programación es un término general que es usado para unir las ideas referidas comúnmente a la calendarización y organización. Su meta puede ser definida como:

Asegurarse de que todo el trabajo requerido para completar el proyecto quede terminado.

- En el orden correcto, lugar adecuado y tiempo correcto
- Por la gente y equipo adecuados
- Con la calidad esperada
- De la manera más económica, segura y protegiendo al ambiente

2.4 Análisis del Proyecto

El primer paso consiste en descomponer el proyecto en las operaciones individuales necesarias para su terminación; esto dependerá de cada proyecto, de la naturaleza del trabajo y la clase de mano de obra con la que se cuente, así como la secuencia global general del trabajo. Cada una de estas operaciones separadas se denominan actividades y la terminación de una actividad

constituye un evento que señala el logro exitoso de la tarea. Las actividades por lo tanto consumen tiempo, mientras que los eventos no; los eventos están separados entre sí por actividades.

Cualquiera que sea la definición básica, diferentes tipos de actividades pueden ser identificadas de distintas maneras:

- **Actividad Normal:** es aquella que opera sobre un tiempo determinado usando recursos en particular y es posible definir su relación con otras actividades claramente.
- **Actividad de resumen:** es una actividad, que une dos eventos específicos, que puede ser el dividir dos o más actividades normales. Su duración al inicio no es específica y es solamente determinada por la diferencia entre los tiempos de los eventos en cuestión.
- **Actividades de proceso:** esta es similar a una actividad normal, pero no es posible el definir su relación completamente con otras actividades usando solo sus tiempos de inicio y fin. En la realidad, las actividades de proceso son actividades normales que están geográficamente esparcidas (por ejemplo trabajos de superficie en pavimentos).
- **Actividades de proceso químico:** Estas también son similares a las actividades normales, excepto que es imposible el detenerlas una vez que ya han comenzado.

Cuando se tiene la lista de todas las actividades de un proyecto, se debe determinar la relación esencial entre dichas actividades. En muchos casos las actividades pueden tener lugar en forma concurrente, pero están restringidas según una secuencia determinada o “cadena”

2.5 Programación del diseño

Sin una programación adecuada, una empresa encontrará que su operación es tan ineficiente como si no hubiera procedimientos estándar. Para realizar el diseño, es esencial que la compañía

programe las necesidades de mano de obra. Una administración adecuada será capaz de programar su trabajo de manera que no acepte más del que pueda realizar.

Para la planificación de la carga de trabajo total, es esencial la programación del proyecto individual. El método más simple es el diagrama de barras, el cual es una representación gráfica de las capacidades de mano de obra (representada por barras) con respecto al tiempo.

Los procedimientos de programación, como el método de la ruta crítica (CPM) y la técnica de evaluación y revisión del programa (PERT), tienen un lugar definido en la planeación de los recursos de mano de obra para elaborar un diseño. Un programa de computadora completo del CPM, que incluya los costos en la programación, así como el tiempo y la evaluación de los programas económicos “críticos”, solo sería usado en los proyectos más complejos.

2.6 Programación de un proyecto

La programación de un proyecto es moldeada por los planes estratégicos de una organización, que, a su vez, son influenciadas por las demandas de mercado y las restricciones de recursos. El proceso de programación asociado con los estudios de planeación y factibilidad proporciona las prioridades y el tiempo de iniciación de diversos proyectos para alcanzar los objetivos finales de las organizaciones.

Para ganar tiempo, algunos propietarios esquivan los estudios de planeación y factibilidad y se lanzan directamente a la construcción, con una definición inadecuada del alcance del proyecto. Incrementando los costos de construcción.

Para proyectos muy grandes, el mismo tamaño puede incrementar el costo de los servicios de ingeniería, de materiales y equipo, así como los costos de los contratos; este factor deberá tomarse en consideración para determinar la calendarización del proyecto

2.6.1 Programa de avance de un trabajo

Este programa debe mostrar todos los renglones que afectan el avance del trabajo y considera la duración de la temporada de construcción en el lugar en particular. El programa debe tomar la fecha más ventajosa para los trabajos de las primeras etapas, como lo son fechas de entrega para partidas de importancia crítica de materiales permanentes proporcionados por el contratista; y otros factores esenciales. Con base en las fechas precedentes, deben determinarse los ritmos de producción para los elementos importantes de trabajo.

Con base en el programa de avance, debe anotarse una breve descripción del trabajo. La cual debe llamar la atención de características indefinidas, así como de elementos que sean probables aumenten o disminuyan en cantidad. También, debe incluir una relación del total de hombres-hora y del total de máquinas-hora para equipo importante. Por último, la descripción debe contener una relación de necesidades de recursos financieros derivadas de ingresos y egresos programados.

2.6.2 Programación para ahorro de dinero

La reducción del tiempo en terminar el trabajo significa, de igual manera, reducir los cargos de interés sobre el efectivo invertido durante la construcción. Entre mas corto sea el tiempo para terminar el trabajo, menores serán los gastos de supervisión, administración y generales. Los beneficios se acumulan si se acorta el tiempo, debido a que permiten arrendar el equipo para otro trabajo.

El programa de construcción consiste en ordenar las operaciones, incluidas un proyecto, en la secuencia requerida para lograr su terminación en el mínimo periodo que se económicamente viable.

2.7 Programación mediante una gráfica de barras rectangulares (Diagrama de Gantt)

Los programas de trabajo muestran las fechas de inicio y terminación de los diversos elementos de un proyecto. Los programas pueden prepararse en forma tabular o gráfica, aunque esta última se emplea más debido a su visualización.

La representación gráfica más utilizada es la gráfica de barras rectangulares. Esta indica también las partidas en las cuales se cruza el trabajo, y las partidas que deben quedar terminadas antes de que se comiencen otras.

Una barra en una gráfica, significa que la actividad se desarrolla en un periodo de tiempo indicado por las esquinas de la barra. El argumento siguiente se debe de contemplar en la interpretación subsiguiente de la gráfica de barras:

- El rango de progreso es constante a lo largo de la longitud de la barra
- Los recursos son constantes a lo largo de la longitud de la barra
- Los tiempos de inicio mostrados, son los tiempos en los cuales las actividades deben comenzar y no en los que pueden.

Las gráficas de barras son particularmente apropiadas para proyectos simples, son herramientas excelentes como un medio de comunicación importante para la información de la planeación; siendo su uso, más que un simple programa de actividades.

Las barras se puede identificar por el nombre de la actividad. Una gráfica eficiente puede lograrse sólo si las actividades grandes puedan separarse o si actividades pequeñas son combinadas con actividades mayores.

Los programas de trabajo deben elaborarse al comienzo del trabajo, con la finalidad de coordinar el trabajo de todos los departamentos de la organización del contratista. Los contratos de construcción requieren con frecuencia que el contratista proporcione un programa de trabajo para que sea autorizado por el propietario dentro de un tiempo específico, después que le ha sido concedido el contrato y antes que se inicie la construcción.

Este método tiene la ventaja de la sencillez, pero no indica el ritmo de avance requerido por el programa o que la ejecución real está adelantada o retrasada con respecto al mismo y es difícil ver inmediatamente los efectos de los cambios al proyecto (por ejemplo, variaciones o cambio de órdenes).

2.7.1 Gráficas de barras ligadas

En este tipo de gráficas de barra ligadas (figura 2.1), las flechas son usadas para proveer las ligas mostrando algunas (usualmente la importante) interdependencias de las actividades. Las flechas muestran algunas veces la lógica de la construcción pero son usadas comúnmente para la conexión de recursos para mostrar el progreso propuesto de los recursos clave a lo largo del proyecto.

En la práctica, el uso de las flechas representa ligas en una gráfica de barras, y deberá verse como un acto para balancear la información extra de planeación y la pérdida de claridad en el uso de las gráficas de barra como medio de comunicación.

En la realidad, las gráficas de barra ligadas son mejores de usar en proyectos simples o para proyectos lineales.

Numero	Actividad	Fecha de trabajo terminado por semana												
		10-Jun	17-Jun	24-Jun	01-Jul	08-Jul	15-Jul	22-Jul	29-Jul	06-Ago	13-Ago	20-Ago	27-Ago	03-Sep
1	Cimentaciones este													
2	Cimentaciones oeste													
3	Cimentaciones centro													
4	Cimbrado subestructura este													
5	Cimbrado subestructura oeste													
6	Cimbrado subestructura centro													
7	Descimbrar subestructura este													
8	Descimbrar subestructura oeste													
9	Descimbrar subestructura centro													
10	Cimbrado muros este													
11	Descimbrado muros este													
12	Cimbrado muros oeste													
13	Descimbrado muros oeste													
14	Cubierta in situ													
15	Descimbrado cubierta in situ													

Figura 2.1 Programa de avance de la gráfica de barras.

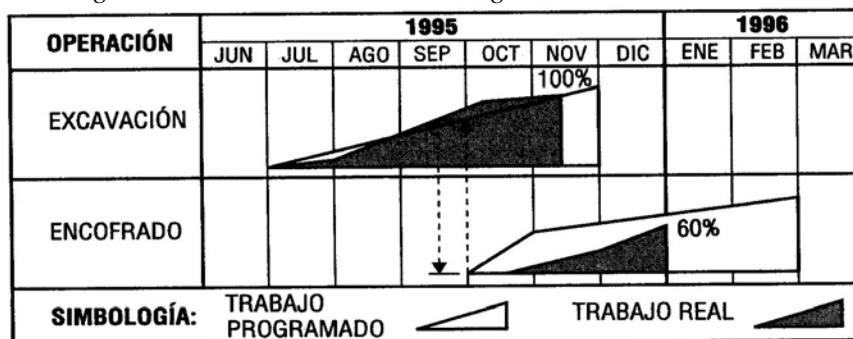
2.7.2 Gráficas de barras triangulares

En este tipo de gráfica se introduce el concepto de “ritmo de avance”; aquí las distancias horizontales representan el tiempo permisible para realizar el trabajo y las verticales representan el porcentaje del cumplimiento. Así que las pendientes de estas líneas indican el avance (fig.2.2).

El efecto del tiempo ganado o perdido en cualquier actividad se refleja en muchos otros detalles de trabajo. Por tanto, es necesaria una frecuente revisión, para que los programas de trabajo en todas las actividades conserven su precisión.

Con frecuencia las actividades críticas están sujetas a un análisis y a programación detallada, esto puede tomar la forma de esquemas tridimensionales, de dibujos de las etapas de la construcción. Después, una programación mayor de actividades como el vaciado del concreto, o los programas de colocación de la tubería, pueden proyectarse y emplearse conforme se requiera.

Figura 2.2 Programa de avance de barras triangulares



2.8 Método de programación de la ruta crítica (CPM)

Este método se desarrollo como herramienta para administrar situaciones especiales. En algunos contratos varias dependencias gubernamentales obligan su uso. El CPM se basa en la planeación del trabajo que va más allá de lo que es necesario para hacer una licitación. Además de la división paso por paso del trabajo en sus operaciones componentes y de la graficación de sus relaciones secuéciales, los planificadores deben saber cuanto tiempo llevará cada operación, el tiempo de espera requerido en la obtención de los materiales y el equipo, que tanto llevará al prepara los planos de taller y obtener su aprobación .

Una ruta crítica es aquella ruta cuyas actividades se consideran críticas, es decir que su holgura es cero, estas actividades están conectadas a lo largo de la ruta de principio a fin y un atraso de tiempo en cualquiera de estas provocará un atraso en el tiempo total del proyecto.

El análisis para establecer un programa realista se hace por métodos manuales o computarizados, resaltando las operaciones cuyas fechas de terminación establecen la duración total del proyecto, planteando las modificaciones al trabajo para determinar cuales son las operaciones afectadas y el efecto que tienen en la duración del proyecto.

2.8.1 Ventajas del método de la ruta crítica

Los problemas de un proyecto se pueden orientar en forma individual y puede ser tan detallado como se desee; esto nos permite la revisión del proyecto durante su ejecución de forma sistemática de las situaciones a medida que se presentan, así pueden conocerse tolerancias en cuanto los efectos de incertidumbre de la planeación y permite llevar a cabo una reevaluación de incertidumbres futuras y las medidas iniciales como remedios para dichas operaciones.

El diagrama de red muestra los procesos cuyo tiempo de terminación son responsables de la terminación y la duración del proyecto. estas operaciones críticas deben mantenerse puntuales, ya que hacen un camino de operaciones a lo largo de la red, esta es la ruta crítica a lo largo del proyecto.

La ruta crítica permite la planeación más económica de las operaciones para cumplir con las fechas que se desean. Por último nos da un medio para evaluar el efecto de las variaciones, como los trabajos extras o las deducciones, sobre el tiempo de terminación y el costo de los trabajos.

2.8.2 Datos básicos para usar la ruta crítica

Para usar este método es necesario contar con una estimación precisa del tiempo y el costo de cada una de las operaciones que comprende el proyecto. Las operaciones que componen el proyecto pueden ser elementos reales de trabajo que aparecen en la cuenta, estos mismos pueden combinarse o dividirse en más operaciones y procesos más adecuados a los trabajos que se tienen en cuenta.

Los datos de costo y de tiempo toman en cuenta variaciones como más horas de trabajo, cambio de turnos, el tamaño de las cuadrillas, el uso de equipos opcionales, los cambios en los métodos de construcción o cualquier otra variación en el proyecto.

Para los proyectos que requieren un vasto número de operaciones la mejor solución es llevar los cálculos mediante computadoras. En la mayoría de los proyectos de construcción los cálculos personales serán suficientes, ya que estos tienen la ventaja de que quien planifica obtiene un mayor conocimiento del proyecto y sus problemas. En ambos casos se requieren los mismos datos de entrada y se obtiene la misma información de salida.

2.9 Diagrama de red

Una red es un diagrama de un programa o proyecto, que muestra la secuencia correcta y la relación entre las actividades y eventos que se requieren para lograr los objetivos finales.

En la red orientada a las actividades o diagramas de flecha cada línea o flecha representa una actividad, y la relación entre las actividades se representa mediante la relación de una flecha con las demás, cada circulo o nodo representa un evento. En la figura 2.3 encontramos este tipo de diagramas.

La flecha solo representa el paso del tiempo en dirección de la flecha. Cada actividad individual se representa mediante una flecha y el inicio de todas las actividades que parten de un nodo, y depende de la terminación de todas las actividades que llegan a dicho nodo. A esto se le denomina *tiempo del evento*.

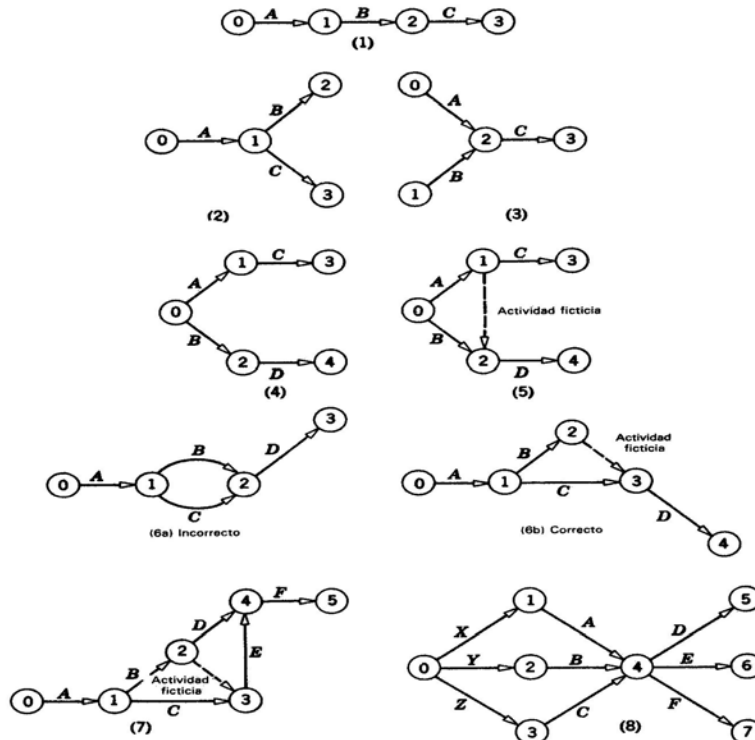


Figura 2.3 Elementos de un diagrama de flechas

Los diagramas de red de la figura 2.4 muestran algunos de los procedimientos lógicos adoptados por los métodos de la ruta crítica. En 1) A debe preceder a B y B preceder a C. en 2) A debe preceder tanto a B como a C. en 3) A y B deben preceder a C en 4) A debe preceder a C y B debe preceder a D. en 5) A debe preceder a C y D, y B debe preceder a D; esto requiere flechas de conexión, de “*actividad ficticia o de liga*” para mantener la secuencia lógica de hechos.

Las actividades ficticias que no tienen costo y no requieren tiempo de ejecución (flechas punteadas), pueden requerirse también para mantener una identificación específica entre los eventos, como puede verse en 6) en donde A debe preceder a D y a C, B y C deben preceder a D.

El proyecto debe comenzar en el primer evento y procede evento por evento hasta la terminación de los trabajos. Al dibujar una red es regla que:

- Cada nodo represente de manera correcta la relación completa entre todas las actividades que entren y salgan
- Las actividades que salgan del nodo tengan predecesores idénticos, y que todas las actividades que entren tengan seguidores idénticos
- Cada actividad tenga un grupo único de números asignado al mismo, con el número de cola menor que el número de cabeza.

Hay otro tipo de diagrama de red en el que los nodos representan actividades y las líneas o flechas representan relaciones de tiempo entre las actividades; las flechas representan por lo tanto a los eventos. Estas redes llamadas redes orientadas a los hechos, diagramas de precedencia y diagramas en círculo se construyen de forma similar a las redes orientadas a las actividades.

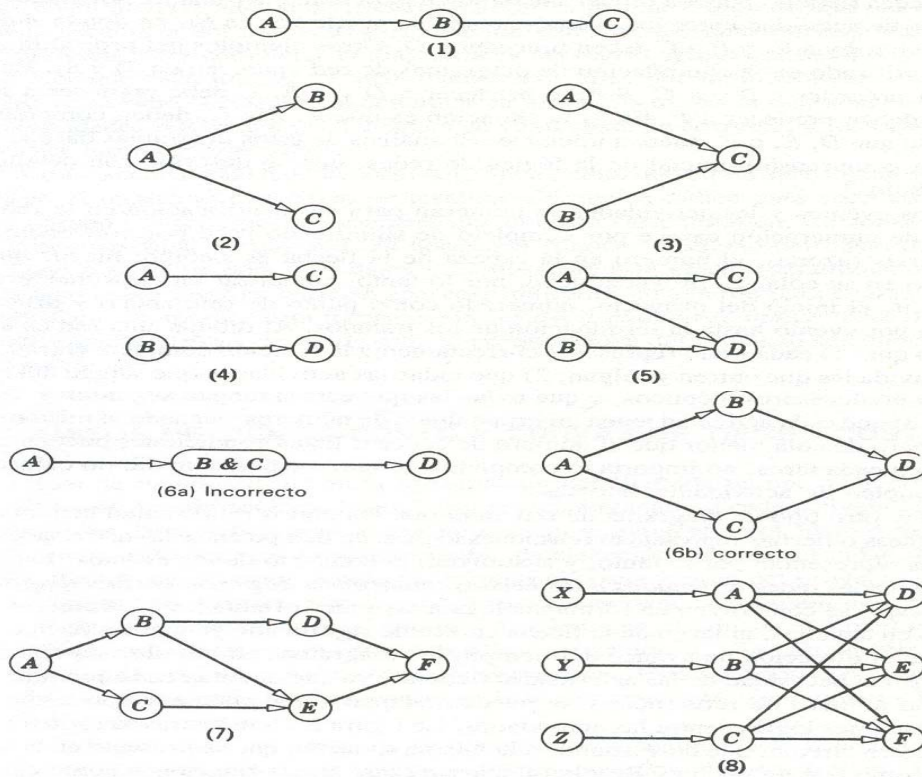


Figura 2.4 Elementos de un diagrama en círculos

Por definición, un diagrama de red es la representación esquemática de un proyecto, en la que aparecen las actividades relevantes y los tiempos requeridos para su terminación. Para cada actividad hay un costo correspondiente, que se aplica sólo en el momento de terminación que se indica para cada actividad.

2.10 Determinación de la ruta crítica

Ya que el proyecto se ha descompuesto en actividades viables únicas, enumerado las actividades, y trazado el diagrama de red, lo siguiente es asignar un tiempo a cada actividad de la red; para ello se utilizan los tiempos de trabajo procedentes de todos los datos normales de tiempo costo. En la figura 2.5 se muestra un diagrama de flechas que corresponde a un ejemplo simple de 13 actividades. El primer trazo se vería como en *a*. La asignación de los tiempos correspondientes a la solución normal a la flecha aparece en *b*. Junto a cada flecha se escribe el tiempo necesario

para completar el trabajo correspondiente nombrado duración de una actividad. Una actividad ficticia tiene una duración nula.

A partir del inicio, una suma dará el tiempo más próximo posible en el que las actividades que lleguen a cada evento puedan terminar; este es, entonces, el tiempo más próximo de terminación (TPT) del evento. El tiempo más próximo de cada evento se anota al lado izquierdo del óvalo adyacente. Después de proceder a la derecha a través de la red se deriva el tiempo más próximo de terminación del último evento; este es el tiempo más próximo posible de terminación del proyecto y es la suma de las duraciones de la ruta más larga posible a través de la red desde el inicio hasta la terminación. En *b* es de 63 días. Si este periodo se acepta como duración del proyecto, el paso siguiente consiste en retroceder desde el evento final, restando la duración de cada actividad, para encontrar el tiempo más remoto de terminación (TRT).

Este tiempo es permisible para cada evento si el proyecto debe terminarse al tiempo más próximo de terminación del evento final. Si el evento no se logra antes de su tiempo más remoto de terminación el proyecto se retrasara. El valor del tiempo más remoto de terminación se coloca al lado derecho del óvalo adyacente a cada evento, como se indica en 2.5c..

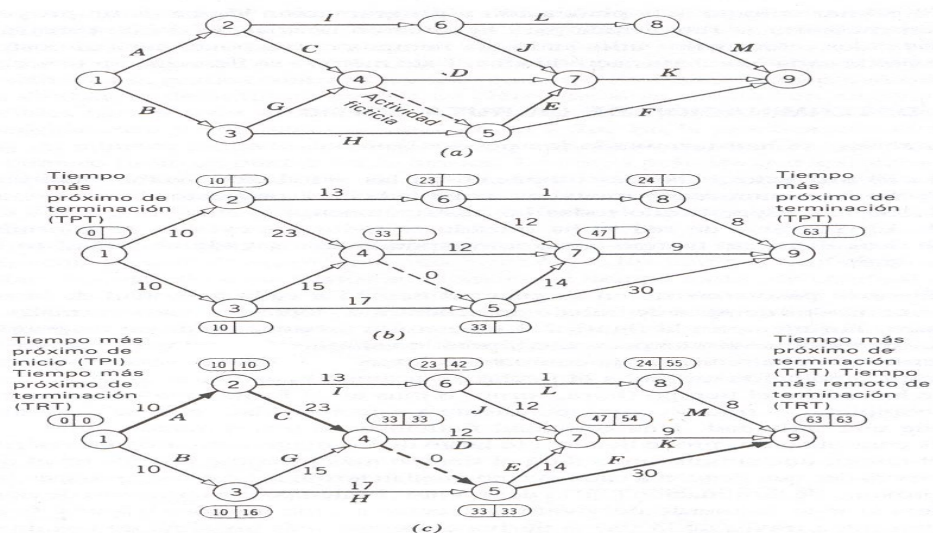


Figura 2.5 Pasos en la determinación de la ruta crítica para una red. a) Primer bosquejo del diagrama de red. b) Determinación de los tiempos del primer bosquejo. c) Ruta crítica para una duración correspondiente a la solución normal

Ahora existen dos cifras en cada óvalo que dan el tiempo más próximo y el tiempo más remoto de terminación de cada evento; la diferencia entre ambos números es la holgura disponible para retrasos y se le llama flotante. Cuando los números en cada casilla son los mismos significa que no existe holgura y estos son los hechos críticos.

2.11 Tiempos de actividad y tiempos flotantes

Cuando ya se han obtenido los tiempos próximos y remotos de terminación para los eventos del proyecto, lo siguiente es encontrar todos los tiempos de actividad y los tiempos flotantes.

El tiempo flotante puede dividirse de varias formas. La cantidad total de tiempo en que puede demorarse la iniciación de una actividad sin ocasionar que el proyecto dure más tiempo se denomina tiempo flotante total (TFT). El tiempo flotante libre (TFL) es la cantidad de tiempo por el cual puede demorarse el comienzo de una actividad sin interferir con el de las actividades que la suceden.

Para determinar los flotantes disponibles para cualquier actividad, es necesario calcular los tiempos más próximos y remotos de iniciación, y también los tiempos de terminación más próximos y más remotos a partir de los datos de la red. La relación entre estos tiempos de actividad en los flotantes definidos pueden expresarse como ecuaciones simples. Así para cualquier actividad el tiempo:

- Más próximo de iniciación = más próximo de terminación de su evento de cola (2.1)
- Más próximo de terminación = más próximo de iniciación + su duración (2.2)
- Más remoto de terminación = más remoto de terminación de su evento inicial (2.3)
- Más remoto de iniciación = más remoto de terminación – su duración (2.4)
- Flotante total = más remoto de terminación – más próximo de terminación (2.5)
= más remoto de iniciación – mas próximo de iniciación

- Flotante libre = al más próximo de iniciación de la actividad siguiente – su propio TPT (2.6)

2.12 Programación de actividades

El conocimiento del tiempo flotante disponible permite el desplazamiento de las actividades dentro del programa, para ayudar a normalizar el trabajo y los requerimientos de la planta. Otra ventaja importante que la industria de la construcción ha encontrado en el uso del método de ruta crítica; es la manipulación correcta de los tiempos flotantes libres de un plan de construcción con menos imprevistos sin exceder el tiempo total del proyecto.

Tabla 2.1 Programación de actividades

Actividad										
Elemento	Flecha	Duración	TPI	TRI	TPT	TRT	TFT	TFL	TFI	Observaciones
A	1-2	10	0	0	10	10	0	0	0	Crítica
B	1-3	10	0	6	10	16	6	0	6	—
C	2-4	23	10	10	33	33	0	0	0	Crítica
I	2-6	13	10	29	23	42	19	0	19	—
G	3-4	15	10	18	25	33	8	8	0	—
H	3-5	17	10	16	27	33	6	6	0	—
Actividad ficticia	4-5	0	33	33	33	33	0	0	0	Crítica
D	4-7	12	33	42	45	54	9	2	7	—
E	5-7	14	33	40	47	54	7	0	7	—
F	5-9	30	33	33	63	63	0	0	0	Crítica
J	6-7	12	23	42	35	54	19	12	7	—
L	6-8	1	23	54	24	55	31	0	31	—
K	7-9	9	47	54	56	63	7	7	0	—
M	8-9	8	24	55	32	63	31	31	0	—

Fuete: Michael Tischer PC Interno. Programación de sistema. Editorial Marcombo

2.13 Como iniciar una red

La preparación de una red consiste en la división del proyecto en actividades. No es necesario utilizar un orden específico pero si es importante la clasificación por oficios, habilidades, ubicaciones y requerimientos de planta.

El segundo paso es formular la lógica de la construcción, o el orden específico de las actividades. Una idea para la buena realización del orden específico consiste en determinar las restricciones evidentes, tanto físicas como de seguridad, y de otros recursos y la determinación de la gerencia o dirección.

Con frecuencia es útil tabular constantemente las actividades; observando las actividades que deben preceder y las que deben seguir cada actividad. La disposición de la red se lleva a cabo mediante ensayos de prueba y error.

2.14 Método de programación (PERT)

El objetivo de los sistemas tipo PERT consiste en ayudar en la planeación y el control, por lo que no implica mucha optimización directa. De igual forma evalúa el efecto de los cambios del programa.

Todos los sistemas PERT emplean una red de proyecto para visualizar gráficamente la interrelación entre sus elementos. Cada arco de la red representa una actividad, es decir, cada nodo representa un evento. Las puntas de flecha indican la secuencia en la que debe ocurrir cada uno de esos eventos. Un evento debe preceder a la iniciación de las actividades que llegan a ese nodo. El nodo hacia el que todas las actividades se dirigen es el evento que corresponde a la terminación desde su concepción, o bien al plan para su terminación.

Una vez desarrollada la red de un proyecto, el siguiente paso es estimar el tiempo que se requiere para cada actividad. El tiempo más próximo para un evento es el tiempo (estimado) en el que ocurrirá el evento si las actividades que lo proceden comienzan lo más pronto posible. Para cada evento se hace un cálculo del tiempo en el que ocurrirá cada uno, si cada evento precedente inmediato ocurre en su tiempo más próximo y cada actividad que interviene consume exactamente su tiempo estimado. Este proceso se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Calculo de los tiempos más próximos para el ejemplo de la construcción de una casa.

Evento	Evento Inmediatamente Precedente	Tiempo más próximo + Tiempo de la actividad	Tiempo = más próximo máximo
1	—	—	0
2	1	0 + 2	2
3	2	2 + 4	6
4	3	6 + 10	16
5	4	16 + 4	20
6	4	16 + 6	22
7	4	16+7	25
	5	20+5	
8	5	20+0	29
	6	22+7	
9	7	25+8	33

Fuente: Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman (1993) Introducción a la Investigación de Operaciones, Quinta edición, Editorial McGraw Hill, México.

El tiempo más lejano para un evento es el último momento (estimado) en el que puede ocurrir sin retrasar la terminación del proyecto más allá de su tiempo más próximo. Para cada evento el cálculo del tiempo final en el que puede ocurrir un evento de manera que los que le siguen ocurran en su tiempo más lejano, es si cada actividad involucrada consume exactamente su tiempo estimado.

Sea la actividad (i, j) la actividad que va del evento i al evento j en la red del proyecto. La holgura para un evento es la diferencia entre su tiempo más lejano y su tiempo más próximo. La holgura para una actividad (i, j) es la diferencia entre [el tiempo más lejano del evento] y [el tiempo más próximo del evento i más el tiempo estimado para la actividad].

Así, si se supone que todo lo demás marcha a tiempo, la holgura para un evento indica cuanto retraso se puede tolerar para llegar a ese evento sin retrasar la terminación del proyecto, y la holgura para una actividad indica lo mismo respecto a un retraso en la terminación de esa actividad. En la tabla 2.2 se ilustran los cálculos de estas holguras para el proyecto de la construcción de una casa.

Esta información sobre los tiempos más cercanos y más lejanos, las holguras y la ruta crítica, es invaluable para el administrador del proyecto.

Tabla 2.3. *Calculo de las holguras para el ejemplo de la construcción de una casa.*

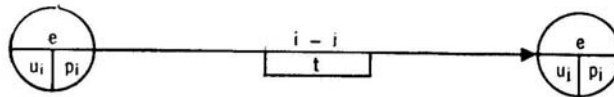
Evento	Holgura	Actividad	Holgura
1	$0 - 0 = 0$	(1,2)	$2 - (0+2) = 0$
2	$2 - 2 = 0$	(2,3)	$6 - (2+4) = 0$
3	$6 - 6 = 0$	(3,4)	$16 - (6+10) = 0$
4	$16 - 16 = 0$	(4,5)	$20 - (16+4) = 0$
5	$20 - 20 = 0$	(4,6)	$26 - (16+6) = 4$
6	$26 - 22 = 4$	(4,7)	$25 - (16+7) = 2$
7	$25 - 25 = 0$	(5,7)	$25 - (20+5) = 0$
8	$33 - 29 = 4$	(6,8)	$33 - (22+7) = 4$
9	$33 - 33 = 0$	(7,9)	$33 - (25+8) = 0$
10	$42 - 38 = 4$	(8,10)	$42 - (29+9) = 4$
11	$38 - 37 = 1$	(9,11)	$38 - (33+4) = 1$
12	$38 - 38 = 0$	(9,12)	$38 - (33+5) = 0$
13	$44 - 44 = 0$	(10,13)	$44 - (38+2) = 4$
		(12,13)	$44 - (38+6) = 0$

Fuente: Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman (1993) *Introducción a la Investigación de Operaciones*, Quinta edición, Editorial McGraw Hill, México.

2.14.1 Graficas PERT

La gráfica PERT es una gráfica original de redes no medidas que contiene los datos de las actividades representadas por flechas que parten de un evento i y terminan en un evento j (fig.2.7)

Figura 2.7 Grafica de redes no medidas



En la parte superior de la flecha se indica el número de identificación, generalmente los números de los eventos ($i-j$). En la parte inferior aparece dentro de un rectángulo la duración estándar (t) de la actividad. En la mitad superior del evento se anota el número progresivo, en el cuarto inferior izquierdo la última lectura del proyecto y en el cuarto inferior derecho la primera lectura del proyecto.

Esta gráfica tiene como ventaja la de informar las fechas más tempranas y más tardías de iniciación y terminación de cada actividad, sin tener que recurrir a la matriz de holuras (fig. 2.8)

2.14.2. Enfoque de tres estimaciones de PERT.

La versión original de PERT usa tres tipos diferentes de estimaciones par los tiempos de las actividades, con el fin de obtener información básica sobre su distribución de probabilidad. Esta información para todos los tiempos de las actividades se utiliza para estimar la probabilidad de terminar el proyecto en la fecha programada.

Las tres estimaciones empleadas por PERT para cada actividad son una estimación más probable, una estimación optimista y una estimación pesimista. La estimación mas probable (denotada por m) intenta ser la estimación mas realista del tiempo que puede consumir una actividad. Es una estimación de la moda (el punto más alto) de la distribución de probabilidad para el tiempo de la actividad. La estimación optimista (denotada por a) procura ser el tiempo

poco probable pero posible si todo sale bien; es en esencia una estimación de la cota inferior de la distribución de la probabilidad. La estimación pesimista (denotada por **b**) sea el tiempo poco probable pero posible si todo sale mal. En la figura 2.8 se muestra la localización ideal de estas tres estimaciones con respecto a la distribución de probabilidad.

Modelo de distribución de probabilidad para los tiempos de las actividades en el enfoque de tres estimaciones de PERT: m = estimación probable, a = estimación optimista y b = estimación pesimista.

Se hacen dos suposiciones para convertir m , a y b en estimaciones del valor esperado (t_e) y la varianza (σ^2) del tiempo que requiere la actividad. Una suposición es que α , la desviación estándar, es igual a un sexto del intervalo de los requerimientos de tiempo razonablemente posibles; esto es: $\sigma^2 = [\frac{1}{6}(b - a)]^2$ EC (2.1)

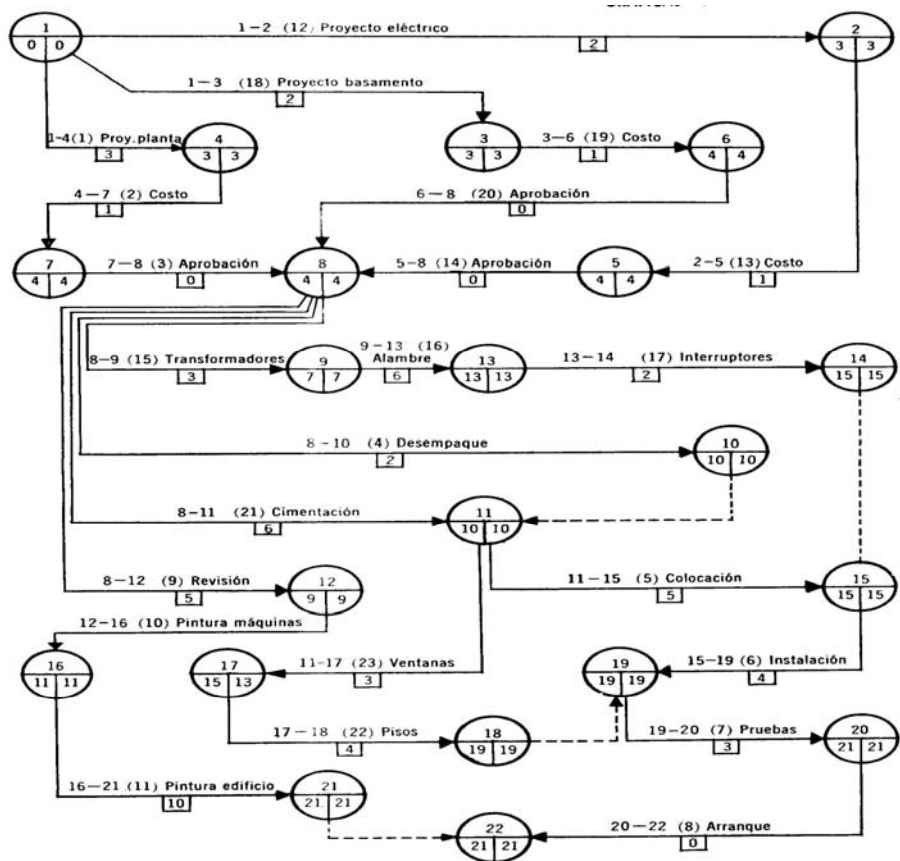


Figura 2.8 Se ve ahora cómo se presenta la ampliación de la fábrica por medio de una gráfica PERT.

Es la estimación deseada de la variancia. El razonamiento para hacer esta suposición es que se considera que las colas de muchas distribuciones de probabilidad están mas o menos a tres desviaciones estándar de la media, de manera que existe una dispersión de alrededor de seis desviaciones estándar entre las colas.

Para obtener la estimación del valor esperado (t_e), también es necesaria una suposición sobre la forma de la distribución de probabilidad, se supone que la distribución es una distribución beta. Este tipo de distribución es razonable para este propósito. Si se usa este modelo el valor esperado del tiempo de una actividad es aproximadamente:

$$t_e = \frac{1}{3} \left[2m + \frac{1}{2}(a + b) \right]. \quad \text{.....EC (2.2)}$$

El medio del intervalo $(a + b)/ 2$ se encuentra entre a y b de manera que t_e es la media aritmética ponderada de la moda y la mitad del intervalo, con un peso de dos tercios para la moda.

Después de calcular el valor esperado y la variancia estimados, se necesitan tres suposiciones adicionales para poder calcular la probabilidad de terminar el proyecto a tiempo. Una es que los tiempos de las actividades son estadísticamente independientes. La segunda es que la ruta crítica (en términos de los tiempos esperados) siempre requiere un tiempo total mayor que cualquier otra ruta. Esto implica que con el valor esperado y la variancia, es sencillo encontrar la probabilidad de que esta variable aleatoria normal (tiempo del proyecto) sea menor que el tiempo de terminación programado.