

*Agente*

FASCICULO No. 5

**IICA-CIDIA**

**PROGRAMACION DE ACTIVIDADES Y USO DE RECURSOS**

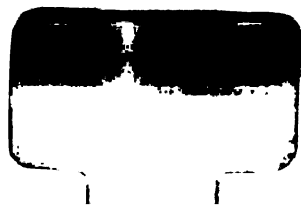
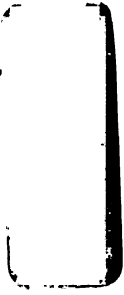


**PROGRAMA  
MANEJO DE PROYECTOS**



~~X~~

IICA  
14  
59prm  
asc.5



FASCICULO No. 5

IICA-CIDIA

IICA  
C56  
743

PROGRAMACION DE ACTIVIDADES Y USO DE RECURSOS

# PROGRAMA MANEJO DE PROYECTOS

Preparado por:

Dr. C. Pablo Roberts  
Ing. Carlos D. Vallejo  
Ing. José Leñero (Consultor)



PRIMERA EDICION - Enero 1979 - San José, Costa Rica

00003952

BN

7/27/77

CONTENIDO

	<u>Página</u>
<b>CAPITULO 1: INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1    Objetivo del fascículo	1
1.2    Significado y alcance de los objetivos de las técnicas	1
1.3    Utilidad del empleo de métodos de programación y control	5
<b>CAPITULO 2: MODELOS DE PROGRAMACION</b>	<b>7</b>
2.1    Modelos básicos	7
2.2    Variaciones y extensiones de los modelos básicos	13
2.3.    Justificación de la elección de los métodos que se desarrollan en este fascículo	19
<b>CAPITULO 3: METODO DE GANTT</b>	<b>20</b>
3.1    Características del método	20
3.2    El proceso de la programación	21
3.3    Ejemplos de programación	24
3.4    Análisis de recursos	27
3.5    Cronograma financiero	32
3.6    Virtudes y limitaciones del método de Gantt	33
<b>CAPITULO 4: METODO CPM</b>	<b>37</b>
4.1    Características del modelo	37
4.2    Cálculo de la red	41
4.3    Análisis de recursos	61
4.4    Montaje de la red	66
<b>CAPITULO 5: METODO ABC</b>	<b>77</b>
5.1.    Características del modelo	77
5.2.    Cálculo de la red	78
5.3    Análisis de recursos	89
5.4    Montaje de la red	98
<b>CAPITULO 6: IDENTIFICACION DE LAS ACTIVIDADES MEDIANTE EL DESGLOSE ANALITICO DEL PROYECTO</b>	<b>107</b>
6.1    Desglose analítico del proyecto	108
6.2    Ejemplo de desglose analítico	109
<b>CAPÍTULO 7: CONSIDERACIONES PARA DETERMINAR LA DURACION DE LAS ACTIVIDADES</b>	<b>112</b>
<b>CAPITULO 8: BIBLIOGRAFIA Y GLOSARIO</b>	<b>117</b>



## PRESENTACION

El Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA), respaldado por otros organismos, ha acumulado durante varios años experiencias y recogido conocimientos acerca del desarrollo rural. En 1976, partiendo de las experiencias dirigidas hacia la administración del desarrollo se estableció el Programa "Manejo de Proyectos" con la financiación parcial de la Agencia Internacional para el Desarrollo (AID Grant No. AID/ta.G-1316). El propósito de este convenio era proporcionar algunas herramientas, técnicas y conocimientos que contribuyeran a desarrollar las destrezas y habilidades necesarias para la eficiente ejecución de los proyectos. A partir de julio de 1978, el IICA creó la División de Manejo de Proyectos para estar al servicio de las Oficinas Nacionales del IICA, en su afán de poner en práctica estas destrezas, habilidades y conocimientos.

Uno de los logros principales del Programa ha sido la elaboración de una Guía para "Manejo de Proyectos", la cual presenta pautas y algunos criterios que deben observarse en el manejo de los proyectos. Además, intenta contribuir con instrumentos prácticos que servirán al técnico en el terreno. La Guía para "Manejo de Proyectos" se divide en ocho puntos denominados áreas funcionales, que corresponden a las principales preocupaciones relacionadas con las funciones de la gerencia que se encuentran en el manejo de los proyectos de desarrollo rural. El enfoque de los proyectos de desarrollo rural -no solamente agropecuarios- conviene porque permite identificar, analizar y solucionar una problemática más compleja, particularmente la relacionada con la coordinación institucional y la participación del beneficiario.

Estas áreas funcionales son:

- Análisis de Antecedentes
- Preparación para la ejecución
- Organización y Coordinación Institucional

- Organización de Recursos
- Programación de Actividades
- Mecanismos Operativos
- Supervisión-Control e Información
- Evaluación

La Guía explica el alcance y contenido de cada área, pero no especifica detalladamente las herramientas que deben utilizarse en cada paso. Por ello se presentan los fascículos sobre aquellos aspectos que requieren una mayor elaboración metodológica. Estos fascículos integran tres elementos o influencias: la extracción de la literatura de los principios y experiencias más significativas, la contribución de expertos contratados especialmente para elaborar el contenido y, sobre todo, la contribución de las experiencias vividas en varios proyectos, lo cual ha permitido probar y modificar los instrumentos para asegurar su utilidad. El área funcional cinco "Programación de Actividades", requiere tal ampliación metodológica. El fascículo "Programación de Actividades y Uso de Recursos" presenta una metodología apropiada para convertir los objetivos de un proyecto en una serie de actividades lógicas, con secuencia y bajo la responsabilidad de personas o entidades específicas y con los recursos indicados.

Finalmente, se desea enfatizar que estos materiales recogen técnicas conocimientos, destrezas y habilidad que han servido en la práctica al personal de campo y a los jefes de proyectos en varios países latinoamericanos. Se espera que el ordenamiento de dicho material sirva para sistematizar los métodos y apoyar a los responsables de la ejecución de proyectos.



## CAPITULO 1: INTRODUCCION

La Guía para el Manejo de Proyectos contempla ocho áreas de acción relacionadas con las funciones inherentes a la gerencia que permiten ejecutar satisfactoriamente los proyectos. La quinta de ellas "Programación de Actividades" describe el proceso de identificar las tareas que exige un proyecto y su ordenación. Define el tiempo en que se desarrolla; cuantifica el monto y tipo de recursos que exigen y determina quién o quiénes se responsabilizarán para ejecutarlos. Además, varios instrumentos de programación han sido elaborados; el fascículo presenta los más importantes y los que demuestran haber agilizado proyectos agrícolas y de desarrollo rural.

### 1.1 Objetivo del fascículo

El objetivo primordial de este fascículo es presentar las técnicas que permiten alcanzar las siguientes metas:

- a. Establecer las secuencias lógicas y convenientes para ejecutar las actividades del proyecto.
- b. Determinar la duración de cada actividad y el tiempo mínimo necesario para ejecutar el proyecto.
- c. Determinar el calendario de ejecución de cada actividad que satisfaga todos los objetivos anteriores.

### 1.2 Significado y alcance de los objetivos de las técnicas

El enfoque de sistemas considera que en un proyecto las actividades son el proceso que utiliza insumos externos para elaborar los bienes y servicios que se definieron para un objetivo. Pueden definirse también las actividades como el conjunto de subprocesos del proyecto, cada proceso con la misión de transformar insumos

que recibe del ambiente o de otra actividad previa a un "producto" que, a su vez, puede servir de insumo para actividades posteriores. Las actividades finales son las excepciones porque concluyen directamente en el producto final del proyecto.

a. Secuencias entre las actividades

De la definición anterior se desprende que cada actividad está ligada al resto del proyecto por medio de dos tipos de enlace:

- i. Los que le transfieren los productos de otras actividades como insumos necesarios para su proceso, y
- ii. Los que le permiten transferir su producto a otras actividades que lo necesitan como insumo.

Establecer las secuencias lógicas y convenientes para las actividades significa identificar para cada actividad las secuencias que la proveen de insumos y de las usuarias del producto. Una vez establecidas estas relaciones se pueden determinar las secuencias y los paralelismos entre todas ellas.

Para establecer las relaciones entre cada actividad, los métodos CPM y ABC que se desarrollan en los capítulos 4 y 5, utilizan las tablas de secuencias. Para las relaciones entre todas ellas, se utilizan redes de flechas y de bolques, respectivamente.

Cabe señalar que el método Gantt, que se desarrolla en el capítulo 3, no contempla herramientas para este objetivo.

b. Duración de las actividades y del proyecto

La duración de cada actividad obedece a varios factores tales como la metodología para ejecutarla, la calidad y cantidad de

los recursos que se emplean, la disponibilidad oportuna de esos recursos, los estados de la naturaleza que pueden intervenir, y otros determinantes cuya influencia no se puede predecir con exactitud.

De los factores mencionados hay algunos controlables (métodos y recursos) y otros no controlables (intensidad de lluvias, composición del subsuelo y resultados de investigaciones).

Por lo tanto se han desarrollado métodos de programación que consideran sólo los factores controlables, o sean los métodos llamados "determinísticos" en los que se supone que la duración de las actividades se cumplirá como fue prevista. Los métodos que determinan la influencia de los factores que no se pueden predecir, pero que se puede estimar una probabilidad de que ocurran, son los llamados "probabilísticos".

Ambos tipos de métodos tienen una base común, pero los probabilísticos son más complejos debido a la mayor extensión de sus supuestos.

Una vez calculada la duración de cada actividad, de acuerdo con las consideraciones que se exponen en el capítulo 7, los métodos CPM y ABC permiten calcular la duración de la secuencia de actividades que necesita mayor tiempo para completar su ejecución. Esa secuencia es la que determina la duración mínima del proyecto y por ello es conocida como la "ruta crítica" o "camino crítico".

#### c. Análisis de recursos

La determinación de la duración de cada actividad implica la definición de los recursos que permitirán realizarla en ese plazo. Esto se realiza en forma independiente para cada

actividad y de acuerdo con la entidad responsable de cumplir con la actividad.

Una vez calculada la red de secuencias aparecen actividades que deben ejecutarse paralelamente, lo cual hace necesario un análisis para verificar si las sumas de los recursos requeridos en cada unidad de tiempo no sobrepasan los disponibles.

Para efectuar el análisis se recurre a los cronogramas, al de Gantt o al ABC, los cuales permiten sumar en forma fácil los recursos que demanda en cada unidad de tiempo, la programación hecha.

Si los requerimientos de recursos sobrepasaran a la disponibilidad de ellos en ciertos períodos, habrá necesidad de modificar la primera programación, lo que implica ensayar alternativas que respeten las secuencias obligadas y que afecten lo menos posible la duración del proyecto. En esta labor, juega un papel importante el concepto de holgura de las actividades no críticas ya que, mientras la nueva programación de cada actividad no se haga más tarde de la fecha límite encontrada en el calculo de la red, la duración del proyecto no variará.

Un segundo aspecto importante que considera este objetivo es procurar que los recursos permanezcan ociosos el menor tiempo posible, lo cual también conlleva ajustes en los calendarios de ejecución de las actividades que los ocupan.

#### d. Calendario de ejecución

El objetivo final de las técnicas de programación es establecer el calendario de ejecución viable de todas las actividades de modo que resuma los análisis anteriores. Ese calendario constituye el plan de ejecución del proyecto.

### 1.3 Utilidad del empleo de métodos de programación y control

Muchos rechazan la idea de programar en la forma que se ha presentado por considerarlo un ejercicio teórico que no resulta en la práctica. Una investigación hecha por Edward Davis en 1974 (52) entre las firmas constructoras más grandes de los Estados Unidos, mostró que el 80% usaba métodos de programación por redes, pero de este porcentaje el 16% indicó que no había logrado los resultados esperados y el 61% que sus resultados eran de éxito moderado.

Al analizar estas respuestas, más bien desalentadoras, Davis pudo establecer que ellas se debían principalmente a dos factores:

a) falta de apoyo de la alta dirección y b) falta de comprensión de los métodos por parte del personal que los aplica.

Este análisis concuerda con la experiencia de los países latinoamericanos en donde muchos conocen la mecánica de programar, pero no el significado y alcance de ella. Caen en dificultades similares señaladas que hace ineficiente el uso de estas técnicas.

Sin embargo, todos los que las han usado con cabal comprensión han obtenido los resultados esperados, como lo demuestra el empleo creciente que tienen en todo el mundo.

La ventaja de emplear métodos de programación y control por redes reside en la posibilidad de ordenar sistemáticamente el plan de trabajo, de establecer las necesidades de recursos y de hacer óptimo su uso.

Todo ello requiere tiempo, esfuerzo imaginativo y trabajo laborioso. Naturalmente, implica cierto costo y la necesidad de demorar el inicio de la ejecución, mientras se completa el planeamiento. Pero estas desventajas son insignificantes en comparación con los ahorros que resultan a largo plazo.

Es necesario tener presente que el costo de la programación se paga con los muchos errores que se evitan por descoordinaciones. Disminuyen los trabajos duplicados y las pérdidas por atraso en el término del proyecto.

Desgraciadamente , los costos de esos errores no se asientan en los libros de contabilidad y por eso, para muchas personas pasan inadvertidos; sin embargo son reales, tangibles y muchas veces cuantiosos.

El hecho de programar no da el don de la profecía para conocer lo que ocurrirá en el futuro. Sin embargo, permite iniciar el proyecto con plan claro y definido, y si se acompaña con un sistema de control apropiado, permite advertir oportunamente cualquier desviación del plan original y tomar de inmediato las decisiones correctivas que correspondan.

La oportunidad para detectar las desviaciones, así como la información para tomar las decisiones correctivas, dependen en gran medida del grado de precisión y detalle con que se haya programado. La eficacia de las decisiones correctivas depende de la oportunidad con que se detecte el problema y de la información que se tenga acerca de sus causas y efectos.

Cada vez que se toma una decisión correctiva, ésta modifica en alguna forma la programación existente. Ello implica la necesidad de programar las actividades afectadas por la decisión, que no será sólo las que presentaron el problema, sino también aquellas que esperaban su producto como insumo. Por ello, no tiene sentido ver en los muros de las oficinas de los Jefes de Proyecto redes de programación descoloridas por el tiempo.

La condición básica para que la programación sirva para manejar un proyecto, consiste en que sea un instrumento vivo que se modifique con cada decisión correctiva.

Si bien la actualización permanente implica un cúmulo de trabajo que hay que hacer y pagar, la pregunta que debe estar siempre en la mente del Jefe de Proyecto es: ¿cuánto costarían los errores que pueden evitarse con una programación actualizada?

## CAPITULO 2: MODELOS DE PROGRAMACION

El objetivo de este capítulo es revisar los modelos de programación, siguiendo el orden cronológico en que han sido presentados.

### 2.1 Modelos básicos

#### a. Diagrama de Gantt

Es el método más antiguo, pero que se mantiene con gran popularidad. El modelo fue propuesto a principios del siglo por Henry L. Gantt para programar procesos industriales. A raíz de su gran éxito en la programación logística de la primera guerra mundial, pasó a ser el método favorito para programar distintos tipos de procesos, entre ellos los proyectos.

El capítulo 3 presenta este método y algunas extensiones que se le han agregado posteriormente.

#### b. Diagrama de Flujo

No obstante la claridad y sencillez del Diagrama de Gantt, tiene la gran limitación de no señalar la secuencia entre las actividades.

Los Diagramas de Flujo, o Diagramas de Proceso, se crearon para salvar la limitación del de Gantt. Consisten en la descripción gráfica de las secuencias en que deben ejecutarse las actividades. Utilizan figuras geométricas que representan las actividades y flechas para señalar las secuencias.

Mediante el uso de distintas figuras geométricas, estos diagramas pueden distinguir entre distintos tipos de actividades como las de acción, de transporte, de espera, de decisión, etc.

La variedad de posibilidades que dan estos símbolos ha hecho que no haya un lenguaje universal, sino que se adopte el adecuado para cada tipo de proceso. Algunos han estandarizado sus símbolos, como ocurre con los programas de computación, los de análisis administrativo y otros.

Los Diagramas de Flujo resolvieron el problema de expresar las secuencias, pero no la duración de las actividades ni la distribución temporal de ellas, Por eso el uso que hoy tienen es planificar procesos en que la secuencia es más importante que el tiempo en que se realizan las actividades, como es el caso de la normalización de procesos repetitivos.

No se ha anotado bibliografía sobre estos métodos por la variedad de su simbología, pero cualquier texto de computación o de análisis administrativo trae explicaciones acerca de los que emplean en su especialidad. Los principios son los mismos de los que se usan en cualquier otro tipo de aplicación.

#### c. Línea de balance

Este método tiene por objeto programar y controlar la elaboración de productos complejos que resultan del ensamble de varios componentes, cada uno de los cuales tiene sus propias características de fabricación o de suministro. Estas características de los procesos hacen necesaria una coordinación cuidadosa para que cada componente afluya a los puntos de ensamble en la cantidad y oportunidad requeridas.

Para cumplir sus objetivos el método combina tres modelos:  
i) programa de entrega o acabado de los productos finales,



ii) diagrama de proceso para el ensamble de una unidad y para fabricación de cada parte y iii) diagrama de control del estado de la producción.

- i. Programa de entrega: el método lo expresa en forma de una curva en un eje de coordenadas, en que la abcisa lleva el tiempo y la ordenada la suma acumulada de productos terminados.
  
- ii. Diagrama del proceso unitario: es una aplicación del método descrito en b., al cual se le introduce el concepto de tiempo, señalando el plazo que media entre el ensamble de cada componente y la terminación del proceso. El ensamble de cada componente constituye un punto clave que el método se propone programar y controlar. El conocimiento de la anticipación con que debe ocurrir cada punto clave y del número de unidades del componente que deben ensamblarse, permite hacer un programa de entregas de cada componente, similar al de los productos terminados. Del mismo modo se pueden hacer diagramas de procesos unitarios para la fabricación de los componentes.
  
- iii. Diagrama de control: consiste en un eje de coordenadas en cuya abcisa se marcan los distintos puntos de control y en cuya ordenada hay una escala indicativa del número acumulado de componentes. En cada fecha de control se pone una columna para cada punto clave, cuya altura indica el número de unidades acumuladas de ese componente que se debieran haber producido (o suministrado) en esa fecha, de acuerdo con la programación. Por otra parte, se hace el recuento físico de los componentes ya ensamblados, más los disponibles, y su cantidad se marca con un trazo horizontal sobre cada punto clave. La diferencia entre el extremo de la columna (programado) y el trazo horizontal (realizado)

permite visualizar el grado de adelanto o atraso en la disponibilidad de cada componente, información muy útil para tomar las decisiones correctivas que correspondan. 1/

d. **Redes de flechas**

Los métodos que se han descrito en los párrafos anteriores muestran un enriquecimiento creciente en su potencialidad. Ninguno de ellos es suficiente para programar proyectos complejos.

En 1956, S.P.S. Andrew del Institute of Civil Engineers de Inglaterra, publica un método para programar el mantenimiento de grandes fábricas al que llama de la "secuencia controladora de la duración"(1)

En 1957, la Central Electricity Generating Board, también de Inglaterra, establece un método para el mantenimiento de sus plantas eléctricas que llama de la "secuencia mínima irreducible" (2).

En 1957, la I.E. Du Pont, de los Estados Unidos, desarrolla un método para el mantenimiento de sus plantas químicas y para la construcción de otras. El método creado por Morgan Walker y James Kelly, logró reducir el tiempo no productivo del mantenimiento de una planta de 125 a 93 horas. El método fue publicado en 1959 con el nombre de CPM (Critical Path Method) (3).

En 1957, la Oficina de Proyectos Especiales de la Armada de los Estados Unidos estaba desarrollando el proyecto del cohete Polaris. Según lo programado por los métodos tradicionales, tenía un plazo de ejecución de cinco años. La importancia estratégica de este proyecto movió a encomendar a un equipo de inves

---

1/Consultar bibliografía en Español No. 16 y 23 y Sección 8.5 i) de la Literatura Inglesa No. 41, 42, 43 y 46.

tigadores la búsqueda de un método de control más efectivo. El equipo integrado por Donald Malcolm, John Roseboom, Charles Clark y Willard Fazar produjo el método PERT (Program Evaluation and Review Technique), el que no sólo cumplió su objetivo de control (a ello alude su nombre), sino que mostró tal potencialidad de programación, que logró que el proyecto Polaris, reprogramado con este método, se completara en tres años. El trabajo del equipo fue publicado en 1959 (4).

Una comparación entre los métodos CPM y PERT muestra que están basados en los mismos principios. En homenaje a la simultaneidad con que fueron producidos, se los suele mencionar como uno solo, con el nombre combinado de PERT/CPM.

La mayor diferencia entre el PERT y el CPM radica en que el primero incluye el análisis del efecto de las variables no controlables (factor fundamental en proyectos como los de investigación y desarrollo), lo que lo lleva a una solución "probabilística". En tanto que el CPM sólo considera las variables controlables (suposición más adecuada para trabajos de mantenimiento bien conocidos) lo que lo lleva a una solución "determinística".

El modelo básico del PERT/CPM representa cada actividad del proyecto con una flecha entre dos círculos (nodos), cuya punta indica el sentido entre el nodo de inicio y el de término de la actividad. El nodo de inicio representa un estado en que se han reunido todos los insumos que necesita la actividad. El nodo final representa un estado en que la actividad terminó su tarea completando el producto intermedio asignado a ella.

Como la relación básica entre las actividades de un proyecto es que los productos intermedios de algunas se transforman en insumos necesarios para la o las siguientes, los nodos finales de cada actividad se trasladan con los nodos iniciales de

otras (con la única salvedad de las actividades finales del proyecto). Esto permite articular un diagrama continuo desde el comienzo hasta el término del proyecto.

El modelo incluye también un tercer elemento llamado "actividad ficticia" cuyo objetivo es unir dos nodos en que el segundo tiene todos los requerimientos de estado del primero además de los propios. Las actividades ficticias se representan por flechas de trazo interrumpido con la punta dirigida al nodo que incorpora a sus requisitos propios, los del nodo donde nace la flecha.

Las redes de flechas, y específicamente el método PERT/CPM, es el que ha tenido el uso más difundido en la programación y control de los grandes proyectos realizados en todo el mundo en las décadas de los sesenta y setenta.

En el Capítulo 4 se desarrolla en detalle el método CPM y en el Capítulo 6, Redes Probabilísticas, el método PERT.

#### e. Métodos de redes de bloques

Casi al mismo tiempo, un segundo modelo de redes fue desarrollado por John Fondahl en la Universidad de Stanford y fue publicado en 1962 (6). En este método las actividades se representan por círculos y sus conexiones por flechas, de modo que las flechas afluentes muestran las relaciones de la actividad para recibir insumos de las actividades donde nacen esas flechas, en tanto que las flechas que salen del círculo muestran las relaciones para entregar su producto intermedio a las actividades siguientes que lo necesitan como insumo.

El aspecto del diagrama de Fondahl es muy similar al del PERT/CPM, ya que sus figuras son también flechas y círculos, pero

no tiene ficticias. A veces se le conoce también con el nombre (tal vez impropio) de Neo-PERT.

También desde 1957 Bernard Roy trabaja en Francia en su método de los potenciales, el que logra poner a punto en 1960 y es publicado en 1962 (7). El método de Roy coloca las actividades en rectángulos y sus conexiones con flechas, en forma similar al de Fondahl. Además agrega otros elementos que posteriormente serán desarrollados en el método CPS de la IBM. El nombre de método de los potenciales viene de la analogía con el Puente de Wheastone en que se basó Roy.

Es importante hacer notar que los trabajos de Fondahl y de Roy son contemporáneos con los del PERT y CPM, lo que indica la gran inquietud que existía en esos años por encontrar métodos de programación más eficaces.

## 2.2 Variaciones y extensiones a los modelos básicos

### a. Modelos de redes

Los modelos básicos que se han presentado en el párrafo anterior tienen como objetivo el ordenamiento en secuencias de las actividades y la determinación de la duración del proyecto y de las fechas de ejecución de cada una de las actividades.

Sobre estos aspectos el modelo CPM no ha sufrido modificaciones y hoy sigue siendo el método más usado en la programación de los grandes proyectos de todo el mundo.

Los modelos de redes de bloques, en cambio, que al comienzo presentaban cierta dificultad para su cálculo, han ido evolucionando para superar esas limitaciones y para darles nuevas posibilidades. Entre los modelos que lograron superar los problemas de cálculo de la red está el método ABC (Analysis Bar

Charting) propuesto por John Mulvaney en 1969 (46) que se desarrolla en el Capítulo 5. El ABC presenta una forma de cálculo que es más sencilla que la del CPM.

Todos los métodos de redes comentados contemplan una sola conexión significativa entre las actividades -aquella que relaciona el término de la actividad antecedente con el comienzo de la actividad siguiente- relación que no consume tiempo.

El método CPS (Control Project System) desarrollado por la IBM en 1967 (45), al cual Keith Crandall dio el 1973 mayores alcances (47), introduce la posibilidad de usar otras conexiones entre las actividades: la de Comienzo a Comienzo, y la de Término a Término.

La primera de esas conexiones permite indicar que una actividad puede comenzar en un determinado plazo después de comenzada otra, sin esperar que la anterior termine. Por ejemplo, si una actividad consiste en el cálculo de las libretas de los datos de topografía recogidos en el terreno y la siguiente es hacer los correspondientes dibujos topográficos, se pueden comenzar los dibujos cuando hayan transcurrido n días del comienzo del cálculo, sin esperar que esta actividad termine.

En la misma forma, la conexión Término a Término permite indicar que una actividad debe terminar junto con otra o con un desplazamiento de un tiempo determinado. Por ejemplo, siguiendo con la topografía y suponiendo que la actividad siguiente es diseñar sobre el dibujo el trazado de un canal, éste se puede comenzar con los dibujos de la primera parte, mientras se sigue dibujando. Podría ponerse como condición que el término de los dibujos tenga un desplazamiento dado con el término del diseño, de acuerdo al tiempo que tome diseñar esta última parte.

En la extensión propuesta por Crandall, la propia conexión

Término a comienzo, que es la usual en todas las redes, puede especificarse que no sea inmediata, sino que tenga un retardo dado. Por ejemplo, en una actividad de vaciado de concreto, se puede especificar que el retiro del encofrado (la actividad siguiente) se haga con un retardo  $r$ , suficiente para que el concreto haya adquirido la consistencia necesaria.

b. Asignación de recursos

Desde el comienzo de la era de la programación por redes, se advirtió que una de las limitaciones importantes de estos métodos es su orientación exclusiva al manejo de la variable tiempo, dejando un gran vacío acerca de la forma de utilizar los recursos que conlleva la programación de las actividades.

A partir de 1962 comienzan a publicarse trabajos proponiendo métodos para abordar sistemáticamente este segundo tipo de problemas. Los investigadores extienden sus consideraciones no sólo a un proyecto específico, sino al caso de empresas que ejecutan simultáneamente varios proyectos que ocupan los mismos recursos. El párrafo 9.5 (iii) de la bibliografía señala cuatro trabajos que se refieren a este tema.

Uno de los métodos que adquirió cierta popularidad fue el RAMPS (Resource Allocation Multi-Project Scheduling) (48 y 49), que procura la optimización en el uso de los recursos de una empresa que realiza varios proyectos simultáneos, a través de la yuxtaposición de los diagramas de recursos de los distintos proyectos.

Los métodos propuestos hasta hoy son sólo reglas para un proceso de aproximaciones sucesivas que, al aplicarlo a la nivelación de varios recursos, se hace lento y costoso. Aunque no existe impedimento teórico para optimizar el uso de los recursos, en la práctica se busca sólo la nivelación de los

recursos más caros y de los más escasos, además de aquellos casos en que en períodos cortos se producen desniveles claramente inconvenientes de otros recursos.

En los capítulos 3, 4 y 5 se desarrollan ejemplos de nivelación de recursos.

c. Optimización de la relación duración-costos

Una extensión muy interesante de los métodos de programación es la presentada por el Department of Defense (DOD) y la National Aeronautics & Space Administration (NASA) con el nombre de PERT/COST SYSTEMS DESIGN, en 1962 (57). El PERT/COST muestra que, si se quiere abreviar la duración de un proyecto, los tres tipos de costos que componen su costo total, varían en distinta forma y de manera tal que es posible determinar una duración que procura un costo mínimo. En efecto, la tendencia en la variación de esos costos es la siguiente:

- i. Los costos directos, que corresponden al valor de los insumos que se incorporan a cada actividad, normalmente aumentan cuando se quiere acelerarla o prolongarla. Sin embargo la magnitud de ese aumento por unidad de tiempo que se se acelere es diferente para cada actividad, lo que permite seleccionar las actividades de la ruta crítica que conviene acelerar.
- ii. Los costos indirectos, que corresponden a los gastos de administración y otros que no se incluyen en los insumos de las actividades, tienen por lo general un valor constante por unidad de tiempo. Esto disminuye proporcionalmente a la reducción de la duración del proyecto.
- iii. El costo circunstancial, que corresponde al valor de la producción que se puede ganar por cada unidad de tiempo en que se adelanta la puesta en marcha del proyecto, amenta los ingresos asignados al proyecto, lo que se asimila a una disminución de su costo.



El PERT/COSTO proporciona el método para determinar el punto de duración óptima. Este sistema puede estudiarse en los textos citados con los números 16 y 28 de la bibliografía.

d. Redes probabilísticas

Como se indicó en 2.1 d., el método PERT se diferencia del CPM en la consideración de los efectos de las variables no controlables en la duración de cada actividad, de modo que éstas no tienen una duración determinada, sino una probabilidad de duración entre una mínima (tiempo optimista) y una máxima (tiempo pesimista).

El método PERT hace la suposición que las probables duraciones entre esos límites siguen la distribución de la curva Beta, escogida por la facilidad que ella presenta para calcular la esperanza matemática de la duración y la correspondiente desviación estándar de las duraciones posibles.

Esta forma de abordar la definición de la duración de todas o de algunas de las actividades vino a dar un camino de solución para programar, en alguna forma, la ejecución de los proyectos en los cuales no se puede predecir la duración de sus actividades.

Recordando que el método fue desarrollado para un proyecto del tipo experimental, donde buena parte de sus 70.000 piezas diferentes debían ser diseñadas y fabricadas a través de procesos de ensayo y error, se comprende que sólo fuera programable mediante un tratamiento probabilístico.

La importancia que tiene el PERT para proyectos relacionados con el sector agropecuario, es que en muchos proyectos se presentan casos de nuevos diseños, trabajos en climas variables,

y muchas otras circunstancias que hacen necesario un tratamiento probabilístico.

Cabe recalcar que una probabilidad no es una certeza. Las fuertes variaciones entre las duraciones programadas y las reales, en muchas aplicaciones llevó, en la primera mitad de la década de los sesenta, a que muchos investigadores discutieran teóricamente y experimentalmente la validez de utilizar la distribución Beta para determinar la probabilidad de ocurrencia de la duración de cada actividad así como la aplicación del teorema del Límite Central para calcular la probabilidad de la duración total del proyecto.

Los trabajos citados en el párrafo 9.5 iv, de la bibliografía son representativos de esos análisis, así como el (27) de la bibliografía en español.

El resultado de estas discusiones ha sido la aceptación general de que, tratándose de un campo tan incierto, las suposiciones del PERT dan resultados aceptables.

e. Método GERT

Un segundo modelo de redes probabilísticas fue presentado por A.A.B. Pristker y W.W. Happ en 1966, con el título de GERT (Graphical Evaluation and Review Technique). (60).

El método GERT no sólo admite la variación en la duración de las actividades, sino también que algunas de ellas no terminen, o que cambien, como también que haya ciclos en la red.

El método abarca situaciones mucho más amplias que los demás modelos como es el caso de actividades cuyos resultados no se pueden predecir (licitaciones, pruebas de prototipos,

estudios de factibilidad, etc.), las cuales, según sea su resultado, hacen cambiar la red posterior a ellas.

El GERT permite también definir distintos tipos de nodos, cada uno de los cuales tiene un lado de entrada y otro de salida. El lado de entrada especifica los requerimientos para que puedan realizarse las actividades que nacen en él. Es decir, calcula el número de actividades afluentes que deben completarse para que pueda comenzar tanto la primera que sale, como las siguientes, incluyendo circuitos de reciclaje o de realimentación.

El lado de salida determina el tipo de red que continua a partir de ese nodo. Puede ser determinístico si se cumplen todas las actividades que salen del nodo, o probabilístico si se cumple sólo una, la que tendría una probabilidad dada de ocurrencia.

Los textos 60, 61 y 67 de la Bibliografía describen el método y sus aplicaciones.

### 2.3 Justificación de la elección de los métodos que se desarrollarán en este fascículo.

Para cumplir con el objetivo de este fascículo, que es proporcionar herramientas de programación de proyectos a profesionales no familiarizados con las técnicas descritas en este capítulo, se han escogido los métodos que siguen, por las razones que se indican:

- a. Método de Gantt, por ser el más antiguo y más conocido, ya sea que se use solo o como complemento de los métodos de redes.
- b. Método CPM, por su tradición y eficacia bien reconocida.
- c. Método ABC, por tener la misma potencialidad del CPM usando

un lenguaje más sencillo, que facilita la comunicación entre los programadores y los ejecutores de los proyectos.

### CAPITULO 3: METODO DE GANTT

#### 3.1 Características del Método

El método de Gantt, el más antiguo, consiste en descomponer el proyecto en sus actividades, las cuales se ordenan según la secuencia lógica con que deben ejecutarse, mediante un gráfico que consiste en un eje de coordenadas en cuya vertical (ordenada) se anota cada una de las actividades y en la horizontal (abscisa) el tiempo necesario para completar el proyecto. (Ver gráfico 3.1).

En este gráfico, frente al nombre de cada actividad, se dibuja una barra cuyo punto de partida se coloca en la columna de la fecha en que debe iniciarse y se extiende en forma continua hasta la columna de la fecha en que debe terminarse. De este modo, la longitud de la barra de cada actividad representa la duración de ésta.

Para aclarar lo expresado, analícese un ejemplo: Se trata de una etapa de un estudio previo para otorgar crédito supervisado a una zona, para lo cual se efectuarán las siguientes actividades.

	<u>Duración en días</u>
A. Formación del grupo que hará el estudio	4
B. Traslado e instalación en la zona	2
C. Encuestas de producción	10
D. Análisis de encuestas	8
E. Determinación de sistemas de producción	5
F. Investigación de actividades agrícolas y tradicionales	7
G. Investigación del mercado de consumo y precios	15
H. Determinación de los medios de comunicación	3
I. Preparación de formularios para ejecutar el proyecto.	20

Los resultados obtenidos de la programación hecha con el método de Gantt pueden observarse en el gráfico 3.1.

Como se puede apreciar, el diagrama de barras muestra el desarrollo de cada actividad en relación con las fechas en que debe ejecutarse cada una, en forma fácil de interpretar.

### 3.2 El proceso de la programación

Cabe preguntarse cómo se identifican las actividades que se van a programar mediante el Diagrama de Gantt y cómo se determina su duración, ya que ambas informaciones son indispensables para construir el gráfico.

El método no proporciona un instrumento específico para hacerlo, por lo cual este trabajo queda entregado a la experiencia y habilidad del Jefe del Proyecto, quien debe analizar el orden lógico en que debe realizarse éste, e ir haciendo una lista con las actividades que va encontrando en su análisis.

Es fácil imaginar que no siempre se encuentra la solución adecuada en el primer intento. Sin embargo, el llevar esa primera solución a un gráfico de Gantt facilitará enormemente el segundo análisis.

El hecho de que el gráfico obligue a que la barra representativa de cada actividad tenga determinada su duración para ponerla en él, hace necesario que el Jefe de Proyecto no sólo identifique cuáles son las actividades a desarrollar, sino también que haga una primera estimación de cuánto puede demorar cada una. Obviamente debe recurrir a su experiencia y a los datos estadísticos de que disponga acerca de la duración de actividades similares en proyectos anteriores.

La ventaja del método radica en que permite comenzar con una esti  
mación muy burda y con ella hacer el primer gráfico. Luego ayudar  
se con éste en el segundo análisis, en el cual se pueden separar  
algunas actividades en dos o más si eso aporta mejor información,  
como también refundir en una sola aquellas que no ameritan mostrar  
las independientemente.

En la medida en que el proyecto sea más complejo (con muchas acti-  
vidades) el trabajo se hace más difícil para que lo realice una so  
la persona. Lo lógico será que cada uno de los colaboradores del  
Jefe de Proyecto que tendrán a su cargo la ejecución de las distin  
tas acciones, participe en el planeamiento aportando su experiencia  
sobre la parte que tendrá a su cargo.

El proceso de análisis sucesivos, debe continuar hasta identificar  
las actividades que el Jefe de Proyecto y sus colaboradores consi-  
deren adecuadas para programar y controlar la ejecución del proyec-  
to. Cada análisis debe profundizar en el detalle y en la correla-  
ción de las distintas actividades.

Lo expresado deja a criterio del Jefe de Proyecto determinar el  
grado de detalle de las actividades que se deben identificar y pla  
nificar. También es conveniente que ese grado de detalle permita  
identificar las actividades que estarán a cargo de cada persona  
responsable de ejecutarla. Se puede establecer las acciones y  
los recursos que serán necesarios para realizarla, de modo que la  
estimación de la duración de cada una de ellas sea realista.

Una vez que se llega a la solución adecuada para la identificación  
de las actividades, es necesario planificar el proceso que necesi-  
ta cada una de ellas y especificar los recursos que utilizará, con  
el propósito de: a) calcular su duración, ya que se necesitará pa-  
ra la programación final del proyecto, b) especificar los recursos  
de que se debe disponer para ejecutarla, lo cual es necesario para  
la etapa que se describe en el párrafo siguiente, y c) hacer el

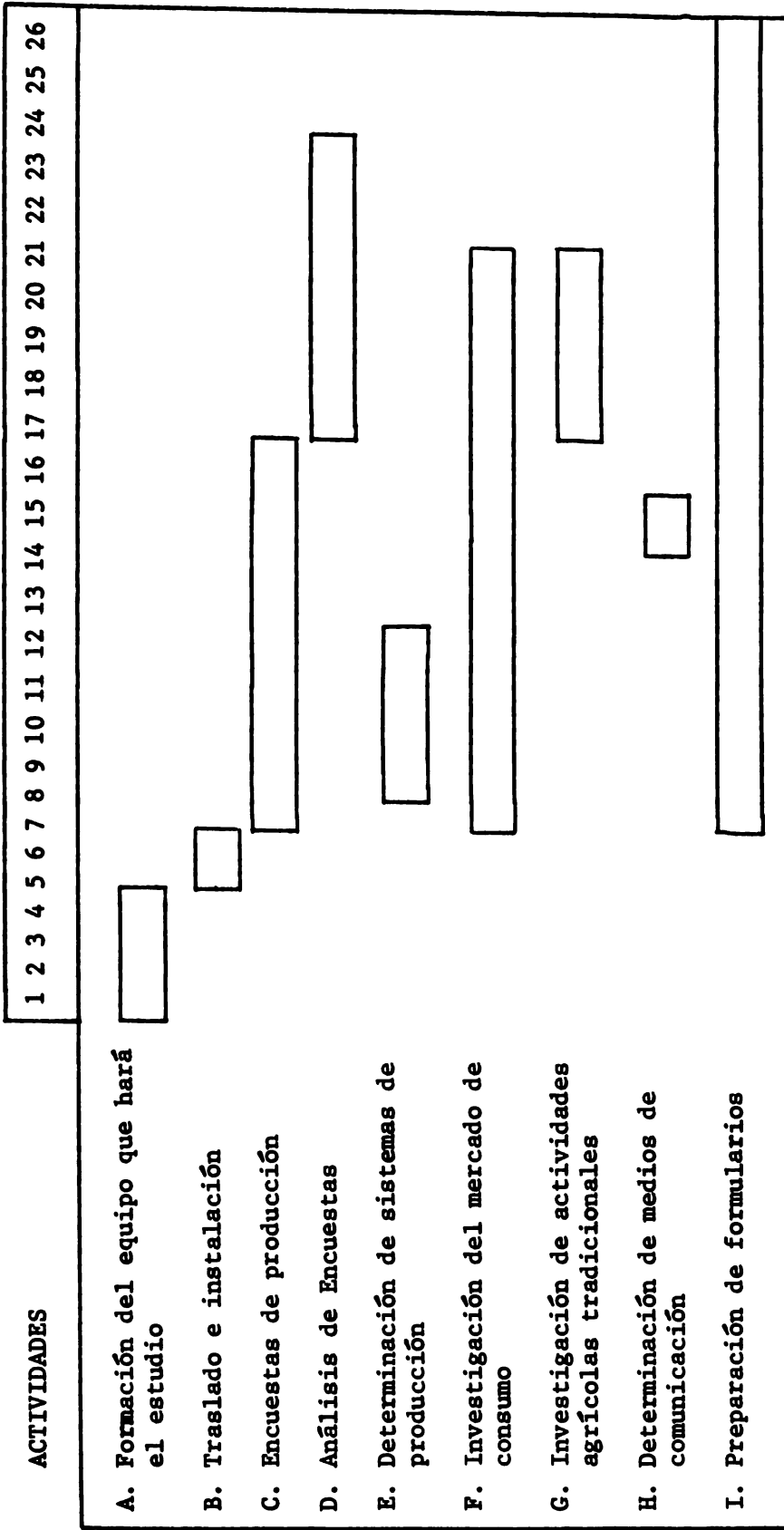


Gráfico 3.1

presupuesto de cada actividad y con el conjunto de todas ellas, el presupuesto del proyecto.

En el Capítulo 7, se desarrolla un método más moderno y sistemático para identificar las actividades. En el Capítulo 8 se plantean consideraciones para establecer su duración, justificándolos mejor cuando se usa un método más preciso de programación, como lo son el CPM y el ABC.

### 3.3 Ejemplos de programación con el Método Gantt

Los ejemplos siempre implican el riesgo de que la experiencia del lector esté muy alejada del tipo de proyecto que se ha elegido. Mostrar casos complejos con todos los detalles, no sólo no aclara lo que se quiere decir, sino que lo complica. Por ello prefiere mostrar casos sencillos que faciliten la comprensión, dejando a cada lector la tarea de trasladar la metodología a los proyectos reales que conoce bien.

#### Ejemplo 1:

Viaje de un campesino a la ciudad para vender sus productos

Actividades:

	<u>Duración en días</u>
A. Reunir dinero que le deben	3
B. Cosechar productos que lleva a vender	3
C. Preparar el trabajo para los días de <u>ausen</u> cía	1
D. Contratar transporte	1
E. Viajar a la ciudad	1

La programación correspondiente se resuelve en el gráfico 3.2

#### Ejemplo 2:

Se trata de tender una tubería para dar agua potable a una comunidad, para lo cual se han definido cuatro actividades: excavar, tender y acoplar los tubos, probar su estanqueidad y



cubrir (o tapar) los tubos.

El análisis de la duración de las actividades da el siguiente resultado:

Excavación: se hace con una cuadrilla de 10 hombres (que pone la comunidad). Se tarda 15 días.

Tendido y acoplado: se hace con una cuadrilla de cuatro hombres que tarda 30 días

Pruebas: se hace con una cuadrilla de 4 probadores que tar da 6 días

Cubrir o tapar: se hace con una cuadrilla de 8 hombres que tarda 9 días.

El programador decide que puede empezar a poner los tubos el 6° día después de comenzar a excavar , que puede comenzar las pruebas 2 días antes de terminar el tendido y puede comen zar a cubrir tres días antes de terminar las pruebas.

Esta programación en un gráfico de Gantt, se expresa en la forma que indica el gráfico 3.3.

#### Problemas para ejercicios:

##### 1) Pintar una puerta

Indicaciones de la programación:

a) Compra de lija, pintura y aceites son actividades distintas (se supone que se compran en puntos distintos).

b) No hay limitación de recursos

Actividades

	<u>Duración en Horas</u>
A. Buscar las herramientas	0.5
B. Comprar lijas	1.0
C. Comprar pintura	1.0
D. Comprar aceite (para la cerradura)	1.0
E. Sacar la puerta	0.5
F. Lijar la puerta	2.5
G. Sacar la cerradura	0.25
H. Aceitar la cerradura	0.25
I. Dar primera mano de pintura	1.0
J. Dejar secar la primera mano	4.0
K. Dar segunda mano de pintura	1.0
L. Dejar secar la segunda mano	4.0

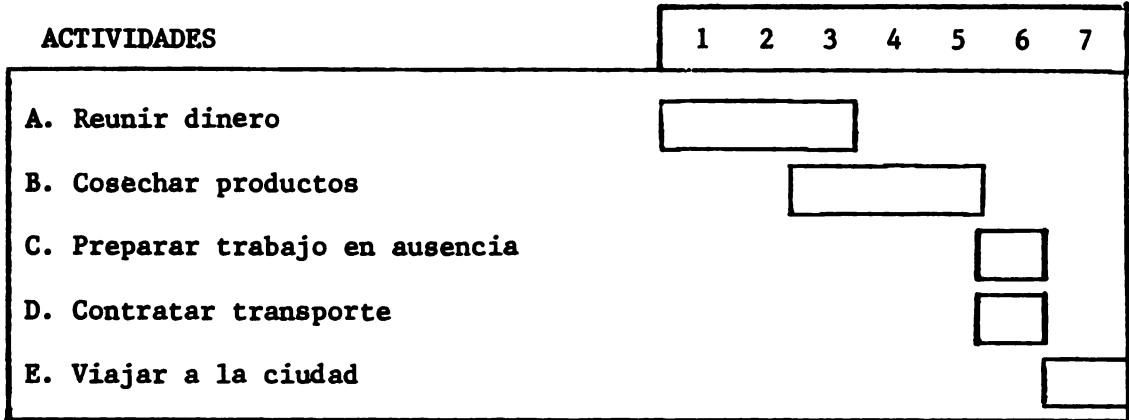


Gráfico 3.2

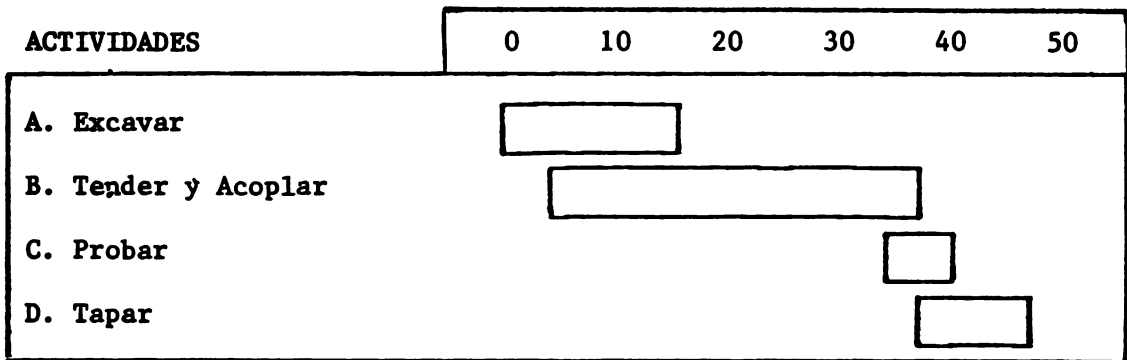


Gráfico 3.3

M.	Poner la cerradura	0.25
N.	Poner la puerta	0.5
O.	Guardar las herramientas, pintura y aceite	0.25

## 2) Hacer el desayuno

Indicaciones para la programación:

- a) Se usará: café instantáneo, agua, crema, jugo de naranja de tarro, pan, mantequilla y mermelada.
- b) Recursos: está el marido, la esposa y tres hijos, todos dispuestos a colaborar

Actividades	<u>Duración en min.</u>
A. Poner el agua en una jarra	0.5
B. Hervir el agua	5.0
C. Traer el café y el azúcar	0.5
D. Mezclar el café con agua y azúcar	0.5
E. Sacar del refrigerador: pan, crema, mantequilla, mermelada y jugo	1.0
F. Poner el tostador	0.5
G. Tostar el pan	1.0
H. Poner mantequilla y mermelada al pan	0.5
I. Poner la crema y batir	0.5
J. Poner tazas y servicios en la mesa	2.0
K. Batir el jugo y ponerlo en vasos	0.5

## 3) Mudanza de una familia

Actividades	<u>Duración en horas</u>
A. Recibir las llaves de la nueva casa	1
B. Contratar camión de mudanzas	2
C. Embalar la loza	4
D. Colocar la ropa en maletas	1
E. Desarmar los roperos	1
F. Cargar el camión	2
G. Transporte de la mudanza	2
H. Descargar el camión	2
I. Armar los roperos	2
J. Guardar la ropa en los roperos	2
K. Desembalar la loza	2
L. Guardar la loza	1

## 3.4 Análisis de Recursos

De acuerdo con lo expuesto en el párrafo 3.2, la solución encontrada no se debe considerar como definitiva mientras que no se

analicen las necesidades de recursos que plantea esa programación, Particularmente dos aspectos son muy importantes: a) que la suma de los recursos recursos requeridos por las actividades simultáneas no sobrepasen los disponibles y b) que el tiempo ocioso de cada recurso, en especial de los más caros, sea el mínimo compatible con los requerimientos del proyecto.

El Diagrama de Gantt facilita mucho este tipo de análisis, ya que es posible anotar en cada barra el tipo y número de recursos que necesita esa actividad y además, sumar para cada unidad de tiempo, la cantidad de cada recurso. La suma muestra las necesidades totales de las actividades que estarán en ejecución en esa fecha.

El análisis puede hacerse en forma muy ligera en las fases del proyecto donde, a primera vista, la demanda no es mayor que la disponibilidad de recursos, ni que el tiempo ocioso de otros reursos. Sin embargo, las fases del proyecto en que se presentan estos casos, deben ser analizadas cuidadosamente para estudiar alternativas que permitan resolver los problemas de escasez y minimizar los de tiempos ociosos.

Cada vez que se enfrente un problema de escasez de recursos debe tenerse presente que siempre existe una correlación entre la duración del proyecto y la cantidad de recursos disponibles, de modo que la falta de recursos hay que pagarla con mayor tiempo, salvo casos especiales en que una alternativa de programación permita compensarla.

a. Ejemplos de análisis de recursos:

El ejemplo 2 del párrafo 3.3, cuya programación se hizo con el gráfico 3.3, ofrece un análisis de recursos interesante. En efecto, si se ponen en el gráfico 3.3 los recursos especificados, se tendrá el resultado que se muestra en el gráfico 3.4

i. Caso de nivelación de recursos:

En el gráfico 3.4 se ve una desproporción entre el tiempo que dura el tendido y acoplado de los tubos con respecto a la excavación. Esta situación puede que sea inconveniente desde varios puntos de vista: a) duración del proyecto, b) posibilidad de derrumbes en la excavación si hay lluvias en el período, c) que quizás habrá que despedir a los peones de la excavación para después volver a contratarlos -a los mismos o a otros- para la actividad de cubrir.

Si la elección de cuatro tuberos para la actividad de tender y acoplar tubos no obedece a la escasez de este tipo de recursos, parece preferible duplicar el número de tuberos para que la duración de esa actividad sea la mitad, lo que daría un avance por día igual al de la excavación. La solución es la del gráfico 3.5. En este caso se han adelantado las pruebas cuatro días antes de terminar la colocación de tubos y se terminan dos días después, a la vez que se adelanta el cubrimiento dos días después de comenzadas las pruebas.

El resultado de estas operaciones reduce la duración del proyecto a 27 días y el tiempo ocioso de los peones a tres días, lo que parece mucho mejor que la solución inicial.

Todavía, es posible especular sobre la posibilidad de reducir la cuadrilla de excavación a ocho o siete hombres a partir del décimo día, lo que haría acercarse mucho el término de la excavación al comienzo del cubrimiento y a provechar al máximo el trabajo de los peones. Sin embargo, ese empleo óptimo del recurso peones podría conducir a una gran rigidez del proyecto, de modo que cualquier

imprevisto en la excavación puede paralizar las otras actividades con un perjuicio mayor que el beneficio teórico de un aprovechamiento perfecto del más barato de los recursos. Es un riesgo que el Jefe de Proyecto debe tomar y decidir de acuerdo con su experiencia.

ii. Caso de escasez de recursos:

Si la elección de cuatro tuberos está determinada por ser el máximo elemento humano a la disposición, el gráfico sugiere que es mejor reducir a la mitad la cuadrilla de excavación, con lo cual avanzaría al mismo ritmo que la cuadrilla de tuberos, habiendo empezado cinco días antes para asegurar que no haya interferencia entre ambos. En este caso se pueden aprovechar las soluciones ya vistas como la de empezar a probar cuatro días antes de terminar de poner los tubos y comenzar a cubrir después de dos días de comenzar la pruebas.

Otra alternativa interesante sería ensayar con dos probadores, extendiendo el plazo de pruebas a 12 días, lo cual proporciona un ritmo más acorde con la excavación y tendido. También se puede empezar a cubrir cuatro días después de iniciadas las pruebas, pero con una cuadrilla de cinco hombres que se traspasarían desde la excavación.

El resultado de esta nueva alternativa se muestra en el gráfico 3.6.

No obstante la sencillez del ejemplo, este proceso permite apreciar los múltiples análisis que se pueden hacer al considerar la forma en que se utilizan los recursos de la programación. Varían de los resultados obtenidos sólo en las consideraciones de secuencias y duración de las actividades.

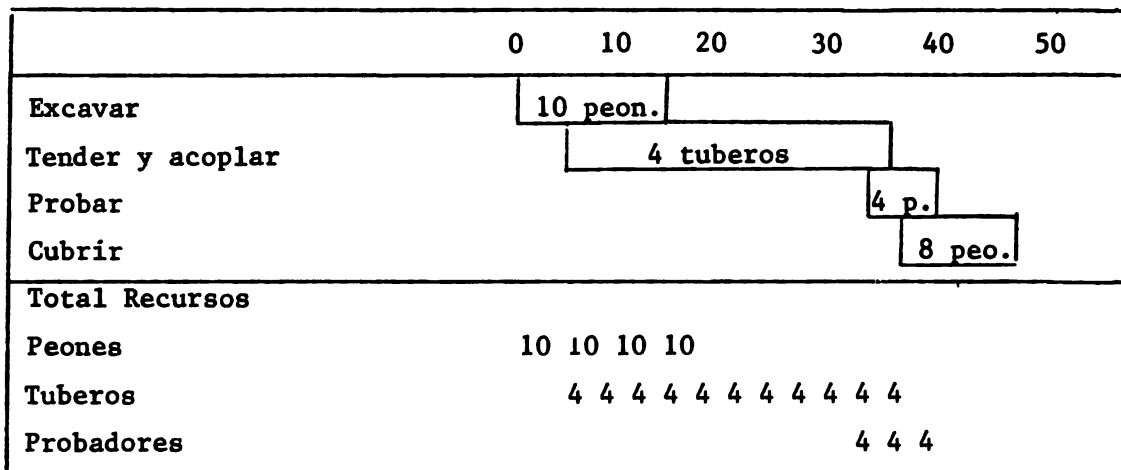


Gráfico 3.4

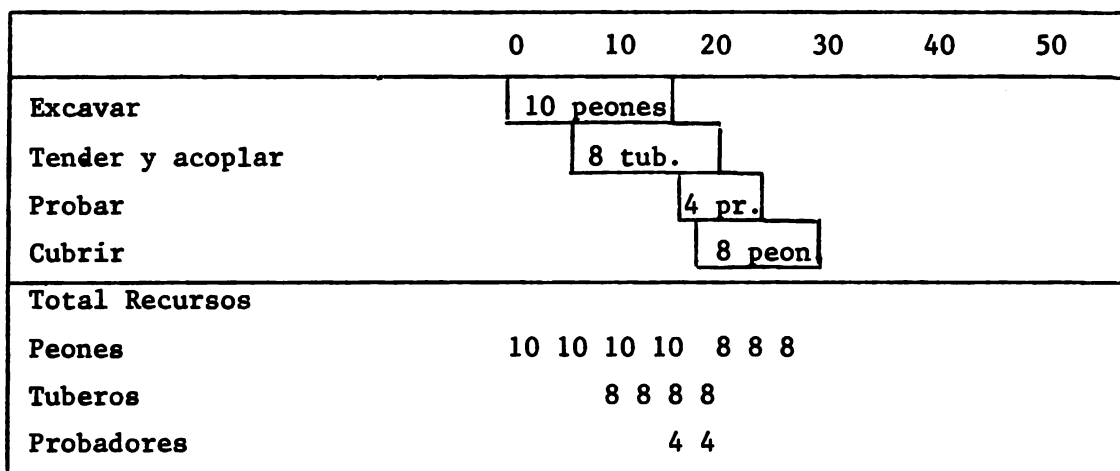


Gráfico 3.5

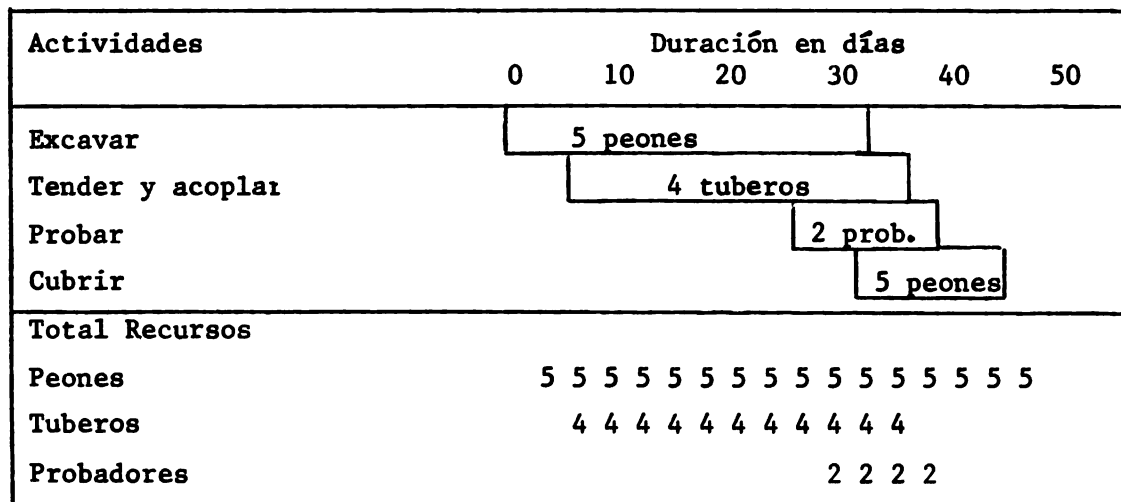


Gráfico 3.6

b. Problemas para ejercicios:

Para ejercitar el análisis de recursos se pueden poner recursos a los tres problemas de programación del párrafo 3.3, con siderando primero que no hay limitación de recursos (trabaja el padre, la madre y los hijos) y luego restringiendo a dos personas el problema de pintar la puerta y hacer la mudanza, y a una persona en el problema de hacer el desayuno.

### 3.5 Cronograma financiero

El recurso dinero, expresado en el flujo de caja necesario para atender las necesidades del proyecto, también puede ser programado y analizado con el Diagrama de Gantt en forma parecida a los recursos físicos. Ello implica la necesidad de desglosar los requerimientos totales de cada actividad, en requerimientos parciales por la unidad de tiempo que se haya escogido (quincena, mes, trimestre, etc.).

A veces conviene reunir como una sola actividad, dos o más de las actividades de la programación física, para formar nuevas actividades apropiadas al manejo financiero, pero con una correlación definida con las actividades del cronograma físico.

Entre los aspectos que conviene cuidar al formar las actividades para la programación financiera, está el que sea ejecutada bajo la responsabilidad de una sola persona o entidad, quien será también responsable del uso de esos recursos financieros. Por otra parte, se debe cuidar de que cada una de esas actividades contribuya a un mismo centro de costo para los efectos de contabilizar la inversión.

Cabe comentar que la erogaciones de caja para cada actividad no siempre coinciden exactamente con el período en que esa actividad se ejecuta. En efecto, hay algunas erogaciones que deben ser



hechas antes del inicio de la ejecución (por ejemplo traslado de personas, máquinas y materiales al lugar de la obra, anticipos a contratistas, etc.) y otras que se pueden hacer después de terminada la actividad (por ejemplo pagos diferidos por materiales, retenciones al contratista).

El Diagrama de Gantt, para efectos de flujos de cajas, -llamado también cronograma financiero- las erogaciones anteriores o posteriores al período de la ejecución se anotan en la misma línea de la actividad, frente a las fechas que corresponden y fuera de la barra de la actividad. La erogaciones que acompañan a la ejecución se anotan dentro de la barra.

En el cronograma financiero es posible anotar también las erogaciones correspondientes a los gastos indirectos, a fin de tener el flujo total de caja que requiere el proyecto.

El ejemplo que sigue ayuda a aclarar la forma de proceder (ver gráfico 3.7).

### 3.6 Virtudes y limitaciones del Método de Gantt

Como ya se advirtió, la gran virtud del método de Gantt es la sencillez del gráfico final, que es muy fácil de interpretar por cualquier persona que haya recibido un entrenamiento mínimo. Esta virtud hace que aún hoy su uso esté ampliamente difundido, y que sea el método que se emplea en todos los proyectos en que no se quieren emplear los métodos de redes.

Al lado de esa gran ventaja, el método tiene tres grandes limitaciones:

- a. No indica las secuencias entre las actividades

El hecho de que el método no señale la secuencia obligada entre

## CUADRO DE DISTRIBUCION DEL GASTO

Act.	Dur.	Cos to	DISTRIBUCION DEL GASTO														
			Antes (1)	Durante la ejecución (2)										Desp. (3)			
A.	6	125	15	10	10	-15	-15	-20	-30								10
B	2	30	5	10	-10												5
C	3	50	-	20	-15	-15											-
D	10	120	-	12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12			-
E	3	80	10	20	-20	-20											10
F	2	50	-	20	-30												-
G	4	60	-	20	-15	-15	-10										-
H	8	140	10	15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15					10
I	4	140	10	35	-30	-30	-25										10
J	6	90	-	15	-15	-15	-15	-10	-10								10

## Costos:

Directos      885  
Indirectos    340 (4)  
Instal.        25 (5)

---

1.250

## Notas:

- (1) Cifras mensuales inmediatamente anteriores al comienzo de la ejecución de la actividad.
- (2) Cifras mensuales a partir del comienzo de la ejecución
- (3) Cifra mensual inmediatamente posterior a la ejecución de la actividad.
- (4) Valor Mensual = 20
- (5) Egreso un mes antes de comenzar el proyecto.

ACTIVIDAD	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	TOTALES
A	15	10	10	15	15	20	30	10												125
B	5	10	10	5																30
C		20	15	15																50
D									12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		120
E							10	20	20	20	10									80
F				20	30															50
G					20	15	15	10												60
H								10	15	15	15	15	15	15	15	15	10			140
I														10	35	30	30	25	10	140
J									15	15	15	15	10	10						
COSTO INSTAL.	25																			
COSTO DIRECTO	20	40	35	55	65	35	55	50	62	62	52	42	37	47	72	57	52	37	10	885
COSTO INDIR.	25	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		356
TOTAL MES	45	60	55	75	85	55	75	70	82	82	72	62	57	67	92	77	72	57	10	1250
ACUMULADO	45	105	160	235	320	375	450	520	602	684	756	818	875	942	1034	1111	1183	1240	1250	

Gráfico 3.7 CRONOGRAMA FINANCIERO

las actividades deja la duda de si estas se han programado en esas fechas por necesidad o por simple conveniencia. Cada vez que se produce un atraso en una actividad hay que revisar cuáles son las que necesitan insumos de ella para reprogramarla conforme a la situación producida. A su vez, el cambio en la programación de éstas obliga a reprogramar a las que reciben insumos de ellas y así sucesivamente, hasta las que completan el proyecto.

Como las secuencias no están señaladas, no siempre se ve claro las que hay que reprogramar y, con frecuencia, no se reprograman, lo cual hace que el modelo se aleje de la realidad y no proporcione información confiable para tomar decisiones.

- b. No identifica la secuencia de actividades que determina la duración del proyecto.

En todo proyecto hay una secuencia de actividades que condiciona su duración. Este es el concepto de ruta crítica que introdujeron los métodos de redes y que hizo posible dramáticas reducciones en la duración de muchos proyectos (ver párrafo 2.1 d.).

Al no identificar esta cadena o ruta crítica, para el Diagrama de Gantt todas las actividades tienen el mismo valor, lo cual calla un elemento de juicio muy importante para dirigir el proyecto. Cualquier atraso en las actividades críticas atrasa en el mismo tiempo, la duración de todo el proyecto, en tanto que las demás tienen cierta holgura que también es diferente para cada actividad.

Otra implicación importante de la falta de identificación de la ruta crítica la tenemos en el caso en que se quieran acelerar algunas actividades para terminar antes el proyecto. La información que da el Diagrama de Gantt llevaría a acelerar

todas las actividades finales, en tanto que lo probable es que baste acelerar una (la actividad crítica), lo cual tiene un costo muy diferente (por ejemplo el gráfico 3.7 muestra dos actividades finales que habría que acelerar, en tanto que un análisis de ruta crítica mostraría que para acelerar un mes la terminación de ese proyecto, bastaría acelerar la actividad I, ya que la D se puede programar un mes antes de la fecha en que aparece en ese gráfico).

c. Es más difícil detectar actividades inadvertidas.

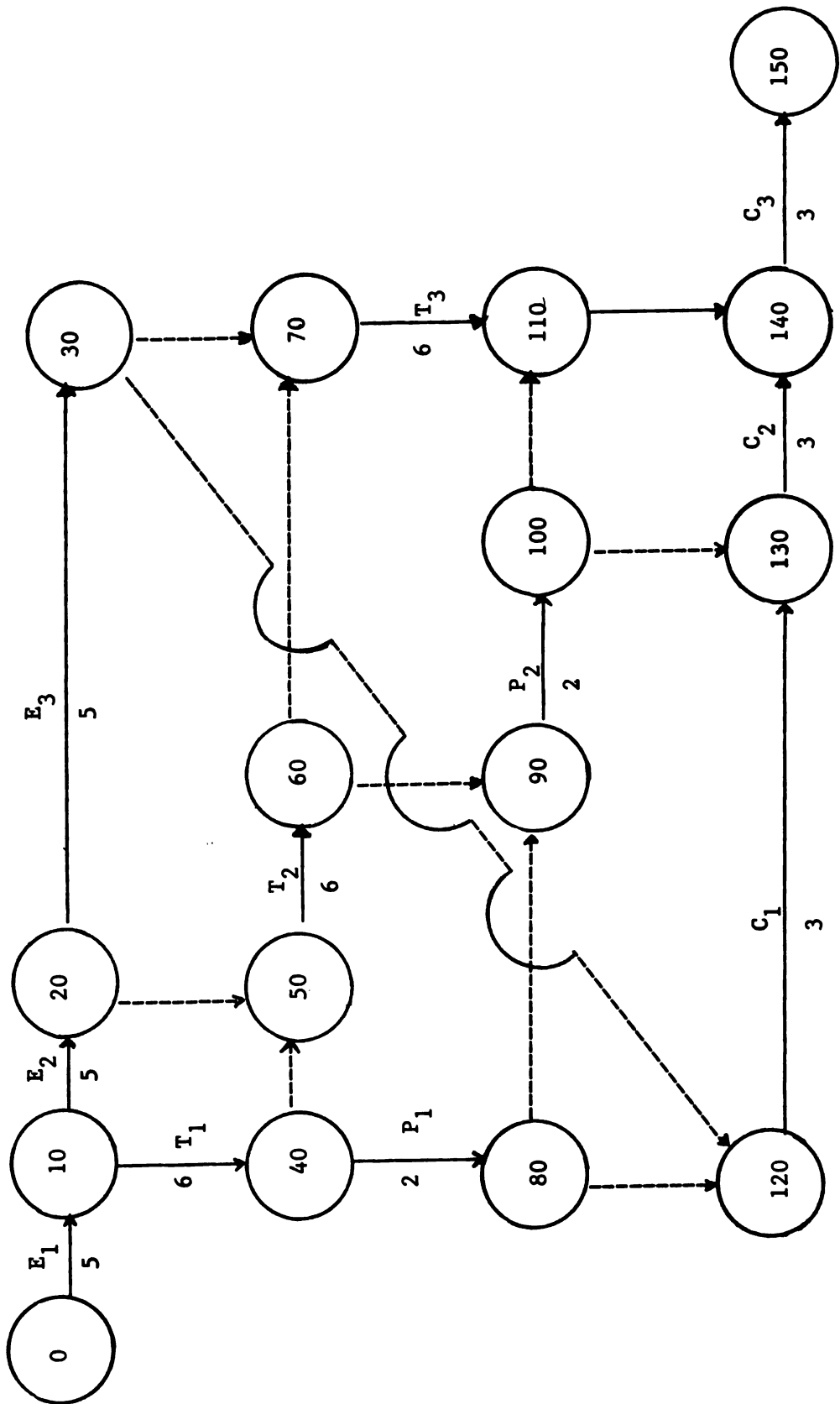
## CAPITULO 4: METODO CPM

### 4.1 Características del modelo

El método del camino crítico (CPM) fue creado por M. Walker y J. Kelly en 1957. Estudia la secuencia de las actividades, la duración total del proyecto y las fechas de comienzo y término de cada actividad, a través de un modelo compuesto por tres elementos: flechas de trazo lleno, círculos y flechas de rayas (trazos interrumpidos).

El gráfico 4.1 muestra un modelo CPM.

GRAFICO 4.1



En este gráfico las flechas llenas representan las actividades del proyecto.

Se puede observar que hay flechas llenas de distinta longitud y en distinta posición. Ninguno de estos aspectos tiene significado para este modelo, como tampoco lo tiene que las flechas se dibujen curvas o con líneas quebradas.

En cambio sí es muy importante que cada flecha llena se dibuje entre dos círculos, llamados nudo inicial y nudo final de esa actividad, entre los cuales la punta de la flecha indica la dirección en que transcurre el tiempo, o avanza la ejecución de la actividad.

Para mantener este sentido de avance de cada actividad, el método exige que para cada una de ellas el número que identifica al nudo final sea más alto que el que identifica a su nudo inicial.

La longitud de la flecha no es importante porque el modelo agrega en cada una un símbolo o un nombre que la identifica y un número que indica las unidades de tiempo que dura la actividad.

Cada nudo, llamado también evento o nodo, es un artificio gráfico del modelo para expresar los vínculos de secuencia entre las actividades. Cada actividad debe tener siempre un nudo inicial y uno final, que son sus elementos de articulación para conectarse con otras actividades. En consecuencia, no es admisible que dos actividades tengan el mismo nudo inicial y el mismo nudo final, ya que cada una de las actividades debe tener independencia para articularse con las que verdaderamente le corresponda.

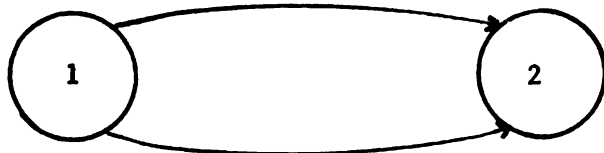


Gráfico No. 4.2

Relación inadmisiblemente

El vínculo de conexión que establece un nudo entre las actividades que lo tienen como final y las que lo tienen como inicial, es la indicación de que todas las actividades que afluyen a él han terminado y que se está en condiciones de empezar todas las actividades que nacen en él. Es decir, cada nudo dispone de los productos intermedios de todas las actividades que llegan a él, los cuales en conjunto son, a su vez, insumos necesarios para que comience cada una de las actividades que salen de él.

El tercer elemento o símbolo que usa el modelo es la flecha de rayas (trazo interrumpido), comúnmente mal llamada "actividad ficticia".

El nombre de "actividad ficticia" proviene de la semejanza que tiene en el gráfico con la flecha llena que es una actividad. Sin embargo, su función no tiene ninguna semejanza con la actividad, ya que establece un vínculo entre dos nudos, que transfiere al nudo final el nudo inicial. Así, en el gráfico 4.1 la ficticia 20-50 significa que se ha transferido el estado del nudo 20 (que se dispone del producto intermedio E2) al nudo 50. Por su parte la ficticia 40-50 significa que se ha transferido el estado del nudo 40 (que se dispone del producto de la actividad T1) al nudo 50. En resumen, el nudo 50 representa que se dispone del producto intermedio de E2 y de T1. Ambos son insumos necesarios para comenzar la actividad T2.

Así como no tiene sentido que una flecha llena o de rayas no posea su correspondiente nudo inicial y nudo final, tampoco tiene sentido un nudo que no esté conectado a otro por ambos lados, ya sea por medio de actividades o de ficticias. Esto significa que todos los nudos de una red deben tener, a lo menos, una flecha afluyente y una saliente. Sólo son excepción el nudo de inicio de la red, que sólo tiene flechas salientes, y el nudo final de la red (producto final) que sólo tiene flechas afluentes.



En conclusión, de los tres símbolos que utiliza el modelo CPM sólo uno -la flecha llena- representa consumo de tiempo; los otros dos -el nudo y la flecha de rayas- son artificios gráficos para representar las relaciones de secuencia entre las actividades.

## 4.2 Cálculo de la red

### a. Función, objetivo y unidad de tiempo

El orden cronológico del proceso de programación comienza con el ordenamiento de las secuencias del proyecto y en el método CPM culmina con la construcción de la red. Se dejará este punto para más adelante a fin de familiarizar al lector con el modelo antes de ensayar la forma de montarla.

La función objetivo de la red es determinar: a) la duración mínima del proyecto y b) la fecha en que debe realizarse cada actividad. Estos dos objetivos se buscarán usando como datos la duración determinada para cada una de las actividades y la secuencia entre ellas que indica el modelo. Esto significa que la variable representada en la red es sólo el tiempo, y éste debe ser expresado en una misma unidad para todas las actividades.

La unidad de tiempo más apropiada para cada proyecto es una decisión que debe tomar el programador. Dependerá de factores tales como la duración del proyecto y el grado de detalle necesario para programarlo y controlarlo. Así, para programar la detención de una máquina cosechadora para trabajos de mantenimiento, conviene hacerlo en horas o minutos. Si se tratara de la construcción de una gran presa para riego, puede programarse en días, semanas o meses, dependiendo de quién será el usuario de esa programación. En efecto, a nivel operativo se necesita mucho detalle y los responsables

necesitarán programar su trabajo en días; el Jefe de Proyecto, que debe tener una visión global de sus distintas secciones, necesita una red con mucho menos actividades, cada una resumiendo una pequeña red de nivel operativo, y quizás la unidad apropiada para él sea la semana; a su vez, al Director de esa institución le bastará una red mucho más general en que la unidad de tiempo pudiera ser el mes.

b. Cálculo de los tiempos más tempranos.

Para facilitar la explicación se usa el gráfico 4.1, el que se repite como gráfico 4.3, del que se obtiene la información y se anotan los resultados que se van obteniendo.

Para hacer las anotaciones de los resultados que se van obteniendo, se pone al lado de cada nudo una T invertida, en cuyo costado izquierdo se anota el tiempo más temprano en que ese nudo puede alcanzar su terminación.

El cálculo comienza asignando al nudo inicial el tiempo cero, que significa que están disponibles todos los insumos para la actividad inicial E1.

Se pasa en seguida al nudo 10, que se habrá completado cuando termina E1, al final del 5° día, por lo cual se anota la cifra 5 a la izquierda de la T invertida de ese nudo.

El nudo 20 recibe sólo la actividad E2, y ésta puede comenzar después del 5° día (es decir, en la mañana del día 6°). Como esta actividad dura cinco días, el nudo 20 puede alcanzar su estado al final del día 10, cifra que se obtiene de sumar el tiempo más temprano posible del nudo inicial de E2 más la duración de E2, que también es  $5(5+5=10)$ . Esta cifra se anota en el lado izquierdo de la T invertida a la par de este nudo.

Similarmente se calcula el tiempo más temprano del nudo 30, al cual llega sólo la actividad E3. Sumando el tiempo encontrado para el nudo 20 con la duración de E3, se obtiene la

cifra 15, que es el tiempo más temprano del nudo 30.

Si el nudo 30 se quisiera pasar al nudo 70, se encontraría que a él llegan dos flechas de rayas: la que viene del nudo 30 y la que viene del nudo 60. Pero este nudo no se ha calculado aún por lo cual no se tiene toda la información. En este caso lo que corresponde es buscar el nudo que tiene la numeración inmediatamente superior al último calculado, para el ejemplo en cuestión, el nudo 40.

El nudo 40 recibe sólo la actividad T1 de duración 6. Sumando esta cifra al tiempo de su nudo inicial (5) se obtiene la cifra 11, que es el tiempo en que puede alcanzar su estado este nudo.

Obsérvese ahora al nudo 50, que recibe dos flechas de rayas (ficticias): la 20-50 y la 40-50. La primera traslada el estado del nudo 20, cuyo tiempo de ocurrencia es 10, y la segunda el estado del nudo 40, cuyo tiempo de ocurrencia es 11. Si de estas dos cifras se escogiera la menor (10), ello significaría que la actividad T1 aún no habría terminado, que el nudo 40 no habría alcanzado su estado y, como consecuencia, tampoco lo habría alcanzado el nudo 50. En resumen, cada vez que a un nudo llegan dos o más flechas, la ocurrencia del estado del nudo la da la que termine más tarde.

Nudo 60: recibe una sola flecha y bastará sumar el tiempo de su nudo inicial más la duración de T2 (6) para obtener la cifra 17 que se anota en este nudo.

Nudo 70: recibe dos ficticias, una que traslada el estado del nudo 30, cuyo tiempo es 15, y otra que traslada el estado del nudo 60, cuyo tiempo es 17, así el nudo 70 se completará en el mayor de estos tiempos que es 17.

Si se quisiera analizar ahora el nudo 110, se nota que a él llegan dos ficticias, una proveniente del nudo 100 que aún no se ha calculado, por lo cual no es posible todavía calcularlo. Debido a ellos, se debe entonces pasar al nudo con numeración inmediatamente superior, el 70; o sea el nudo 80 que recibe una sola actividad, la P1 con duración 2. Sumando esta cifra más el tiempo de ocurrencia de su nudo inicial (que es 11), se tiene la cifra 13 que se anota como tiempo más temprano de este nudo.

Nudo 90: recibe dos ficticias, una del nudo 60 (cuyo tiempo anotado es de 17) y otra del nudo 80 (cuyo tiempo es 13). El tiempo del nudo 90 es, en consecuencia, 17.

Nudo 100: recibe sólo la actividad P2 de duración 2. Sumando ésta al tiempo del nudo 90, se obtiene la cifra 19.

Nudo 110: recibe una actividad, la T3, de duración 6, y una ficticia del nudo 100, cuyo tiempo es 19. La suma del tiempo inicial de T3 más su duración (6) da la cifra 23 que es el tiempo en que este nudo alcanza su estado.

El nudo 120: recibe una ficticia del nudo 80 (con tiempo 13) y otra del nudo 30 (con tiempo 15) por lo tanto el tiempo de este nudo es 15.

Nudo 130: recibe una actividad C1 de duración 3 y cuyo nudo inicial tiene tiempo 15, lo que suma 18; también recibe una ficticia que traslada el estado del nudo 100, cuyo tiempo es 19, por lo tanto el tiempo más temprano del nudo 130 es 19.

Nudo 140: recibe dos actividades, la P3 de duración 2 con tiempo inicial 23, lo que suma 25, y la C2 con duración 3 y nudo inicial 19, lo que suma 22. Luego el estado de este nudo se completa en el 25.

Nudo 150: recibe sólo C3 de duración 3 que tiene como tiempo de inicio 25, lo que suma 28.

El cálculo detallado que se ha hecho permite encontrar el tiempo mínimo para ejecutar este proyecto de acuerdo con las duraciones de las actividades y secuencias entre ellas. Se anotaron en la red los tiempos que sumen 28 días. Este resultado satisface el primer objetivo del cálculo de la red.

Los tiempos que se han calculado son designados en la literatura inglesa como TE (Earliest time); en la literatura en español no hay uniformidad en su designación, aunque muchos han preferido mantener la designación inglesa, lo que se hace también en este fascículo.

c. Cálculo de los tiempos más tardíos

El segundo objetivo del cálculo de la red es determinar la fecha en que debe realizarse cada actividad. Es necesario introducir un nuevo concepto: el de "tiempo más tardío" en que cada nudo puede alcanzar su estado, sin que altere la duración mínima del proyecto encontrada en el cálculo anterior.

Para encontrar ese "tiempo más tardío" de cada nudo, se hace un cálculo parecido al anterior, pero en sentido inverso, partiendo de la duración total del proyecto que se encontró.

Para hacer las anotaciones de los resultados que se vayan encontrando, se usará el gráfico 4.4 que comienza con los datos con que termina el gráfico 4.3. Se utilizará el lado derecho de la T invertida para anotar las nuevas cifras.

El procedimiento comienza con el nudo final (150) cuyo tiempo de 28 no se debe exceder. A este nudo llega sólo la actividad C3 de duración 3, de modo que el nudo inicial de esta

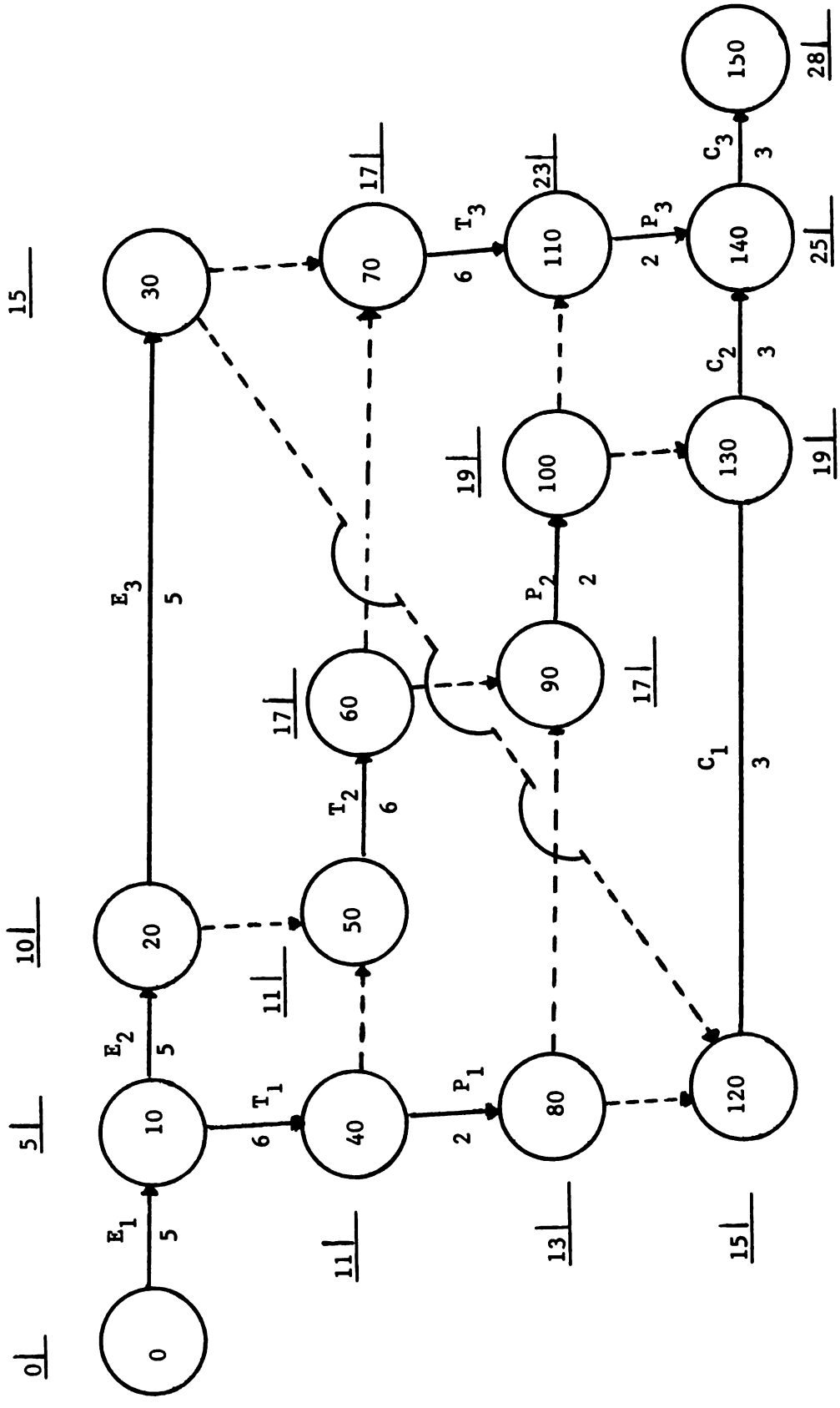


Gráfico 4.3

flecha, el 140, no debe terminar más tarde de 25 para no alterar la duración del nudo 150. (la cifra se obtiene de una simple resta  $28-3=25$ ).

Retrocediendo ahora al nudo 140 se ve que a él llegan dos flechas: por un lado la C2 que tiene como nudo inicial el 130, y por otro la P3 que tiene como nudo inicial el 110.

El nudo 130 tiene la numeración más alta y de él solo sale C2 de duración 3. Para que el nudo 140 se cumpla en el día 25, el nudo 130 se podría cumplir en el tiempo  $25-3=22$ , cifra que corresponde al tiempo más tardío de este nudo. Se anota en el lado derecho de la T invertida el número 22 (la cifra obtenida difiere del tiempo más temprano que se tenía anotado).

El otro camino que llega al nudo 140 procede del nudo 110, (inicial P3). Como sólo sale esta flecha, su tiempo tardío se calcula restando del tiempo del nudo 140 la duración de P3:  $25-2=23$ . Se advierte que esa cifra es igual al tiempo más temprano que se tenía anotado.

Examinando ahora el nudo 130, se observa que llegan dos flechas. Se elige la que llega del nudo con numeración mayor, el 120, y se ve que de él sólo sale C1 de duración 3. Restando del tiempo más tardío del nudo 130 la duración de C1 se obtiene  $22-3=19$ . Esto es el tiempo más tardío del nudo 120.

Volviendo a la otra flecha que llega al nudo 130, que es una ficticia que nace del nudo 100, se constata que de este nudo sale también otra ficticia al nudo 110. Para decidir cuál es el tiempo más tardío del nudo 100 se calcula la que, por el lado del nudo 110 esa fecha es 23, y por el lado del nudo 130, esa fecha es 22. Si se escoge

la mayor de esas cifras significaría que el nudo 100 se podría completar el día 23. Eso llevaría a que también el nudo 130 se podría completar el día 23, lo que es contrario a lo que se encontró anteriormente; es decir, que si el 130 terminara el día 23, el proyecto se atrasaría un día (llegaría a 29 días). Este análisis justifica la norma de que, cuando de un nudo salen dos o más flechas, su tiempo más tardío estará determinado por la que condicione el menor tiempo, porque ese camino es la secuencia de actividades que necesita más tiempo entre ese nudo y el término del proyecto. En resumen, el tiempo más tardío del nudo 100 es 22.

Al nudo 100 llega sólo P2 que sale del nudo 90. A su vez, sólo sale el P2 de duración 2, de modo que el tiempo más tardío del nudo 90 es  $22-2=20$

Nudo 80: De él salen dos ficticias, una que va al nudo 120 (cuyo tiempo más tardío es 19) y otra al nudo 90 (cuyo tiempo más tardío es 20). El menor de estos tiempos es el más tardío de 80, y ese tiempo es 19.

Nudo 70: De él sólo sale T3 de duración 6. Restando  $23-6=17$ , se calcula el tiempo más tardío de 70.

Nudo 60: De él salen dos ficticias, una hacia el nudo 90 (cuyo tiempo es 20) y otra hacia 70 (cuyo tiempo es 17). El tiempo de este nudo será el menor de ambos, es decir 17.

Nudo 50: De este nudo sólo sale la actividad T2 de duración 6. Restando esta cifra del tiempo del nudo 60, se tiene  $17-6=11$ .

Del nudo 40 salen dos flechas: P1 hacia el nudo 80 y ficticia hacia el nudo 50. Por el primer camino se tiene  $19-2=17$ , y por el segundo camino se traslada la cifra 11. El tiempo del



nudo 40 es, entonces, 11.

Nudo 30: De él salen dos ficticias. La primera traslada la cifra del nudo 120, que es 19, y la segunda la cifra del nudo 70, que es 17. Por ende, el tiempo del nudo 30 es 17.

Nudo 20: De él salen dos flechas, el E3 hacia el nudo 30, por el cual tenemos  $17-5=12$ ; y la ficticia hacia el nudo 50, que traslada la cifra 11. Por lo tanto el tiempo del nudo 20 es 11.

Nudo 10: También de él salen dos flechas. La flecha T1 sale hacia el nudo 40 y la E2 hacia el nudo 20. El primer camino da con la cifra  $11-6=5$ ; el segundo de la cifra  $11-5=6$ . Por ello, el tiempo del nudo 10 es 5.

El nudo inicial 0: De él sale sólo E1 y por lo tanto su tiempo es  $5-5=0$ , lo que coincide con el dato de partida de los cálculos.

Los tiempos más tardíos de cada nudo, cuyo cálculo se acaba de detallar, reciben en la literatura inglesa la designación de TL (Latest Time), designación que se mantendrá en este trabajo, debido a que los trabajos en español no han uniformado su nomenclatura.

Observando el resultado del cálculo recién completado se encuentra que hay un conjunto de nudos para los cuales el tiempo más temprano (TE) y el tiempo más tardío (TL) resultaron iguales; ellos son los números: 0-10-40-50-60-70-110-140-150. Todos los demás nudos tienen un TL mayor que el TE, cuya diferencia de tiempo recibe el nombre de Margen del nudo. ( $M=TL-TE$ ).

d. Ruta crítica

Se observa de nuevo el gráfico 4.4. Entre los nudos de margen cero ( $M=0$ ) existen las siguientes flechas: entre los nudos 0-10, sólo hay una actividad que es E1; entre los nudos 10-20 está T1; entre 40-50 hay una ficticia; entre 50-60 está T2, entre 60-70 hay una ficticia; entre 70-110 está T3; entre 110-140 está P3; y entre 140-150 está C3.

Este conjunto de actividades tiene la particularidad de que forma un camino continuo desde el comienzo de la red hasta su fin y en el cual cada una de las actividades debe comenzar tan pronto termina la anterior.

Al sumar la duración de las seis actividades que constituyen la ruta crítica, se obtiene la cifra de 28 días, que es la duración de este proyecto.

En otras palabras el camino de los nudos de margen cero (0-10-40-50-60-70-110-140-150) es el que fija la duración del proyecto, y por ello recibe el nombre de "camino crítico" o de "ruta crítica". (CP).

Nótese que si cualquiera de las actividades de la ruta crítica se atrasa en su ejecución, el proyecto completo se atrasa en el mismo tiempo en que se atrasa esa actividad.

Estas consideraciones llevan a contestar parcialmente el segundo objetivo del cálculo de la red: encontrar la fecha en que debe programarse cada una de las actividades. Se dice que la respuesta es parcial, porque ella se refiere sólo a las actividades críticas. En efecto, para las actividades críticas la programación obligada será la

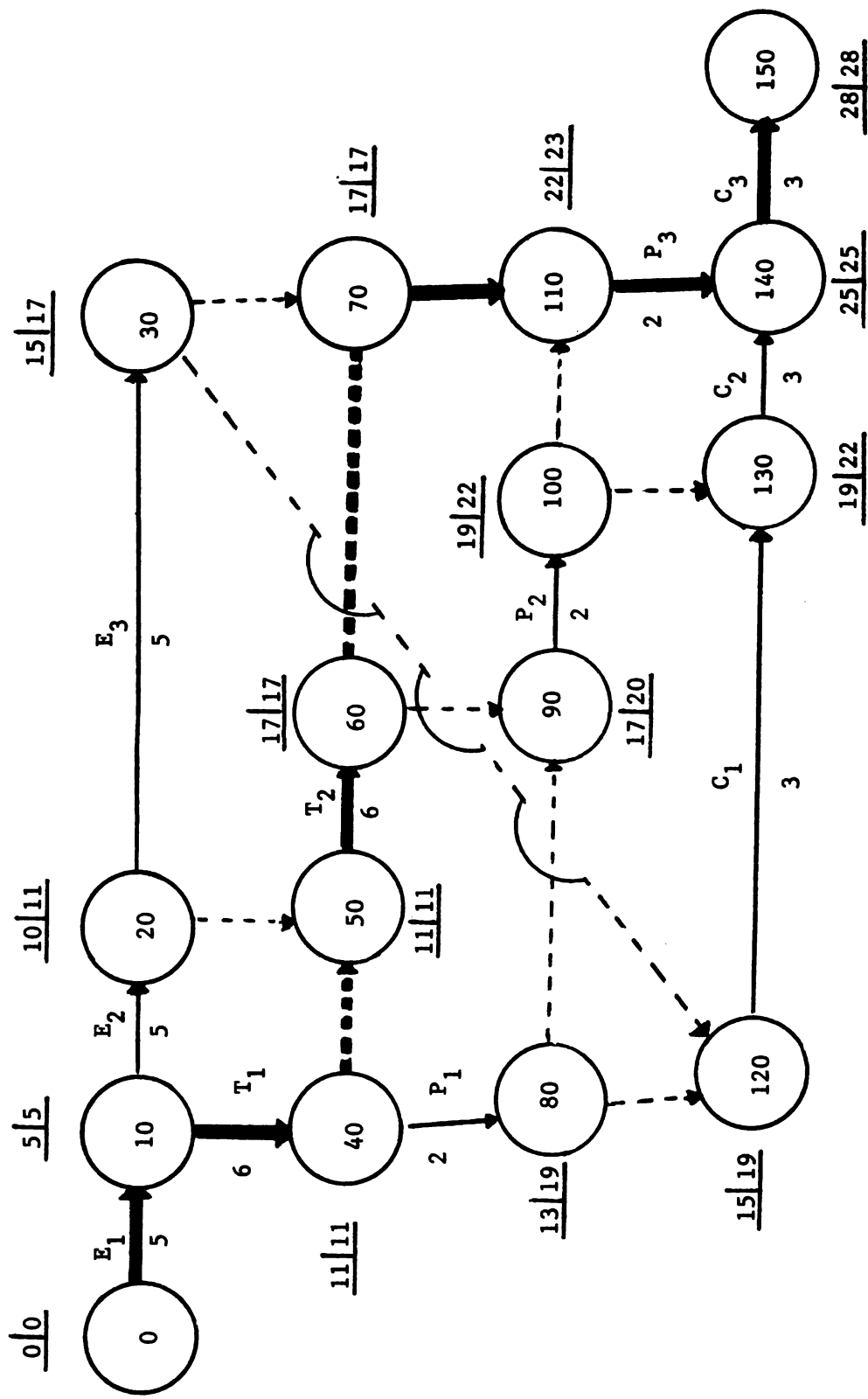


Gráfico 4.4

siguiente:

Tabla 4.1: Programación de actividades críticas

Actividad	Duración	Comienzo	Término
E1	5	0	5
T1	6	5	11
T2	6	11	17
T3	6	17	23
P3	2	23	25
C3	3	25	28

No obstante que en el ejemplo elegido se dió el caso de que entre todos los nudos de margen cero hay una sola actividad, éste no es el caso general, ya que en otra red se puede dar un caso diferente, como el que se indica en el gráfico 4.5.

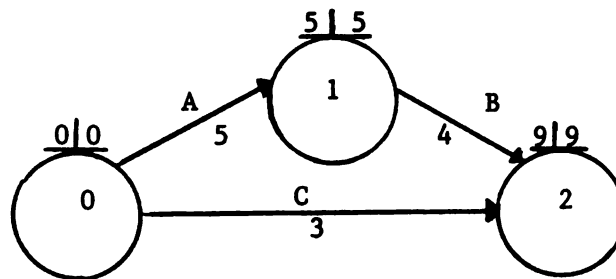


Gráfico 4.5

En este caso la actividad C, aunque está entre dos nudos de margen cero, no es crítica porque no es ella la que condiciona el tiempo del nudo 2. Este ejemplo advierte la posibilidad de que, cuando en la red se presentan dos o más actividades entre nudos de margen cero, es necesario un segundo análisis para identificar a las que condicionan los tiempos de esos nudos, que son las críticas, en tanto que las otras no lo son.

Todas estas características hacen de la ruta crítica la más

importante de la red, y por ello se acostumbra a marcarla de modo que se destaque, ya sea con una línea más gruesa, ya sea con un color llamativo.

La importancia de la ruta crítica es también lo que da su nombre al CPM (Critical Path Method).

e. Programación de las actividades no críticas

Para analizar la información que da el cálculo de la red para programar las actividades no críticas, es más cómodo trasladar los datos a una tabla como la 4.2. Este proceso se hará paso a paso, siguiendo la secuencia del nudo inicial de numeración más baja.

La primera actividad no crítica es la 10-20 que corresponde a E2, la cual tiene como fecha de inicio más temprano el correspondiente a su nudo inicial, que es 5. Esta cifra se anota en la columna correspondiente de la tabla. Si se empieza en esa fecha, dado que su duración es 5 días, su término más temprano sería el día 10, lo que se anota en la columna correspondiente de la tabla. Por otra parte, la fecha más tardía de su nudo final es 11, por lo cual, si esa actividad termina en esa fecha, no alterará la duración del proyecto. De modo que se anota la cifra 11 en la columna de término más tardío.

Actividad 20-30: Corresponde a E3 de duración 5. Su nudo inicial tiene su tiempo más temprano el día 10, que es la fecha más temprana en que puede comenzar, lo que se anota en la columna correspondiente. Sumando a esa fecha la duración, tenemos el término más temprano ( $10+5=15$ ) que se anota en la columna siguiente. Por su parte el tiempo más tardío del nudo 30 es 17, de modo que si E3 termina en esa fecha, no atrasará el término del proyecto.

Actividad 40-80: Corresponde a P1 de duración 2. El tiempo más temprano de su nudo inicial es 11 y sumando a éste la duración ( $11+2=13$ ) se calcula el término más temprano. Copiando el tiempo más tardío de su nudo final, se estima la fecha más tardía en que puede terminar.

Actividad 90-100: Corresponde a P2 de duración 2. El tiempo más temprano de su nudo inicial es 17. Sumándole la duración ( $17+2=19$ ) se completa el término más temprano y copiando el tiempo más tardío del nudo 100 (22) se everigua el término más tardío.

Actividad 120-130: Corresponde a C1 de duración 3; el tiempo más temprano del nudo 120 es 15; al igual que en casos anteriores se suma ambos tiempos para obtener el término más temprano:  $15+3=18$ . El tiempo más tardío del nudo 130 es 22.

Actividad 130-140: Corresponde a C2 de duración 3. El término más temprano del nudo 130 es 19; la suma de los tiempos (el tiempo más temprano y la duración):  $19+3=22$ . El tiempo más tardío del nudo 140 es 25.

Tabla 4.2

Actividad	Duración	Tiempos Tempranos		Término más tardío
		Inicio	Término	
E2	5	5	10	11
E3	5	10	15	17
P1	2	11	13	19
P2	2	17	19	22
C1	3	15	18	22
C2	3	19	22	25

#### f. Holgura de las actividades

Una de las características de las actividades no críticas es que el período en que pueden realizarse, que es el comprendido entre el tiempo temprano de su nudo inicial y el tiempo tardío de su nudo final, es mayor que la duración de la actividad.

Existen dos clases de holgura, la total y la libre.

Holgura total:

La diferencia entre los tiempos límites posibles y la duración de la actividad es lo que se llama la "holgura total" de la actividad.

En la tabla 4.2 el monto de la "holgura total" está dado por la diferencia entre el término más tardío y el término más temprano.

En la tabla 4.3 se muestra el valor de la "holgura total" de cada actividad.

La existencia de actividades que no necesitan programarse en una fecha fija, sino que tienen un período para hacerlo, ofrecen al Jefe de Proyecto flexibilidad para acomodar la programación con lo que puede buscar la forma de hacer el mejor uso posible de los recursos. Este punto se estudiará con más detalle en el párrafo 4.4.

Por otra parte, si durante la ejecución del proyecto, una actividad no crítica se atrasara en un tiempo que no sobrepase la "holgura total" que le deje su programación, no atrasaría el término del proyecto.

No obstante las ventajas que se han señalado, el uso de la "holgura total" de una actividad tiene un precio: si se toma la totalidad de ella para programar una actividad (por ejemplo, si en el gráfico 4.4, C1 se programara entre los días 19 y 22), a lo menos uno de los caminos que nacen de su nudo final se hará crítico (C2 debería programarse entre los días 22 y 25). Por tanto, se introduce un nuevo factor de rigidez que cualquier retraso en estas actividades traería un atraso del proyecto.

Una forma de recordar esta característica de la holgura total, es compararlo con una cuenta multipersonal en un banco, de modo que cada uno que gire una suma, baja el saldo disponible de los demás socios.

Holgura libre:

Por las razones anteriores se ha encontrado conveniente definir otro tipo de holgura que de mayor libertad de uso al Jefe de Proyecto, cuando hay actividades que la tienen.

Como se explica anteriormente, cada vez que dos o más actividades tienen el mismo nudo final, sólo una (la que termina más tarde de ellas) es la que fija el tiempo más temprano de ese nudo. A todas las demás les queda una holgura que es conceptualmente diferente de la holgura total, puesto que ella no está referida al tiempo más tardío del nudo final de esas actividades, sino al tiempo más temprano de ese nudo final. Esta es la llamada holgura libre de la actividad, cuyo valor está dado por la diferencia entre el tiempo más temprano del nudo final de la actividad y el tiempo más temprano de término de ella.

El valor de la holgura libre de cada actividad se muestra en la tabla 4.3.

Siguiendo la comparación con la cuenta bancaria, la holgura libre representa una cuenta unipersonal, de la cual la actividad puede girar todo su saldo sin que se enteren las actividades que la siguen, puesto que, de todas maneras, ellas pueden programarse en sus tiempos más tempranos.

g. Tabla de tiempos

Al reunir toda la información obtenida de la red en una sola



tabla, se obtiene la llamada "Tabla de Tiempos", así por ejemplo:

Tabla de Tiempos 4.3

Acti- vidad	Dura ción	Tiempo Temprano		Nudo Final		Holguras		Ruta Crítica
		Inicio	Término	Tempr.	Tardío	Total	Libre	
E1	5	0	5	5	5	0	0	✕
E2	5	5	10	10	11	1	0	
E3	5	10	15	15	17	2	0	
T1	6	5	11	11	11	0	0	✕
T2	6	11	17	17	17	0	0	✕
T3	6	17	23	23	23	0	0	✕
P1	2	11	13	13	19	6	0	(1)
P2	2	17	19	19	22	3	0	
P3	2	23	25	25	25	0	0	✕
C1	3	15	18	19	22	4	1	
C2	3	19	22	25	25	3	3	
C3	3	25	28	28	28	0	0	✕

(1) P1 aparece sin holgura libre, pero si miramos el gráfico 4.4 veremos que si tiene este tipo de holgura la ficticia 80-120, lo que no tiene sentido porque ésta es sólo un artificio gráfico. En verdad la holgura libre de la ficticia, es la P1. Esta es una imprecisión del CPM.

La tabla de tiempos tiene muchos usos para el Jefe de Proyecto porque le permite listar las actividades de varias formas, según el uso que se le quiera dar.

Una forma usual de listarlas es en el orden de sus tiempos más tempranos de inicio, lo que le da información sobre las prioridades para preparar los recursos que necesitará cada actividad.

Una segunda forma de ordenar la lista es de acuerdo a las entidades responsables, sean individuos o unidades ejecutoras, lo que permite entregar a cada uno de ellos el calendario de las actividades que debe realizar.

#### h. Ejemplos y ejercicios

Calcular la red siguiente:

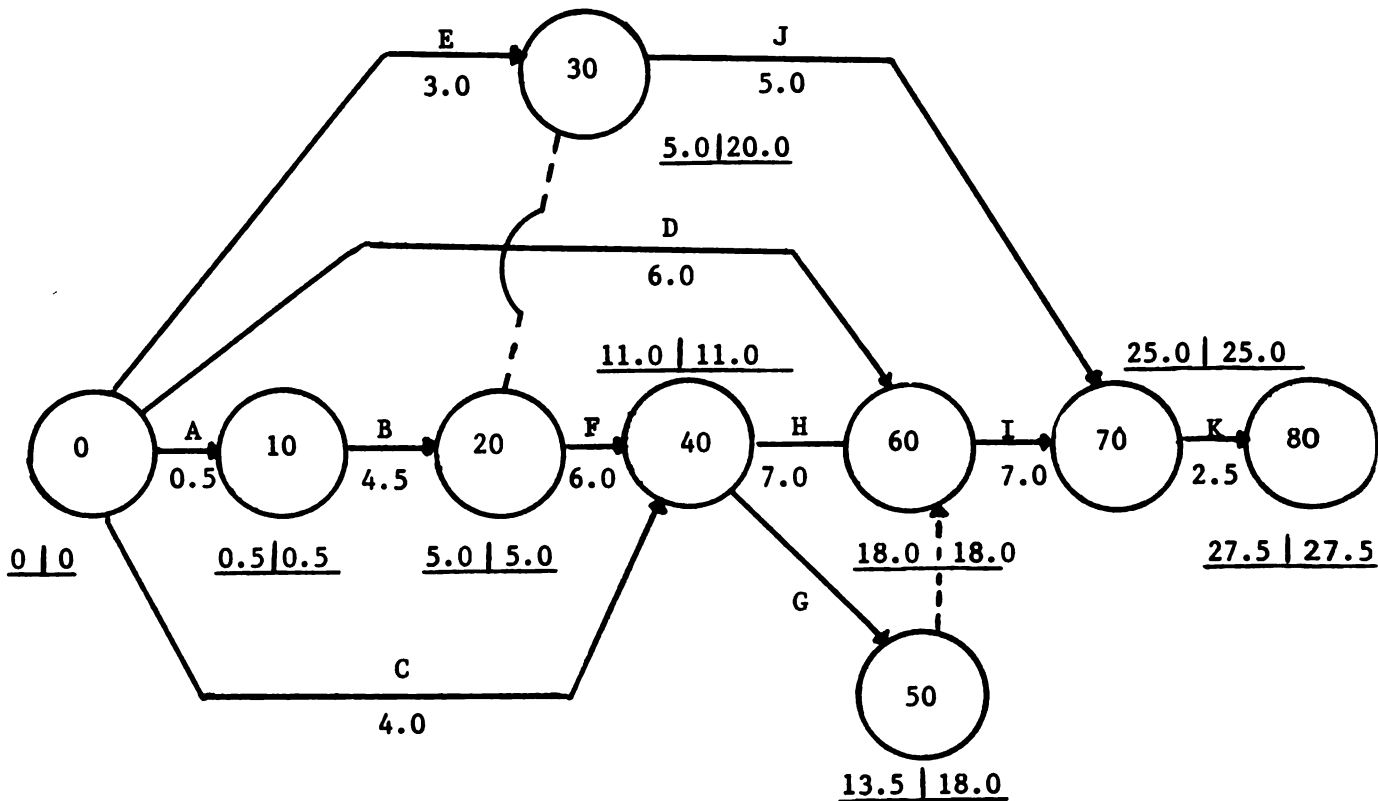


Gráfico 4.6

Respuesta: Duración total 27.5 unidades de tiempo

Ruta crítica: 0-10-20-40-60-70-80

Tabla de tiempos:

Acti- vidad	Dura ción	Tiempos Tempranos		Nudo Final		Holguras	
		Inicio	Término	Temprano	Tardío	Total	Libre
A	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0	0
B	4.5	0.5	5.0	5.0	5.0	0	0
C	4.0	0.0	4.0	11.0	11.0	7	7
D	6.0	0.0	6.0	18.0	18.0	12	12
E	3.0	0.0	3.0	5.0	20.0	17	2
F	6.0	5.0	11.0	11.0	11.0	0	0
G	2.5	11.0	13.5	13.5	18.0	4.5	0 (1)
H	7.0	11.0	18.0	18.0	18.0	0	0
I	7.0	18.0	25.0	25.0	25.0	0	0
J	5.0	5.0	10.0	25.0	25.0	15	15
K	2.5	25.0	27.5	27.5	27.5	0	0

(1) Nota: La actividad G aparece sin holgura libre. Sin embargo, la ficticia 50-60 tendría una HL=4.5 que, en rigor no es de ella, sino de G. Aquí aparece también la imprecisión del CPM.

Ejercicios

1) Calcular la siguiente red y hacer la tabla de tiempos

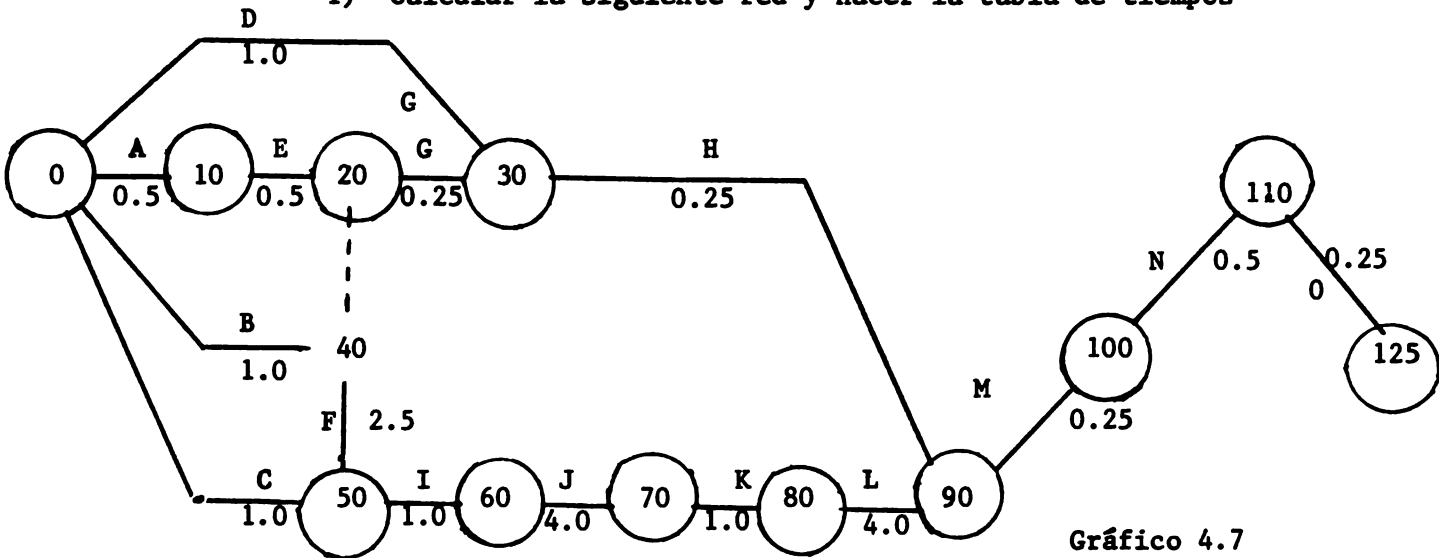
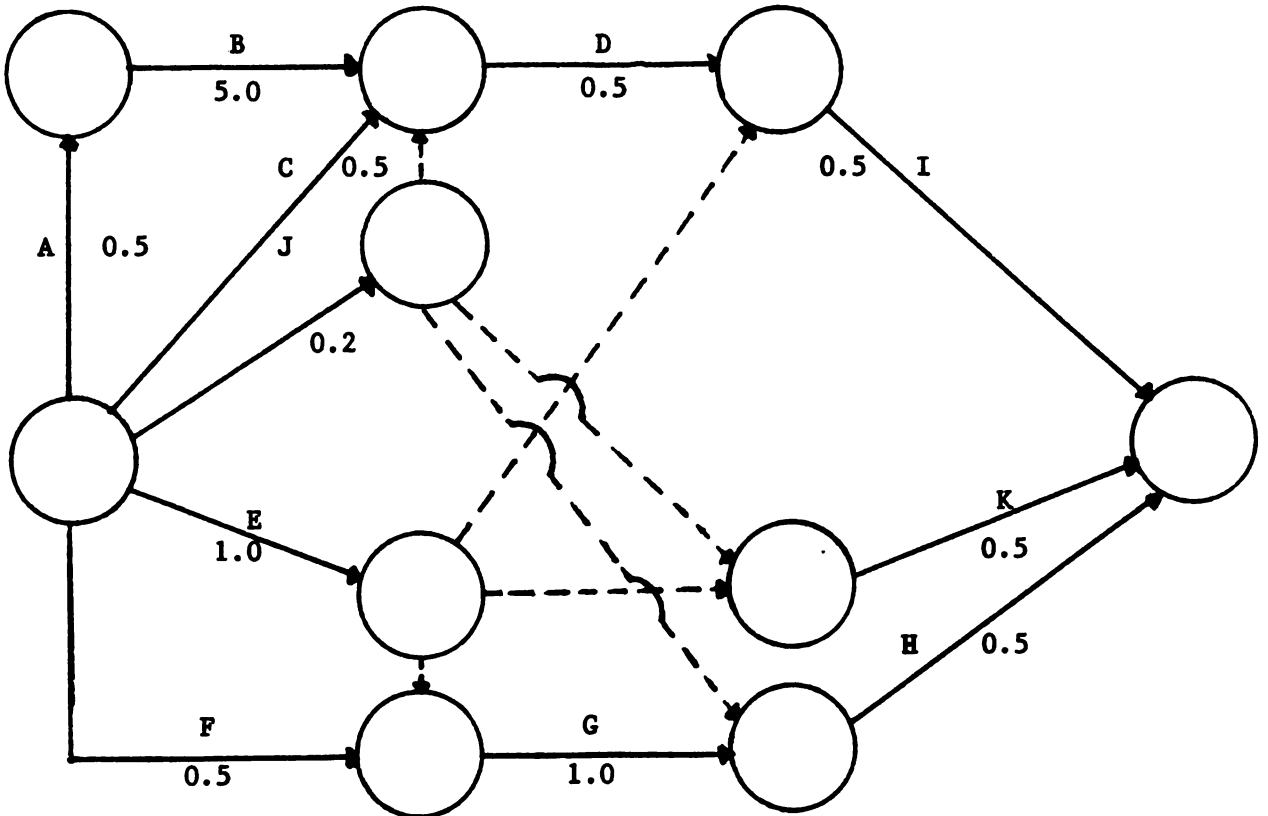


Gráfico 4.7

Respuesta: Tiempo final 14.5

2) Calcular la siguiente red y hacer tabla de tiempos



Respuesta: Tiempo final 6.5

Gráfico 4.8

### 4.3 Análisis de recursos

Como se señala en el Capítulo 1, una programación no puede considerarse satisfactoria mientras que no se vincule con el análisis de la utilización de los recursos que resulta en ella.

En el Capítulo 2 se señaló que una gran limitación del PERT/CPM es su orientación exclusiva al manejo de la variable tiempo, mientras que en el Capítulo 3 se vio cómo el Diagrama de Gantt prestaba un valioso servicio para el análisis de recursos. Por ello el CPM recurre al Gantt para estos efectos, contruyendo el cronograma a partir de los datos obtenidos del cálculo de la red.

#### a. Construcción del Diagrama de Gantt a partir de la Red

Para construir el Diagrama de Gantt se pone en la horizontal la duración total del proyecto, separado en las unidades de tiempo usada en la red.

En la vertical se listan las mismas actividades que se identificaron en la red y las barras se trazan a partir de su tiempo más temprano y con una longitud igual a su duración.

Al copiar las actividades debe tenerse presente que en la red, la fecha más temprana de comienzo es la del último día antes, artificio que ya se explicó como necesario para que la fecha de término de la actividad anterior sea el mismo de comienzo de la siguiente. Esto es un requisito para la continuidad que exige el procedimiento de cálculo.

En el Diagrama de Gantt resultante, es posible marcar para cada actividad una línea de rayas que indique la holgura total que le corresponde, así como también su holgura libre, lo que se marcará con x.

El gráfico 4.9 muestra el Diagrama de Gantt correspondiente al ejemplo usado para explicar el método CPM, con la información del gráfico 4.4.

b. Ejemplo de análisis de recursos

El ejemplo de red que se ha usado para explicar el método CPM es el mismo empleado en el Capítulo 3, párrafo 3.4, tender una tubería para dar agua potable a una comunidad, para lo cual se definieron cuatro actividades básicas: excavar, (E), tender y acoplar los tubos (T), probar su "estanqueidad" (P) y cubrir o tapar la zanja (C). Para aprovechar la capacidad del CPM de establecer las relaciones entre las actividades, se dividió el trabajo en tres etapas, de modo que después de hacer la excavación E1, se puede continuar con la excavación E2, a la vez que se empieza a tender y acoplar los tubos de la primera etapa T1.

La suposición que se ha hecho es que hay tres cuadrillas, una para excavar y cubrir, formada por peones que aporta la comunidad; otra cuadrilla para tender y acoplar, formada por tuberos y la tercera de probadores, que facilita el Instituto de Agua Potable. Esto significa que cada cuadrilla debe terminar una de las etapas antes de pasar a la siguiente, lo que da las relaciones de secuencia que aparecen en la red del gráfico 4.4 y en su correspondiente Diagrama de Gantt, gráfico 4.9.

En lugar de poner la cifra de recursos que ocupa cada actividad, se pone sólo una letra que la identifica, bajo el su puesto de que ella es uniforme durante la ejecución de cada actividad.

Análisis de la distribución de los recursos:

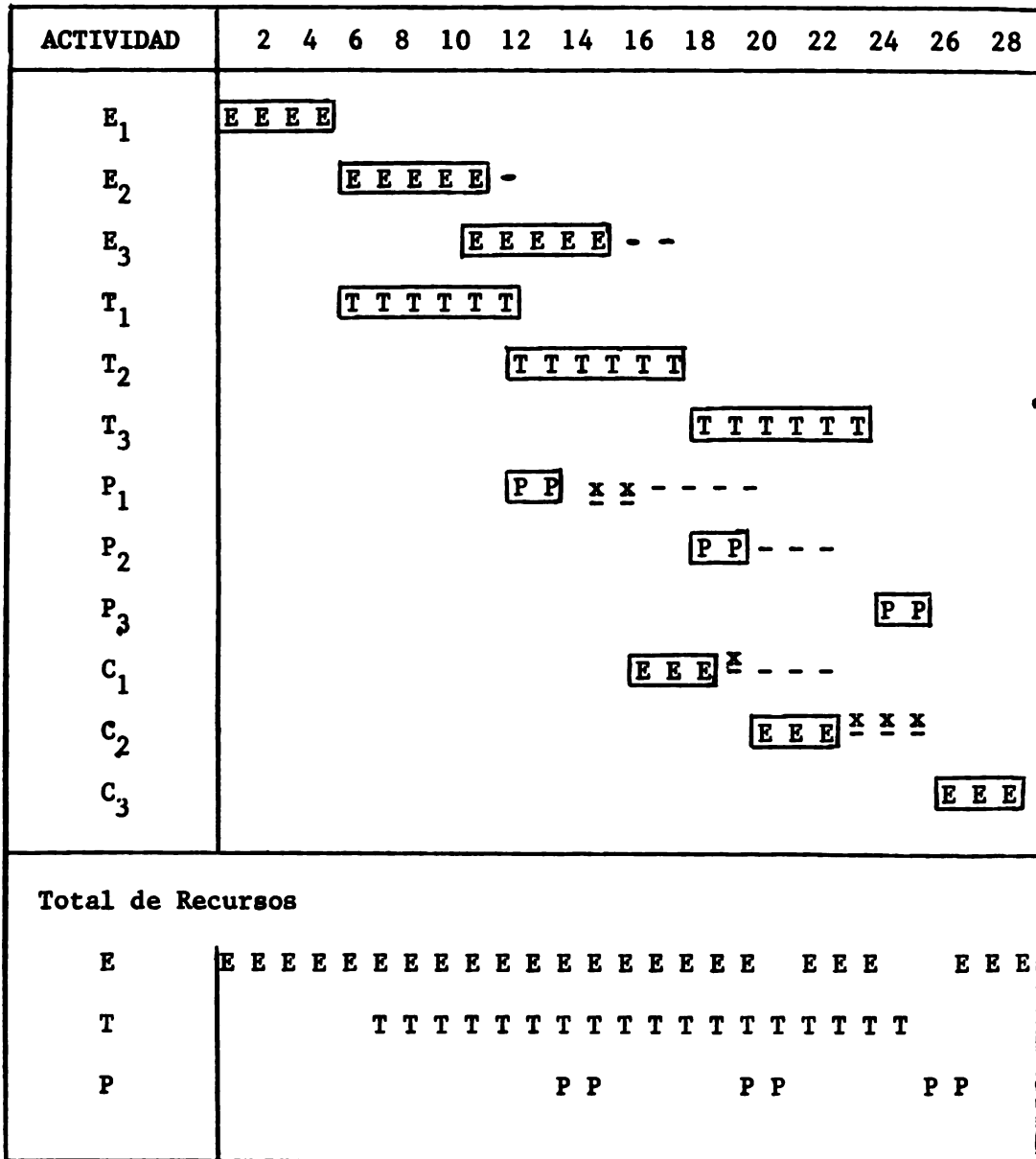


Gráfico 4.9

El gráfico 4.9 representa la programación con los tiempos más tempranos de cada actividad, obtenidos de la red. Existen dos recursos cuya distribución necesita de análisis: los peones y los probadores.

Los peones: La cuadrilla, que en el gráfico se llama E, está desocupada los días 18, 23, 24 y 25. El Jefe de Proyecto podría disminuir la cuadrilla después del día quinto, de modo que la cuadrilla menor "e" termine la excavación y la cobertura de la zanja en los 23 días que le quedan disponibles.

Otra alternativa de programación, sin modificar el monto de los recursos, sino que aprovechando las holguras de las actividades. sería dejar un día de holgura al final de E2 y otro día al final de E3, lo que pondría a cubierto de imprevistos la excavación, aunque no resuelve la nivelación de este recurso. Esta proposición se muestra en el gráfico 4.10.

Los probadores: Se advierte que este recurso queda mal a provechado en el gráfico 4.9, ya que tendrían que ir y volver al terreno. Una alternativa sería dejar un día de holgura entre P1 y P2, y otro día entre P2 y P3, lo que faculta al Jefe para prever hechos inesperados. No tendría que ir y volver al terreno.

La discusión que se ha hecho aunque no completa ni la mejor, intenta mostrar que el Jefe de Proyecto tiene nuevos elementos de juicio para buscar una programación más adecuada que la que obtuvo de los tiempos más tempranos de la red.

En los párrafos 3.4 y 5.3 se encontrarán otros elementos de juicio sobre este mismo problema y acerca de otros en que se busca la nivelación de recursos escasos y de varios recursos





recursos a la vez.

c. Ejercicios de construcción del Diagrama de Gantt

Como ejercicios se pueden construir los diagramas de Gantt que resultan de las redes que se dieron como ejercicios en el párrafo 4.3.

4.4 Montaje de la red

a. Identificación de las actividades

Para identificar las actividades de un proyecto se puede seguir varios procedimientos. En el párrafo 3.2 se comentó uno que consiste en identificar primero un grupo de actividades mayores que luego se va desglosando en otras menores hasta obtener actividades de un tamaño adecuado, para identificar el procedimiento que se debe seguir en su ejecución y los recursos que necesita cada una.

Para un proyecto complejo, el mejor método que se conoce hasta ahora es el llamado del Desglose Analítico del Proyecto, el que se desarrolla en el Capítulo 6. (Véase también el fascículo 3).

En el Capítulo 7 se desarrollan algunos criterios que deben tenerse presentes para determinar la duración de las actividades.

En los siguientes párrafos se tratará sólo del procedimiento para montar la red, suponiendo que tanto la identificación de las actividades, como la determinación de su duración, son datos conocidos.

## b. Tablas de secuencia.

Para establecer las secuencias y paralelismos que existen entre todas las actividades de un proyecto, basta estudiar individualmente de cuáles otras recibe los insumos cada actividad. En este análisis de actividad por actividad, las iniciales se reconocerán porque no reciben insumos de ninguna otra, sino de las condiciones iniciales para comenzar el proyecto.

Obsérvese el ejemplo. Se necesita sembrar tres parcelas de una cooperativa, para lo cual se dispone de un tractor con arado, uno con rastra y uno con sembrador; se trata de completar el trabajo en el menor tiempo posible. Las actividades son las siguientes:

A1 Arar la parcela 1  
 A2 Arar la parcela 2  
 A3 Arar la parcela 3  
 R1 Rastrar la parcela 1  
 R2 Rastrar la parcela 2  
 R3 Rastrar la parcela 3  
 S1 Sembrar la parcela 1  
 S2 Sembrar la parcela 2  
 S3 Sembrar la parcela 3

Para hacer la tabla de secuencias vale la pregunta ¿cuál de las actividades es necesario que esté terminada para iniciar la actividad A1? Respuesta: ninguna. Esto se anota en la tabla 4.4 en la columna ANTES con una raya (-).

La misma pregunta se hace para la actividad A2. La respuesta es A1, porque debe esperarse a que el arado termine la parcela 1. Esta respuesta se anota en la columna ANTES de la tabla 4.4.

Sucesivamente se analiza el A3 y el R1. La respuesta para el primero es A2 y para el segundo A1; ambas respuestas se anotan en la columna ANTES.

Al examinar la R2 se nota que la respuesta es A2 y R1, porque debe esperarse a que esté arado y a que se desocupe la rastra que estaba en la primera parcela. La R3 tiene como respuesta, actividades terminadas necesarias, A3 y R2.

El análisis de S1, S2 y S3 muestra que es necesario terminar antes R1 que S1 y R2 y S1 antes del S2 y R3 y S2 antes del S3.

La tabla que sigue confirma dichas observaciones:

Tabla 4.4.

<u>ANTES</u>	<u>ACTIVIDAD</u>
-	A1
A1	A2
A2	A3
A1	R1
A2 y R1	R2
A3 y R2	R3
R1	S1
R2 y S1	S2
R3 y S2	S3

Para construir la red con la información de esta tabla sólo falta identificar las actividades finales, las que, por no dar insumo a ninguna otra, son las que no aparecen en la columna ANTES. En el ejemplo es fácil describir que es sólo S3, pero en otros casos esta identificación no suele ser tan obvia.

Como forma de identificar las actividades finales y de comprobar que la lógica anotada en la tabla es la correcta, se acostumbra también hacer la pregunta ¿A qué actividades sirve de insumo el producto de ésta?. Este proceso se hace

también actividad por actividad y las respuestas se anotan en la columna a la que se llama DESPUES.

Así, la tabla 4.4 se transforma en la 4.5 que se anota a continuación:

Tabla 4.5

<u>ANTES</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>DESPUES</u>
-	A1	A2-R1
A1	A2	A3-R2
A2	A3	R3
A1	R1	R2-S1
A2-R1	R2	R3-S2
A3-R2	R3	S3
R1	S1	S2
R2-S1	S2	S3
R3-S2	S3	-

Si cada una de las columnas ANTES Y DESPUES se llenan en dos momentos distintos, es decir preguntándose primero por los insumos de todas las actividades y después de terminado esto se hace el segundo proceso, los resultados anotados en ambas columnas permiten verificar si se ha usado un criterio coherente en ambas.

En efecto, la relación ANTES-ACTIVIDAD es la misma de ACTIVIDAD - DESPUES, de modo que podemos verificar que si en las columnas ACTIVIDAD Y DESPUES tenemos A1 y A2. En las columnas ANTES Y ACTIVIDAD debemos tener la misma relación (2da. línea de la tabla).

Del mismo modo, la segunda relación de las columnas ACTIVIDAD-DESPUES en la primera línea A1-R1 debe repetirse en las columnas ANTES-ACTIVIDAD de la cuarta línea.

Si al repetir este procedimiento de verificación para todas las actividades resultara una que no concuerda, significa que en uno de los análisis se ha cometido un error. Por lo tanto, hay que volver a examinar las relaciones de esas actividades.

c. Montaje de la red.

Para montar la red a partir de la tabla de secuencias, se puede comenzar por su inicio o por su fin, sin que haya diferencias sustanciales en el procedimiento. Si se escoge el método de inicio a fin, se debe comenzar por las actividades iniciales que muestra la columna ANTES y luego seguir con los productos de ellas que muestra la columna DESPUES. Si se elige la construcción de fin a inicio, se buscan las actividades finales en la columna DESPUES y luego se pregunta por las actividades que dan insumos a esas, o las que se encuentran en la columna ANTES.

El ejemplo sigue la dirección inicio-fin. En la tabla 4.5 hay una sola actividad inicial A1, la que se dibuja entre sus nudos de inicio y fin. En la columna DESPUES es obvio que siguen A2 y R1 cuidando que tengan como nudo inicial el nudo final de A1. Siguiendo con una de ellas, A2, a la que siguen A3 y R2, estas pueden dibujarse con sus nudos iniciales coincidiendo con el final de A2.

Volviendo a la actividad R1 a la que siguen R2 y S1; R2 ya está dibujada después de R2 y como no es posible poner dos actividades entre los mismos dos nudos, habrá que poner una ficticia entre el nudo final de R1 y el inicial de R2. El gráfico 4.11 muestra lo explicado hasta este momento.

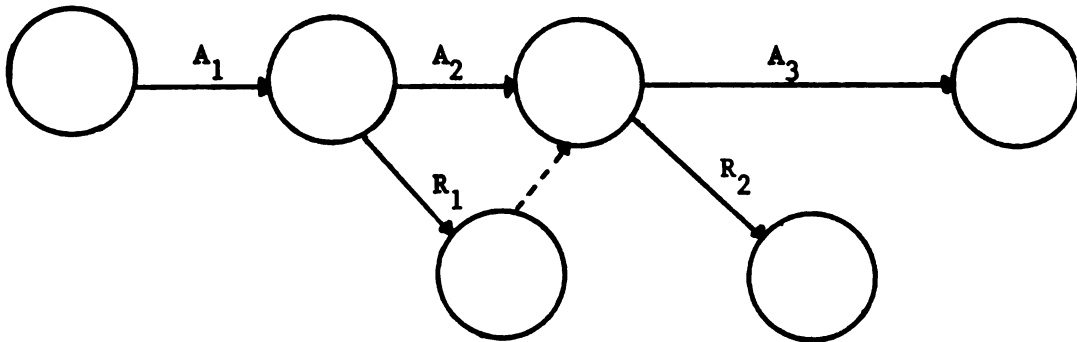


Gráfico 4.11

Al poner la ficticia, que traslada el estado del nudo final de R1 al nudo final de A2, R1 queda como insumo de A3 lo que es falso. Por lo tanto debe borrarse R2 de la posición en que se tiene para ponerla con su nudo inicial coincidiendo con el final de R1, y agregarle una ficticia del final de A2 al comienzo de R2 para conservar esa condición de secuencia. El gráfico 4.12 muestra la relación que se ha indicado.

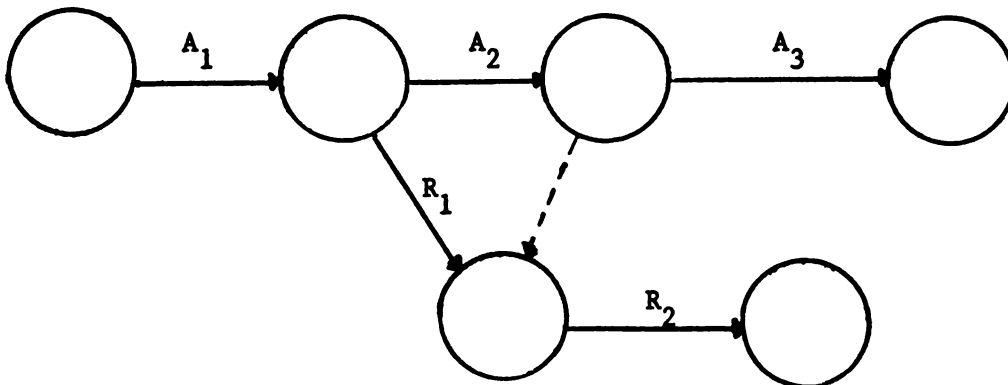


Gráfico 4.12

Después de R2 sigue R3 la que se traza a continuación de la primera, pero como R3 también recibe insumo de A3 se debe poner una ficticia desde el nudo final de ésta al inicial de R3.

Se vuelve a R1 y se observa que le siguen R2 (ya dibujado) y S1; se dibuja ésta con su nudo inicial coincidiendo con el final de R1, como muestra el gráfico 4.13

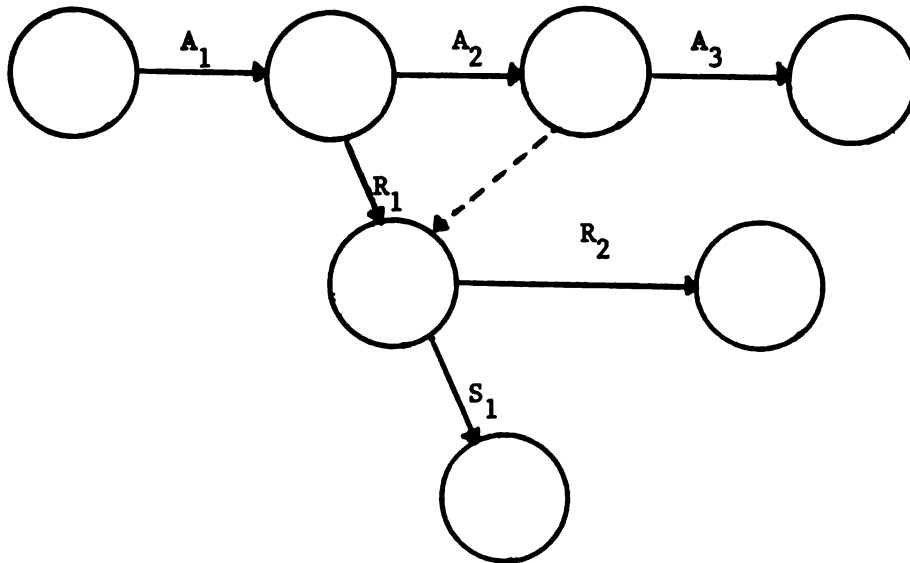


Gráfico 4.13

Este gráfico muestra que, a través de la ficticia, S1 queda recibiendo insumo de A2, lo que es falso. Para salvar esta dificultad se tienen que separar los nudos de inicio de R2 y de S1 debido a que la primera tiene un insumo diferente (A2).

Lo encontrado es un problema común del montaje de una red CPM: Cada vez que una de varias actividades que reciben un insumo común tiene otro insumo no común a las demás, esa actividad debe dibujarse a partir de un nudo inicial diferente que se unirá al final de la actividad que les da insumo a todas, a través de una ficticia.

Siguiendo el procedimiento de dibujo que se ha indicado, hay que verificar en cada oportunidad si el dibujo crea se cuencias diferentes de las indicadas en la tabla 4.5. En tales casos hay que crear un nuevo nudo inicial para alguna



de las actividades hasta que se encuentre uno que cumpla ex exactamente las secuencias reales. Finalmente se llega al gráfico 4.13 que es una de las posibles expresiones gráficas del proyecto cuya red está construyéndose.

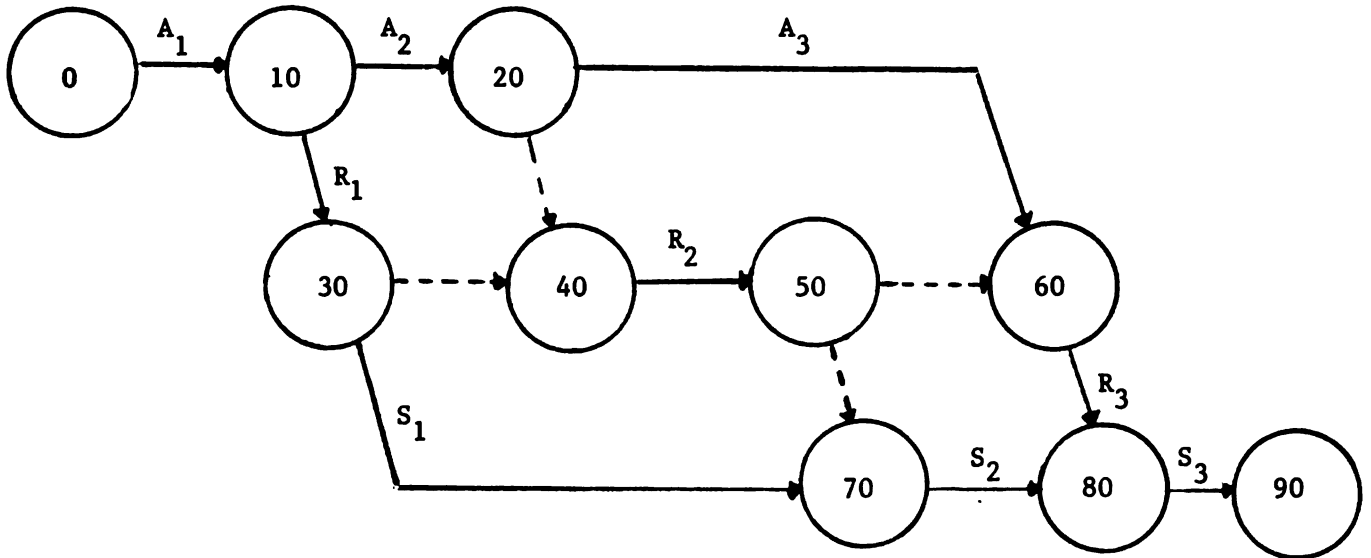


Gráfico 4.13

d. Numeración de los nudos de la red.

Cada nudo de la red debe identificarse con un número. Cada número debe cumplir con la condición de que, para cada actividad, el número del nudo inicial debe ser menor que el del nudo final.

La nomenclatura general llama "i" al nudo inicial de cualquiera actividad y "j" al nudo final, de modo que es requisito que en toda actividad "i" sea menor que "j".



Gráfico 4.14

Hay distintos métodos que permiten numerar la red de modo

que se cumpla la condición señalada para todas sus actividades. De entre ellos es preferible el "método de la mano izquierda" cuya forma de operar se describe en el Diagrama de Flujo de la página subsiguiente.

Se aplicará ese Diagrama de Flujo para numerar los nudos de la red del gráfico 4.13.

Al comienzo se pone 0 al nudo inicial (instrucción 1) y luego se sigue la actividad A1 (instrucción 2) cuyo nudo final no es final de otras actividades (pregunta 3). Por lo tanto se puede numerar (instrucción 8) con el número 10. (Conviene dejar amplitud en la numeración para permitir posibles desgloses de las actividades o la introducción de otras y por ello las numeraciones van de diez en diez).

Como no es el nudo final de la red (pregunta 9), hay que volver a la instrucción 2 la que indica seguir por la actividad A2. A su nudo final no llega ninguna otra actividad (pregunta 3), por lo cual se asigna el número 20 (instrucción 8).

Volviendo a la instrucción 2, es necesario seguir por la actividad a la izquierda, que es la A3. A su nudo final llega una ficticia (pregunta 3) cuyo nudo inicial no está numerado (pregunta 4). No se puede numerar y debe volverse al nudo 20 (instrucción 5).

Aquí nace también una ficticia, la cual se observa con su nudo final (instrucción 7), lo que muestra que es también nudo final de otra ficticia (pregunta 3). A la vez, su nudo inicial no está numerado (pregunta 4) por lo cual no se puede numerar (instrucción 5). Del nudo 20 no sale ninguna otra actividad (pregunta 6) por lo que habría que retroceder al nudo 10 (instrucción 8).

Del nudo 10 sale también la actividad R1 (pregunta 6), la que se sigue y se observa su nudo final (instrucción 7). Como no es nudo final de ninguna otra actividad (pregunta 3) se le puede asignar el número 30 (instrucción 8).

No siendo el nudo final de la red (pregunta 9) se sigue la ficticia dibujada a la izquierda.

La numeración de los nudos continua en la forma explicada siguiendo el Diagrama de Flujo de la página siguiente, hasta que se llegue al nudo final.

La numeración resultante es la anotada en el gráfico 4.13

e. Problemas para ejercicios

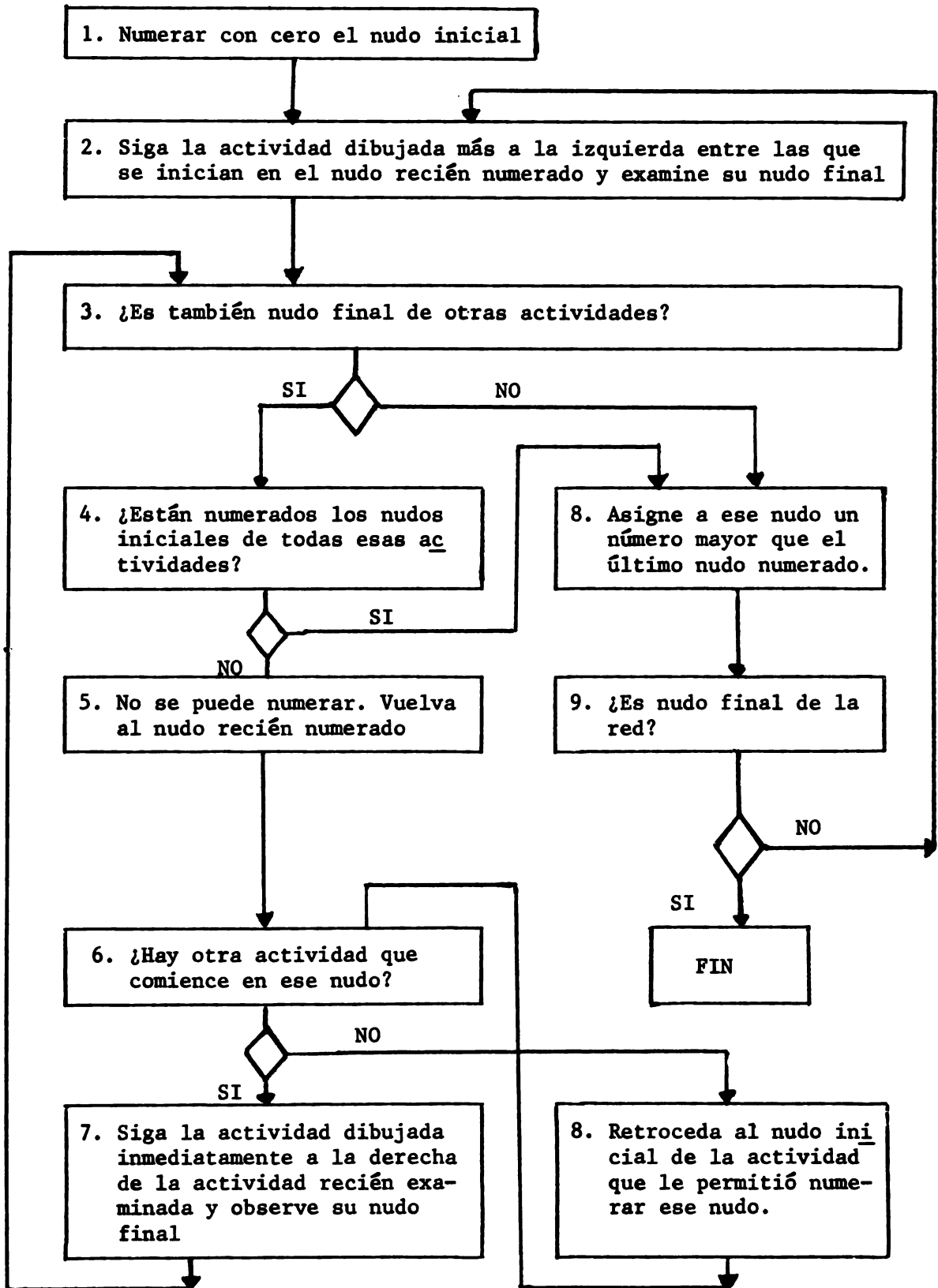
Al programador que va a montar una red se le pueden presentar dos casos: 1) que sea él mismo quien debe decidir las secuencias de las actividades y 2) que él recoja de los ejecutores las secuencias de cada actividad y construya la red a partir de una tabla de secuencias dada por aquellos.

Para ejercitar el caso 1) se pueden usar los tres problemas del párrafo 3.3.

Para ejercitar el caso 2) se pueden usar las tablas de secuencias del párrafo 5.4 (c).

## PROCEDIMIENTO DE NUMERACION DE LOS NUDOS DE UNA RED

## Diagrama de Flujo



## CAPITULO 5: METODO ABC

### 5.1 Características del Modelo

El método ABC (Analysis Bar Charting) presentado por John Mulvaney en 1969 (46) corresponde a un tipo de redes de bloques cuyo objetivo es el mismo del CPM. Es decir, determina la duración total del proyecto y las fechas de inicio y de término de cada una de las actividades.

El método ABC usa fundamentalmente dos procesos: uno para establecer las secuencias y calcular la red y otro de barras que recoge la información del primero para estudiar la programación definitiva de las actividades. De ahí el nombre del método.

El gráfico 5.1 muestra la representación ABC del mismo proyecto presentado en el CPM, en el gráfico 4.1.

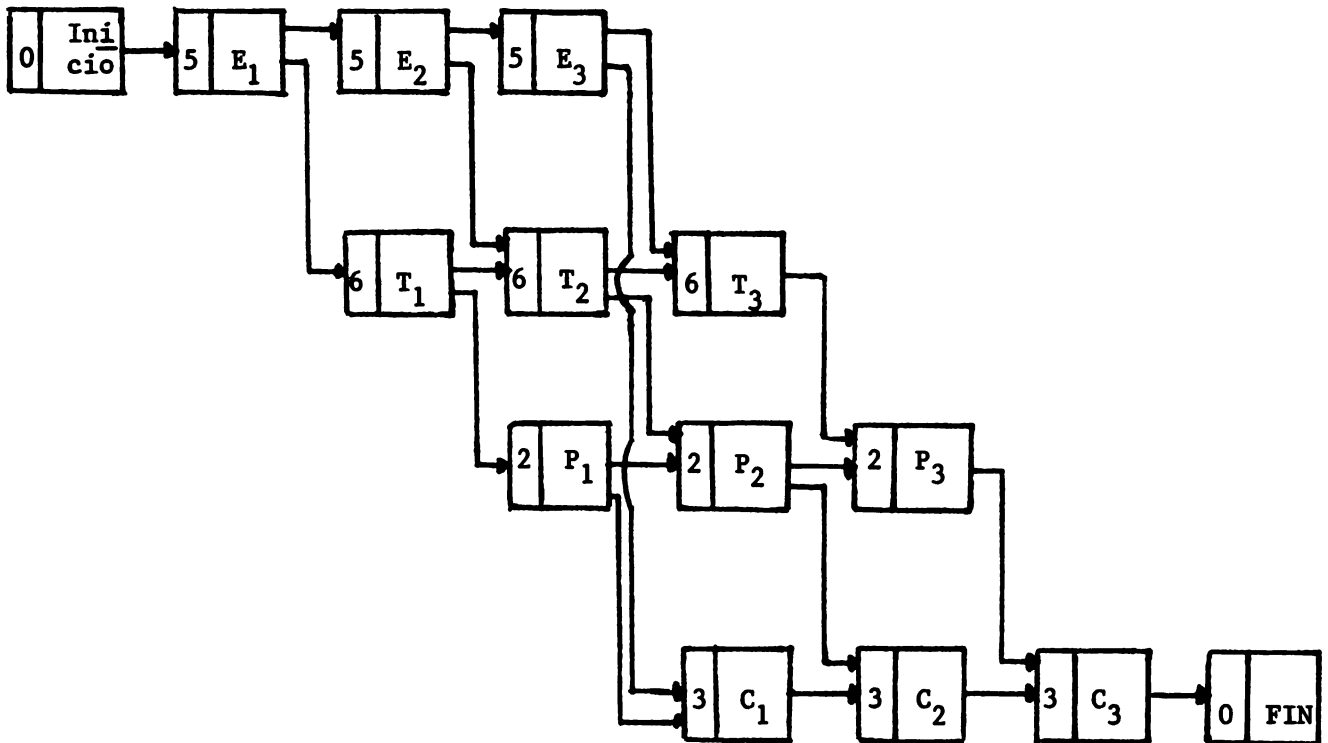


Gráfico 5.1

El modelo usa sólo dos símbolos: el rectángulo, o "caja" que representa a cada actividad del proyecto y las flechas que representan las relaciones de secuencias entre ellas.

Cada "caja" se compone de dos compartimientos: uno a la izquierda para anotar la duración de la actividad y el de la derecha para anotar el símbolo o frase reducida que identifica la actividad.

El modelo incluye dos actividades ficticias: la caja de INICIO que significa que se tienen disponibles todos los insumos y reursos para comenzar las actividades iniciales, y la caja FIN que significa que se alcanzó el objetivo del proyecto.

Ambas cajas llevan indicación de duración cero y son las únicas que se conectan a las demás sólo por un lado: la de inicio por el lado derecho, o de salida; la de fin por el lado izquierdo o de llegada.

Todas las demás cajas se conectan a la red por ambos lados: a) por el izquierdo, donde todas las flechas están con su punta hacia la caja para indicar los insumos que recibe (que son de la actividad en que nace cada una de esas flechas); b) por el derecho, donde todas las flechas son de salida para indicar a las actividades que su producto intermedio servirá como insumo.

La flechas sólo indican la relación que el producto intermedio de la actividad de la cual nace, servirá de insumo a la actividad a la cual llega.

## 5.2 Cálculo de la red

### a. Tiempos más tempranos

Al igual que el CPM, el cálculo comienza con el análisis de

los tiempos más tempranos en que pueden ejecutarse las actividades, para lo cual se anota en la parte superior izquierda, sobre la caja, la cifra indicadora del inicio más temprano. En la parte superior izquierda se escribe la del término más temprano.

Para demostrar el procedimiento se usará el mismo gráfico 5.1 que se repite como 5.2 para hacer las anotaciones correspondientes.

El cálculo comienza asignando el tiempo cero como final de la caja de INICIO. De ella sale sólo una actividad E1 y por tanto, su tiempo de inicio es también cero. Este valor se anota sobre el ángulo superior izquierdo de E1.

Nótese que aquí se usa la misma convención del CPM. Es decir, el tiempo de inicio representa al último día previo al comienzo real, que en este caso será la primera hora del primer día.

Al tiempo inicial, que es el mismo final de la actividad que le precede, se suma la duración de la actividad (5), de modo que su término más temprano es  $0+5=5$ . Se anota sobre el ángulo superior derecho el valor correspondiente.

De E1 salen dos actividades; E2 y T1. Ambas se pueden empezar en cuanto termine E1 y por tanto ambas tienen como fecha de inicio la misma de término de E1 (5).

E2: se inicia en 5, más su duración de 5, da como término temprano 10.

T1: se inicia en 5, más su duración de 6, da 11 que se anota en el lado izquierdo.

E3: recibe insumos sólo de E2 que termina el día 10 más la duración de 5, da como término temprano 15.

T2: recibe insumos de E2 que termina el día 10, y de T1 que termina el día 11. Como debe esperar a que terminen todas las actividades que le dan insumos, su comienzo será 11, el que sumado a su duración de 6, llega a su término el día 17.

P1: recibe insumo sólo de T1 que termina el día 11, cifra que sumada a la duración de P1 da como término el día 13.

P2: recibe insumos de P1 que termina el 13, y de T2 que termina el 17, por lo cual sólo puede comenzar el 17 y terminar  $17+2=19$ .

P3: recibe insumos de P2 que termina el 19, y de T3 que termina el 23; como su duración es 2, su término será el 25.

C1: recibe insumos de P1 que termina el 13, y de E3 que termina el 15; luego su inicio es 15 y su término  $15+3=18$ .

C2: recibe insumos de C1 que termina el 18, y de R2 que termina el 19; luego comienza el 19 y termina el 22 ( $19+3$ ).

C3: recibe insumos de C2 que termina el 22 y de P3 que termina el 25; como su duración es 3 y su inicio será el 25, su término será 28.

FIN: recibe sólo la actividad C3, por lo cual es sólo ésta la que le traslada su fecha de término. La duración mínima del proyecto es 28.

En esta forma se responde al primer objetivo de la red.



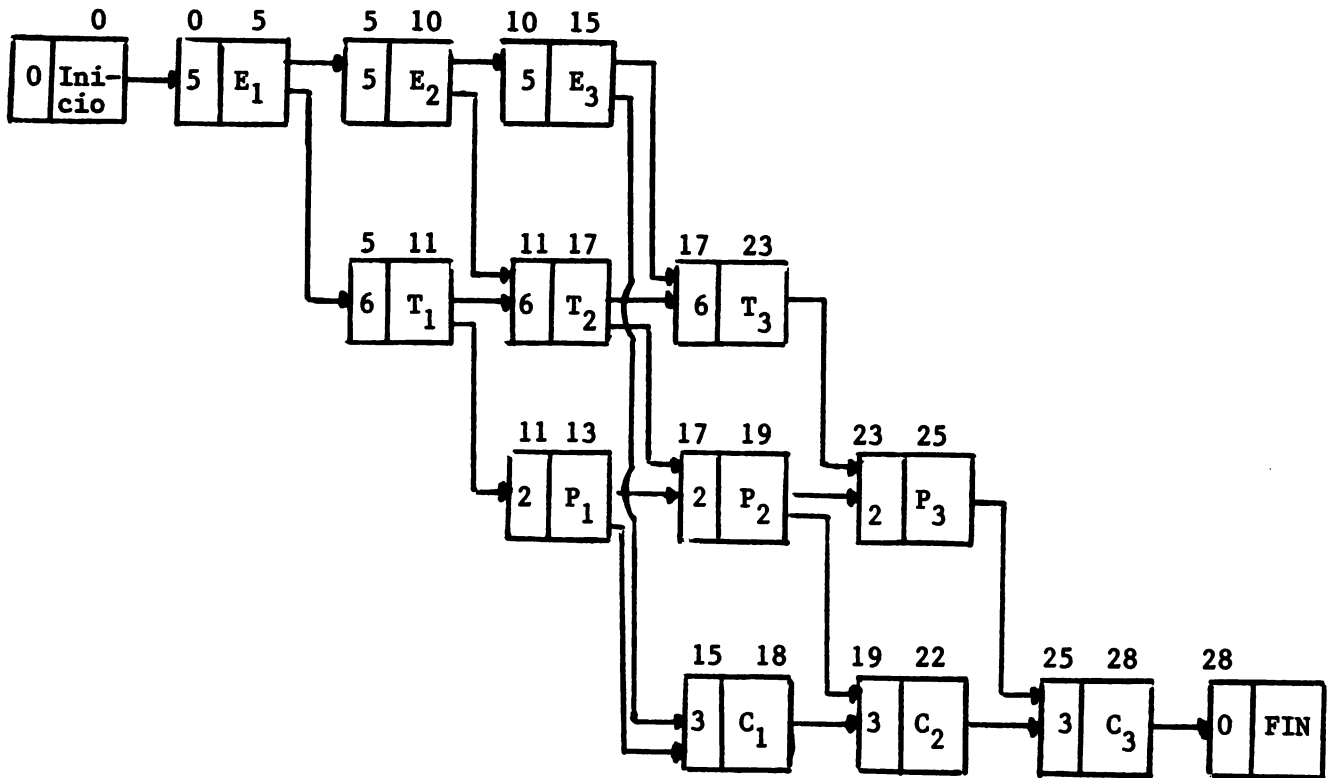


Gráfico 5.2

#### b. Tiempos más tardíos

También este concepto se ha tomado del CPM, y corresponde a las últimas fechas en que se puede realizar una actividad, sin que altere el tiempo mínimo de duración del proyecto. En el caso del ejemplo el tiempo mínimo es de 28 días.

Para calcular los tiempos más tardíos en que se puede ejecutar cada actividad se parte de la caja FIN, retrocediendo hacia la de INICIO.

Para anotar las fechas que se calculan, se repite como gráfico 5.3, el mismo 5.2 con las informaciones anotadas en él. (Véase pág. 84).

A la caja FIN solo llega la C<sub>3</sub>. Por tanto, para no atrasar el proyecto, C<sub>3</sub> debe terminar el día 28. Esta cifra, que es la de su término más tardío, se anota bajo el ángulo inferior

izquierdo de la caja C3. Por otra parte, para que termine el 28, debe empezar el día 25, que se obtiene de restar de su fecha de término la duración de la actividad ( $28-3=25$ ).

El próximo paso es escoger cualquiera de las dos actividades que le dan insumo a C3. En este caso se elige C2.

C2: de ella sólo sale una flecha hacia C1, por lo tanto su término más tardío será la misma fecha de inicio tardío de C3, es decir 25. Restando la duración de la actividad (3) se obtiene su inicio tardío ( $25-3=22$ ), el que se anota en su ángulo inferior izquierdo.

C1: de ella sale sólo una flecha hacia C2, de modo que su término tardío coincide con el inicio tardío de C2 (22). Restándole la duración de C1 (3) resulta que su inicio tardío es 19.

Pasando a P1, se observa que de él salen dos flechas, de las cuales una va a P2. Como no se le ha calculado aún su tiempo tardío, por tanto le falta información para hacer el cálculo. Por ello se vuelve a la primera bifurcación que no se examina como donante de insumo a C3. Es esta la P3.

P3: de ella sale sólo una flecha a C3, por tanto su término tardío coincide con el inicio tardío de C3 que es 25. Restando su duración (2) se tiene que el inicio tardío es 23.

P2: de ella salen dos flechas, una a C2 cuyo inicio tardío es 22, y otra a P3 cuyo inicio tardío es 23; de éstos hay que escoger el menor que a la vez permite dar el tiempo necesario para ejecutar la ruta que toma más tiempo hasta el final del proyecto (C2-C3 que suman 6 días, en tanto que P3-C3 suman sólo 5 días). Por tanto su tiempo más tardío es 22, menos la duración de P2 (2); el inicio tardío de 20.

P1: de ésta salen dos flechas a C1 (cuyo tiempo tardío de inicio es 19) y otra a P2 (cuyo inicio tardío es 20). Tomando el menor (19) y restando la duración 2, se da con el inicio tardío el día 17.

T3: sale una sólo flecha hacia P3, de inicio tardío 23, que es también el término tardío de T3. Restando a esta cifra la duración de 6, se tiene el inicio tardío de T3, o sea 17.

T2: de ella sale una flecha a T3 de inicio tardío 17, y otra a P2 de inicio tardío 20. Luego el término es 17, menos la duración 6=11.

T1: de ella sale una flecha a T2 de inicio tardío 11, y otra a P1 de inicio tardío 17. Su término es el menor de ellos (11) menos su duración de 6, da el inicio tardío = 5.

E3: de ella salen dos flechas a C1 (de inicio tardío 19) y otra a T3 (de inicio tardío 17). Tomando 17 como término y restándole la duración de 5 se calcula como inicio tardío el día 12.

E2: de ella sale una flecha a E3 de inicio tardío 12, y otra a T2 de inicio tardío 11; luego E2 no puede terminar después de 11, lo que condiciona a que su inicio tardío sea el 6.

E1: salen dos flechas del E1, una a E2 (de inicio 6) y otra a T1 (de inicio 5). Su término máximo es de 5 y, restando su duración (5) se llega a que su inicio tardío es cero. Esto coincide con el dato de partida de la red, confirmando de esta manera el buen cálculo inicial.

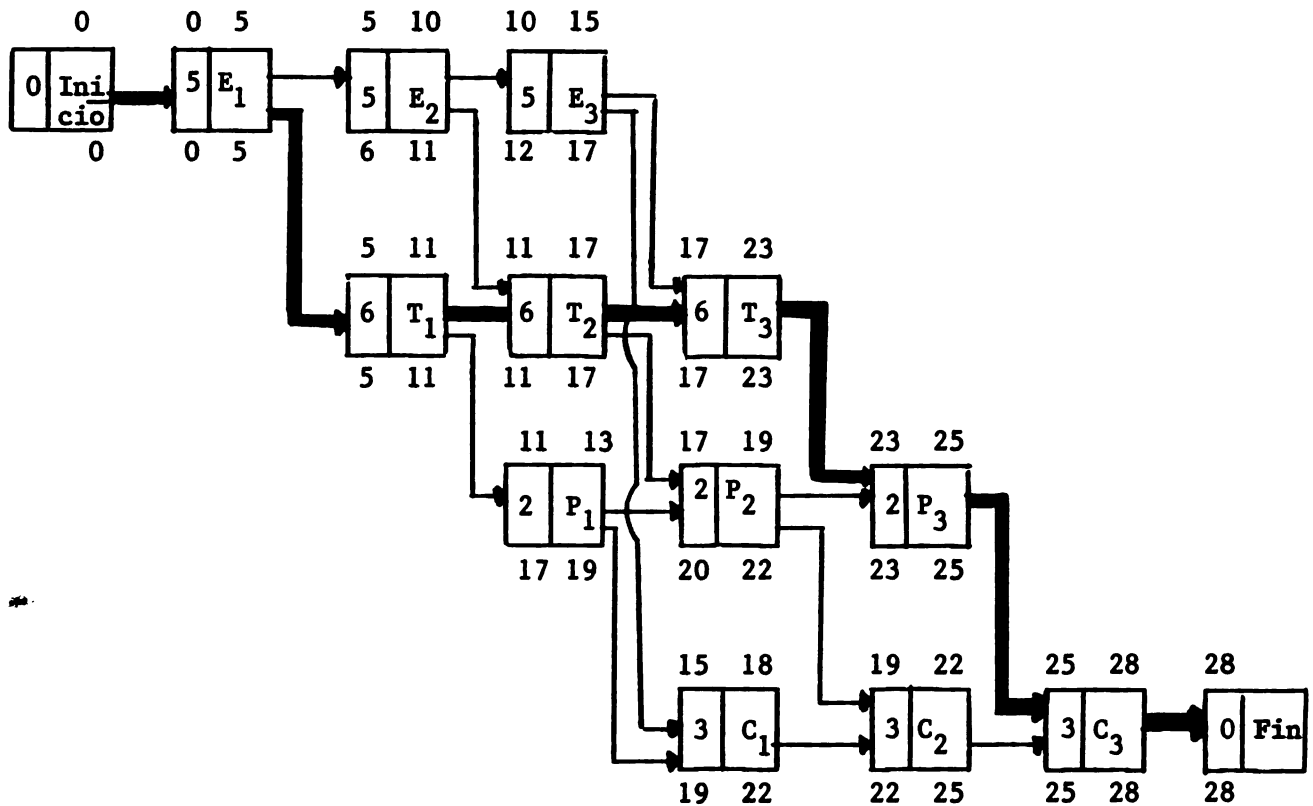


Gráfico 5.3

## c. Ruta crítica

Al observar las cifras anotadas en cada caja, se comprueba que hay algunas en que las cifras anotadas en la parte superior coinciden con las anotadas en la parte inferior. Ello significa que esas actividades no tienen flexibilidad de programación y que deben realizarse necesariamente en esas fechas para que el proyecto se cumpla en los 28 días.

Por otra parte, si se examina esas actividades, vemos que cada una de ellas da insumo a la siguiente: E<sub>1</sub>-T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>-T<sub>3</sub>-P<sub>3</sub>-C<sub>3</sub>, lo cual indica que ellas forman un camino o ruta continua. Sumando las respectivas duraciones de  $5+6+6+6+2+3=28$ , se llega a que ellas son las que fijan la duración del proyecto.

La ruta que cumple esos requisitos es la que corresponde al

concepto de ruta crítica. Para mayores consideraciones sobre la importancia de la ruta crítica puede verse el párrafo 4.2 (c).

En el método ABC hay dos formas de marcar en el gráfico la ruta crítica: a) señalando con flechas más gruesas o de color llamativo las flechas que unen esas actividades, b) marcando con bordes más gruesos o color llamativo las actividades críticas. En el gráfico 5.3 se ha elegido la alternativa (a)

#### d. Holgura Total

Por oposición a las actividades críticas, las no críticas tienen la posibilidad de programarse dentro de un período cuyos límites, para cada actividad, aparecen en el ángulo superior izquierdo (tiempo más temprano de inicio) y en el ángulo inferior derecho (tiempo más tardío de término).

La diferencia entre la duración de la actividad y el período limitado por las fechas señaladas, corresponde al concepto de Holgura Total de la actividad.

Por su parte, el monto de la Holgura Total de cada actividad se puede ver en el mismo gráfico 5.3 de la red. Es la diferencia entre sus términos más tardíos y más tempranos (o también entre sus inicios más tardíos y más tempranos).

Como ya se dijo en 4.2 (d) la Holgura Total representa una flexibilidad para programar las actividades no críticas. Permite aprovechar esta flexibilidad para lograr una programación que utilice en la mejor forma los recursos que requiere el proyecto, variable ésta que la red no considera, porque sólo maneja la variable tiempo.

En resumen, la respuesta del ABC a las fechas en que se puede programar cada actividad están en la red, sin necesidad de hacer previamente la tabla de tiempos (como ocurre en el CPM)

e. Diagrama de Barras ABC

El método ABC usa dos modelos: la red de bloques y el diagrama de barras que le da el nombre al método. El CPM también usa el diagrama de barras Gantt para analizar los recursos, enriquecido por dos elementos: 1) que se construye a partir de los datos de la red, lo que asegura una secuencia correcta, y 2) que le agrega la información de la Holgura Total y de la Holgura Libre de cada actividad.

El diagrama de barras ABC es una especie de Gantt, pero con dos variantes importantes. Primero, las actividades no se dibujan en líneas separadas, sino formando rutas parciales, en torno a la ruta crítica que forma una barra continua del inicio al fin del proyecto. Segundo, que se marcan con flechas las conexiones establecidas en la red.

En el gráfico 5.4 se construye el diagrama ABC del proyecto, de acuerdo con sus tiempos más tempranos.

En primer término se coloca (aproximadamente al centro del diagrama) la barra representativa de la ruta crítica, señalando la parte de ella que corresponde a cada actividad.

Luego se elige otro camino, que puede ser E2-E3 que parte de la ruta crítica y vuelve a ella, el cual se dibuja sobre la barra de la ruta crítica.

Ahí se toma el camino P1-P2. Este camino no es continuo, por lo cual es opcional escoger éste o el camino P1-C1-C2 que tampoco es continuo. Sin embargo, al elegir el primero por

su conexión más directa con la ruta crítica, se pone cada actividad en la fecha correspondiente y se marca con flechas de rayas sus conexiones.

Finalmente, se dibuja el camino C1-C2, también cada actividad en su fecha y se marca con flechas de barras sus conexiones.

DIAGRAMA DE BARRAS ABC

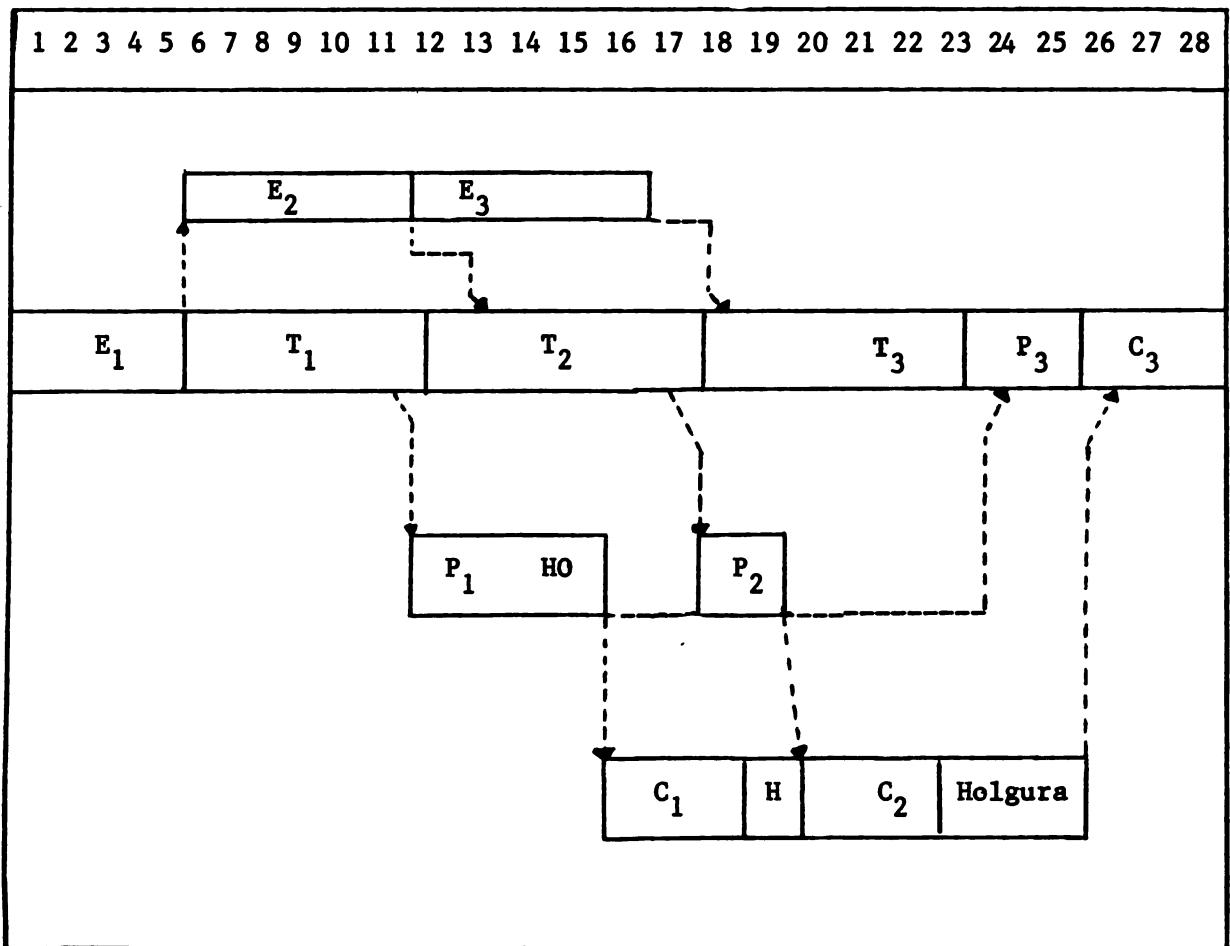


Gráfico 5.4

f. Holgura Libre

En este gráfico aparecen holguras en las actividades P1 (2 días), C1 (1 día) y C2 (3 días). Estas holguras no son las totales, sino la llamada Holgura Libre, porque muestran la libertad de programar esas actividades sin alterar el inicio de las siguientes.

Al compararse este hallazgo que apareció en el gráfico 5.4, con la tabla de tiempos del CPM (tabla 4.3, pág. 57), se observa que da la misma cifra de Holgura Libre para C1 y C2, en tanto que aquí aparece la de P1. La imprecisión del CPM que se señaló al pié de la tabla, no permite que aparezca P1 en este modelo.

Otra gran diferencia es que en el CPM hubo que trasladar varios datos de la red a la tabla de tiempos para calcular las Holguras Total y Libre, en tanto que aquí la Total apareció en la red de bloques y la Libre en el Diagrama de Barras.

Finalmente, otro aspecto importante de este Diagrama es que si se quiere modificar en cualquier forma la programación inicial que se ha representado, él muestra con claridad todos los efectos en las conexiones y en las holguras que tal modificación conllevaría.

g. Tabla de Tiempos

Como se comentó anteriormente, en el párrafo 4.2 (g), la Tabla de tiempos es un auxiliar valioso para que el Jefe de Proyecto ordene las actividades, ya sea por orden cronológico de comienzo, ya sea por el responsable de ejecutarla, ya sea por otros factores que le interesen como las que usan un mismo recurso escaso o caro, o cualquier otro fin que le interesa.



La tabla de tiempos del ABC recoge la mayor parte de su información de la red de bloques (salvo la Holgura Libre que la recoge del diagrama de barras), de modo que la confección de la tabla no requiere de informaciones nuevas. Simplemente hay que traspasar la ya disponible. En la página siguiente se presenta la tabla de tiempos del proyecto analizado.

#### h. Problemas para ejercicios

Calcular la red y dibujar los correspondientes diagramas de barras de los gráficos 5.5, 5.6, 5.7,

### 5.3 Análisis de recursos

La siguiente descripción es paralela a las correspondientes del Método de Gantt (3.4) y CPM (4.3) de modo que se trata aquí de un análisis diferente y complementario, usando como ejemplo el proyecto del gráfico 5.8.

En este ejemplo rige el supuesto que en todas las actividades de este proyecto se necesita un sólo tipo de recursos: hombres de la misma calificación profesional, es decir promotores de cooperativas. Esto significa que una vez terminada una actividad es posible pasar todos o parte de ellos a otra actividad sin perjudicar la eficiencia de la misma.

Los requerimientos de mano de obra de cada actividad son los siguientes:

A: 4	E: 3	I: 6
B: 2	F: 4	J: 3
C: 4	G: 2	K: 2
D: 4	H: 2	L: 3

El tabular las cantidades de estos recursos en las barras correspondientes a cada actividad, permite (al igual que el Gantt) sumar las necesidades totales de cada día, y para hacerlo aún más

Activi- dad	Dura- ciór.	Tiempos Tempranos		Término Tardío	Holgura		Ruta Crítica
		INICIO	Término		Total	Libre	
E1	5	0	5	6	0	0	✕
E2	5	5	10	11	1	0	
E3	5	10	15	17	2	0	
T1	6	5	11	11	0	0	✕
T2	6	11	17	17	0	0	✕
T3	6	17	23	23	0	0	✕
P1	2	11	13	19	6	2	
P2	2	17	19	22	3	0	
P3	2	23	25	25	0	0	✕
C1	3	15	18	22	4	1	
C2	3	19	22	25	3	3	
C3	3	25	28	28	0	0	✕

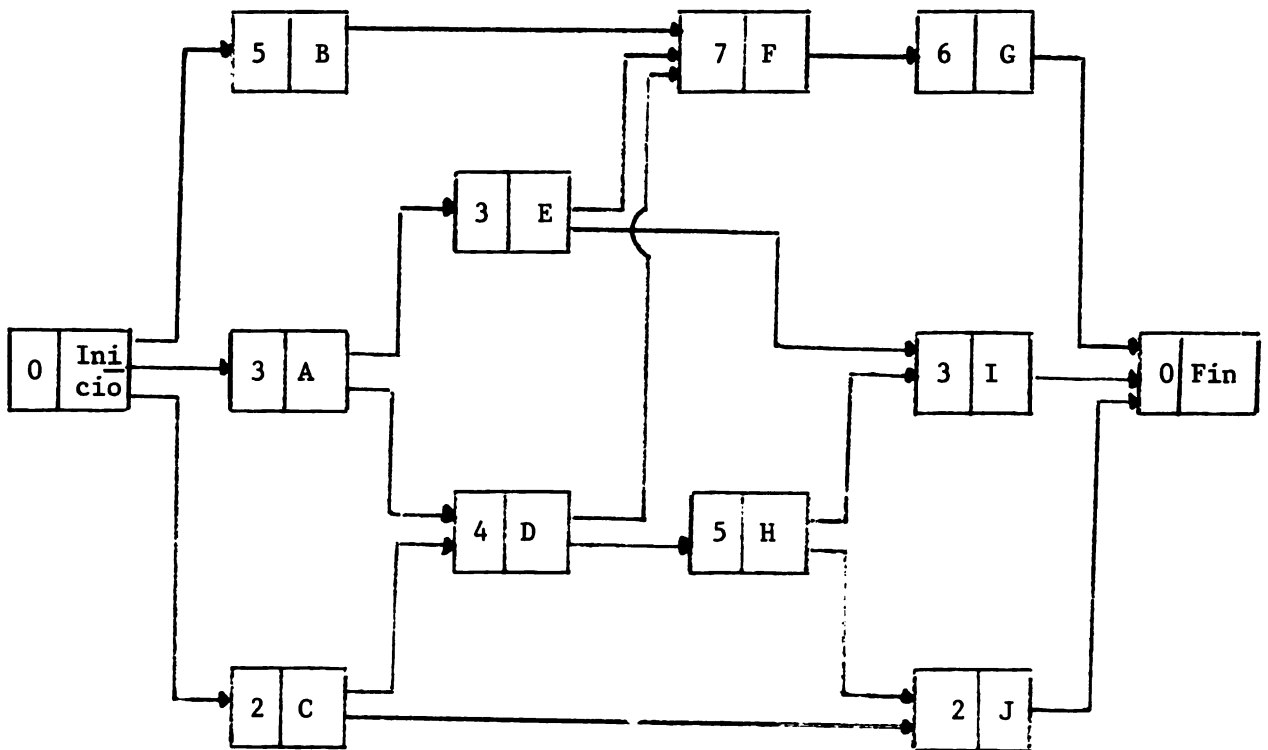


Gráfico 5.5

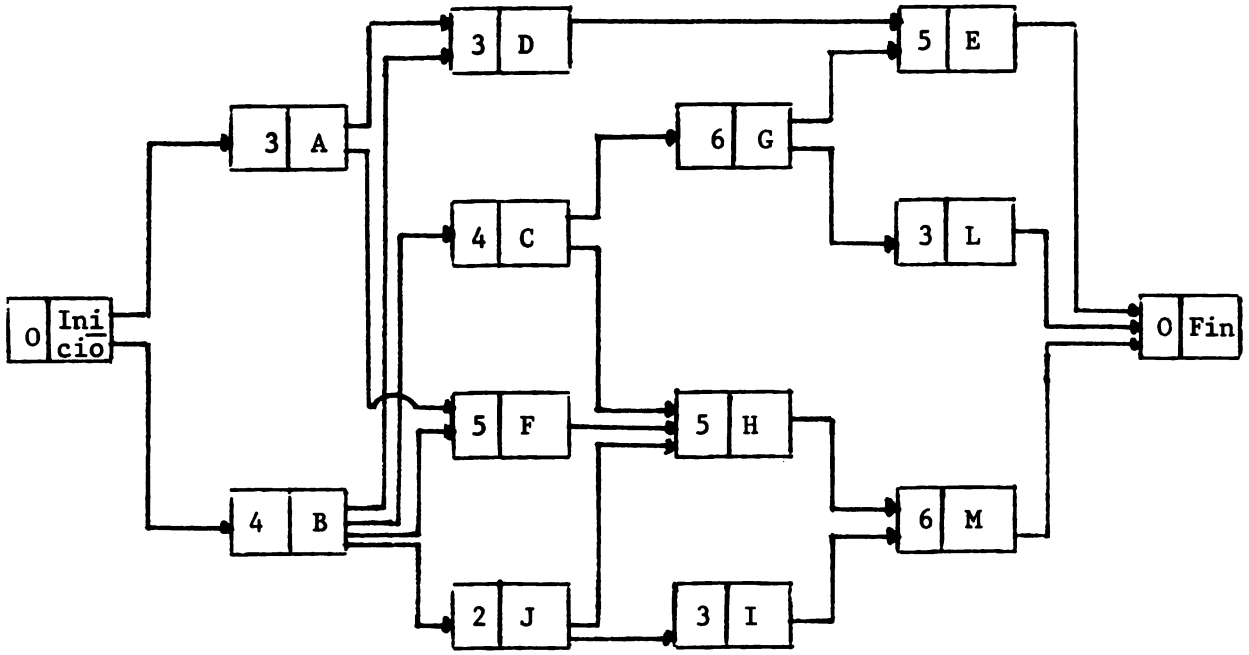


Gráfico 5.6

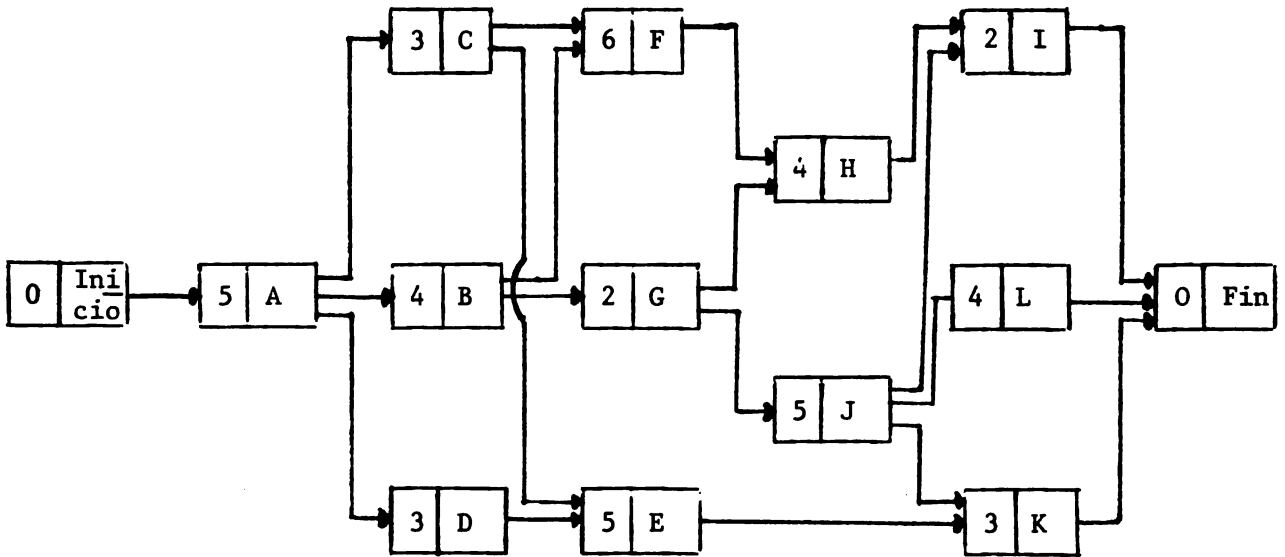


Gráfico 5.7

gráfico se dibuja una curva de necesidades o histograma de recursos. El gráfico 5.9 muestra el diagrama ABC en sus tiempos más tempranos del proyecto 5.8 y el correspondiente histograma de recursos.

a. Nivelación de recursos

El exámen de la distribución de recursos que muestra el gráfico 5.8 presenta problemas. Por ejemplo, el responsable del proyecto necesita tener 12 hombres los días 3 y 4, para bajar a 6 hombres los días 5 y 6, luego subir a 9 hombres el día 7 y a 16 hombres el día 8.

¿Cuáles ajustes permiten un mayor aprovechamiento del recurso? ¿Qué se hará con los hombres que quedan desocupados dos días (6) y tres días (3), sabiendo que luego se necesitarán 16 hombres?

Este es el caso en que se aprovecha la flexibilidad que dan las holguras para aprovechar al máximo los recursos disponibles.

Una solución para mejorar la distribución de recursos puede ser la siguiente:

- i. Retrasar el inicio de B para el día 4 (F para el día 6).
- ii. Retrasar el inicio de E para el día 8 (cuando termina F).
- iii. Retrasar I para el día 11 (cuando termina E).
- iv. Retrasar H para el día último posible (15)

La combinación de todos estos ajustes se refleja en el gráfico 5.10, el cual da un histograma paulatinamente creciente hasta el día 15, en que por un día requiere 15 hombres y luego se reduce paulatinamente.

Esta solución significa el empleo y desempleo gradual de los recursos, que usualmente es mejor que tener recursos desocupados.

b. Programación con recursos escasos

Un caso que suele presentarse es el que no se cuenta sino con una cantidad limitada de recursos. Por ejemplo, en el proyecto anterior se cuenta sólo con 12 promotores, y sin embargo la solución requiere 15.

Cada vez que hay escasez de recursos, en general el proyecto dura más que el tiempo calculado en la red.

Sin embargo, el instrumento de análisis del diagrama ABC es muy valioso para hacer que esa extensión del proyecto sea la menor posible.

El caso de recursos limitados se analizará a partir del gráfico 5.10 donde se ve que no hay problemas hasta el día 10, pero sí del día 11 al 15.

En ese gráfico es obvio que el problema surge de la simultaneidad de dos actividades largas que ocupan muchos recursos, I (6 promotores por 6 días) y D (4 promotores por 10 días). La única solución tendrá que ser el retraso de una de las dos actividades:

- i. Retrasar D: En este caso I se inicia el día 8, E el día 7 y H el día 10. Esto significa que D se puede iniciar el día 14 y se extiende hasta el día 23, alargando el proyecto cuatro días. El gráfico 5.11 muestra esta solución
- ii. Atrasar I hasta que termine D, esto es para empezar el 16 y terminar el 22 y luego hacer L los días 23 y 24. Se ve que esta solución alarga el proyecto un día más

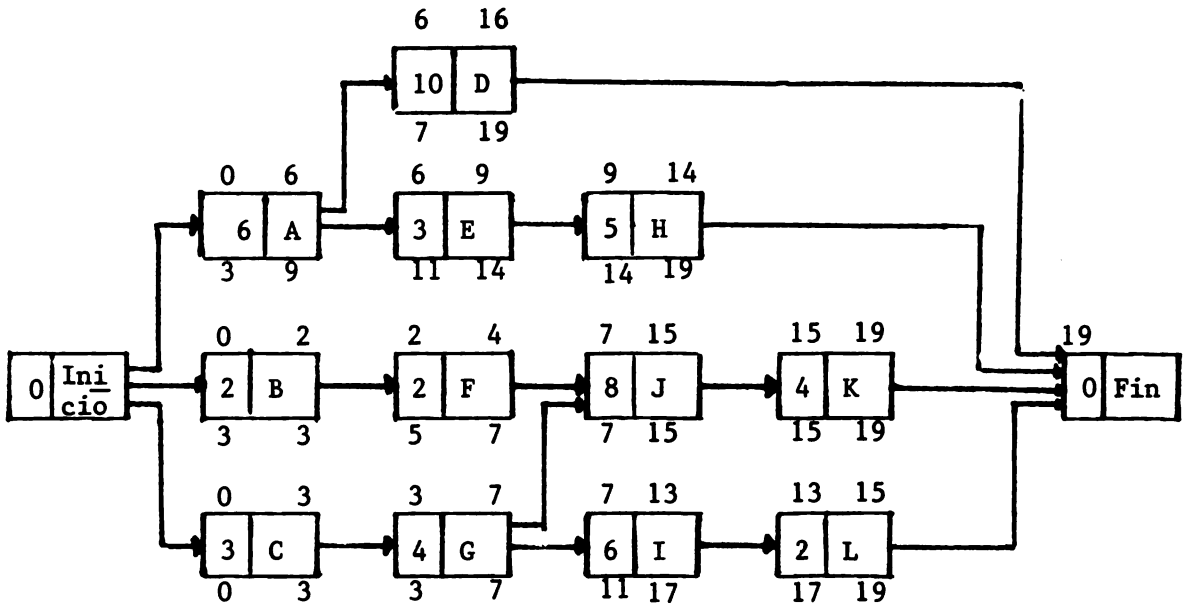


Gráfico 5.8

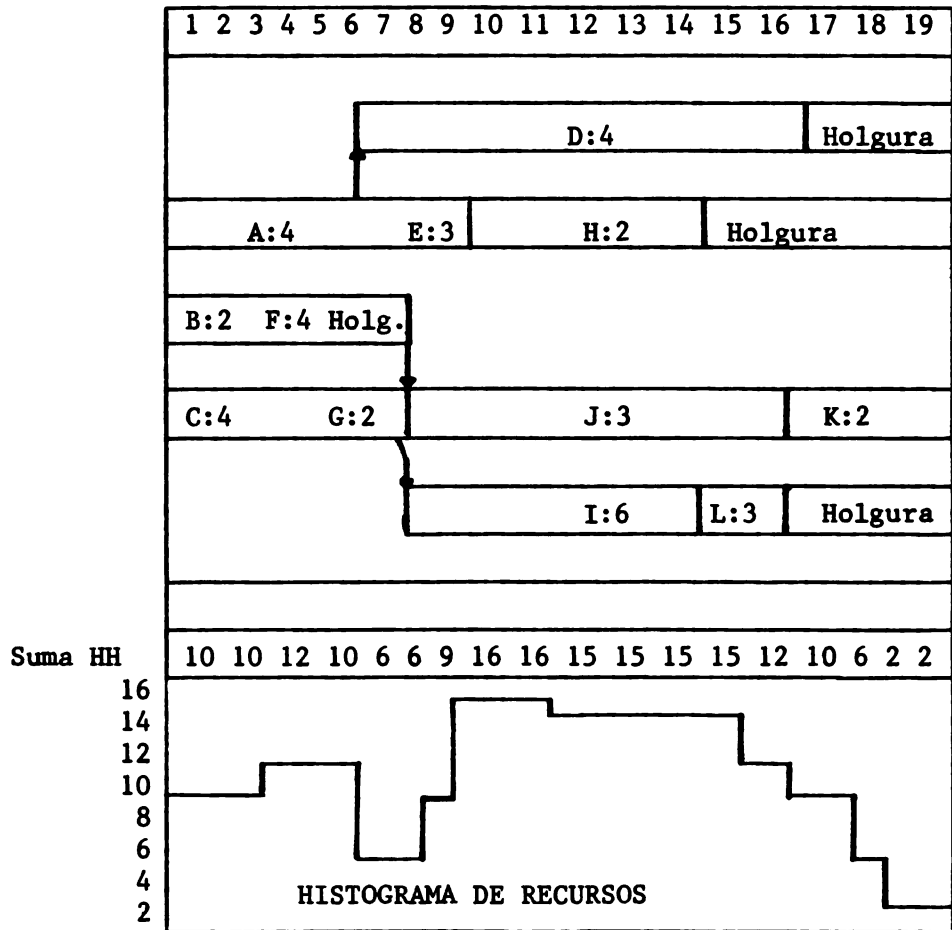


Diagrama de Barras para Tiempos más Tempranos

Gráfico 5.9

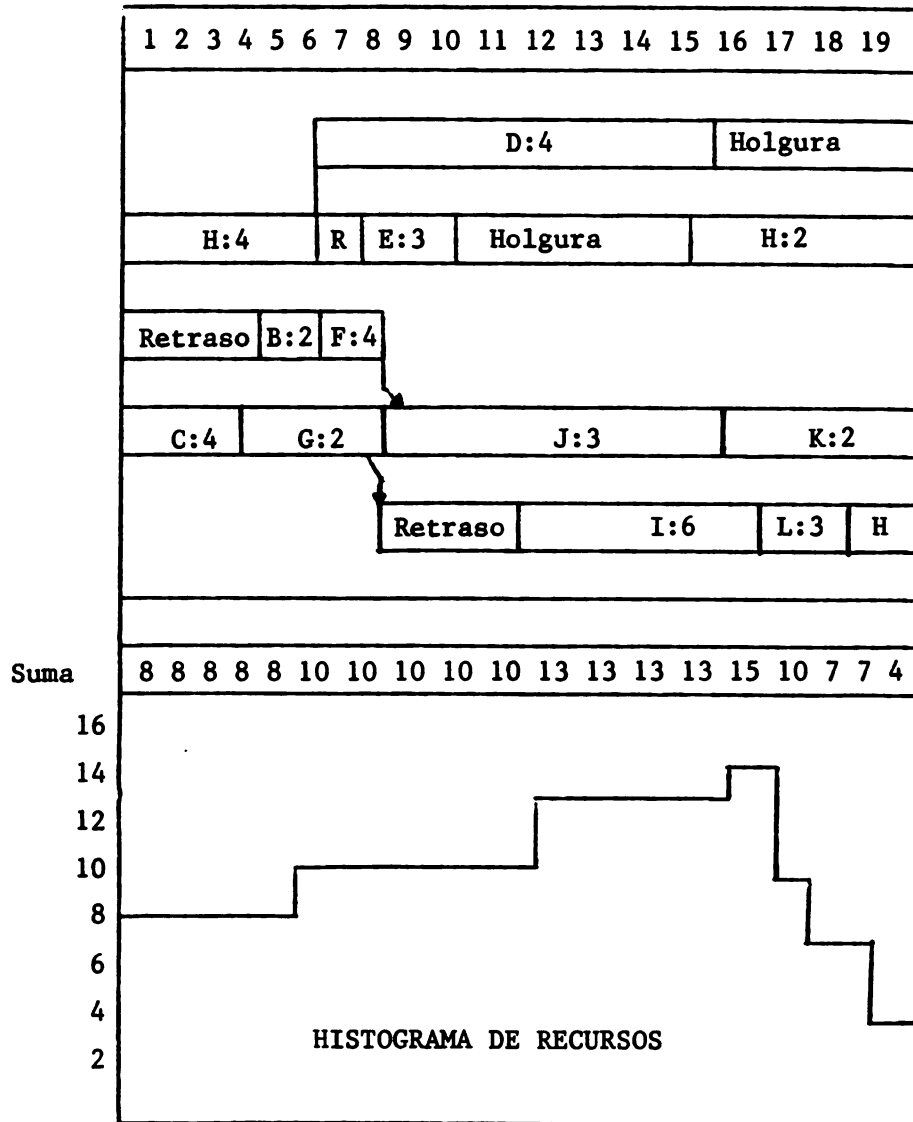


Gráfico 5.10

Por lo tanto la alternativa (i) es mejor.

La alternativa ii. puede ser mejorada todavía aprovechando las nuevas holguras, lo que lleva a la solución del gráfico 5.12. Esto muestra que el proyecto puede hacerse en 23 días usando sólo 10 promotores.

Es conveniente notar que la solución final tiene como ruta crítica C-G-I-D, que es diferente de la encontrada en el cálculo de la red 5.8 la cual no consideraba la restricción de recursos.

También en la solución final aparecen nuevas relaciones de secuencia, además de las originales (que se mantienen todas), debido a la necesidad de que algunas de las actividades traspasen sus recursos (promotores) a otras.

Queda como ejercicio para el lector dar una forma ordenada al gráfico 5.12 poniendo la ruta crítica en una barra continua y señalando los distintos caminos con las conexiones entre las actividades.

#### c. Análisis de varios recursos

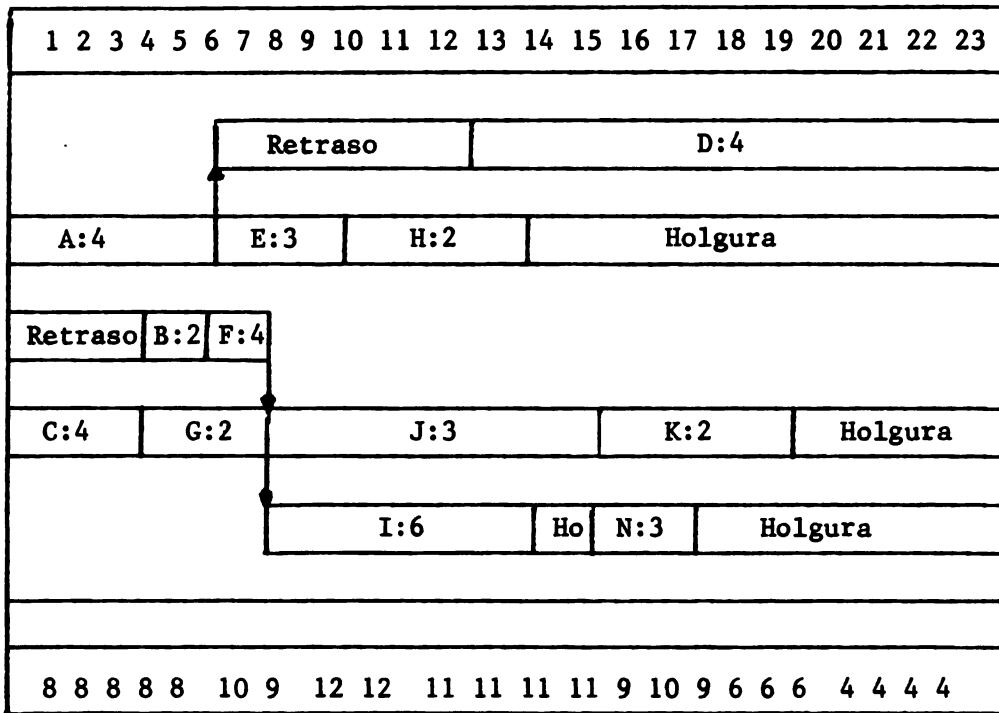
En la mayoría de los proyectos las actividades necesitan más de un recurso, de los cuales algunos pueden ser escasos y otros no.

En este caso la "optimización" se dificulta porque la nivelación y ajuste de todas ellas se tiene que hacer utilizando la misma holgura de la actividad y lo probable es que al mejorar uno se desmejoren otros.

Por ellos es conveniente fijar un orden de prioridad de los recursos para hacer la nivelación, y esa prioridad estará



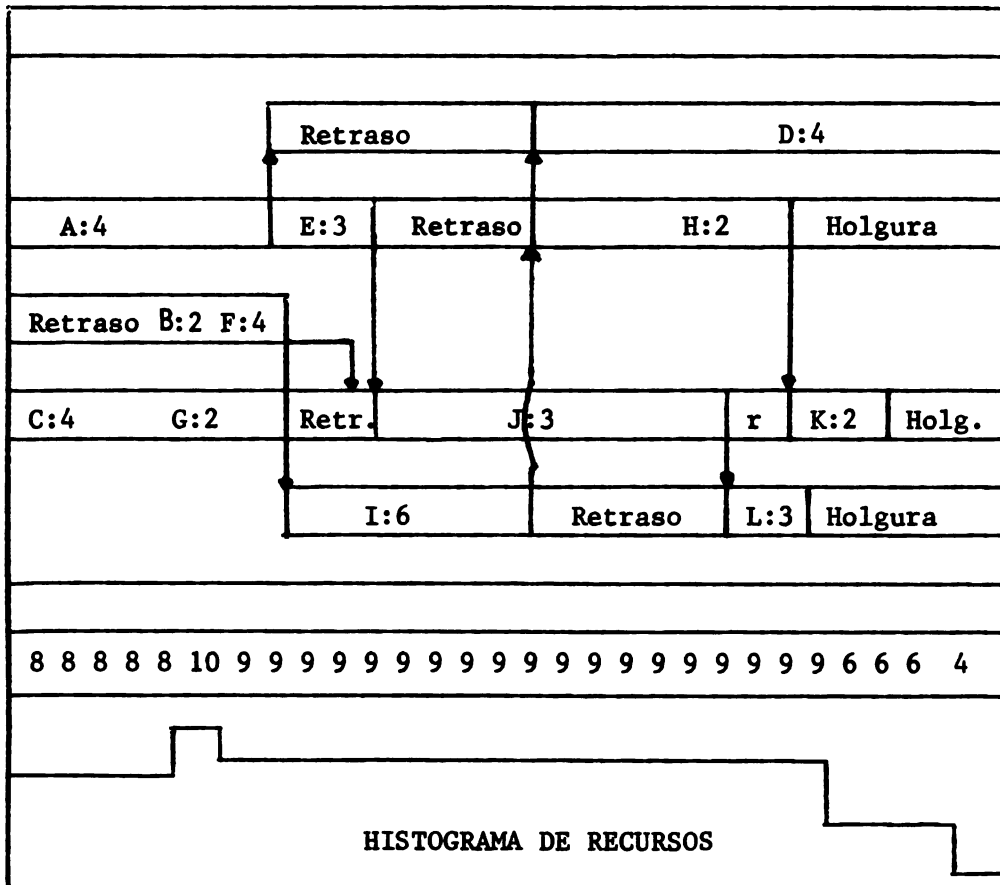
Alternativa A



Suma

Gráfico 5.11

Alternativa B



Suma

Gráfico 5.12

principalmente en dos factores: a) la escasez del recursos y relacionado a este b) el costo del recurso.

En el mismo ejemplo del gráfico 5.8, se supone que se está manejando dos recursos: promotores y vehículos que les servirán para hacer la promoción.

De las actividades de esa red se supone que las que necesitan un vehículo son: D-E-F-G-H-I-J, pero sólo hay tres vehículos disponibles, en tanto que se puede disponer de un máximo de 13 promotores.

El total de recursos Promotores y Vehículos que da la programación es la que se indica en el gráfico 5.13. Aquí se observa que se exceden tanto los Promotores como los Vehículos disponibles entre los días 8 y 13.

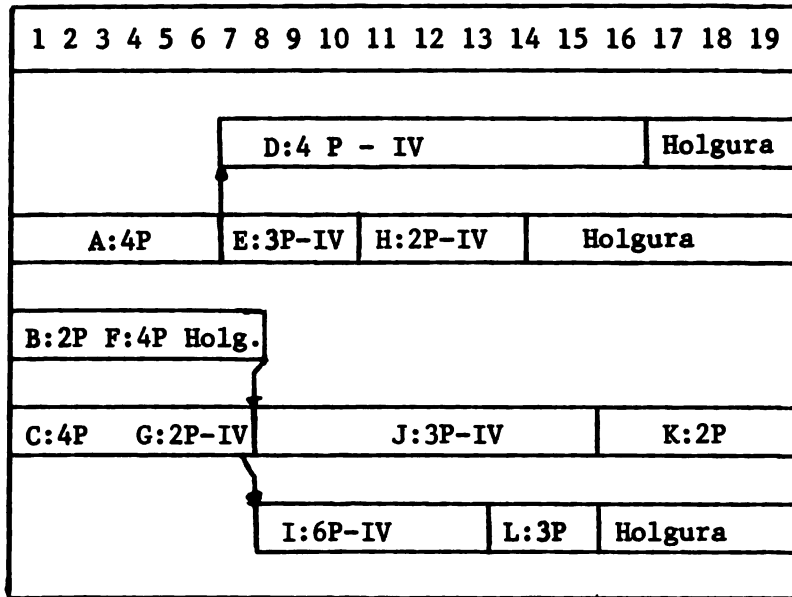
Haciendo un análisis similar al explicado en el párrafo anterior se puede llegar a la solución que se indica en el gráfico 5.14.

#### 5.4 Montaje de la red

##### a. Tablas de secuencia

El montaje de la red ABC usa como antecedentes la misma tabla de secuencias que usa el CPM, por lo cual es innecesario repetirlo aquí y sobre este punto se remite el lector al párrafo 4.5 (b).

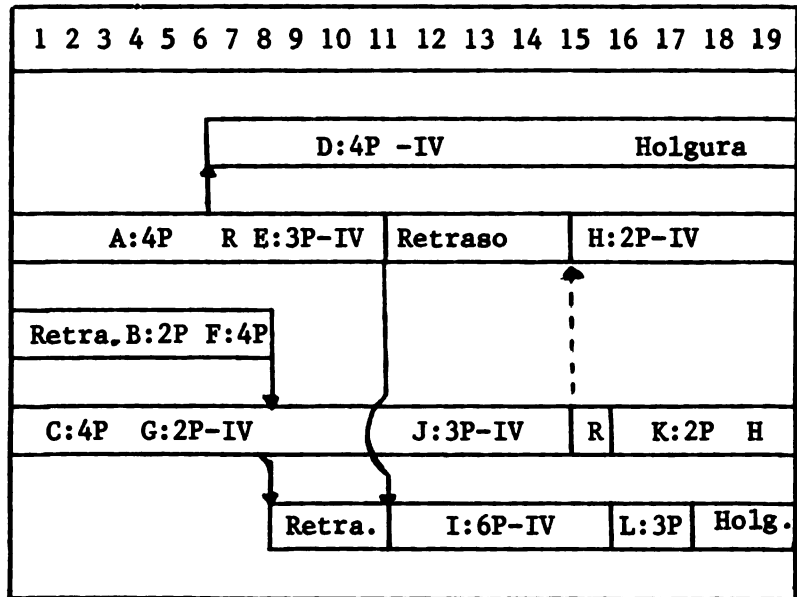
Sin embargo vale la pena repetir la tabla de secuencias del viaje a la ciudad para mostrar la forma de montar la red ABC.



Promotores 10 10 12 10 6 6 13 16 16 15 15 15 15 12 10 6 222

Vehículos - - - 1 1 1 3 4 4 4 4 4 4 3 2 1 ---

Gráfico 5.13



Promotores 8 8 8 8 8 10 10 9 9 9 13 13 13 13 13 12 7 7 4 2

Vehículos - - - 1 1 1 1 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 1 1 1 1 1

Gráfico 5.14

## Viaje a la ciudad

## ACTIVIDADES:

	Antes	Actividad	Después
A. Reunir dinero de cobros pendientes	-	A	B
B. Comprar provisiones para merienda	A	B	C
C. Preparar merienda para viaje	B	C	E
D. Preparar los canastos con productos	-	D	E
E. Subir al bus para la ciudad	C-D	E	-

Hay dos actividades iniciales A y D que se dibujan a continuación de la caja de inicio (Ver gráfico 5.15).

Siguiendo la tabla de secuencias, hay A DESPUES B, luego se dibuja la caja B y se pone una flecha de A a B.

En la tabla se analiza ahora B DESPUES C de modo que se dibuja la caja C y se pone una flecha de B a C.

En la tabla sigue C, que tiene como DESPUES E; luego se dibuja la Caja E y se pone una flecha de C a E.

En la tabla sigue D (que ya está dibujada) que tiene como DESPUES E (que también está dibujada); luego se dibuja una flecha de D a E.

En la tabla sigue E que es final. Se dibuja la caja FIN y se pone una flecha de E a FIN.

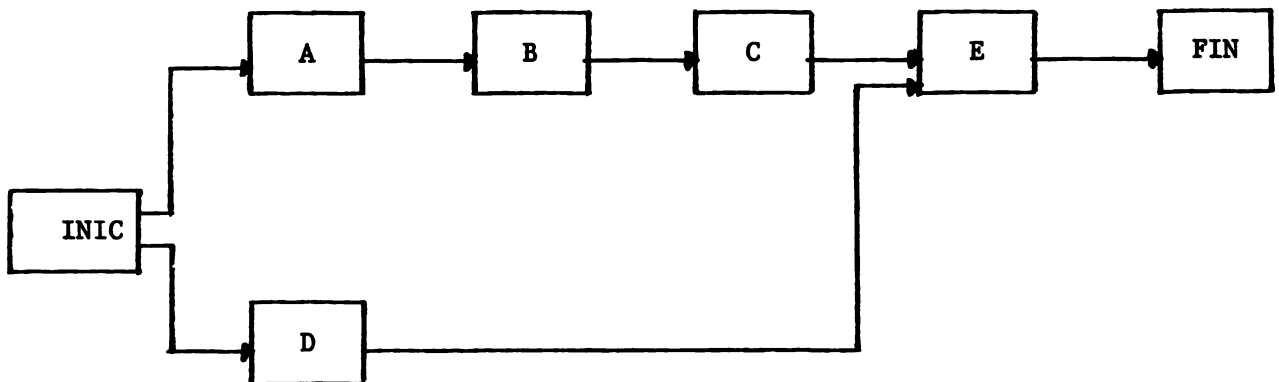


Gráfico 5.15

Como se puede apreciar el montaje de esta red es de una sencillez admirable.

b. Ejemplo de un montaje con mayores dificultades

Usando el mismo ejemplo del párrafo 4.5 (que se refiere a arar, rastrar y sembrar tres parcelas usando un tractor con arado, otro con rastra y otro con sembrador) se demuestra un montaje más complicado.

Las actividades, duraciones y tabla de secuencias correspondiente, se repiten aquí para mayor facilidad de la explicación de montaje de la red.

ACTIVIDADES	ANTES	ACTV.	DESPUES
A1: Arar parcela 1	-	A1	A2-R1
A2: Arar parcela 2	A1	A2	A3-R2
A3: Arar parcela 3	A2	A3	R3
R1: Rastrar parcela 1	A1	R1	R2-S1
R2: Rastrar parcela 2	A2-R1	R2	R3-S2
R3: Rastrar parcela 3	A3-R2	R3	S3
S1: Sembrar parcela 1	R1	S1	S2
S2: Sembrar parcela 2	R2-S1	S2	S3
S3: Sembrar parcela 3	R3-S2	S3	-

La construcción de la red se hace en la siguiente forma:

De acuerdo con la tabla de secuencias, hay una sola actividad inicial A: luego se dibuja la caja de inicio y la caja A1 y se unen por una flecha.

Después de A1 están A2 y R2: se dibujan dos cajas paralelas y se pone una flecha desde A1 y A2 y otra flecha de A1 a R1.

Siguiendo la tabla con A2, la cual tiene como DESPUES A3 y R2, se dibujan estas cajas en forma paralela uniendo con una flecha A2 y A3, y otra a A2 a R2.

La tabla se sigue con A3, la que tiene como DESPUES a R3. Se dibuja R3 y se pone una flecha de A3 a R3

El gráfico hasta A3 irá así:

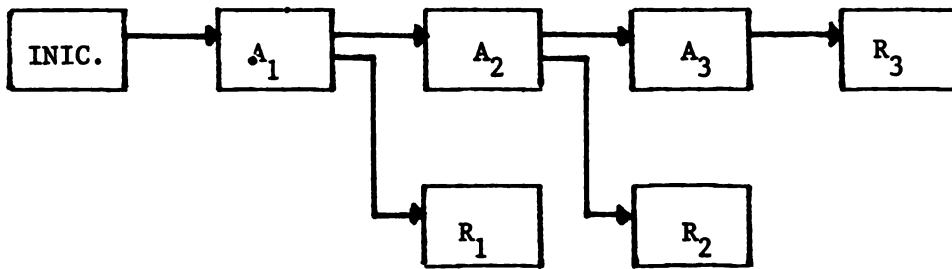


Gráfico 5.16

Continúa la tabla con R1, que tiene como DESPUES a R2 y S1. R2 ya está dibujada por lo cual bastará poner una flecha de R1 a R2. Como S1 es paralela a R2, es factible dibujarla debajo de R2 y poner una flecha entre R1 y S1.

R2 tiene como DESPUES a R3 y S2. R3 ya está dibujada de modo que sólo hay que poner una flecha de R2 a R3; S2 se dibujará paralela a R3 y se pondrá una flecha de R2 a S2.

R3 tiene como DESPUES a S3. Se dibuja S3 a continuación de R3 y se pone una flecha de R3 a S3.

El gráfico se detalla de la siguiente manera:

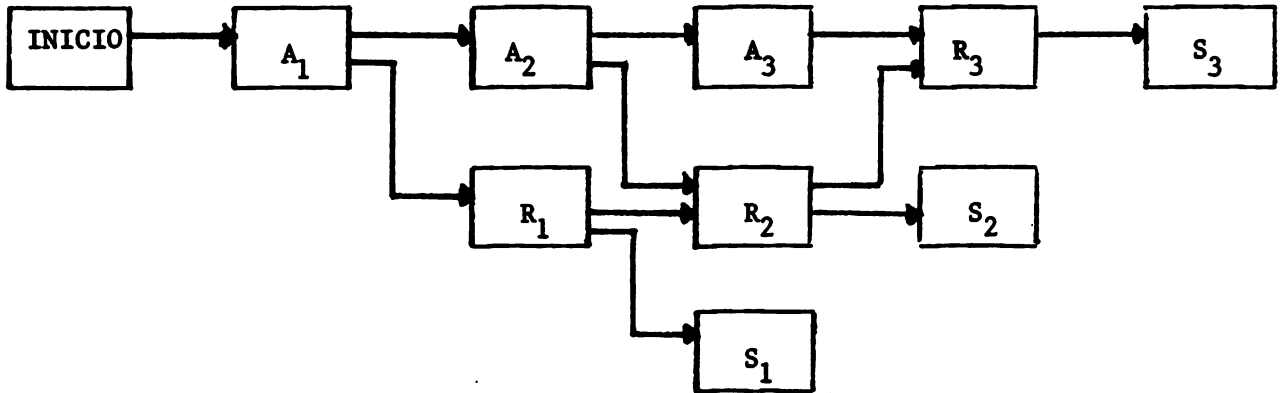


Gráfico 5.17

S1 es la que sigue en la tabla, tiene como DESPUES a S2 y como S2 está dibujada, bastará poner una flecha de S1 a S2.

Siguiendo la tabla con S2 se observa que tiene como DESPUES a S3. Como ya está dibujada, bastará poner una flecha de S2 a S3

La tabla termina en S3. Se dibuja la caja FIN y se pone una flecha de S3 a FIN.

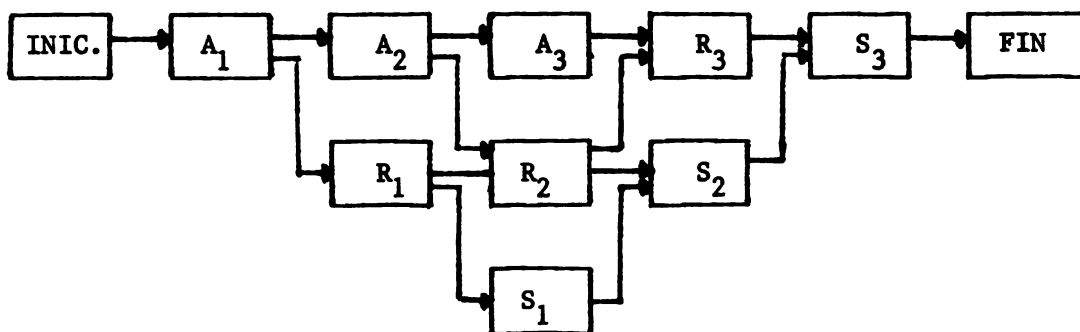


Gráfico 5.18

Como se ve este montaje tampoco ofrece problemas.

En casos más complejos los únicos problemas que pueden presentarse son: a) que las flechas tengan que cruzar otras ya dibujadas, en cuyo caso se acostumbra a poner un arco en ca da cruce (ver gráficos en el párrafo 5.3) o b) que la actividad que recibe el insumo se haya dibujado más a la izquier da que la que le da el producto, con lo cual la flecha de unión debe describir un arco hacia atrás para llegar a la actividad que recibe el producto por su lado vertical izquier do. Este último caso no es muy estético, pero no falta a la lógica de la secuencia.

En todos los casos será conveniente estudiar el gráfico que resulte para acomodar los resultados obtenidos a una forma que, además de respetar la lógica, sea fácil de entender.

Por ello en este caso, al igual que en el CPM, hay que trabajar con lápiz y borrador que faciliten la tarea de acomodar los gráficos que, muy rara vez, quedan bien al primer intento.

#### c. Ejemplos para ejercicios

En el párrafo 4.3, se pueden encontrar tres ejercicios en que se da la lista de actividades para las cuales hay que establecer las tablas de secuencia y luego construir la red.

Ahora se hacen tres ejercicios en que el programador ha con sultado a cada responsable sobre cuáles actividades dan in sumo a cada una. Estas a su vez, determinan a cuáles otras entregan sus productos, de modo que para montar su red tiene las correspondientes tablas de secuencia y sus duraciones.

Dibujar la red y el diagrama de barras del tiempo más temprano del proyecto definido por la siguiente tabla de duración y secuencias:



ANTES	ACTIVIDAD	DURACION	DESPUES
-	A	6	C-E-I
-	B	2	D-E
A	C	4	D-H
B-C-G	D	3	-
A-B-F	E	5	H
-	F	5	G-E
F-J	G	4	D-H
C-E-G-I	H	2	-
A-J	I	3	H
-	J	7	G-I

Dibujar la red y el diagrama de barras del tiempo más temprano del proyecto definido por la tabla de duración y secuencias.

ANTES	ACTIVIDAD	DURACION	DESPUES
-	A	4	C-D
-	B	3	E-G
A	C	1	K-I
A	D	4	F-G
B	E	6	H-J
D	F	2	H-J
B-D	G	3	K-I
F-E	H	3	I
C-G-H	I	4	L
F-E	J	5	L
C-G	K	5	M
I-J	L	4	N
K	M	5	N
M-L	N	4	-

Dibujar la red y el diagrama de barras en sus tiempos más tempranos del proyecto siguiente:

ANTES	ACTIVIDAD	DURACION	DESPUES
-	A	4	B-C-F
A	B	3	D-H
A-E	C	5	D-G
B-C-F	D	4	I
-	E	6	C-F-J
A-E	F	4	D-G-K
C-F	G	3	H
B-G-K	H	5	I-L
D-H	I	3	M
E	J	2	K
J-F	K	3	H
H	L	5	M
L-I	M	1	-

## CAPITULO 6: IDENTIFICACION DE LAS ACTIVIDADES MEDIANTE EL DESGLOSE ANALITICO DEL PROYECTO

Llama la atención que la mayor parte de la literatura sobre métodos de programación asigne tan poca importancia a la etapa de las actividades. En gran parte de esta literatura se le menciona sólo en unas pocas líneas. Brevemente destacan la necesidad de descomponer el proyecto en sus partes y listar los distintos rubros considerando las diferentes tecnologías involucradas, así como la necesidad de apoyarse en la experiencia de los miembros del equipo. Empero, no ofrecen suficiente información acerca de la forma de sistematizar este proceso tan "necesario".

Varias técnicas existen para identificar el conjunto de actividades. Las tres más comunes son: expansión de funciones, red de pertinencia (o árbol de pertinencia) y estructura patrimonial de objetivos. La primera se deriva de la ingeniería de sistemas y representa una visión jerarquizada de una función sistematizada (69).

La red de pertinencia también jerarquiza, pero ordena una serie de factores de acuerdo con su efecto lógico más importante. No se preocupa por incorporar los factores de acuerdo con sus efectos menores. El desglose analítico de la problemática a la cual se dirige el proyecto, se facilita con la red (o árbol) de pertinencia y es el método recomendado en otros fascículos (27).

La estructura patrimonial de objetivos responde a la necesidad de jerarquizarlos no solamente a su lógica interna, sino también tomando en cuenta que hay intereses creados. Estos intereses a menudo exigen ordenar los objetivos de acuerdo con las relaciones lógicas y según los "dueños" asociados con cada objetivo (71, 72).

Una variante, que combina la red de pertinencia con expansión de funciones, se ha conocido en inglés con el nombre de "Project Breakdown Structure" desarrollado por Booz, Allen & Hamilton (59). Se ha traducido como "Desglose Analítico del Proyecto" (16) que se expone a continuación.

## 6.1 Desglose Analítico del Proyecto

El método consiste en descomponer el proyecto en los productos finales que en conjunto permiten cumplir con su objetivo principal. Esos productos son los subobjetivos de primer nivel, conocidos también como objetivos intermedios o productos. Se recomienda estudiar el Fascículo N°2, Resumen Operativo de la Gerencia, que paso a paso explica el proceso de descomponer un proyecto.

Para cada uno de esos productos finales se procede a descomponerlos en la misma forma, identificando los subproductos que en conjunto van a producir el correspondiente producto final. Estos a su vez, serán los subobjetivos de segundo nivel de desglose el objetivo total del proyecto.

El proceso continúa paso a paso en la misma forma para cada subobjetivo identificado, hasta llegar a un nivel de subproducto (o subobjetivo) de magnitud tal, que el proceso para obtenerlo sea fácilmente observable y suficientemente sencillo para que el responsable de lograrlo pueda planificar detalladamente la actividad para obtenerlo. Posteriormente, se utiliza para supervisar al personal operativo que lo ejecutará.

El desglose analítico es una descomposición natural del proyecto en sus objetivos jerarquizados, descendiendo nivel por nivel hasta las actividades. Aún continúa en la etapa del planeamiento de la actividad, hasta el nivel de sus componentes elementales (materiales, servicios, información), lo que proporciona las siguientes ventajas:

- a. Da un marco para identificar y comprender los alcances del proyecto centrado en sus objetivos. Esta visión es independiente de la estructura de organización de la entidad ejecutora, de su sistema contable, del origen de los fondos que emplea, o de cualquier otro condicionamiento ajeno al proyecto

mismo.

- b. Asegura que el objetivo final del proyecto está lógicamente bien apoyado en sus subobjetivos menores, los que incluyen to dos los necesarios para alcanzarlo.
- c. Permite establecer las correlaciones lógicas entre las especi ficaciones de cada subobjetivo del proyecto desde los más pe- queños hasta el objetivo final.
- d. Permite decidir el tamaño adecuado para cada actividad y la identificación de todas las necesarias, ya que cada actividad será el proceso para lograr uno de los subobjetivos de menor nivel identificado en el desglose.
- e. Da una visión de las interrelaciones entre los elementos que componen el proyecto, lo que facilita el ordenamiento en se- cuencias de las actividades.
- f. Permite ver la forma en que se agrupan las distintas activida des para lograr cada objetivo intermedio (producto), lo que dará una base fundamental para la forma que adoptará la orga- nización para el proyecto.
- g. Ayuda a establecer los elementos para determinar los factores de costo, como también las necesidades de recursos y totali- zarlos en forma lógica para establecer el presupuesto. Faci lita diseñar el sistema contable que conviene al proyecto.

## 6.2 Ejemplo de Desglose Analítico.

El siguiente es el desglose hasta el segundo nivel, preparado por los participantes de un ciclo de adiestramiento en administración de proyectos de un programa desarrollado en centroamérica. Se encontraron siete objetivos a primer nivel y 46 objetivos a segundo nivel. De

acuerdo con la nomenclatura recomendada, el objetivo específico corresponde al propósito, los objetivos de primer nivel a los productos (Objetivos Intermedios) y los objetivos de tercer nivel a las actividades.

**OBJETIVO ESPECIFICO: Producción de Semilla Certificada para el año 1978**

**Primer Nivel (Producto) y Segundo Nivel (Actividades)**

**Producto 1. Administración de contratos con productores particulares.**

- 1.1. Proporcionarles información sobre demanda y precios
- 1.2. Recibir ofertas de productores
- 1.3. Inspeccionar condiciones de cultivos oferentes
- 1.4. Establecer los costos de los oferentes
- 1.5. Hacer los contratos con los productores seleccionados
- 1.6. Venderles la semilla registrada
- 1.7. Recibir la semilla producida
- 1.8. Liquidar los contratos

**Producto 2. Producción de Semilla Certificada**

- 2.1. Obtener semilla de fundación
- 2.2. Establecer plan de trabajo
- 2.3. Localización de áreas para la producción
- 2.4. Contratar alquiler de tierras
- 2.5. Obtener recursos (humanos, físicos y financieros)
- 2.6. Preparación de la tierra
- 2.7. Siembra
- 2.8. Cultivo
- 2.9. Recolección
- 2.10 Secamiento y desglose
- 2.11 Limpieza y clasificación

Producto 3. Inspección de la producción por particulares.

- 3.1. Establecer Plan de Inspección
- 3.2. Obtener Recursos (Físicos, Humanos, Financieros)
- 3.3. Asignar personal
- 3.4. Ejecutar Plan de Inspección
- 3.5. Definir cuantía de demanda y de precios

Producto 4. Incorporación al proyecto de productores de semilla registrada

- 4.1. Proporcionar información sobre demanda y precios de compra a los productores
- 4.2. Recibir solicitudes de productores
- 4.3. Realizar inspecciones
- 4.4. Proporcionar información financiera sobre costos de productores
- 4.5. Contratar la compra venta
- 4.6. Vender semilla registrada. Plan de inspección
- 4.7. Recepción de semilla producida

Producto 5. Laboratorio de control de calidad establecido.

- 5.1. Establecer Plan de Actividades
- 5.2. Elaborar programa de trabajo
- 5.3. Obtención de Recursos (Físicos, Humanos, Financieros).
- 5.4. Realizar pruebas de control

Producto 6. Sistema de Procesamiento y almacenamiento funcionando.

- 6.1. Establecer Plan de Actividades de la Planta
- 6.2. Elaborar Programa de Trabajo

6.3. Obtención de los recursos

6.4. Ejecutar acciones de almacenamiento y procesamiento

#### Producto 7. Promoción

7.1. Análisis de la campaña anterior para fijar los próximos objetivos de la selección

7.2. Fijar los objetivos de la promoción

7.3. Seleccionar los medios de difusión

7.4. Definir el contenido de la promoción y su duración

7.5. Obtención de los recursos

7.6. Ejecución

7.7. Evaluación

#### CAPITULO 7: CONSIDERACIONES PARA DETERMINAR LA DURACION DE LAS ACTIVIDADES

La definición de las actividades, cuyo resultado va a ser la determinación de la duración de cada una de ellas y de los recursos que utilizará, es una etapa común para todos los métodos de programación. La variable principal que ellos manejan es el tiempo: duración total del proyecto, comienzo y término de cada actividad. Todas estas informaciones son obtenidas a partir del dato de la duración de cada actividad, que es el tema de este capítulo.

La definición de las actividades, al igual que su identificación, es un tema que la literatura sobre programación de proyectos trata con excesiva parquedad, limitándose a hacer énfasis en que los tiempos deben ser realistas, para lo cual hay que apoyarse en los registros estadísticos sobre duración de actividades similares y, a falta de éstos, en la experiencia del personal que va a ejecutar el proyecto.

De acuerdo con la experiencia del IICA, si bien los datos estadísticos aportan una información útil en los casos en que existan, no hay que olvidar que ellos son la consecuencia de una serie de factores que se



conjugaron en una forma dada para producirlos en el pasado. Para aplicarlos hoy es necesario conocer cómo se conjugaron antes y si estas condiciones se darán en la nueva actividad que queremos realizar. En otras palabras, la información estadística no libera de la obligación de analizar las circunstancias concretas en que se quiere aplicar.

Por otra parte, sólo en casos muy particulares se dispone de toda la información estadística necesaria para determinar las duraciones de todas las actividades.

Parece más general decir que la duración de cada actividad se obtendrá como producto de un análisis que comienza por la definición precisa del objetivo y continúa con la definición o diseño del proceso con que se ejecutará. Necesariamente incluye la consideración de la cantidad y tipo de los recursos disponibles, donde sí son útiles las informaciones estadísticas sobre el rendimiento de cada recurso.

Al poner como primer elemento la definición precisa del objetivo, se está estableciendo un enlace con el desglose analítico del proyecto por medio de la red de pertinencia, donde existe la primera información de porqué hay que realizar esa actividad. En la definición del objetivo, o producto de la actividad, mirado desde el punto de vista del enfoque sistémico, se debe tener presente quiénes van a ser los usuarios de esa actividad, ya que la razón de producirlo es la utilización que los usuarios harán de ese producto. Este enfoque muestra la necesidad de que el producto intermedio cumpla las especificaciones que requieren los procesos que lo van a usar como insumo.

En todo proyecto sólo las actividades finales dan productos para ser utilizados directamente fuera del proceso del proyecto, concretamente por el sistema productivo que utilizará el instrumento que crea el proyecto total. Todas las demás actividades aportan su resultado (producto intermedio) como insumo para el proceso de una o más actividades siguientes del

mismo proyecto. Lo anterior significa que será el uso que le darán esas actividades siguientes al producto intermedio de la que se está considerando, el que dará la pauta de las especificaciones que debe cumplir con el resultado de cada actividad.

El olvido de una verdad tan importante como la que se ha señalado, lleva fácilmente a tener que complementar las acciones realizadas cuando ésta da un resultado insuficiente para las actividades que lo necesitan como insumo, o en el otro extremo puede entregar un producto intermedio sobredimensionado. En ambos casos se habrá pagado un sobreprecio inútil, que el análisis del objetivo pudo evitar. Además en el primer caso puede conducir a una pérdida de tiempo que afecte la duración del proyecto.

Una vez definido el objetivo como resultado del análisis indicado, habrá que diseñar un proceso adecuado para obtenerlo, por supuesto, sujeto a las restricciones que impone el tipo y la cantidad de recursos disponibles.

No es posible hablar específicamente de cómo diseñar el proceso de cada actividad. En cualquier proyecto la variedad de actividades puede ser muy grande. Sin embargo, puede afirmarse que quien debe estar en las mejores condiciones para hacer su diseño es la persona que se va a encargar de ejecutarla.

En este sentido es conveniente recordar la afirmación de Jerome O'Hea (Questions and Answers on MBO): si al fijar los objetivos no se hace participar al que debe obtenerlos, lo que se tendrá a la hora de la evaluación serán buenas explicaciones de por qué no se lograron. En otras palabras: la creatividad de las personas hay que canalizarla en forma útil para el proyecto, en lugar de permitir que se malgaste en rencillas o explicaciones inútiles.

Otra recomendación general que se puede dar para el diseño de una actividad que resulte compleja, es aplicarle el método del desglose analítico

que permite reducirla a tamaños tan pequeños como sea necesario y hacer para ella una pequeña programación utilizando cualquiera de los métodos que se desarrollaron en los capítulos 4 y 5. La ventaja de hacerlo es la indudable mayor facilidad de observar procesos simples que complejos.

Otro aspecto del enfoque sistémico que conviene recordar es que cada actividad está relacionada con el proyecto, no sólo por el lado de su producto intermedio (o final), sino también por el de los insumos que necesita. En efecto, mientras el resultado le da la razón de ser a la actividad, la obtención de los insumos condiciona la posibilidad de ejecutarla. Por ello uno de los resultados importantes del diseño de la actividad será la especificación de los insumos que necesita y de quién debe recibirlos. Esta información servirá a su vez para afinar los objetivos de las actividades que le proporcionarán esos insumos.

Este planteamiento pareciera llevar a la necesidad de definir las actividades en el orden inverso al de su flujo de ejecución, ya que son las posteriores las que condicionan el objetivo de las anteriores. Sin embargo, la forma usual de proceder es de afinar primero las actividades de ejecución más próxima para poder comenzar éstas aún antes de terminar la programación total del proyecto.

La aparente contradicción anterior se resuelve al recordar que, ninguna de las diferentes etapas que comprende la programación de un proyecto permiten tomar decisiones definitivas hasta que no se hayan realizado todas las etapas, y verificado que las soluciones tentativas que ha aportado cada una da resultados convenientes en las posteriores.

Particularmente en proyectos complejos como los de desarrollo rural, estas pruebas de ensayo y error son necesarias como consecuencia del hecho de que el proceso de la programación no dispone de un modelo único que incluya todas las variables que intervienen en él. A falta de ese modelo, cada etapa utiliza modelos diferentes que permiten examinar separadamente

el comportamiento de una de las variables, lo que requiere del proceso de aproximaciones sucesivas para combinar los efectos de todas ellas.

Como consecuencia de lo anterior, la etapa de la definición de las actividades conviene hacerla, en primera instancia, a un nivel tentativo que indique el tiempo y los recursos que necesita, pero sin que se terminen de establecer todos sus detalles. Se hará una determinación más fija una vez que se haya encontrado una solución que sea satisfactoria para todas las etapas siguientes de la programación.

## 8. BIBLIOGRAFIA

8.1 Publicaciones históricas

(Primeras publicaciones sobre programación por redes)

1. ANDREW, S.P.S. A job planning system for rapid overhaul of large units plants. I.C.I. Billingham Division. Report G&P/SPSA/JD. 1956.
2. FONDAHL, J. A non-computer approach to the critical path method for the construction industry. Stanford University. Dpt. of Civil Engineering. Technical Report no. 9. 1962.
3. FREEMAN, R. A generalized network approach to project activity sequencing. IRE Transactions Eng. Mgt. Set. 1960.
4. KELLY, J y WALKER, M. Critical path planning and scheduling. Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, Boston Mass., 1959.
5. MAINTENANCE INTENSIFICATION. London, General Electricity Generating Board. Memo GO/18/OR. 1957.
6. MALCOLM, D. et al. Applications of a technique for research and development. Program Evaluation (PERT). Operations Research 7(5). Set. 1959.

8.2 Publicaciones en español

7. ANTIL, J. y WOODHEAD, R. Método de la ruta crítica. México D.F., Limusa-Wiley, 1969. 315 p.
8. BATTERSBY, A. Planificación y programación de proyectos complejos. Barcelona, Ariel S.A., 1970. 428 p.
9. CATALYTIC CONSTRUCTION CO. Método del camino crítico. México, D.F., Ed. Diana, 1972. 123 p.
10. CHACON, E. Investigación operativa, teoría de grafos, PERT, DTPS. Madrid, Ibérica Europea de Ediciones, s.f. 326 p.
11. DIAZ COLLANTES, H. Qué es el PERT y para qué? Madrid, Index, 1970.
12. EDELSTEIN, I. Programación de obras. Buenos Aires, Mitra, 1972. 108 p.

13. EVARTS, H. Introducción al PERT. Barcelona, Sagitario, 1965. 151 p.
14. FIGUERA ANDU, J. PERT/CPM/ROY; técnicas modernas de planificación y control. Madrid, Saeta, 1966. 163 p.
15. LEÑERO G., J. Programación y control mediante las técnicas PERT/CPM. San José, Costa Rica, ICAP, 1976. 198 p.
16. \_\_\_\_\_, Organización para proyectos. San José, Costa Rica, ICAP, 1976. 149 p.
17. McMAHON, J. Planeamiento de red para proyectos de trabajos públicos. Revista Servicios Públicos/Desarrollo Nacional. Jun.-Jul. 1977, pág. 54.
18. MARTINO, R.L. Administración y control de proyectos. México, D.F., Editora Técnica S.A., 1970. 3v.
19. MILLER, R. Aplicación del método PERT al control de programación, costos y beneficios. México, D.F., McGraw Hill, 1971. 272 p.
20. MUNIER, N. PERT, CPM y Técnicas relacionadas. Buenos Aires, PROLAM, 1971. 193 p.
21. PELAEZ, G. Análisis del costo en las redes de programación de proyectos. Primer Congreso Nacional de Organización Científica del Trabajo, España, Jun. 1963.
22. RIGGS, J. y HEAT, C. Programación por el camino crítico. Barcelona, Ed. Hispana Europea, 1970. 282 p.
23. ROBERTS, P. y VALLEJO, C. Resumen Operativo Gerencial. Guía sobre manejo de proyectos. San José, Costa Rica, IICA, 1978. 111 p.
24. SICARD, P. Cómo aplicar el PERT? Barcelona, Sagitario, 1971. 155 p.
25. STILLIAN, G. PERT, un nuevo instrumento de planificación y control. Bilbao, Deusto, 1965. 203 p.
26. WEIST, J. y LEVY, F. Técnicas PERT y CPM. Madrid, Paraninfo, 1972. 215 p.

### 8.3 Publicaciones en Portugués

27. BOITEUX, C.D. PERT, CPM, ROY. Rio de Janeiro, EIAP, 1976 243 p.

28. COHEN, J. y SILVA MAIA, G.N. da. PERT; uma nova técnica para planejamento de operações. Boletim do Clube Naval no. 173. 1963.
29. GENERI, B. Introdução ao PERT básico. Rio de Janeiro, EIAP, 1966.
30. LILENBAUM, M. Modelo PERT/CPM; sistemática de sua aplicação a administração de projetos. Rio de Janeiro, EIAP, 1970. 334 p.
31. MOTTA, J.E.M. PERT CUSTO/TEMPO. Rio de Janeiro, Spencer, 1967.
32. NCR DO BRASIL. PERT/TEMPO e PERT/CUSTO; um método dinâmico para o planejamento e controle. s.n.t.
33. OLIVEIRA BELCHIOR, P.G. de. PERT/CPM; técnica de avaliação, revisão e controle de projetos. Rio de Janeiro, Ouro, 1969.
34. SA, G. Métodos PERT e CPM, problemas e aplicações. Revista de Administração de Empresas. Set. 1965.
35. STRANGER, L.B. PERT/CPM. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1967.

#### 8.4 Publicaciones en francés

36. KAUFMANN, A y DESBAZEILLE, G. La méthode de chemin critique. Paris, Dunod, 1967.
37. \_\_\_\_\_ y FAURE, R. Invitation a la recherche operationelle. Paris, Dunod, 1963.
38. PELLER, R. Initiation a la theorie des graphes: vocabulaire descriptif. Paris, Enterprise Moderne d'Edition, 1966.
39. ROY, B. Les problemes d'ordonnancement; applications et méthodes. Paris, Dunod, 1964.

#### 8.5 Publicaciones en inglés

Debido al alto número de publicaciones en este idioma, se hará una selección considerando los modelos básicos y las extensiones comentadas en el Capítulo 2.

i. Sobre el Método de la Línea de Balance:

40. DIGMAN, L.A. PERT/LOB: Life-Cycle Technique. Journal of Industrial Engineering 18(2). Feb. 1967.

41. GEHRINGER, A.C. Line of Balance. The Armed Forces Comptroller, Jun. 1959.
42. OFFICE OF NAVAL MATERIAL. Line of Balance Technology. Washington, D.C., Navy Dept. 1958.
- ii. Sobre Métodos de Redes de Bloques:
  43. CRANDALL, K. Project planning with precedence lead/lag factors. Projec Management Quarterly 4(2):15. Jun 1973.
  44. FONDAHL, J.W. Methods for extending the range of non-computer critical path applications. Stanford University. Department of Civil Engineering, Technical Report no. 47 1964.
  45. IBM. Project control system 360: Program Description and Operations Manual. White Plains, N.Y., International Bussiness Machines Corp., 1967.
  46. MULVANEY, J. Analysis bar charting: a simplified critical path analysis technique. (1969). Reedited by World Bank, 1975. 100p.
- iii. Sobre Asignación de Recursos:
  47. CIER INC. RAMPS User's Guide. Arlington, Va., 1962
  48. DAVIS, E.W. Project scheduling under resource constraints; historical review and categorization of procedures. AIIE Transactions 5(4). Dec. 1973.
  49. KELLEY, J.E. The critical path method: resources planning and scheduling. Cap. 21: Industrial scheduling. New York, Prentice-Hall, 1963.
  50. LAMBOURN, S. Resource allocation and multiproject scheduling (RAMPS). A new tool in planning and control. Computer Journal 5(4). Jan. 1963.
  51. RESOURCE ALLOCATION in project network models, a survey. Journal of Industrial Engineering. Apr. 1966.
- iv. Sobre Discusión de las Premisas del PERT:
  52. HARTLEY, H.O. y Wortham, A.W. A statistical theory for PERT critical path analysis. Management Science 12(10). Jun. 1966.
  53. LUKASZEWICS. On estimations of errors introduced by standard assumptions concerning the distribution of activity duration in PERT calculations. Operations Research 13(2). March-Apr. 1965.



54. MacCRIMMON, K.R. y RYAVEC, C.A. An critical study of the PERT assumptions. Operations Research 12(1): 16-37. Jan-Feb. 1964.
55. WELSH, D.J.A. Errors introduced by PERT assumptions. Operations Research 13(1): 141-143. Jan.-Feb. 1965.
- v. Sobre PERT y PERT/COSTO:
56. DOD. PERT guide for management use. Washington, D.C., Government Printing Office, 1963. 64 p.
57. DOD & NASA. PERT/Cost Systems Design. Washington, D.C., Government Printing Office, 1962.
58. PROJECT MANAGER'S HANDBOOK. Booz, Allen & Hamilton, Inc., 1967.
- vi. Sobre el Método GERT:
59. MOORE, L.J. y CLAYTON, E.R. GERT Modeling and Simulation. Ed. Petrocelli/Charter. New York, 1976, 227 p.
60. PRISTKER, A.A.B. y HAPP, W.W. GERT: graphical evaluation and review technique, Part 1: Fundamentals. Journal of Industrial Engineering 17(5). May 1966.
61. \_\_\_\_\_ y SIGEL, G.E. The GERT IIIZ User's manual. West Lafayette, Indiana, Pristker & Associates Inc., 1974.
- vii. Publicaciones recientes de gran valor para el manejo de proyectos:
62. ARCHIBALD, R. Managing high technology programs and projects. New York, Willey Interscience, 1976. 278 p.
63. DAVIS, E. Project management: technique applications and managerial issues. Norcross, Ga. AIIE, 1976.
64. THE INITIATION and implementation of industrial projects in developing countries; a systematic approach. New York United Nations, 1975. (UN Publications E. 75.11.B.2).
65. THESE, A. Measures of restrictions of projec networks. Network 7(4). 1977.
66. WALTON, H. The interfase between managers and management systems. Proceedings of the 5th. INTERNET World Congress. 1976. p 15.
67. WEIST, J.D. y LEVY, F. A management guide to PERT/CPM with GERT/PDM/DCPM and other networks. New York, Prentice-Hall, 1977. 229 p.

68. WEIST, J.D. Project network models: past, present and future. Project Management Quarterly 8(4):27. Dec. 1977.
- viii. Sobre definición de objetivos (desglose analítico):
69. GRANGER, C.H. The hierarchy of objectives. Harvard Review of Bussiness, May-June 1964.
70. NODDLES, G. Work systems design: The IDEALS concept. Homewood, Ill., Irwin, 1967.
71. WARFIELD, J.N. y HILL, J.D. A unified systems engineering concept. Columbus, Ohio, Battells Memorial Institute, 1972.
72. \_\_\_\_\_. Intent structures. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. SMC-3 (March 1973). 133-4D.

## GLOSARIO DE TERMINOS USADOS EN LAS TECNICAS DE REDES

- ABC:** Analysis Bar Charting, Método de programación por camino crítico, con redes de bloques.
- ABCISA:** Eje horizontal en coordenadas ortogonales (eje X en coordenadas X, Y).
- CAMINO CRITICO:** También Ruta Crítica, secuencia de actividades que va desde el inicio hasta el término de un proyecto, que requiere mayor tiempo que cualquiera otra para completar su ejecución, y por tanto, determina la duración del proyecto.
- CPM:** Critical Path Method, método de programación por camino crítico, con redes de flechas.
- CRONOGRAMA:** Representación gráfica de las fechas en que deben ejecutar se distintas actividades.
- EVENTO:** También nudo o nodo; condición que indica que están todos los insumos para que comiencen las actividades que salen de él, o que se han completado los productos de todas las actividades que afluyen a él; en las redes de flechas se presentan con un círculo.
- HOLGURA LIBRE:** Diferencia entre la duración de una actividad y el período comprendido entre su tiempo más temprano de inicio y el tiempo más temprano de inicio de las actividades que necesitan su producto como insumo. Sólo existe en las actividades que no determinan el tiempo más temprano de inicio de las actividades que la siguen.
- HOLGURA TOTAL:** Diferencia entre la duración de una actividad y el período en que se puede realizar, determinado por su tiempo más temprano de inicio y su tiempo más tardío de término. Existe en todas las actividades que no están en el camino crítico.
- MARGEN DE UN EVENTO:** También de un nudo o nodo; diferencia entre su tiempo más tardío y su tiempo más temprano; período en que puede ocurrir sin que varíe la duración mínima de proyecto; se usa en las redes de flechas.
- MODELO:** Representación gráfica de un proceso.
- NUDO O NODO:** Véase evento.
- PERT:** Program Evaluation and Review Technique, método de programación de proyectos por camino crítico, con redes de flechas y duraciones probabilísticas de las actividades.

**RED DE FLECHAS:** Representación de las secuencias de las actividades de un proyecto, en que éstas se representan por flechas y sus conexiones con círculos (métodos CPM y PERT).

**RED DE BLOQUES:** Representación de las secuencias de las actividades de un proyecto, en que éstas se representan por rectángulos o círculos y sus conexiones por flechas (método ABC).

**RUTA CRITICA:** Véase camino crítico.

**TIEMPO MAS TEMPRANO:** De un evento o nudo: primera fecha en que se completan todas las actividades que condicionan su ocurrencia; se aplica en redes de flechas.

De inicio de una actividad: se aplica en el cálculo de redes para designar la primera fecha en que se completan todas las actividades que le dan insumos.

De término de una actividad: se aplica en cálculo de redes para designar el tiempo mínimo necesario para que se completen las actividades que le dan insumos más la ejecución de ella misma.

**TIEMPO MAS TARDIO:** De un evento o nudo: se aplica en el cálculo de redes de flechas para designar el tiempo máximo en que puede ocurrir sin que varíe la duración mínima del proyecto.

De inicio de una actividad: se aplica en el cálculo de redes para designar el tiempo máximo en que puede comenzar una actividad para que no varíe la duración mínima del proyecto.

De término de una actividad: se aplica en el cálculo de redes para designar la última fecha en que puede terminar una actividad sin que altere la duración mínima del proyecto.

FECHA DE DEVOLUCION

2 2 SET 1985			
1 8 FEB 1986			✓
1 0 JUN 1986			
0 2 SEP 1986			
2 3 OCT 1988			
2 2 NOV 1989			
2 4 ABR 1990			
2 4 ABR 1990			
1 4 OCT 1994			
2 7 JUN 1995			
1 7 MAYO 1995			

IICA  
E14-159prm-Fasc.5

Autor

Título Programación de actividades  
y uso de recursos

Fecha  
Devolución

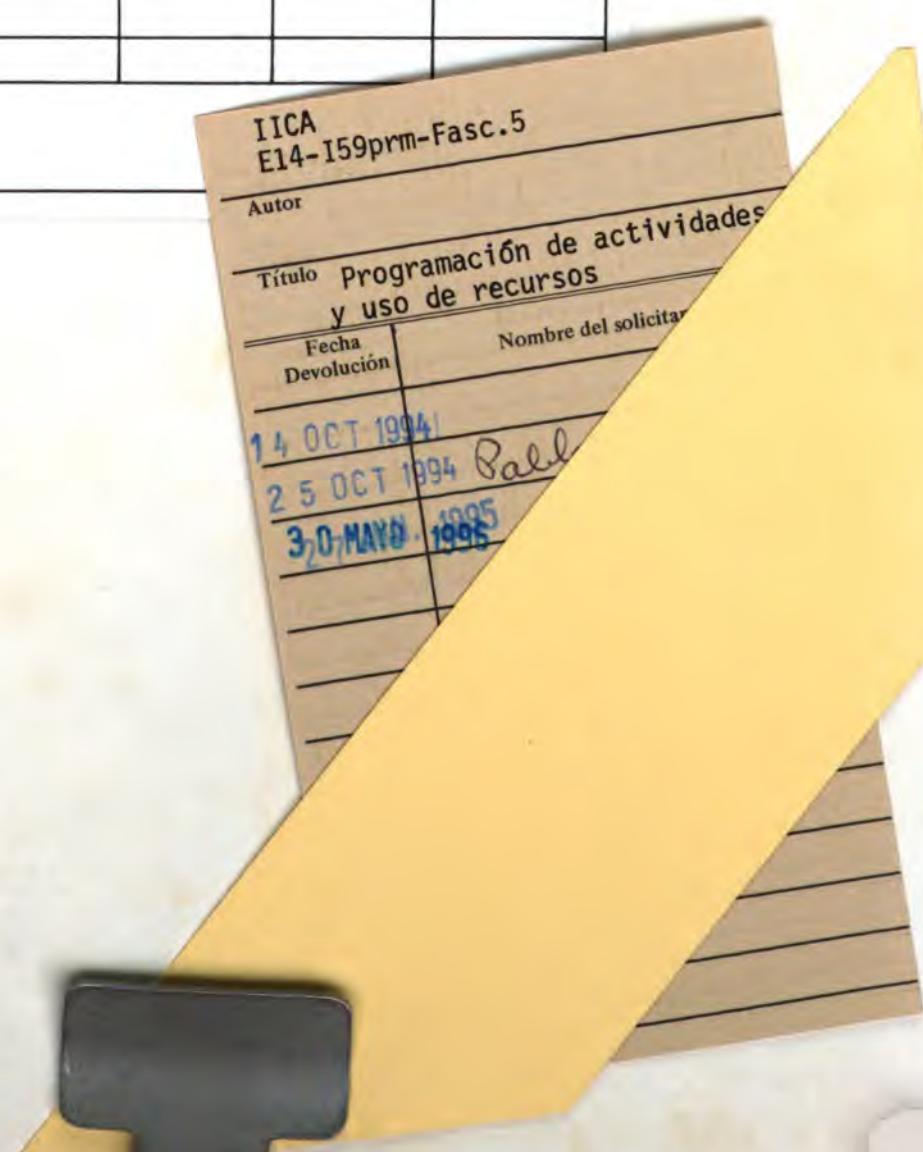
Nombre del solicitante

1 4 OCT 1994

2 5 OCT 1994

3 0 MAYO 1995

Ball





***IICA***

DIRECCION DE INFORMACION PUBLICA