

## 7.3 Problemas resueltos

### 7.3.1 Pollo con picatostes

Se trata de programar las actividades correspondientes a la realización de la siguiente receta de cocina:

#### POLLO CON PICATOSTES

**Ingredientes:** 1 pollo criado con leche, 1/2 kg de pimientos de Padrón, 1/2 kg de pimientos morrones dulces, 300 g de cebolletas, 1 lata de 1/2 kg de tomates enteros pelados, 250 g de manteca de cerdo, 200 g de harina, 1 kg de mejillones, 1/2 l de vino de Oporto, pan, aceite de oliva.

En una cazuela de barro se derrite la manteca de cerdo y se sigue calentando hasta que humee; entonces se echan los pimientos (que previamente se habrán lavado y cortado a pedacitos de 1 cm aproximadamente), los tomates y las cebolletas; se fríe todo ello sin dejar de remover en ningún momento con la espátula de madera, tanto tiempo como sea posible pero sin llegar a chamuscar las hortalizas. Se pone el sofrito en un escurridor, se vuelve a calentar la grasa obtenida y en ella se dora el pollo previamente troceado y enharinado. Se reincorporan entonces las hortalizas a la cazuela a la que se añade el vino de Oporto y el agua (un litro, aproximadamente) que se haya utilizado para hervir los mejillones. Se hace hervir, a fuego muy vivo, removiendo de vez en cuando para impedir que se pegue, dejando la cazuela destapada; cuando el líquido haya adquirido una consistencia como de sirope se echan a la cazuela los mejillones, convenientemente descascarillados, se tapa, se pone a fuego lento y se deja cocer unos diez minutos más. Entonces se coloca el pollo en una fuente, los mejillones en otra y la salsa, con las verduras, en una salsera. Se acompaña con picatostes, bien fríos, servidos en un plato de cerámica.

En primer lugar, se ha de establecer la relación de actividades en que se considera dividido el proyecto, que en este caso consiste en la preparación del "pollo con picatostes".

La lista de actividades que se adopte depende del detalle con que se desee abordar la programación y posterior control del proyecto.

La que se incluye a continuación parece razonable, habida cuenta de la información disponible y de los objetivos. Los tiempos (duraciones en minutos) son asimismo razonables, pero es evidente que no son los únicos valores posibles.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECEDENTES INMEDIATOS	DURACIÓN
a	Abrir la lata de tomate	)))	1
b	Calentar la manteca	)))	5
c	Lavar y cortar los pimientos	)))	6
d	Freír	a, b, c	14
e	Ecurrir y recalentar	d	3
f	Trocear el pollo	)))	7
g	Enharinar	f	3
h	Dorar el pollo	e, g	8
i	Hervir los mejillones	)))	15
j	Descascarillar los mejillones	i	5
k	Hervir pollo, vino y agua	h, i	30
l	Terminar la cocción	j, k	10
m	Colocar en fuentes	l	5
n	Cortar el pan	)))	3
o	Calentar el aceite	)))	5
p	Freír pan	n, o	9
q	Enfriar los picatostes	p	25

En las páginas siguientes se incluye, respectivamente, los grafos PERT y Roy correspondientes. En el primero de ellos que, de hecho, es el único que se pide en el enunciado, figuran los valores obtenidos en los cálculos "hacia adelante" y "hacia atrás", fechas "lo más pronto" y "lo más tarde" de cada vértice del grafo.

En la representación Roy no se utilizan actividades virtuales que en la representación PERT son a veces, como en este ejemplo, convenientes (en este caso para distinguir actividades que, de otro modo, tendrían los mismos vértices inicial y final).

Como puede verse, el plato puede prepararse en 76 minutos (y no en menos tiempo) siempre que se disponga de las personas y de los fogones suficientes; si no, el tiempo necesario para la realización de la receta sería mayor.

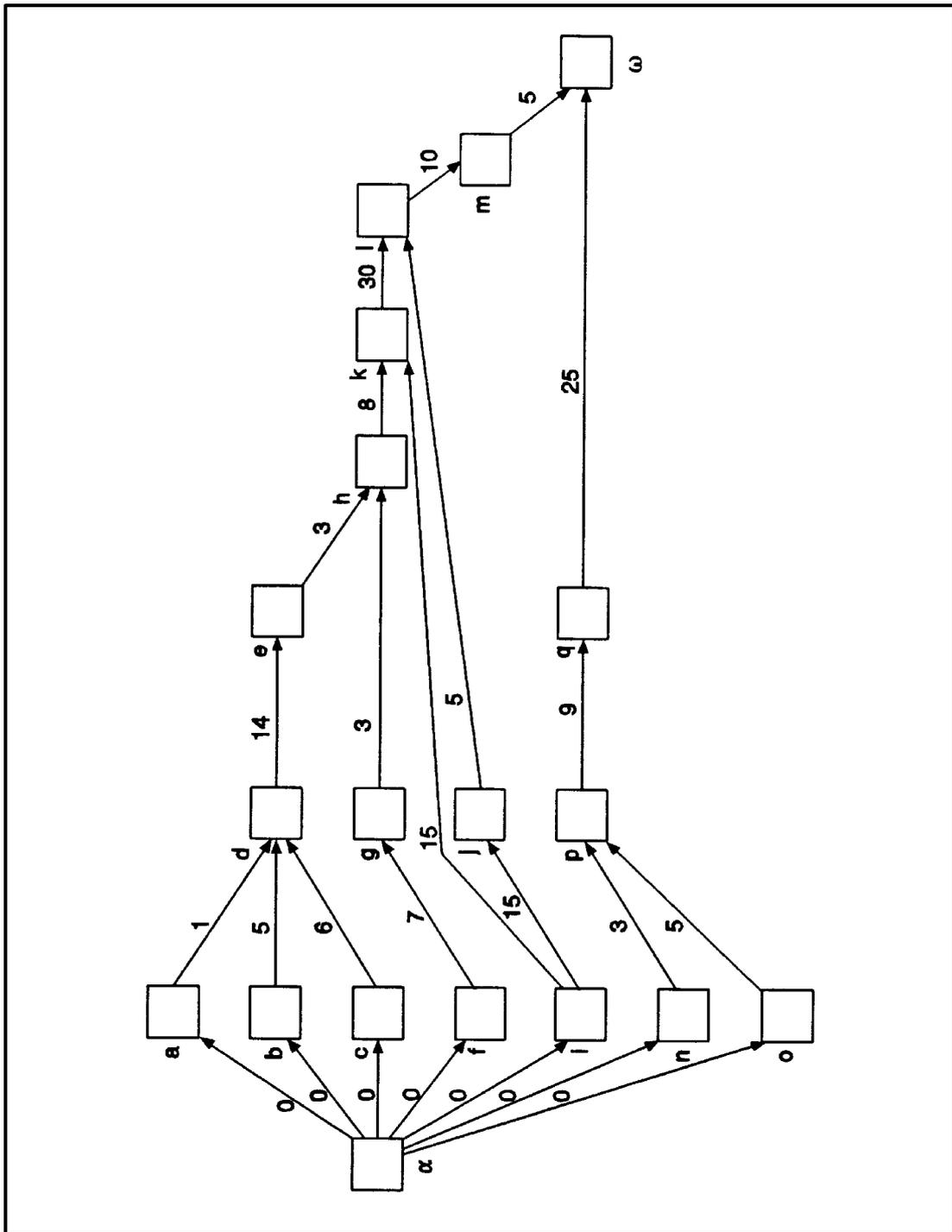
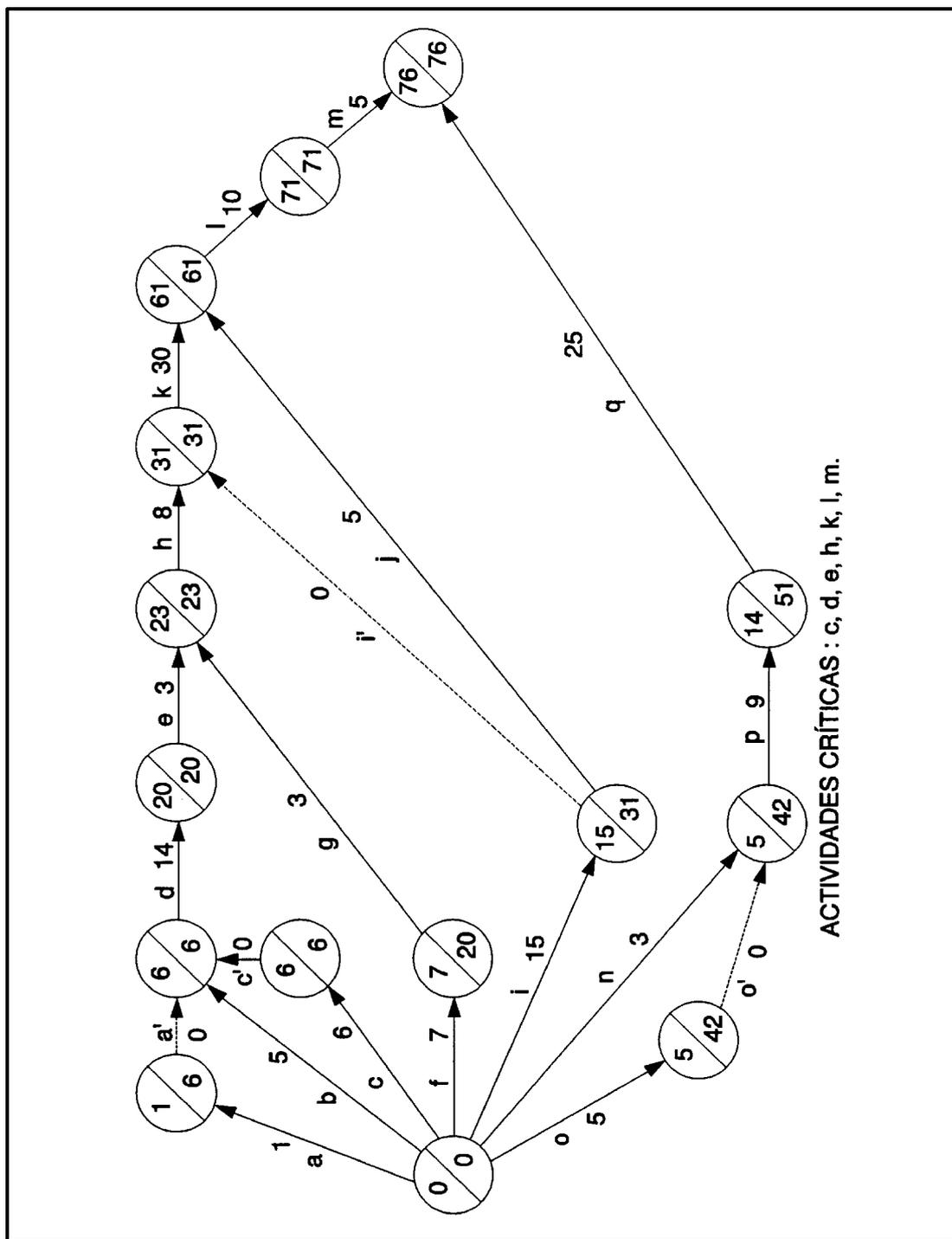


Fig. 7.3.1 Grafo ROY



ACTIVIDADES CRÍTICAS : c, d, e, h, k, l, m.

Fig. 7.3.2 Grafo PERT

7.3.2 Un proyecto consta de las actividades que aparecen, junto con sus duraciones y precedencias inmediatas, en la tabla siguiente:

Actividad	Precedentes	Duración (meses)
a	-	2
b	-	4
c	a	3
d	a	1
e	b, c	2
f	d	1
g	e, f	1
h	f, c	2
i	g	2
j	h	1
k	j	2
l	j	2
m	k	3
n	i	2

- a) Establecer la representación PERT del proyecto y determinar la duración total mínima del mismo, el camino crítico y los márgenes total y libre de las actividades no críticas.
- b) En el supuesto de que el coste de realización de cada actividad es proporcional a la duración de la misma, excepto para las actividades *b* y *l*, en que es proporcional al doble de su duración, calcular la diferencia económica que supone realizar todas las actividades en sus fechas máximas en relación a realizarlas en sus fechas mínimas. Los costes de cada actividad son imputables a su fecha de realización y la tasa de interés mensual es del 2%.

En la figura se incluye el grafo PERT y las fechas mínimas y máximas de cada etapa ( $f_x$  y  $F_x$ ), que son los números en las partes izquierda y derecha, respectivamente, de los círculos que representan las etapas); los arcos dibujados en trazo grueso constituyen el camino crítico.

Si el arco correspondiente a una actividad va de la etapa *s* a la etapa *S*, las fecha mínima y máxima ( $t, T$ ) de inicio de la actividad se obtienen así:

$$t = f_s$$

$$T = F_s - d$$

(siendo  $d$  la duración de la actividad).

De donde, los márgenes total y libre (MT y ML):

$$MT = T - t = F_s - f_s - d$$

$$ML = f_s - (t + d) = f_s - f_s - d$$

Expresiones que permiten calcular las columnas MT y ML de la siguiente tabla:

Actividad	d	$f_s$	$f_s$	$F_s$	MT	ML
b	4	0	5	6	2	1
d	1	2	3	4	1	0
e	2	5	7	8	1	0
f	1	3	4	5	1	0
g	1	7	8	9	1	0
i	2	8	10	11	1	0
l	2	8	13	13	3	3
n	2	10	13	13	1	1

Con lo que se completa la respuesta al apartado **a**.

En lo que respecta al apartado **b**, hay que calcular, en primer lugar, las fechas mínimas y máximas de inicio de cada actividad así como las fechas mínimas y máximas de finalización de las mismas, en las cuales son imputables los costes:

Actividad	t	T	t+d	T+d
a	0	0	2	2
b	0	2	4	6
c	2	2	5	5
d	2	3	3	4
e	5	6	7	8
f	3	4	4	5
g	7	8	8	9
h	5	5	7	7
i	8	9	10	11
j	7	7	8	8
k	8	8	10	10
l	8	11	10	13
m	10	10	13	13
n	10	11	12	13

Por consiguiente, los costes imputables al final de cada uno de los 13 meses previstos para la realización del proyecto son, en las dos hipótesis de fechas mínimas y fechas máximas, proporcionales a los valores siguientes:

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
F.mín.	0	2	1	9	3	0	4	2	0	8	0	2	3
F.máx.	0	2	0	1	4	8	2	3	1	2	2	0	9

Los valores actualizados respectivos (con un coeficiente de actualización igual a 1/1'02) son, respectivamente, 29'5 y 28'9.

En definitiva, para tener la mayor seguridad de terminar el proyecto a tiempo lo mejor es empezar las actividades tan pronto como sea posible; pero los costes financieros de esta forma de proceder no son despreciables.

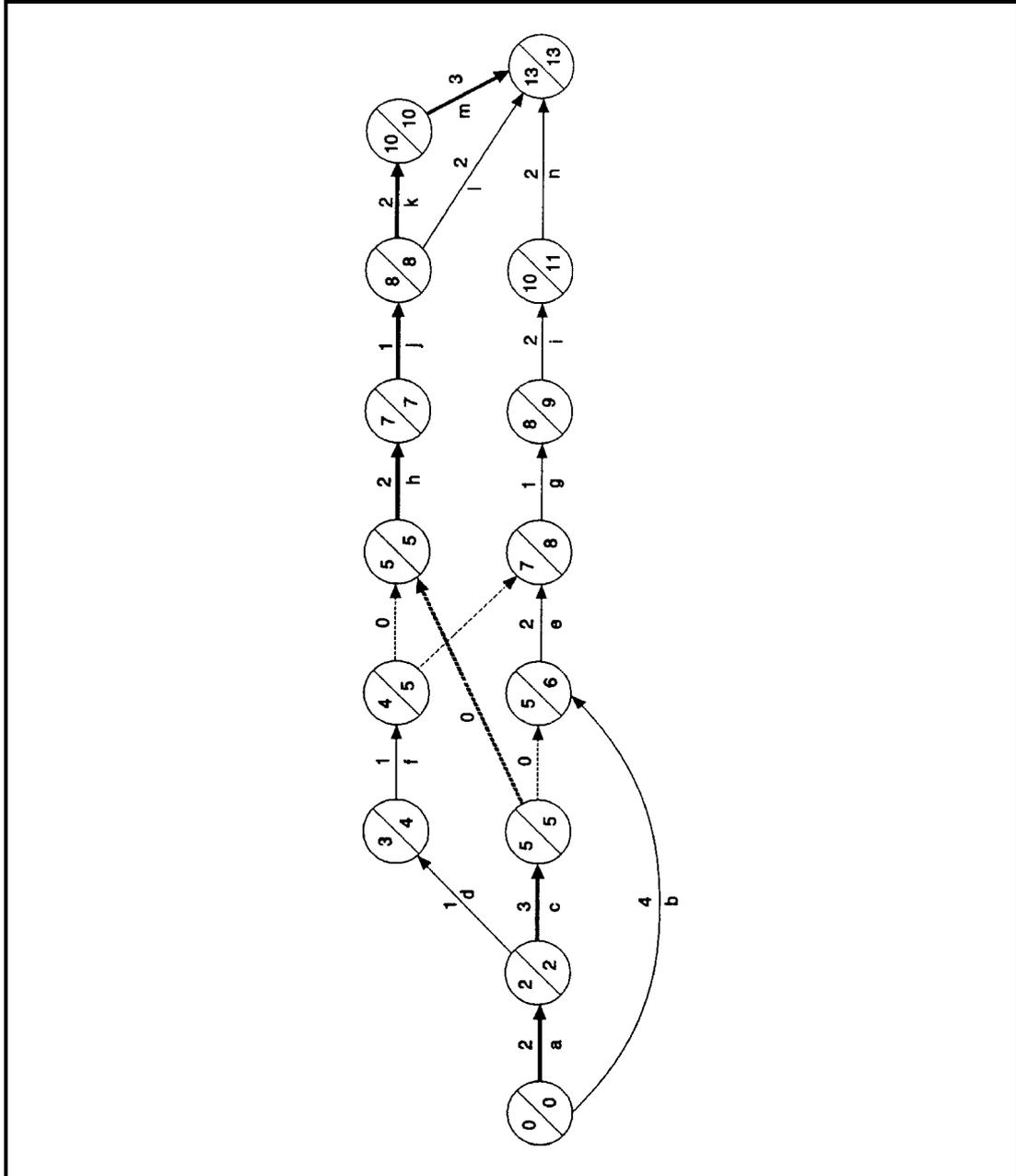


Fig. 7.3.3

### 7.3.3 La construcción de un nuevo almacén consta de las siguientes actividades:

Actividad	Precedentes inmediatas	Duración normal (días laborables)
a	-	60
b	-	70
c	-	100
d	a	90
e	a	30
f	b, e	40
g	b, e	30
h	d, f	50
i	c, g	50

Dado que la duración normal del proyecto resulta excesiva se ha estudiado procedimientos para acortarla y se ha llegado a la conclusión de que es posible reducir, mediante un aumento de coste, la duración de las tres actividades siguientes:

- d: Puede reducirse 30 días (los 15 primeros a un coste de 25.000 PTA/día y los 15 siguientes a 40.000 PTA/día).
- f: Puede reducirse 20 días, a un coste de 30.000 PTA/día.
- g: Puede reducirse 10 días, a un coste de 20.000 PTA/día.

- 1.- Dibujar un gráfico que muestre la relación entre las duraciones posibles del proyecto y los incrementos de costes mínimos correspondientes.
- 2.- Si el responsable está dispuesto a gastar hasta 70.000 PTA por día de reducción en la duración del proyecto, ¿cuál es, en este supuesto, la duración óptima del proyecto y el incremento de coste correspondiente?; ¿cuál será la duración de las actividades *d*, *f* y *g*?

Se podría aplicar el algoritmo MCX, pero dado que sólo son tres las actividades que admiten reducciones en su duración no resulta difícil resolverlo sin recurrir al mismo.

Con las duraciones normales, el camino crítico está formado por las actividades *a*, *d* y *h* (fig. 7.3.4). Por consiguiente, en primer lugar, hay que reducir *d*.

La situación no cambia hasta que no se reduce la duración de  $d$ , y por consiguiente la del proyecto, en 20 días. Obsérvese que inicialmente los márgenes totales de  $f$  y  $g$  son, respectivamente, de 20 y 30 días; por lo tanto, al reducir 20 días la duración del proyecto,  $f$  pasa a ser crítica. Se puede disminuir hasta 10 días más la duración del proyecto reduciendo simultáneamente la duración de las actividades  $d$  y  $f$ .

Pero ya no es posible ir más allá, por cuanto ya no se puede disminuir más la duración de  $d$  y, por consiguiente, el camino crítico formado por  $a(60)$ ,  $d(60)$  y  $h(50)$ , con una longitud total de 170 días, impone esta duración mínima para el proyecto.

La *figura 7.3.5* muestra la relación entre la duración del proyecto y los incrementos de coste.

Si el responsable del proyecto está dispuesto a gastar hasta 70.000 PTA por día de reducción del proyecto, la duración del mismo será de 170 días. Las actividades  $d$ ,  $f$  y  $h$  se realizarán en 60, 30 y 30 días, respectivamente, con unos incrementos de coste de 775.000, 300.000 y 0 PTA; el incremento total de coste, por consiguiente, será de 1.075.000 PTA.

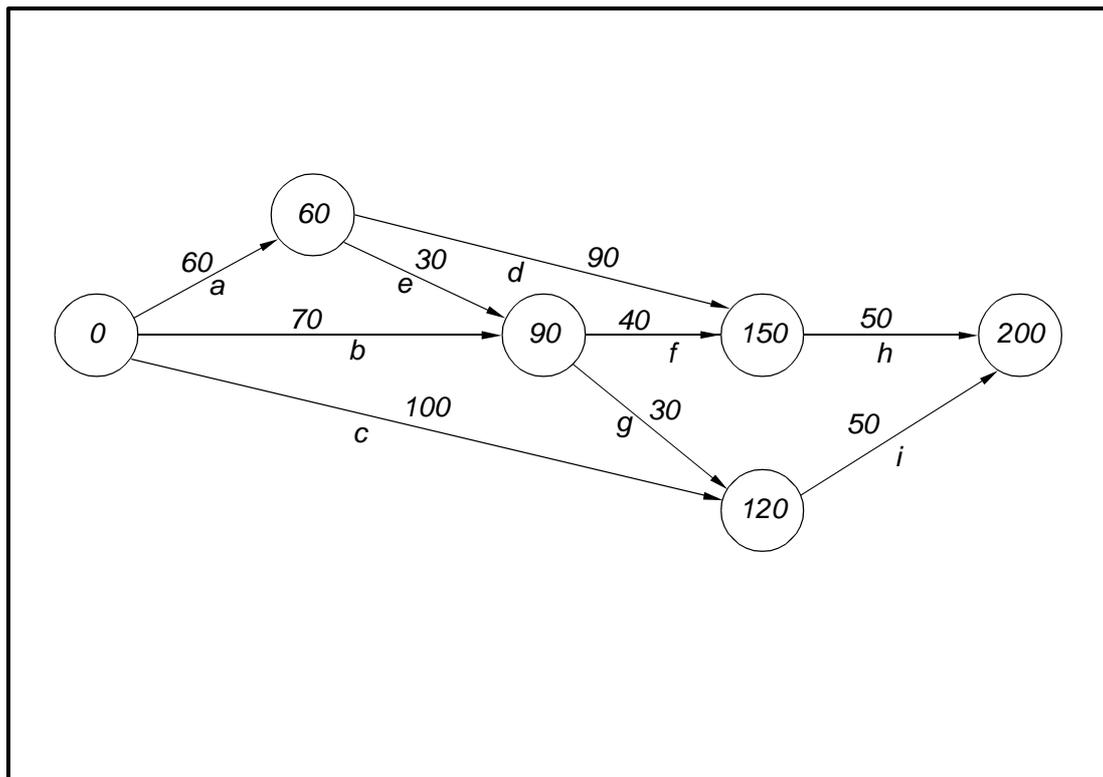


Fig. 7.3.4

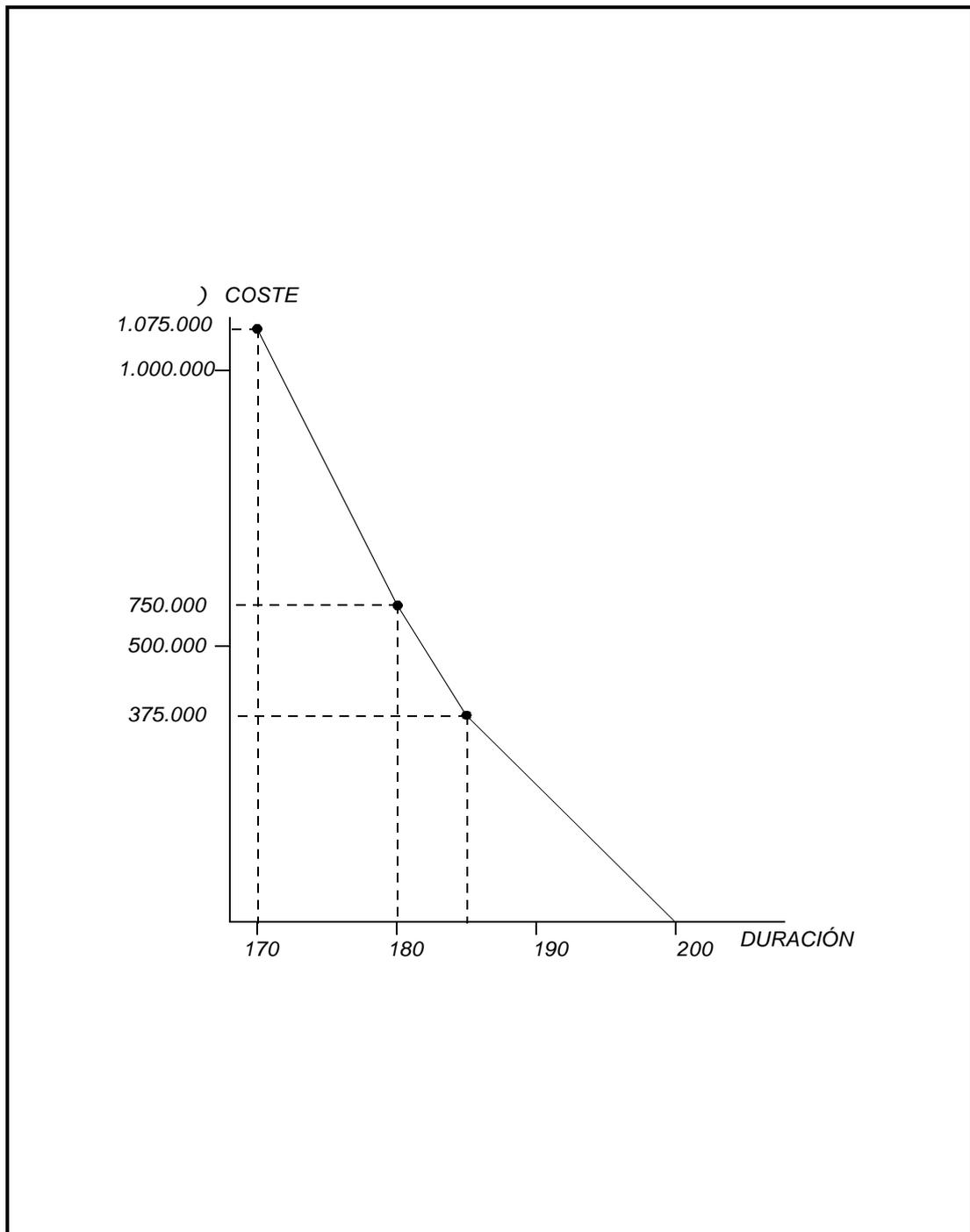


Fig. 7.3.5

7.3.4 La construcción de un velódromo se ha descompuesto en las siguientes actividades:

- a.- Preparación del terreno
- b.- 1ª fase de la infraestructura
- c.- 2ª fase de la infraestructura
- d.- Adquisición de madera del Camerún para la pista
- e.- Construcción de la pista
- f.- Instalaciones complementarias

La actividad *a* precede a *b* y ésta a *c* y *f*; *c* y *d* a *e*.

La tabla siguiente contiene, para cada actividad, las duraciones normal y "acelerada", en semanas, y el coste, en cierta unidad monetaria, de acortar la duración de la actividad en una semana (en el intervalo entre la duración acelerada y la duración normal).

Se trata de establecer un gráfico que dé el coste adicional, en relación al coste mínimo posible, para todas las duraciones del proyecto comprendidas entre la mínima y la normal.

a	8	4	2
b	24	12	7
c	5	3	4
d	35	20	5
e	3	2	8
f	11	5	3

El algoritmo adecuado para este problema es el MCX, a cuya aplicación corresponden los grafos de las páginas siguientes.

Se ha prescindido de flechas para señalar la orientación de los arcos, que es siempre de izquierda a derecha.

Las cifras que figuran sobre los arcos son su longitud y sus capacidades mínima y máxima (ambas dentro de un mismo paréntesis). Bajo los arcos, el flujo.

T: Duración total del proyecto

$\Delta$ : Incremento de coste para reducir una semana la duración T  
 $\delta$ : Disminución máxima de T para una cierta configuración del grafo

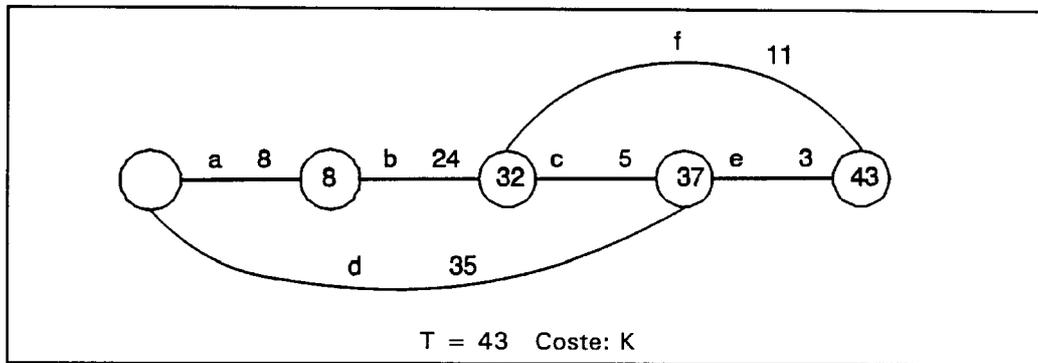


Fig. 7.3.6

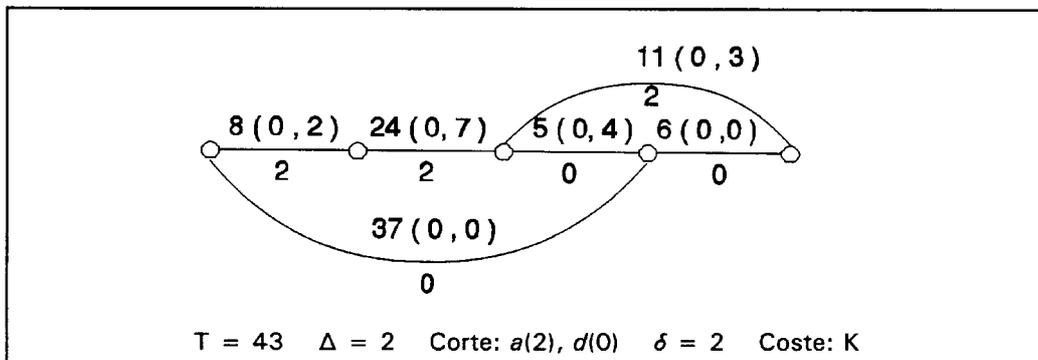


Fig. 7.3.7

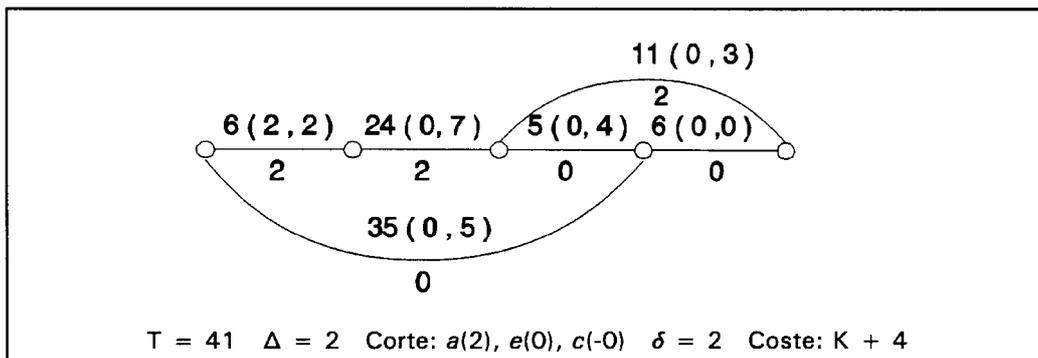


Fig. 7.3.8

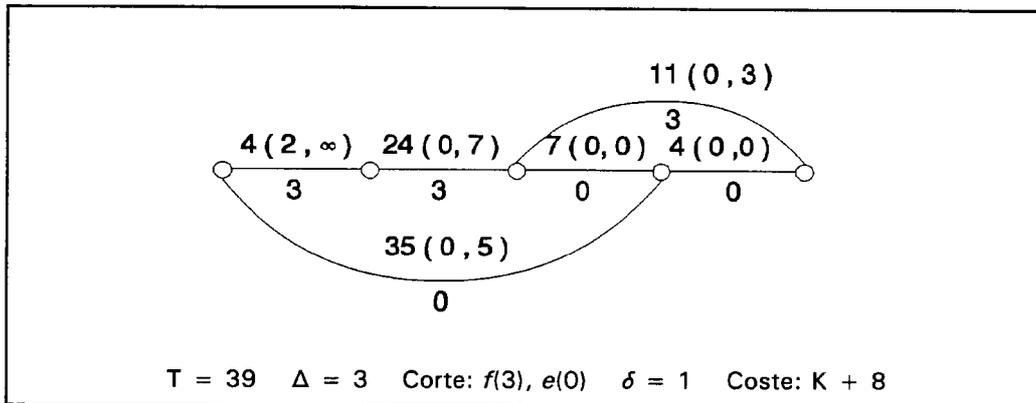


Fig. 7.3.9

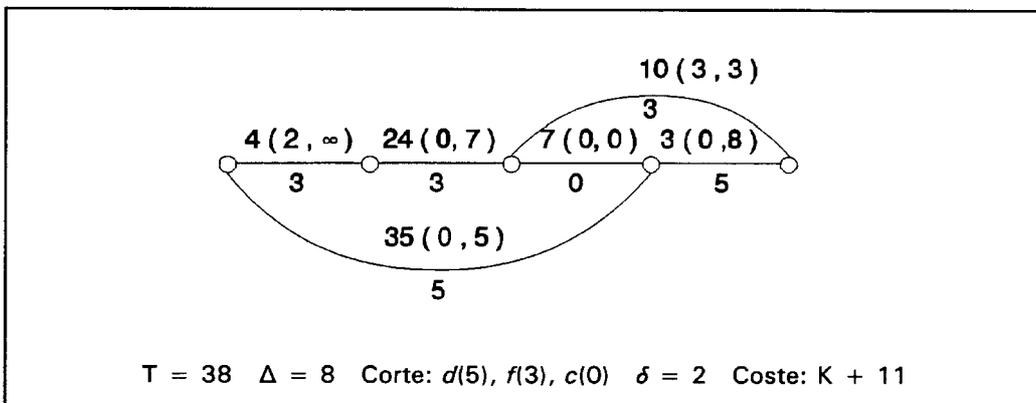


Fig. 7.3.10

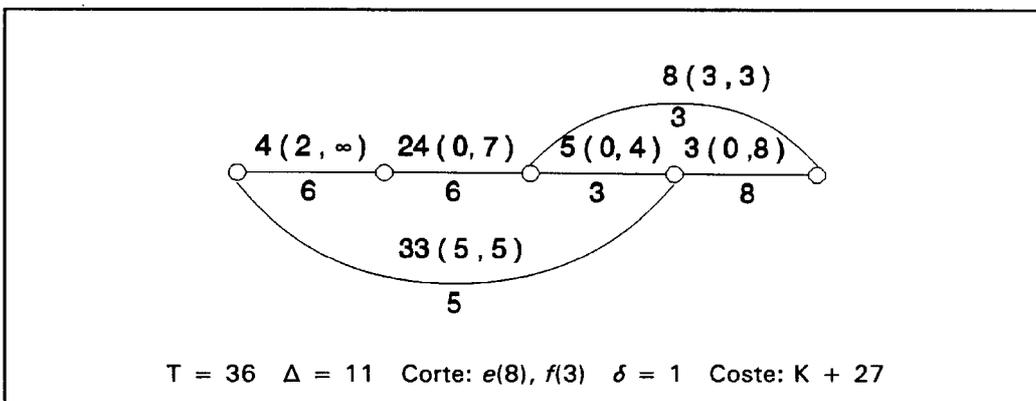


Fig. 7.3.11

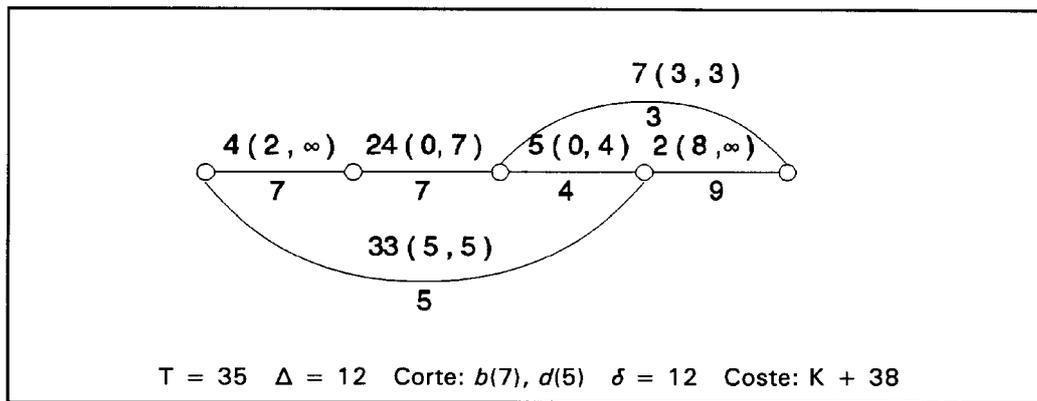


Fig. 7.3.12

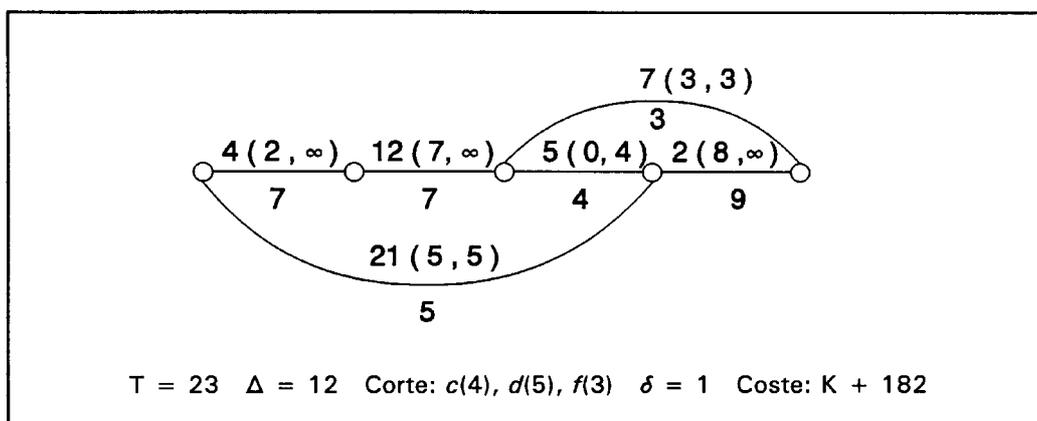


Fig. 7.3.13

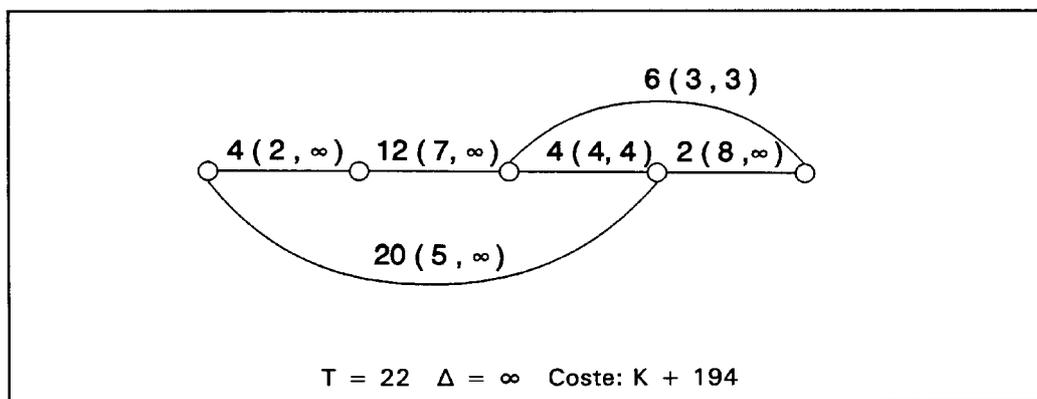


Fig. 7.3.14

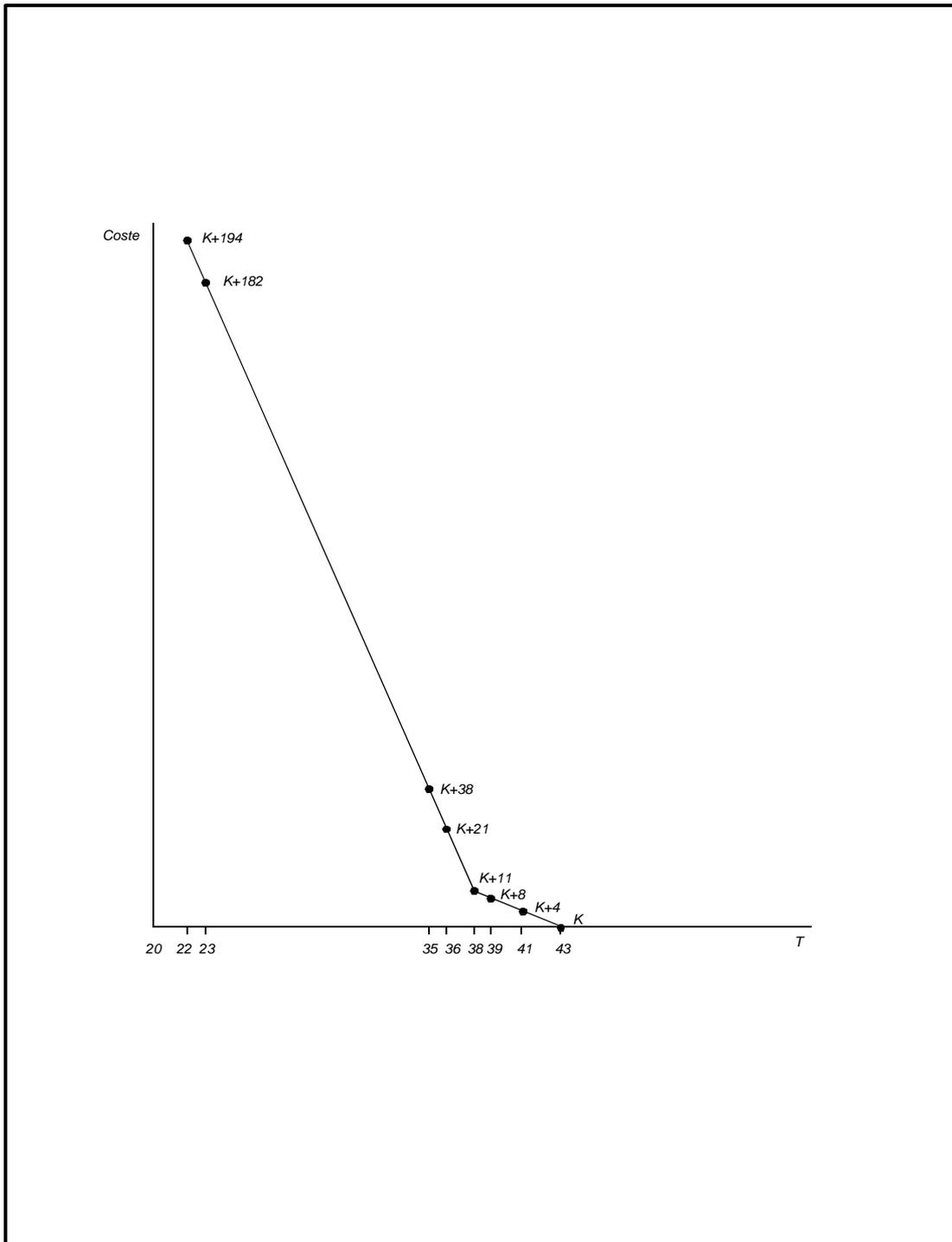


Fig. 7.3.15

7.3.5 En la etapa de estudio de un proyecto éste se ha descompuesto en las actividades que constan en la tabla. Las precedencias que figuran en ella corresponden exclusivamente a los requerimientos tecnológicos y no tienen en cuenta las limitaciones en los recursos.

Actividad	Precedentes	Duración (semanas)
a	-	4
b	-	6
c	a	7
d	a, b	5
e	b	8
f	c, d	5
g	e	3
h	f, g	4
i	h	2
j	h	5
k	i	3
l	i	6
m	j	1
n	k	4
p	l, m	3

El hecho de que los equipos de trabajo que realizan las actividades *c* y *d* deban ocupar el mismo espacio físico en el desarrollo de la actividad, imposibilita que pueda haber solapamientos temporales entre ambas actividades. Lo propio sucede con las actividades *f* y *g*, aunque la causa sea la intervención en ambas de una máquina de la que sólo hay una disponible.

- 1.- Determinar un calendario para la realización del proyecto
- 2.- Identificar las actividades que figuran en el camino crítico
- 3.- Determinar los márgenes total y libre de las actividades *a*, *b*, *c* y *d*

Con el proyecto en fase de ejecución y, más concretamente, cuando se han realizado por completo las actividades *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* y *g*, y se encuentra en curso de ejecución la actividad *h*, los responsables del proyecto se enfrentan a la necesidad de acortar la parte pendiente de ejecución (ya que algunas actividades críticas, entre las ya ejecutadas, han tenido una duración superior a la prevista inicialmente). Para ello han estudiado hasta qué límite se puede reducir la duración de las actividades ( $d_a$ ) y qué coste ( $c_u$ ) va asociado a la reducción de una unidad de tiempo en la ejecución de cada actividad; los valores correspondientes son los que figuran en la tabla adjunta.

Actividad	$d_a$	$c_u$
j	3	3
k	2	4
l	3	2
n	2	1
p	2	3

**4.- Estudiar las posibles reducciones en la parte del proyecto pendiente de ejecución así como su coste**

**1.-**

La *figura 7.3.16* incluye el grafo Roy del proyecto con las fechas mínimas y máximas de inicio de cada actividad en el supuesto de que no existieran las ligaduras disyuntivas entre  $c$  y  $d$ , por una parte, y entre  $f$  y  $g$  por otra.

Dichas ligaduras disyuntivas se han representado mediante flechas con dos puntas dirigidas en sentidos opuestos.

La representación pone de manifiesto que en el proyecto hay dos fases claramente diferenciadas, separadas por el inicio de la actividad  $h$ . Las ligaduras disyuntivas intervienen sólo en la primera fase, aunque pueden tener repercusión en la segunda, a través de un posible retraso en el comienzo de  $h$ .

Una ligadura disyuntiva se puede ver como un conjunto de dos restricciones potenciales entre las que se ha de elegir una (en el grafo, hay que elegir un sentido para la flecha); esta decisión genera nuevos caminos.

- Ligadura disyuntiva  $dc$ :

- Sentido  $cd$

Camino máximo de  $\alpha$  a  $h$  que pasa por  $dc$ :

$$6 + 5 + (17 - 5) = 23$$

- Sentido  $cd$

Camino máximo de  $\alpha$  a  $h$  que pasa por  $cd$ :

$$4 + 7 + (17 - 7) = 21$$

- Ligadura disyuntiva  $fg$ :

- Sentido  $gf$

Camino máximo de  $\alpha$  a  $h$  que pasa por  $gf$ :

- Sentido  $fg$                      $14 + 3 + (17 - 12) = 22$

Camino máximo de  $\alpha$  a  $h$  que pasa por  $fg$ :

$$11 + 5 + (17 - 14) = 19$$

Lo peor sería pues, fijar la primera de las ligaduras disyuntivas en el sentido  $dc$ , por lo que conviene fijarla en el sentido contrario,  $cd$ .

Una vez introducida la ligadura potencial entre  $c$  y  $d$ , el grafo correspondiente a la primera fase del proyecto queda como puede verse en la *figura 7.3.17*. Un cálculo análogo al anterior, para la ligadura disyuntiva entre  $d$  y  $c$  da:

- Sentido  $gf$ : 22

- Sentido  $fg$ : 22

Da lo mismo, pues, fijarla en uno u otro sentido.

El procedimiento aplicado no garantiza que la solución encontrada sea óptima, pero en este caso lo es, como puede comprobarse suponiendo que se establece la ligadura potencial entre  $f$  y  $g$ .

La *figura 7.3.18* muestra el grafo correspondiente a la solución con las fechas mínimas y máximas de inicio de cada actividad.

## 2.-

Las actividades críticas son aquellas para las cuales las fechas mínimas y máximas son iguales, es decir, con un margen total igual a 0.

Como se puede ver son las actividades:

$$b, e, g, f, h, i, l, p$$

3.-

Actividad	Margen total	Margen libre
a	1	0
b	0	0
c	1	0
d	1	1

4.-

Se trata de aplicar el algoritmo MCX (con el grafo PERT correspondiente a la segunda fase del proyecto): Ver *figura 7.3.19*.

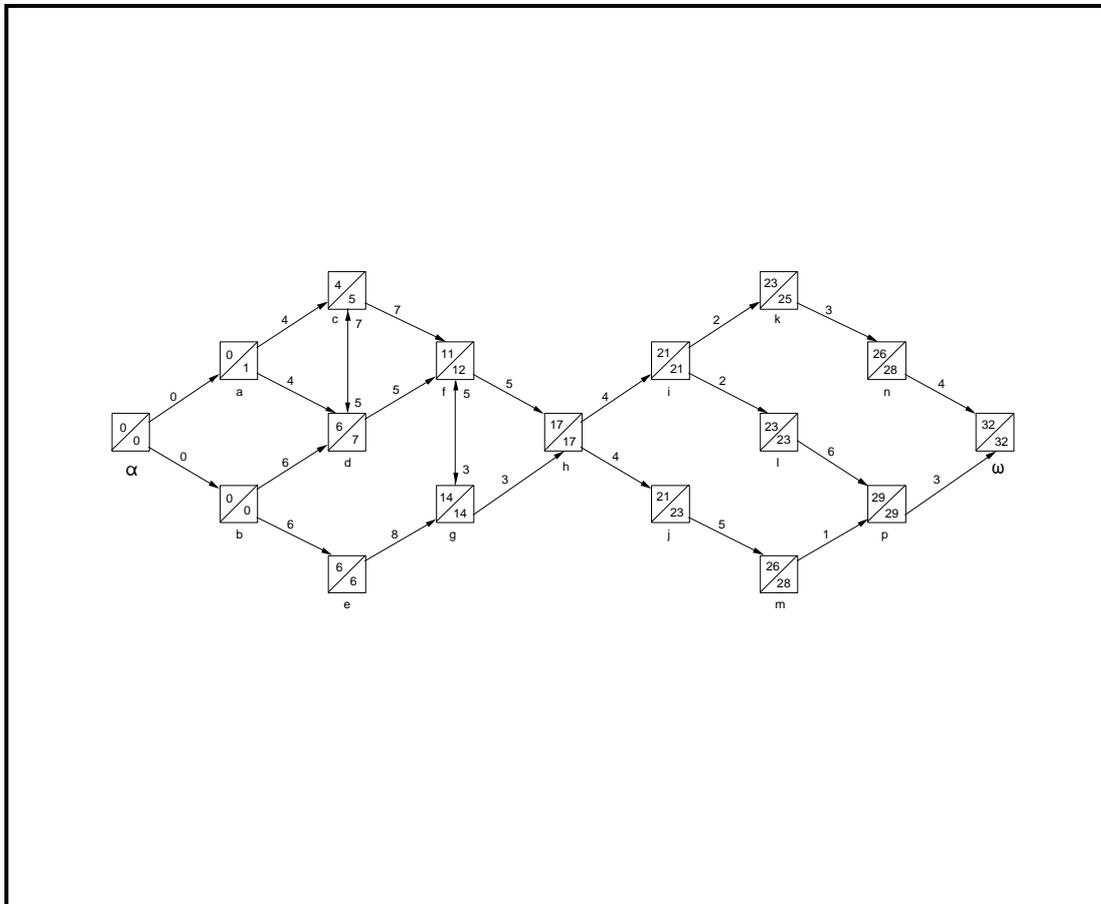


Fig. 7.3.16

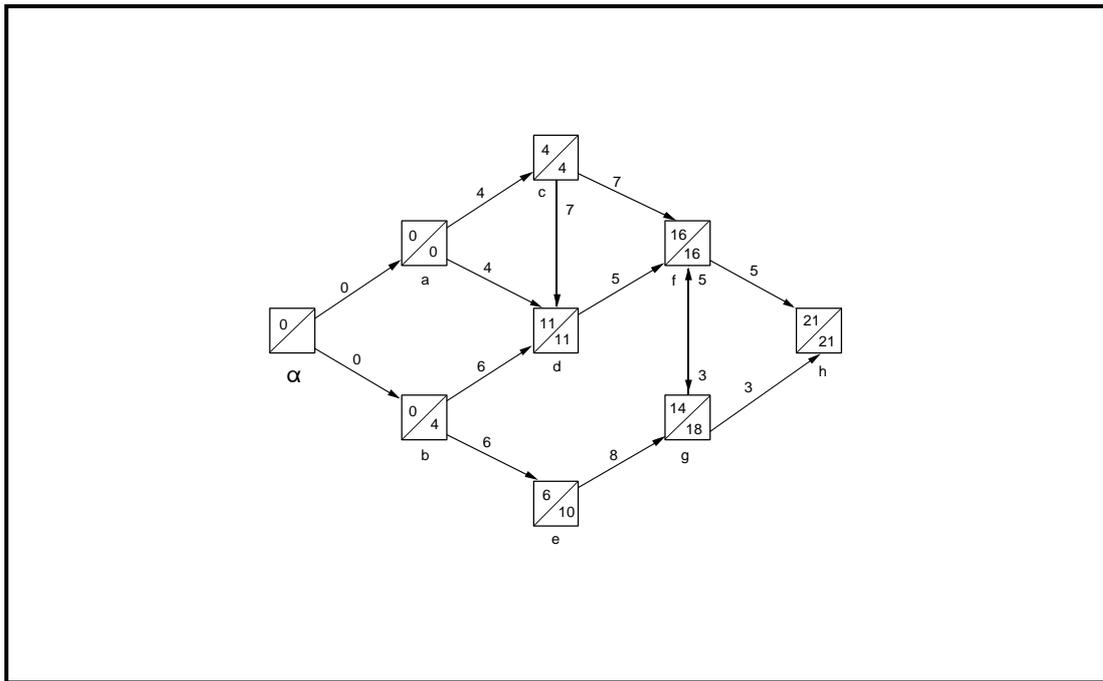


Fig. 7.3.17

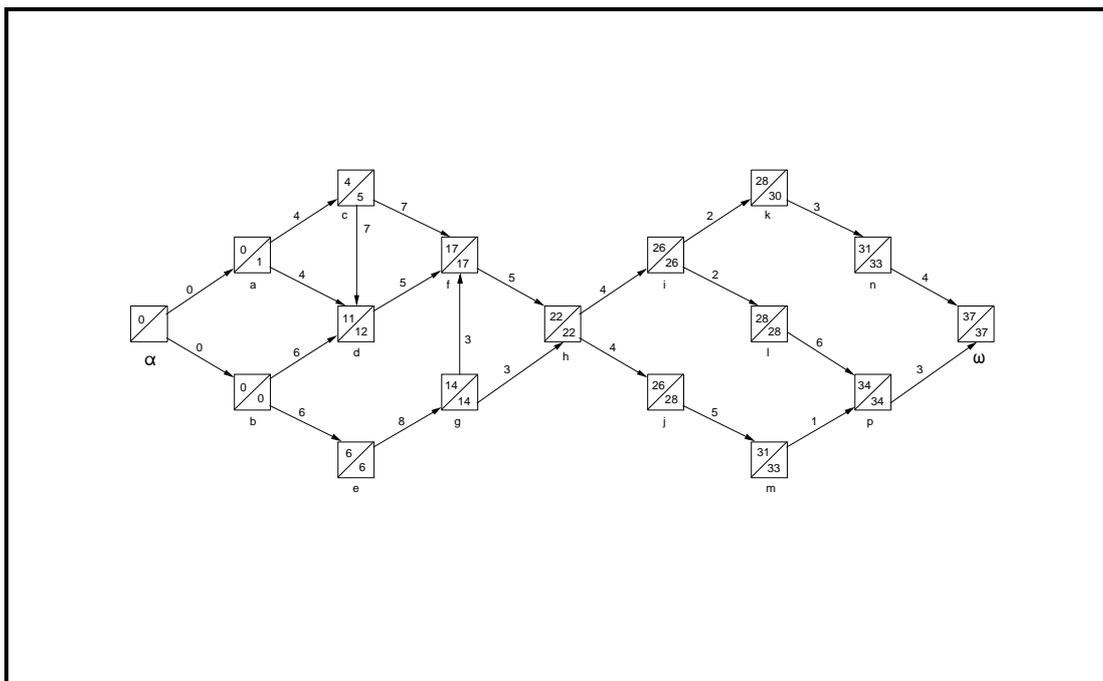
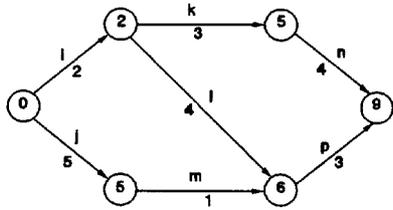
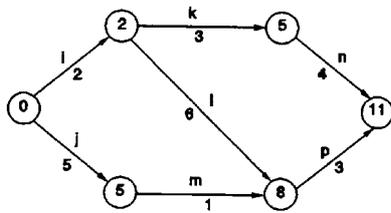
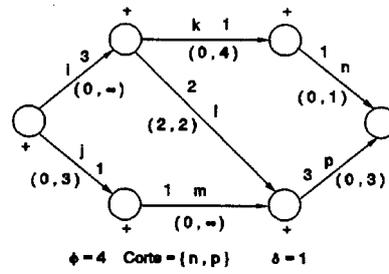
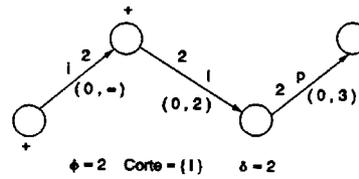


Fig. 7.3.18

**CAMINOS**



**FLUJOS**



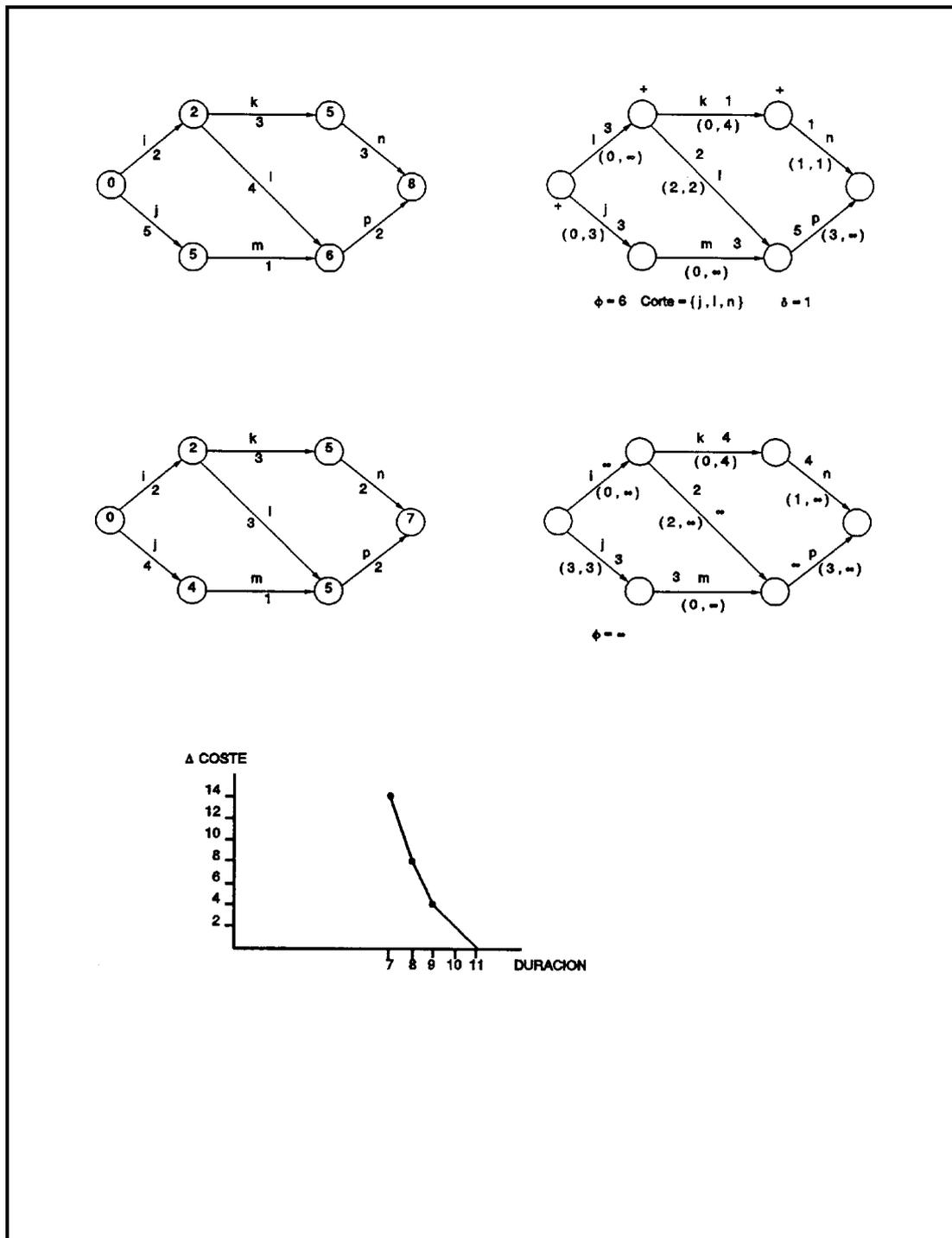


Fig. 7.3.19

## 7.4 Enunciados

**7.4.1** Por encargo de la empresa MMMMSA (Métodos Modernos de Manufactura Metálica, S.A.) se ha diseñado un algoritmo complejo para calcular un vector  $\Omega$  a partir de un conjunto de datos D.

Los cálculos se han estructurado de manera que se obtienen 14 resultados intermedios ( $R_1, R_2, \dots, R_{14}$ ). En la siguiente tabla se indica qué valores deben estar disponibles para calcularlos y el tiempo para ejecutar el programa correspondiente en uno de los diversos ordenadores disponibles, todos los cuales tienen la misma configuración y velocidad de cálculo.

<u>Para calcular</u>	<u>Datos previos</u>	<u>Tiempo (minutos)</u>
$R_1$	D	5
$R_2$	D	10
$R_3$	D	8
$R_4$	D, $R_1$	14
$R_5$	D, $R_1$	7
$R_6$	D, $R_2$	16
$R_7$	D, $R_2$	9
$R_8$	D, $R_3$	3
$R_9$	D, $R_3$	11
$R_{10}$	$R_1, R_5, R_6$	18
$R_{11}$	D, $R_2, R_7, R_8$	6
$R_{12}$	$R_2, R_3, R_7, R_8$	12
$R_{13}$	D, $R_4, R_{10}, R_{11}$	4
$R_{14}$	$R_9, R_{12}$	2
$\Omega$	D, $R_{13}, R_{14}$	1

- ¿Qué tiempo mínimo será necesario para obtener  $\Omega$  a partir de D?
- ¿Cuántos ordenadores son necesarios para hacerlo si cada cálculo se inicia tan pronto como se dispone de los datos para realizarlo?
- Si hubiera un ordenador más rápido que los otros, ¿qué cálculos convendría asignarle?
- Una ampliación del catálogo de productos de MMMMSA ha obligado a aumentar las dimensiones de los vectores y las matrices que intervienen en el algoritmo, de manera que el cálculo de  $R_6, R_7$  y  $R_{10}$  exige un ordenador de un modelo superior, del cual se dispone únicamente de uno. ¿Se modifica el tiempo total de cálculo de  $\Omega$ ? ¿De qué manera? Dibujar un diagrama de Gantt para este caso.

**7.4.2** Una división de General de Motores ha decidido instalar un ordenador para registrar y comparar los datos de los análisis. Se han previsto, para la planta, unos ahorros diarios de 300 \$ con el nuevo sistema. Todas las actividades pueden acelerarse (excepto la E) utilizando horas extras. Los electricistas son empleados de la compañía que perciben un sueldo de 5 \$/hora para una jornada laboral normal de 8 h/día. Pueden realizar hasta 4 horas extra al día, lo que supone, un coste adicional de 40 \$/hora para el conjunto del equipo. El trabajo de carpintería se realiza bajo contrato. Este equipo puede realizar horas extra a un coste de 20 \$/hora para todo el equipo y con un máximo de 4 horas al día (sólo realizarán las horas extra a petición de la General de Motores). La llegada del ordenador está prevista para dentro de 10 días. Utilizando los datos de la tabla:

- a) Establecer la duración normal del proyecto, determinando el camino crítico y los márgenes de las actividades.
- b) ¿Interesa realizar horas extra? En caso negativo, ¿por qué? En caso afirmativo, ¿cuántas?, ¿quién las realizará y en qué actividades?, ¿qué ahorro se obtendrá?

Actividad	Precedentes	Duración normal (días)	Equipo
A. Construir el altillo	-	4	Carp.
B. Cablear los autoanalizadores para alimentar con los datos al ordenador	C	5	Elect.
C. Cableado de la sala del ordenador	-	6	Elect.
D. Instalar el aire acondicionado	G,B	2	Elect.
E. Llegada del ordenador	-	Ver texto	Adm.
F. Instalar el ordenador	A,C,D,E	10	Elect.
G. Construir respiraderos	A	3	Carp.
H. Conectar los autoanalizadores al ordenador	C,B,F	4	Elect.

7.4.3 Un proyecto se ha descompuesto en las siguientes actividades de las que se indica las precedencias así como su duración, en días, y la cantidad de recursos necesarios para su ejecución.

Actividades	Actividades precedentes	Duración (días)	Recursos	
a	-	1	2	
b	-	3	3	
c	a	4	3	
d	a	2	2	
e	b	4	3	
f	b, c	5	1	
g	d	6	3	
h	c, e	5	2	
i	f	3	2	
j	g	2	3	
k	h, i, j	15		3
l	h, i, j	14		2
m	h, i, j	1		2
n	m	7		4
o	m	6		3
p	k, n	6		1
q	l, o	8		2

- Determinar la duración total mínima del proyecto sin considerar posibles limitaciones de recursos e indicar el camino crítico, así como los márgenes total y libre de las actividades no críticas.
- Determinar la duración total mínima del proyecto teniendo en cuenta que el recurso indicado para las diez primeras actividades de la tabla es el número de máquinas que intervienen en la ejecución de cada actividad. Dichas máquinas son todas iguales, y la empresa dispone únicamente de diez de ellas.

c) El recurso indicado para las siete actividades restantes es el número de personas que intervienen en la ejecución de la actividad. Teniendo en cuenta que en estas actividades el contenido de trabajo es totalmente manual, la duración de las mismas puede reducirse por debajo de lo indicado en la tabla (que es lo que corresponde a un ritmo de trabajo normal) si los operarios que las realizan incrementan su actividad. Para conseguir dicha reducción la empresa ha establecido una prima global para el conjunto de trabajadores que intervienen en dichas actividades y que se calcula como la suma de productos de los días ahorrados en cada actividad multiplicados por el número de trabajadores que la realizan (siempre que la reducción en el tiempo de realización de la actividad contribuya a acortar el proyecto).

Considerando la duración de las actividades en número de días enteros, ¿cuál es la duración mínima posible de cada actividad y qué ritmo de actividad -en la escala Bedaux- deben desarrollar los operarios para conseguirla?

¿Cuáles son las duraciones posibles del proyecto, y la prima que debe pagar la empresa en cada caso?

**7.4.4** Para la construcción de una nueva autopista de peaje se ha procedido a determinar las actividades a desarrollar y a establecer sus precedencias con objeto de planificar la ejecución de las obras.

En la tabla siguiente aparece la relación de actividades a desarrollar, sus precedencias, la duración en meses, así como el coste de acortar (en millones de pesetas), en un mes, la duración de cada actividad y la duración mínima a la que podemos llegar en cada actividad.

<u>Actividad</u>	<u>Precedentes</u>	<u>Duración</u>	<u>Coste acortar</u>	<u>Duración mínima</u>
A	-	15	200	12
B	-	10	100	8
C	-	13	300	5
D	B	6	400	6
E	B	8	200	11
F	A , D	14		
G	C , E	10		

La empresa concesionaria dispone de treinta meses para la construcción de la nueva autopista aunque puede, si lo desea, terminarla en un plazo de tiempo inferior; ello le supondría unos costes adicionales que podrían verse compensados por los ingresos por peaje obtenidos durante el tiempo en que se haya adelantado la finalización de las obras.

Determinar la duración óptima de las obras, teniendo en cuenta que se han estimado unos ingresos mensuales de 350 millones de pesetas en concepto de peajes.

**7.4.5** Para la programación de un proyecto, que nos ha sido encomendado por la dirección general, lo hemos descompuesto en las siguientes actividades cuya duración (en semanas) así como las actividades precedentes de cada una de ellas son las establecidas en la siguiente tabla:

<u>Actividad</u>	<u>Duración</u>	<u>Act. prec.</u>
a	6	-
b	4	-
c	5	a
d	3	a
e	6	c
f	6	c, d
g	13	b
h	4	e
i	3	f, g
j	2	h, i
k	6	j
l	4	j
m	5	k
n	2	k, l

Con los datos anteriores, programar la ejecución del proyecto, especificando la duración del mismo así como el camino crítico y los márgenes de las actividades no críticas.

Presentada la programación a la Dirección General, es aprobada con la exigencia de que su ejecución se realice en las treinta y cuatro semanas obtenidas en la programación.

Inmediatamente hemos dado inicio a la ejecución del proyecto y a las once semanas de su inicio realizamos la primera revisión en la que comprobamos que se han completado las actividades *a*, *b* y *c*, y que se ha trabajado en la actividad *g* durante cinco semanas. Al reprogramar el proyecto nos damos cuenta de que si no actuamos inmediatamente no cumpliremos con las exigencias de finalización del mismo. Para conseguir terminarlo a tiempo deberíamos acortar la duración de algunas actividades. Por suerte ello es posible en las actividades siguientes de las que damos el coste por cada semana en que acortamos su duración, así como el número de semanas en que podemos acortar dicha duración:

<u>Actividad</u>	<u>Coste/semana</u>	<u>Semanas recorte</u>
d	5	1
f	1	2
g	3	2
i	3	1

¿Sobre qué actividades deberemos actuar, y qué coste supondrá, para poder finalizar el proyecto en la fecha prevista? (Es conveniente que, para dar respuesta a esta pregunta, re programe el proyecto situándose en la semana once.)

Cuando ya tenemos reprogramado el proyecto, nos comunican que el responsable de la ejecución de la actividad *l* ha abandonado la empresa y debemos buscar un nuevo responsable para la ejecución de dicha actividad. Desgraciadamente para nuestra planificación la única persona capacitada para ello es el responsable de la actividad *k*, siempre y cuando estas dos actividades no se solapen en su ejecución.

¿Tendrá esta circunstancia repercusiones en nuestra planificación? ¿En qué sentido?

¿Podremos, a pesar de esta circunstancia, cumplir con la fecha de finalización del proyecto actuando nuevamente sobre las duraciones de las actividades *d*, *f*, *g* e *i*?

**7.4.6** Para la programación de las obras de uno de los tramos de la Autopista de Peaje Paneuropea Sagres-Vladivostok, se consideran dos partes o subtramos,  $P_1$  y  $P_2$ , y las actividades que figuran en la tabla.

La señalización de una parte no se puede iniciar hasta que no se haya terminado su construcción. Las instalaciones no pueden iniciarse hasta que las dos partes se hayan construido.

	Duración en <u>semanas</u>	Coste de la mano de obra <u>(en 1000 ECU)</u>
a.- Construcción de $P_1$	50	3000
b.- Construcción de $P_2$	40	2500
c.- Señalización de $P_1$	9	200
d.- Señalización de $P_2$	7	160
e.- Instalaciones y pruebas	12	500

Los tiempos previstos para las actividades pueden reducirse con la incorporación, hasta un máximo de 3 por actividad, de equipos adicionales con un coste de 400.000 ECU/equipo en el caso de las actividades *a* y *b*, y de 30.000 ECU/equipo en las restantes. Añadir un equipo supone siempre una reducción de tiempo del 10% en relación al tiempo necesario si no hubiese este equipo.

El margen de explotación correspondiente a una semana de funcionamiento del tramo de la autopista se estima en 150.000 ECU.

Determinar el programa óptimo de obras. Se puede hacer uso de un procedimiento estándar o de un razonamiento diferente para estos datos, pero se debe establecer rigurosamente que el procedimiento utilizado conduce al óptimo. Indicar la duración y el coste de cada una de las actividades.

**7.4.7** Un proyecto se ha descompuesto para su programación en las siguientes actividades que figuran en la tabla.

Determinar la duración total mínima del proyecto (expresada en turnos) así como el camino mínimo y los márgenes de las actividades no críticas.

Determinar la duración total mínima del proyecto teniendo en cuenta que las actividades *c* y *e* no pueden realizarse simultáneamente por utilizar la misma máquina (sólo se dispone de una) y que las actividades *f* e *i* tampoco pueden realizarse simultáneamente ya que ambas deben realizarse en el mismo lugar y podrían entorpecerse mutuamente.

Sin tener en cuenta las limitaciones del apartado anterior, determinar las posibles duraciones del proyecto (en días) teniendo en cuenta que la plantilla de la empresa permite trabajar a dos turnos por día y que se ha decidido establecer, para algunas actividades, un tercer turno cubierto por personal que no es de la plantilla cuyo coste (por operario) supera al coste del personal de plantilla en un 20%.

Las actividades en las que puede disponerse de este tercer turno así como el número de trabajadores por turno que intervienen en su realización son:

*e* , 4 ; *d* , 3 ; *g* , 6 y *j* , 8 .

<u>Actividad</u>	<u>Duración (turnos)</u>	<u>Act. precedentes</u>
a	6	-
b	8	-
c	9	a
d	7	a , b
e	6	b
f	5	c
g	8	d , e
h	4	f , g
i	10	e
j	8	h , i

**7.4.8** Preparar un programa para PC que permita la programación y el seguimiento de un conjunto de proyectos muy simples en los que el elemento característico es que todos ellos utilizan los mismos recursos. Típicamente cada proyecto constará de tres o cuatro actividades en línea, cada una de las cuales tendrá una duración determinada y consumirá recursos de un tipo únicamente. El proyecto tendrá una fecha mínima de comienzo (no podrá empezar hasta llegar a dicha fecha), que puede ser el inicio. Es conveniente que todas las actividades relativas a un proyecto se realicen sucesivamente sin tiempos muertos. La cantidad total de recursos de cada tipo de que se dispone es limitada, y dicho límite es el que restringirá el número de actividades simultáneas.

Las actividades se definirán a partir del código de proyecto más un código propio.

El programa debe tener entradas de datos conviviales, permitir guardar los datos en disquete y recuperarlos, y obtener salidas por pantalla e impresora, en forma de listados y gráficos, seleccionando por proyectos y por tipos de recursos.

#### **7.4.9 *Análisis de reglas para el problema de limitación de recursos***

##### 1.- PROPÓSITO

Un problema muy difundido en la práctica es el de la programación conjunta de varios proyectos que comparten recursos limitados.

Si el perfil de los recursos es horizontal, el método de Manpower Scheduling es aplicable, en caso contrario debemos utilizar otros tipos de procedimientos.

Una manera de trabajar consistirá en clasificar los proyectos por prioridades e ir situando en el tiempo la actividad más crítica del proyecto más crítico, balancear ambos tipos de criticidad, elegir una segunda actividad, y así sucesivamente.

##### 2.- FORMATO

Nuestros proyectos serán muy sencillos, lineales (varias actividades en serie), cada actividad consumirá unidades de un solo recurso (valores pequeños: 1 o 2 de preferencia), en principio habrá una relación estrecha entre el número de orden de la actividad dentro del proyecto y el tipo de recurso consumido.

Cada proyecto tendrá una fecha posible de inicio y una fecha comprometida de fin.

El perfil de disponibilidad de los recursos se dará indicando los saltos que se produzcan a lo largo de un calendario relativo.

En el momento de una revisión nos encontraremos con proyectos parcialmente realizados, actividades programadas de algunos proyectos en virtud de la revisión anterior y nuevos proyectos introducidos en el sistema entre ambas revisiones.

El sistema debe pedir confirmación sobre el estado de las actividades realizadas o en curso según programa, lo que diga el usuario debe tomarse como válido.

A partir de dicha situación debe establecerse el nuevo programa.

Un procedimiento sugerido consiste en situar primero las actividades del proyecto más crítico (con menos margen), conservando información sobre el margen restante.

A continuación se sitúan las actividades del segundo proyecto, moviendo si es necesario y posible, las del primero, y así sucesivamente.

Se presenta un diagrama de Gantt de la solución hallada, permitiendo modificaciones al usuario.

Se presenta el perfil de utilización de los recursos.

### 3.- REALIZACIÓN

Se obtendrá el programa ejecutable y se redactará un manual del usuario.

Se emplearán las posibilidades de la pantalla en color, aunque el programa será utilizable en bicolor.