REVISTA ESPANOLA DE FINANCIACIÓN Y CONTABILIDAD
Vol. X, n. 35
mayo-agosto 1981
pp. 383-418

EL ALGORITMO DE ACKOFF-SASIENI EN EL CONTROL DE PROYECTOS: USO DE LOS MICROCOMPUTADORES

por

RAFAELA DIOS PALOMARES (*)
JUAN A. CAÑAS MADUEÑO (**)

(*) Departamento de Estadística E.T.S. de Ingenieros Agrónomos.
(**) Departamento de Economía y Sociología Agraria. E.T.S. de Ingenieros Agrónomos. Universidad de Córdoba.

1. Introducción

La programación de proyectos a coste mínimo (M.C.E.) surge como prolongación del método del camino crítico (C.P.M.) al analizar la relación que existe entre la duración de una actividad y el coste necesario para su realización.

El método M.C.E. estudia las diferentes actividades en que se descompone un proyecto, considerando para cada una de ellas un intervalo de tiempo comprendido entre un tiempo normal y un tiempo tope; cada uno de estos tiempos se refiere a un nivel de utilización de recursos. Puesto que cada actividad tiene una duración comprendida entre los dos tiempos indicados, la duración total del proyecto también estará comprendida en un intervalo (tiempo máximo y tiempo mínimo), dependiendo del nivel al que se estén utilizando los recursos.

A diferencia de los métodos P.E.R.T. y R.O.Y., en el M.C.E. se considera que la duración de cada actividad no es una cantidad fija, que sólo puede variar por circunstancias aleatorias, sino que, por el contrario, la duración de cada actividad varía de acuerdo con el nivel de utilización de recursos. Por tanto, a cada nivel de recursos le corresponde una duración determinada para cada actividad.

La resolución del método M.C.E. da lugar a un problema de programación lineal paramétrica; sin embargo, debido a lo complicado que puede resultar el proceso operativo, se utiliza algún algoritmo específico como éste de Ackoff y Sasieni.

En este artículo vamos a presentar un algoritmo heurístico, debido a Ackoff y Sasieni, que permite abordar el problema planteado por el método M.C.E. de una manera mucho más sencilla y operativa que lo que permiten los algoritmos clásicos de programación lineal paramétrica. El objetivo fundamental de nuestro trabajo no reside en la simple presentación del algoritmo de Ackoff-Sasieni, sino en la implementación de un programa de ordenador escrito en lenguaje Basic, que permite abordar la resolución de este algoritmo en un microcomputador. A este fin se utiliza el microcomputador Hewlett-Packard 9830 A de la E. T. S. de Ingenieros Agrónomos de la Universidad de Córdoba. En los Apéndices I y II, situados al final de este artículo, se incluyen el organigrama y el listado del programa correspondiente.

2. El algoritmo Ackoff-Sasieni y el microcomputador

Como ya es sabido, el objetivo que se persigue con el M.C.E. es reducir la duración total del proyecto, de tal forma que el coste suplementario de reducción sea mínimo.

Construido el grafo P.E.R.T. de realización de un proyecto, detectamos todos los caminos posibles dentro del grafo, que serán la base de nuestro estudio, junto con los costes unitarios de acortamiento de cada actividad y el número de días en que se puede acortar cada una de las mismas, de acuerdo con el nivel de utilización de los recursos.

De este modo los datos de partida para aplicar el algoritmo son: número de caminos, número total de actividades, número y nombre de las actividades de cada camino y tiempo normal, tiempo tope y coste unitario de reducción de cada actividad.

La introducción de los datos en el computador se realiza mediante la utilización de una matriz A, con un número de filas igual al número total de actividades, y con cuatro columnas que contienen los siguientes datos:

Columna 1. Clave que representa a cada actividad.

Columna 2. Tiempo normal de ejecución (Máx) de cada actividad.

Columna 3. Tiempo tope de ejecución (Mín) de cada actividad.

Columna 4. Coste unitario de reducción de cada actividad.

Seguidamente se forma una matriz $B(M, N)$ de dimensiones M=números de caminos y N=número total de actividades, haciendo que sus elementos tomen un valor sin significado en este tipo de ejercicios; en este caso se les ha dado el valor -1. Los valores útiles de los elementos de B se obtienen de la siguiente forma:

1) Se da el número de actividades de cada camino. Este dato se archiva en un vector $D(M)$.

2) Se da el número de orden de las actividades que pertenecen a cada camino.

3) Se hace que el elemento de B situado en la columna que indica la actividad tome un valor igual al del elemento de la matriz A situado en la columna 4 y en la fila correspondiente a la actividad.

De este modo, en la matriz B las filas representan los caminos, y las columnas, las actividades. Cada elemento será el coste unitario de reducción de cada actividad. Para un camino determinado los elementos que corresponden a actividades que no intervienen en ese camino tendrán el valor -1. (Este valor se ha tomado de una manera arbitraria y como instrumento de programación de cálculo.)

El computador construye un vector $C(M, 1)$, siendo M el número de caminos del grafo, que contendrá los tiempos máximos de realización del proyecto para cada camino. Esta operación la efectúa analizando la matriz B y sumando los tiempos normales de todas las actividades que intervienen en cada camino, cuyos valores obtiene de la columna 2 de la matriz A.

A continuación forma el vector $F(N, 1)$, siendo N el número de actividades, donde cada elemento nos indica los posibles días en que se pueden reducir las actividades del proyecto. Estos valores se obtienen por la diferencia elemento a elemento de las columnas 2 y 3 de la matriz A.

Del análisis del vector C pueden resultar uno o varios caminos críticos, que serán aquel o aquellos que tengan longitud máxima (y, por tanto, el valor mámino en el vector C).

Utilizamos además un vector $M(I, 1)$, que estará dimensionado de acuerdo con el número máximo de caminos críticos simultáneos posibles, siendo este valor evidentemente el número total de caminos M. Su función consiste en almacenar el número de orden de los caminos críticos de modo que en el caso de un solo camino crítico el empleo del vector M se reduce al primer elemento, que tomará el valor $M(I, 1)=$ número de orden del camino crítico.

El programa de cálculo está estructurado de modo que tiene tres subprogramas diferenciados, según que el número de caminos críticos de cada acortamiento sea 1, 2 o más de 2.

A continuación vamos a describir la metodología correspondiente a un acortamiento, contemplada de una manera general para los distintos casos que se pueden presentar.

Una vez detectado el o los caminos críticos, el procedimiento a seguir persigue analizar todas las posibilidades de cortamientos, con el fin de elegir aquella que implique el menor costo por día acortado.

Cuando existe un solo camino crítico, bastará con estudiar la fila de la matriz B referente a dicho camino. Las actividades con posibilidad de acortamiento serán aquellas del camino crítico que tengan en el vector F un valor superior a cero.

Cuando hay, sin embargo, varios caminos críticos, el estudio se complica debido a que el acortamiento a efectuar ha de ser exactamente igual en todos los caminos, ya que si algún camino se acorta en una cantidad mayor que los demás, dejaría de ser crítico. Esto implica que las posibilidades de acortamiento serán todas aquellas combinaciones que se puedan hacer de modo que en cada una de ellas entre una actividad de cada camino crítico. El acortamiento posible de cada combinación será el mínimo resultante de la comparación de las cantidades en que se pueden acortar cada una de las actividades que entran en la misma y que se encuentran en la matriz *F*, de igual modo que cuando se trata de un solo camino crítico.

Para seguir esta metodología se utilizan dos vectores, *R* y *P*, y una matriz, *Q*, que sirven como instrumento para realizar la selección del acortamiento a efectuar.

El vector *R* contendrá los días a acortar de cada combinación, mientras que en el vector *P* se almacenará el coste unitario de reducción de la misma. La matriz *Q* estará dimensionada con tantas columnas como caminos críticos, ya que cada combinación, como hemos comentado más arriba, contendrá una actividad de cada camino crítico, siendo la clave correspondiente a las mismas lo que almacenamos en las respectivas columnas. Así, en el caso de un camino crítico dicha matriz tendrá una sola columna. El dimensionamiento inicial de las filas en las tres matrices será el número de combinaciones posibles que es función del número de actividades de cada camino crítico. Sin embargo, al analizar la matriz *F* habrán de eliminarse aquellas combinaciones en las que entre alguna actividad sin posibilidad de acortamiento, quedando así reducido el número de filas.

La selección del acortamiento óptimo se efectúa eligiendo la combinación *J* de coste unitario mínimo, que será la que tiene el menor valor *P*(*J*) en el vector *P*, al que le corresponde un número de días posibles a acortar *R*(*J*) del vector *R*.

Una vez conocida la combinación óptima y, por tanto, las actividades que la componen y los posibles días a acortar, corregimos el vector *C* acortando la duración total de los caminos en los que intervienen las actividades que componen dicha combinación.

Seguidamente se analiza el nuevo vector *C* para ver si alguno de los caminos críticos ha dejado de serlo. Si esto fuera así, no sería posible acortar en la cantidad *R*(*J*), sino en el máximo posible *R'*(*J*) menor que *R*(*J*) que permite a todos los caminos críticos continuar siéndolo. En este caso el nuevo vector C, de duraciones totales de los caminos, se calcula restando del inicial el valor de $R'(J)$, en vez de $R(J)$.

Determinado el número de días a acortar, se efectúa también la corrección del vector F en las actividades que han resultado acortadas.

Este acortamiento del o de los caminos críticos en un número de días $R(J)$ o $R'(J)$ será posible con un incremento del coste en $P(J) \times R(J)$, ya que $P(J)$ es el coste unitario de acortamiento de la combinación óptima adoptada J.

Con esto podemos realizar el estudio de la posibilidad de nuevos acortamientos a partir de los últimos vectores C y F obtenidos, junto con la matriz B.

Hasta aquí hemos expuesto todo el análisis correspondiente a un acortamiento del camino crítico. El método M.C.E. consiste en ir realizando sucesivos acortamientos incrementando el coste, hasta que no exista ninguna combinación con posibilidad de acortamiento. Esta situación se presentará cuando las actividades que tengan posibilidad de acortarse (valor distinto de cero en el vector F) no formen ninguna combinación en los caminos críticos.

3. Aplicación

3.1. *Planteamiento del caso práctico*

En este apartado vamos a aplicar la metodología expuesta a un caso práctico, cuyo planteamiento es el siguiente:

Un proyecto se descompone en 11 actividades, a las cuales le asignamos como clave la serie de los 11 primeros números naturales. Las prelaciones que se establecen entre las distintas actividades son las indicadas en el cuadro 1.

CUADRO 1.—PRELACIONES

Actividad	*Precedentes*
1	—
2	1
3	1
4	1
5	2
6	3
7	5
8	7, 3
9	7, 3
10	4, 6, 8
11	9

Los tiempos «normal» y «tope» de ejecución de cada actividad, así como el coste unitario de reducción, se encuentran en el cuadro 2.

CUADRO 2

Actividad	*Tiempo normal de ejecución* (máximo)	*Tiempo tope de ejecución* (mínimo)	*Coste unitario de reducción*
1	10	10	0
2	10	10	0
3	40	40	0
4	28	20	10
5	8	8	0
6	10	6	40
7	30	10	180
8	20	8	50
9	24	14	65
10	10	6	80
11	12	8	30
F_1	0	0	0

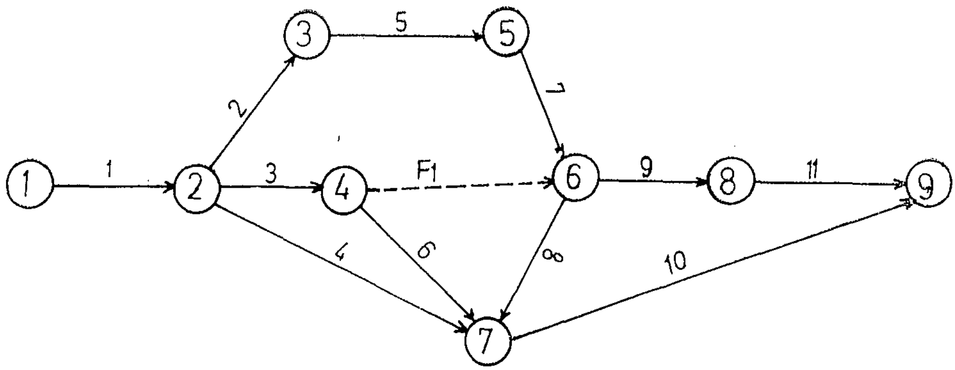


FIGURA 1

A la vista del cuadro de prelaciones, construimos el grafo P.E.R.T. de la figura 1, del cual deducimos el número de caminos ($M=6$) y las actividades correspondientes a cada uno de ellos.

Estos datos se encuentran en el cuadro 3.

CUADRO 3

Caminos	*Núm. de actividades*	*Orden de las actividades*
I	6	1, 2, 5, 7, 8, 10
II	6	1, 2, 5, 7, 9, 11
III	5	1, 3, 8, 10, F_1
IV	5	1, 3, 9, 11, F_1
V	4	1, 3, 6, 10
VI	3	1, 4, 10

3.2. *Resolución*

Una vez planteado el problema, iniciamos el desarrollo del algoritmo. Los datos necesarios para la ejecución del programa de cálculo son:

— Número de actividades del grafo, $N=12$.

— Número de caminos, $M=6$.

— Datos de la matriz A, que son los del cuadro número 2.

— Número de actividades de cada camino (segunda columna del cuadro 3) para formar el vector *D*.

— Número de orden de las actividades de cada camino (tercera columna del cuadro 3).

Con estos datos forma el ordenador la matriz *B*, indicada en el cuadro 4, a partir de la cual se da comienzo al análisis de los posibles acortamientos.

3.2.1. *Primer acortamiento*

Los vectores *C* y *F* son los siguientes:

CUADRO 4

Actividades

Caminos	1-2 (1)	2-3 (2)	2-4 (3)	2-7 (4)	3-5 (5)	4-7 (6)	5-6 (7)	6-7 (8)	6-8 (9)	7-9 (10)	8-9 (11)	4-6 F_1
I	0	0			0		180	50		80		
II	0	0			0		180		65		30	
III	0		0					50		80		0
IV	0		0						65		30	0
V	0		0			40				80		
VI	0			10						80		

VECTOR C

Caminos	*Longitud*
I	88
II	94
III	80
IV	86
V	70
VI	48

VECTOR F

Actividad	*Días a reducir*
1	0
2	0
3	0
4	8
5	0
6	4
7	20
8	12
9	10
10	4
11	4
F_1	0

A la vista del vector C comprobamos que sólo hay un camino crítico, que es el 11, y de longitud igual a 94 días.

La matriz M, por tanto, tendrá un solo elemento $M(1,1)=2$, y haremos el estudio de las actividades que se pueden acortar en la fila 2 de la matriz b. Consta este camino de las actividades 1, 2, 5, 7, 9 y 11, siendo los respectivos valores en la matriz F: 0, 0, 0, 20, 10 y 4.

La matriz Q constará de una columna, referente al camino 11, y tres filas, puesto que encontramos sólo tres actividades con posibilidad de acortarse, que se almacenan en la misma. El vector P, de las mismas dimensiones, archivará los costes unitarios de reducción correspondientes a las actividades archivadas en Q, y que son extraídos de la fila 2 de la matriz B.

En el vector R almacenamos los días posibles a reducir de esas mismas actividades, tomados del vector F.

Q	P	R
7	180	20
9	65	10
11	30	4

El mínimo valor de P (30 ptas/día) corresponde a la actividad 11, que puede acortar cuatro días solamente.

Por tanto, el primer acortamiento en principio consistirá en acortar los caminos en los que interviene la actividad 11 en cuatro días.

El nuevo valor *C* será:

Caminos	*Longitud*
I	88
II	90
III	80
IV	86
V	70
VI	48

Puesto que no ha dejado el camino 11 de ser crítico, se realiza este acortamiento, que supondrá un incremento en el coste total del proyecto de 4 días×30 ptas/días=120 ptas.

El nuevo vector *F* quedará como sigue:

Actividad	*Días a reducir*
1	0
2	0
3	0
4	8
5	0
6	4
7	20
8	12
9	10
10	4
11	0
F_1	0

3.2.2. *Segundo acortamiento*

El camino crítico es el 11, con una duración de 90 días, por lo que $M(1, 1)=2$.

Los vectores *Q*, *P* y *R* serán:

Q	*P*	*R*
7	180	20
9	65	10

El mínimo valor en *P* (65 ptas/día) corresponde a la actividad 9, que se puede acortar en 10 días.

Nuevo vector C (acortando 10 días en la actividad 9).

Caminos	*Longitud*
I	88
II	80
III	80
IV	72
V	70
VI	48

El camino 11 ha dejado de ser crítico, ya que aparece el camino 1, después del acortamiento, con una longitud superior (88 días). Para evitar esto, sólo acortamos en dos días la actividad 9, y el vector C resultante será:

Caminos	*Longitud*
I	88
II	88
III	80
IV	80
V	70
VI	48

El incremento del coste ascenderá a la cantidad de 2 días×65 pesetas/día=130 ptas.

El vector F, tras este acortamiento, será:

Actividad	*Días a reducir*
1	0
2	0
3	0
4	8
5	0
6	8
7	20
8	12
9	8
10	4
11	0
F_1	0

3.2.3. *Tercer acortamiento*

Los caminos críticos son el 1 y el 11, por el que el vector M tendrá dos filos y será $M=\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$

La matriz Q constará de dos columnas, una para cada camino crítico, y contendrá las distintas combinaciones que se puedan formar con las actividades que las componentes y con posibilidad de acortamiento.

Matriz Q		*P*	*R*
7	7	180	20
7	9	245	8
8	7	230	12
8	9	115	8
10	7	260	4
10	9	145	4

El mínimo valor en P es 115 ptas/día, que corresponde a acortar las actividades 8 y 9 en ocho días cada una.

Nuevo vector C:

Caminos	*Longitud*
I	80
II	80
III	72
IV	72
V	70
VI	48

Los caminos I y II continúan siendo críticos, por lo que es válido el acortamiento, quedando el vector F de la forma siguiente:

Actividad	*Días a reducir*
1	0
2	0
3	0
4	8
5	0
6	8
7	20
8	4
9	0
10	4
11	0
F_1	0

El incremento de coste sería de 8 días$\times$115 ptas/día$=$920 ptas.

3.2.4. *Cuarto acortamiento*

Los caminos críticos son el I y el II, y las matrices *M, Q, P* y *R* son:

M	*Q*	*P*	*R*
1	7-7	180	20
2	8-7	230	4
	10-7	260	4

El mínimo valor de *P* es 180 ptas/día, que corresponde a la actividad 7, que se puede reducir en 20 días.

El nuevo vector *C* es:

Caminos	*Longitud*
I	60
II	60
III	72
IV	72
V	70
VI	48

Debido a que han dejado de ser críticos los caminos I y II, sólo se efectúa un acortamiento de ocho días ($72-60=12$; $20-12=8$), con lo que quedará el siguiente vector *C*:

Caminos	*Longitud*
I	72
II	72
III	72
IV	72
V	70
VI	48

El coste de este acortamiento será de 8 días × 180 ptas/día = 1.440 pesetas. El vector *F* correspondiente, resultante después de este acortamiento, es:

Actividad	*Días a reducir*
1	0
2	0
3	0
4	8
5	0
6	8
7	12
8	4
9	0
10	4
11	0
F_1	0

Observando el vector *C* vemos que el número de caminos críticos es de cuatro (I, II, III y IV). Al analizar estos caminos para estudiar un posible acortamiento, resulta que no se puede formar ninguna combinación, con las actividades que los componen, que sea susceptible de reducción. Así, vemos que en el camino IV, que está formado por las actividades 1, 3, 9, 11 y F_1, las las dos únicas actividades (9 y 11) con posibilidad inicial de acortarse han sido ya reducidas a su tiempo mínimo, como podemos observar en el vector *F*. Por tanto, si acortamos alguno de los otros caminos críticos (I, II y III), quedaría un único camino crítico (IV), con lo que no se reduciría la duración total del proyecto.

Con esto queda reducido el proyecto a 72 días, con un acortamiento de 22 días y un incremento del coste de 2.610 ptas.

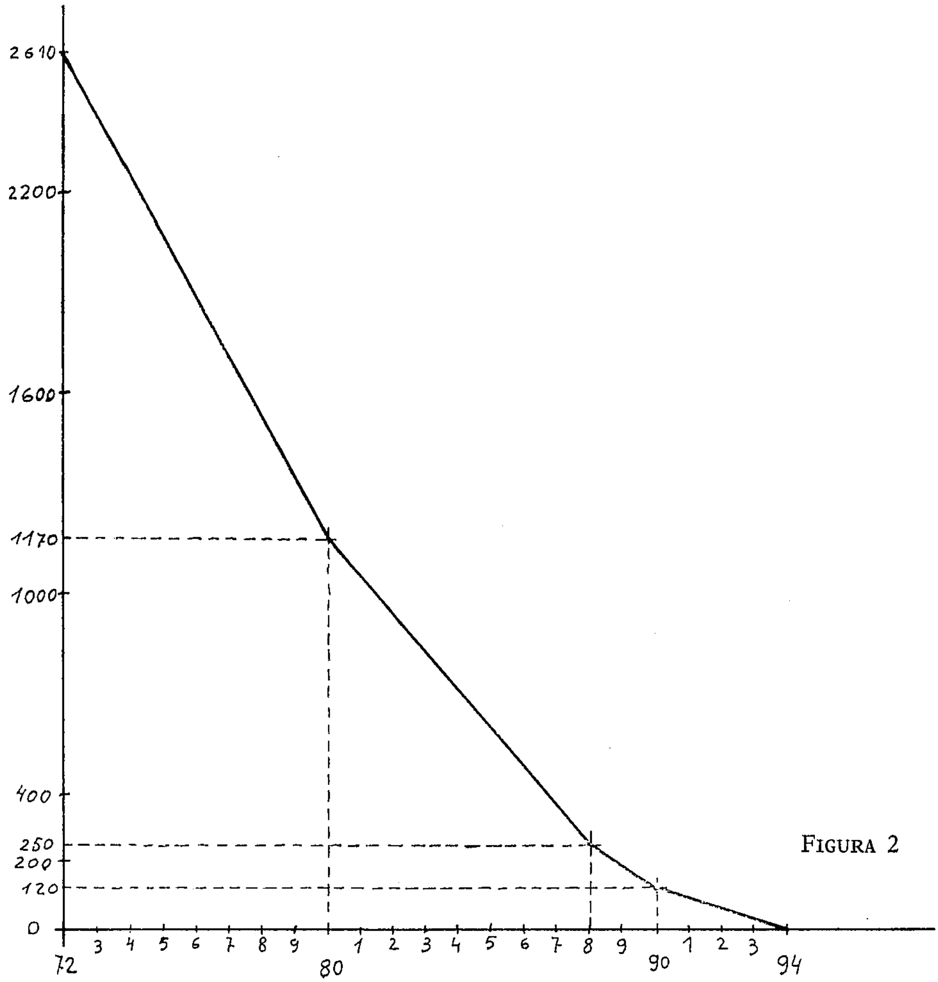


FIGURA 2

Con los datos obtenidos, en cada uno de los acortamientos se construye el gráfico de la figura 2, donde se representan los días a reducir en abscisas, y el incremento del coste, en ordenadas. Esta gráfica sirve para conocer el incremento del coste correspondiente a un acortamiento determinado, o bien, fijado un incremento del coste, conocer la duración total del proyecto. Con esta información y todos los vectores *C* y *F* obtenidos, podemos determinar las actividades que se han de acortar, así como los días en que se han de reducir.

Para utilizar la información indicada de una forma más rápida, se ha confeccionado el cuadro 5, donde se recogen los resultados para cada acortamiento.

CUADRO 5

Acortamientos	(1) *Actividades acortadas*	(2) *Coste/día*	(3) *Días acortados*	(4) *Días acortados acumulados*	(5) *Duración total proyecto*	(6) *Coste del acortamiento*	(7) *Coste acumulado*
1.º	11	30	4	4	90	120	120
2.º	9	65	2	6	88	130	250
3.º	8,9	115	8	14	80	920	1.170
4.º	7	180	8	22	72	1.440	2.610

Así, por ejemplo, si se tratara de acortar en 10 días la duración del proyecto, la figura 2 nos permitiría conocer el incremento del coste correspondiente, que sería de 710 ptas. En el cuadro 5, podemos ver en la columna 4 que esta reducción nos situaría en el tercer acortamiento ($6<10<14$), con lo que habría que realizar los dos primeros acortamientos (6 días), más los 4 días restantes ($10-6$), dentro de este tercer acortamiento. La duración total del proyecto será de $88-4=$ $=84$ días (columna 5). Las actividades acortadas serán (columnas 1 y 3):

Actividad 11 en 4 días

» 9 en $2+2=6$ días

» 8 en 4 días

Una vez acortadas estas actividades en las cantidades indicadas, se procederá a aplicar los algoritmos P.E.R.T. o C.P.M. para calcular las holguras y realizar el control del proyecto.

4. BIBLIOGRAFÍA

ACKOFF, R., y SASIENI, M.: *Fundamentos de la investigación de operaciones* (versión española de E. Jiménez), Limusa Wiley, 1971.

ESCUDERO, L.: *Asignación óptima de recursos*, Ed. Deusto, 1977.

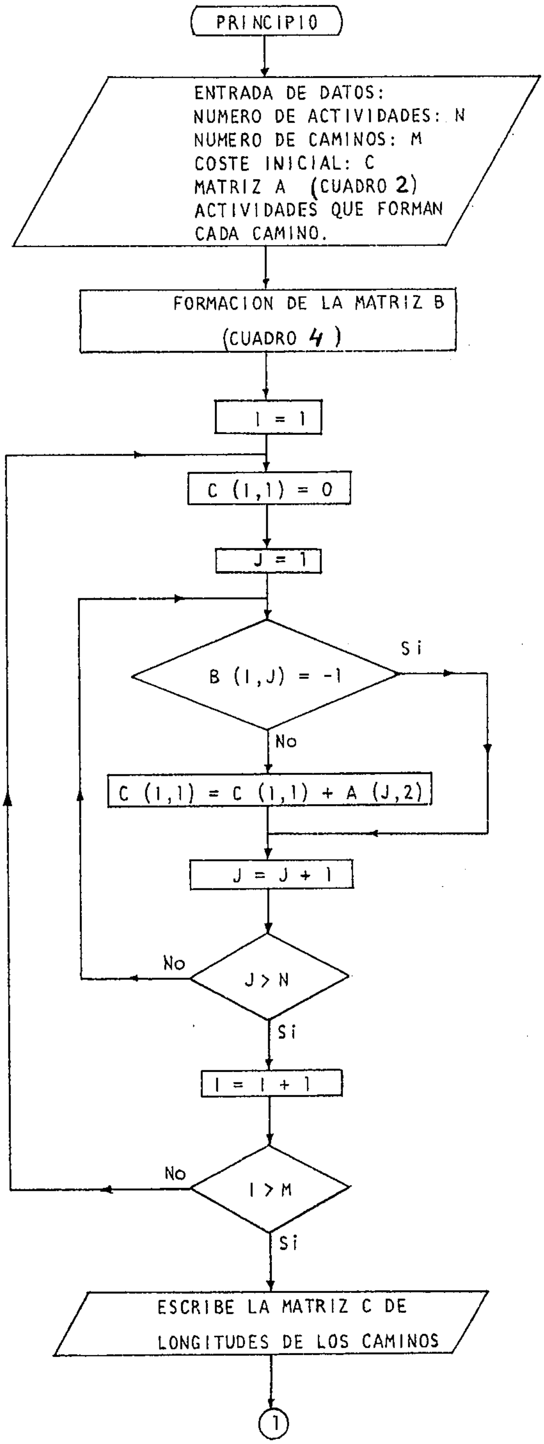
FORD, L. K. y FULKERSON, D. R.: *Flows in Networks*, Princenton University Press, 1962.

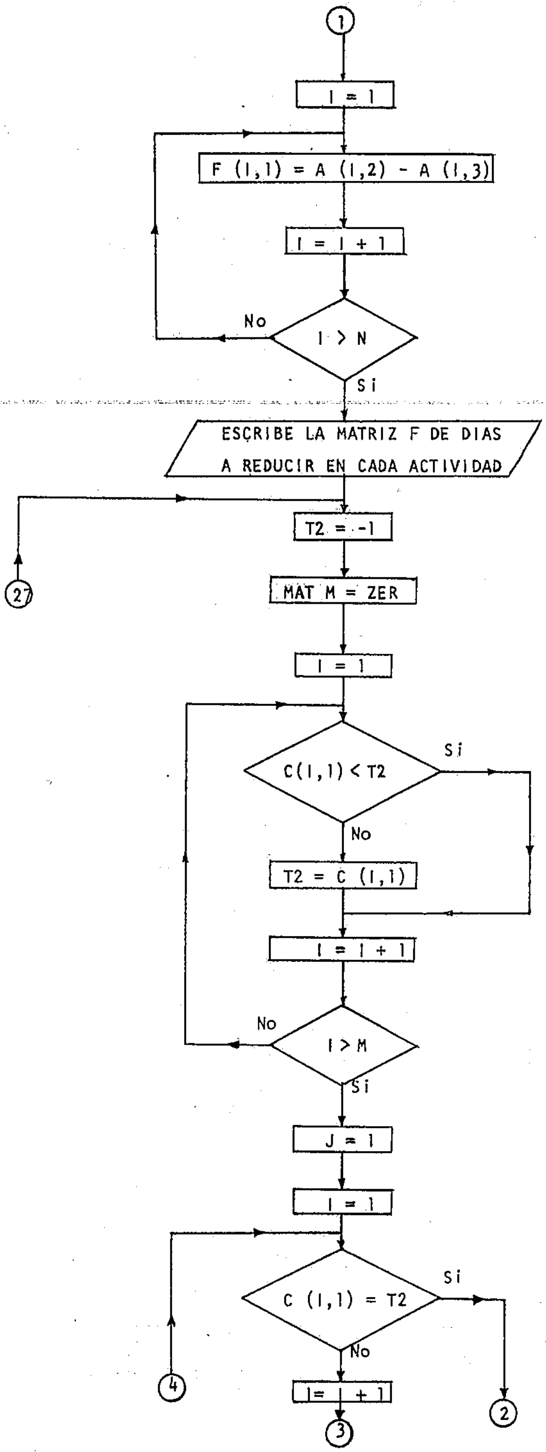
KAUFFMAN, A., y DESBAZEILLE, G.: *Método del camino crítico* (versión española de R. Companys), Sagitario, 1965.

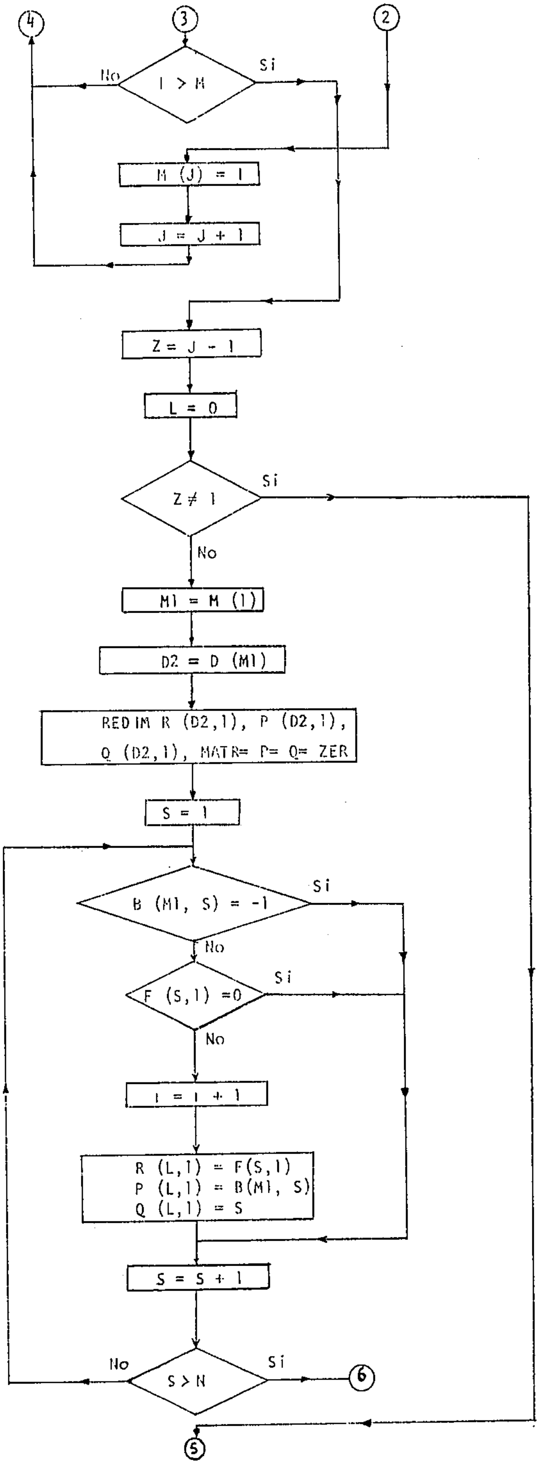
MILLER, R. W.: *Aplicaciones del método Pert al control de proyectos, costes y beneficios* (versión española de L. Larios y G. Comba), Ediciones del Castillo, 1967.

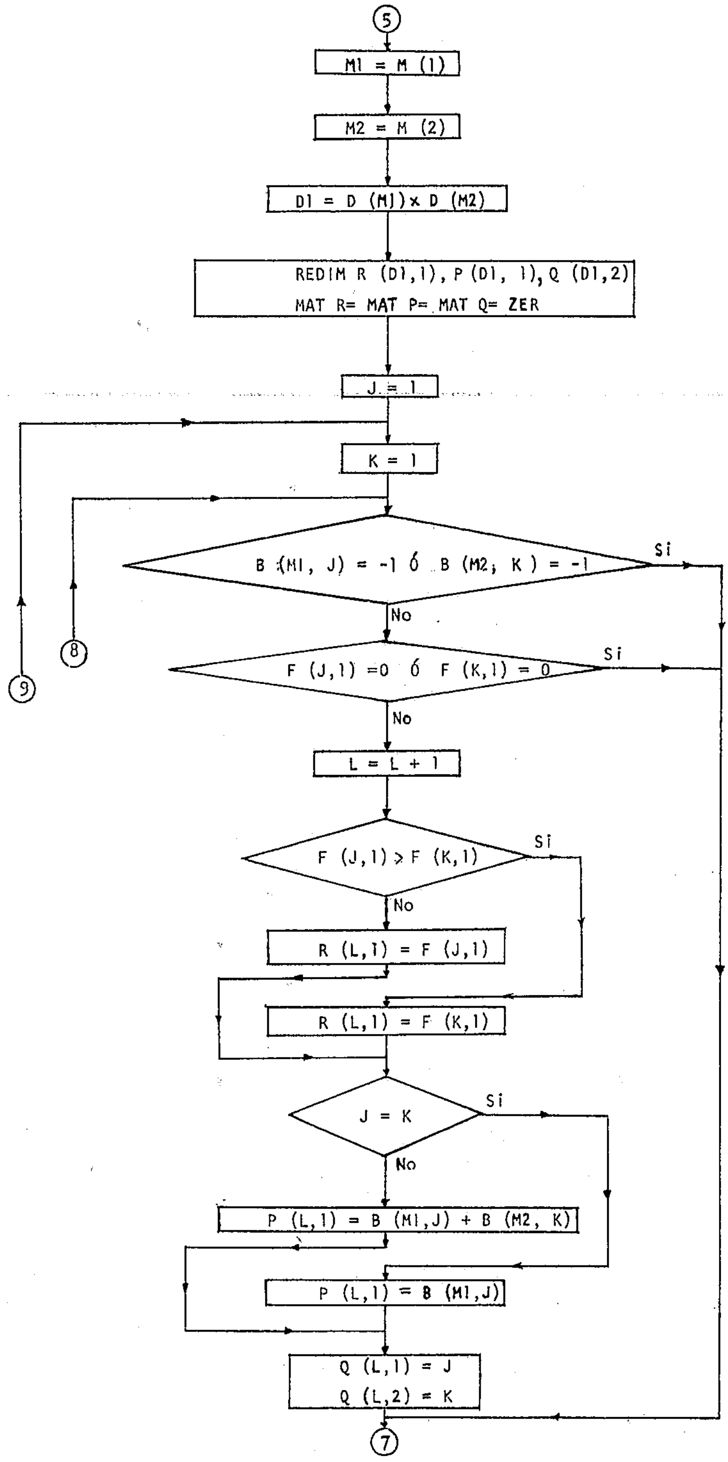
ROMERO LÓPEZ, C.: *Técnicas de programación y control de proyectos*, Ediciones Pirámide, S.A., 1979.

5. Apéndice I: Organigrama

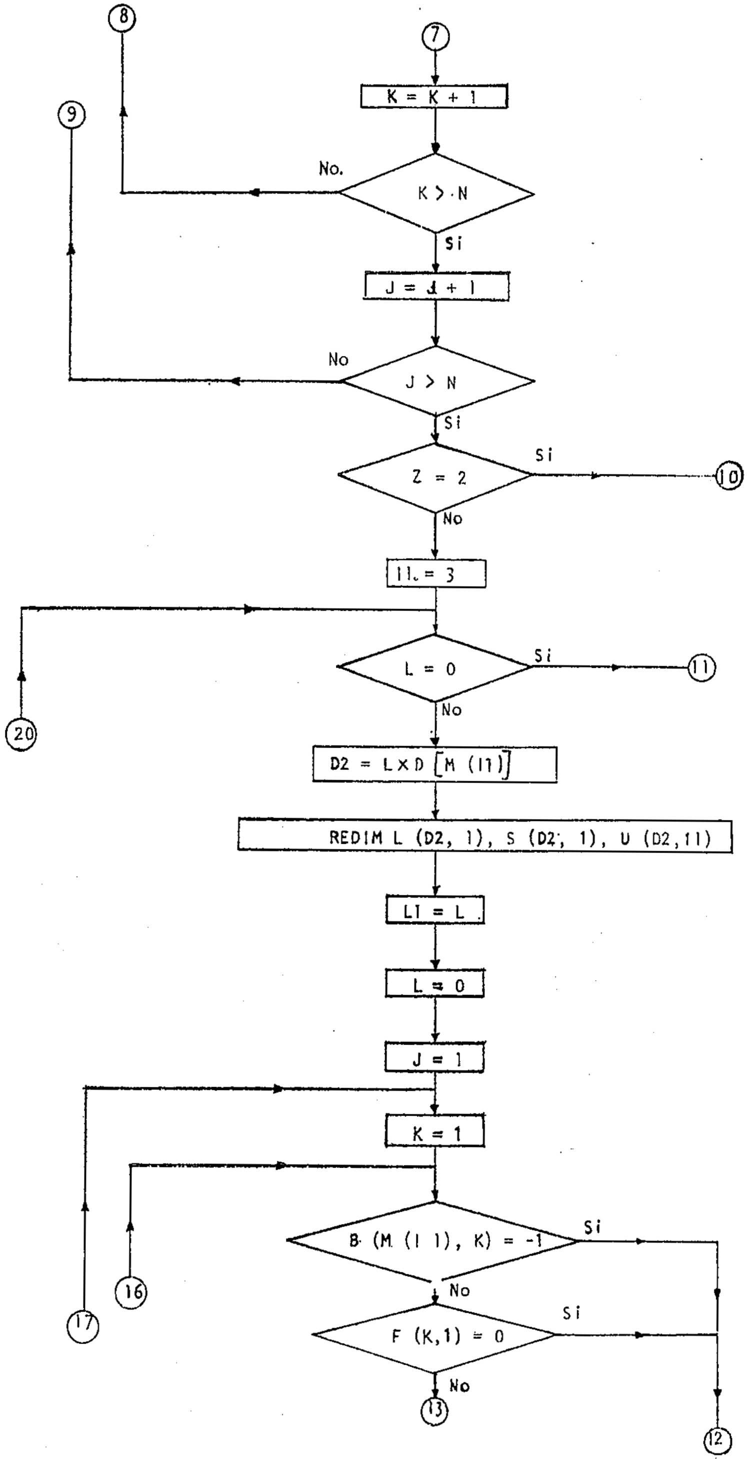



1
I = 1
F (I,1) = A (I,2) - A (I,3)
I = I + 1
No
I > N
Si
ESCRIBE LA MATRIZ F DE DIAS
A REDUCIR EN CADA ACTIVIDAD
T2 = -1
27
MAT M = ZER
I = 1
Si
C(I,1) < T2
No
T2 = C (I,1)
I = I + 1
No
I > M
Si
J = 1
I = 1
Si
C (I,1) = T2
No
I= I + 1
4
3
2

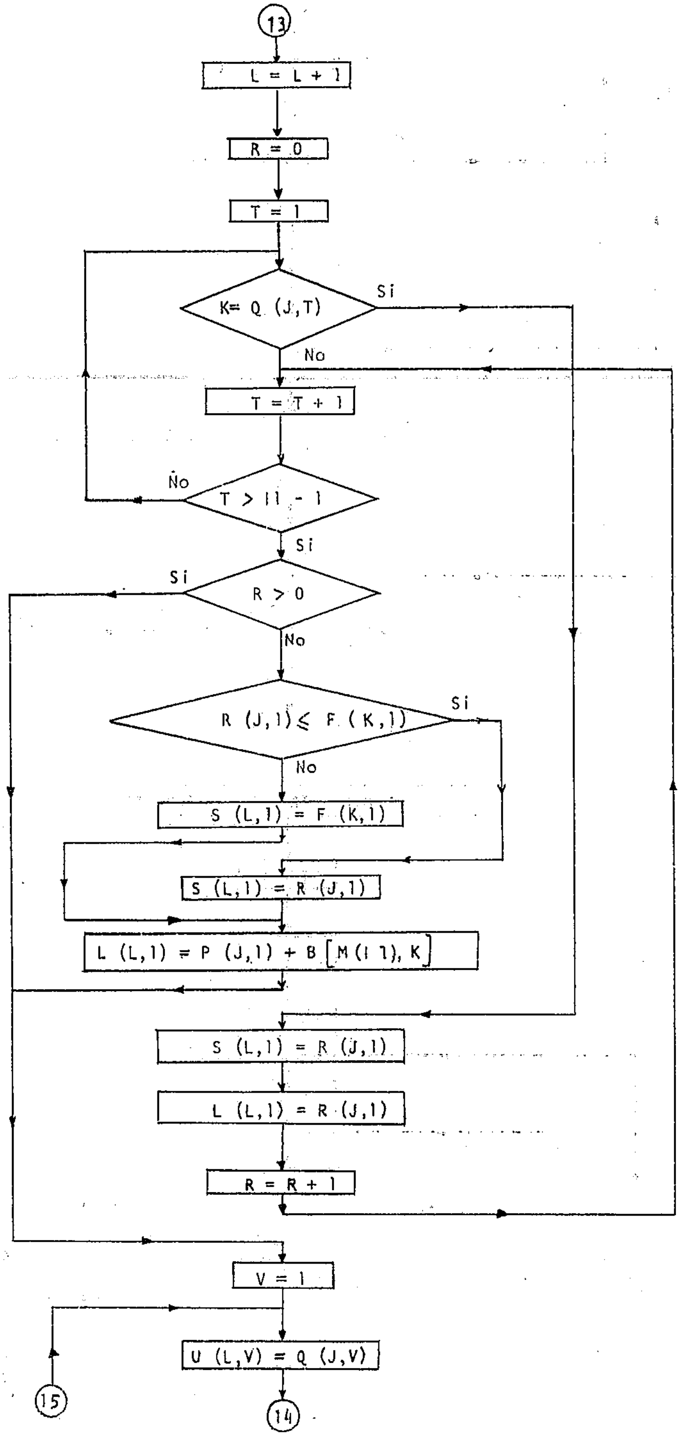

4
3
2
No
I > M
Si
M (J) = I
J = J + 1
Z = J - 1
L = 0
Z ≠ 1
Si
No
M1 = M (1)
D2 = D (M1)
REDIM R (D2,1), P (D2,1),
Q (D2,1), MATR= P= Q= ZER
S = 1
B (M1, S) = -1
Si
No
F (S,1) =0
Si
No
I = I + 1
R (L,1) = F(S,1)
P (L,1) = B(M1, S)
Q (L,1) = S
S = S + 1
No
S > N
Si
6
5

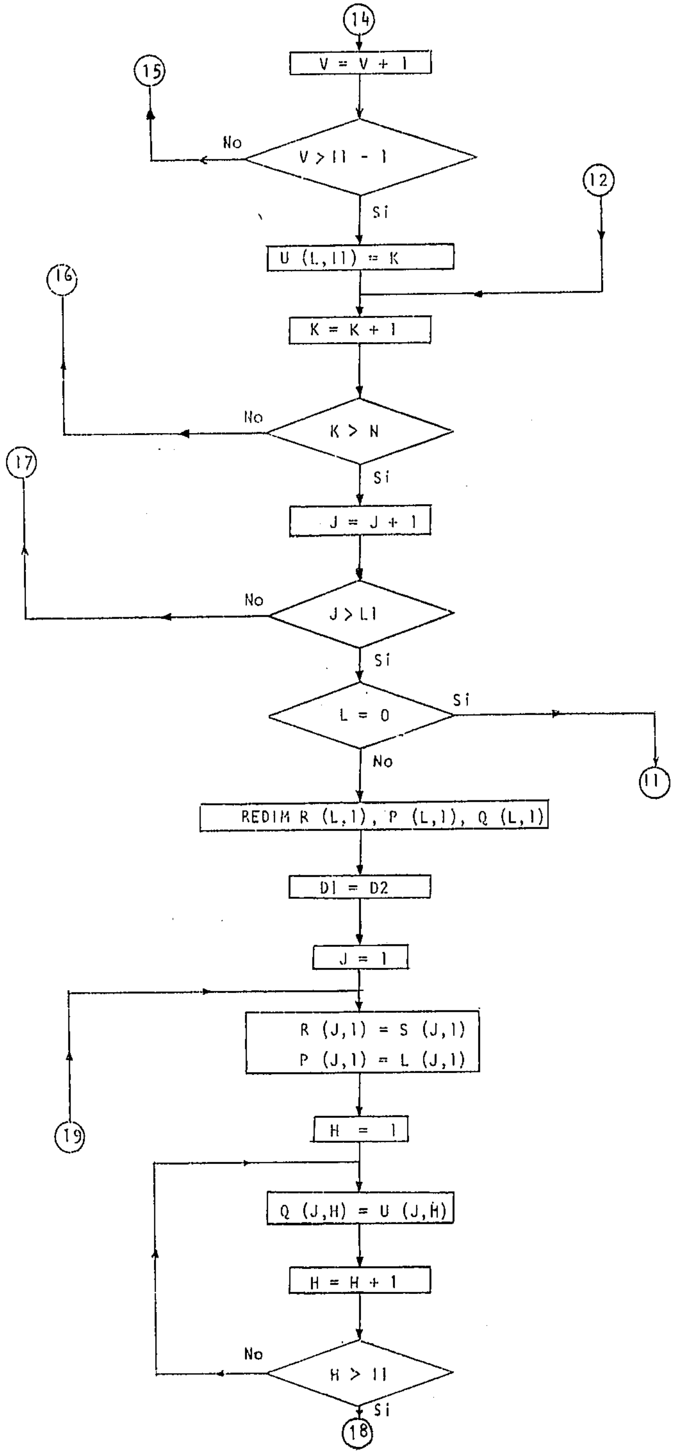


5
M1 = M (1)
M2 = M (2)
D1 = D (M1) x D (M2)
REDIM R (D1,1), P (D1, 1), Q (D1,2)
MAT R= MAT P= MAT Q= ZER
J = 1
K = 1
B (M1, J) = -1 ó B (M2, K) = -1
Si
No
F (J,1) =0 ó F (K,1) = 0
Si
No
8
9
L = L + 1
F (J,1) > F (K,1)
Si
No
R (L,1) = F (J,1)
R (L,1) = F (K,1)
J = K
Si
No
P (L,1) = B (M1,J) + B (M2, K)
P (L,1) = B (M1,J)
Q (L,1) = J
Q (L,2) = K
7

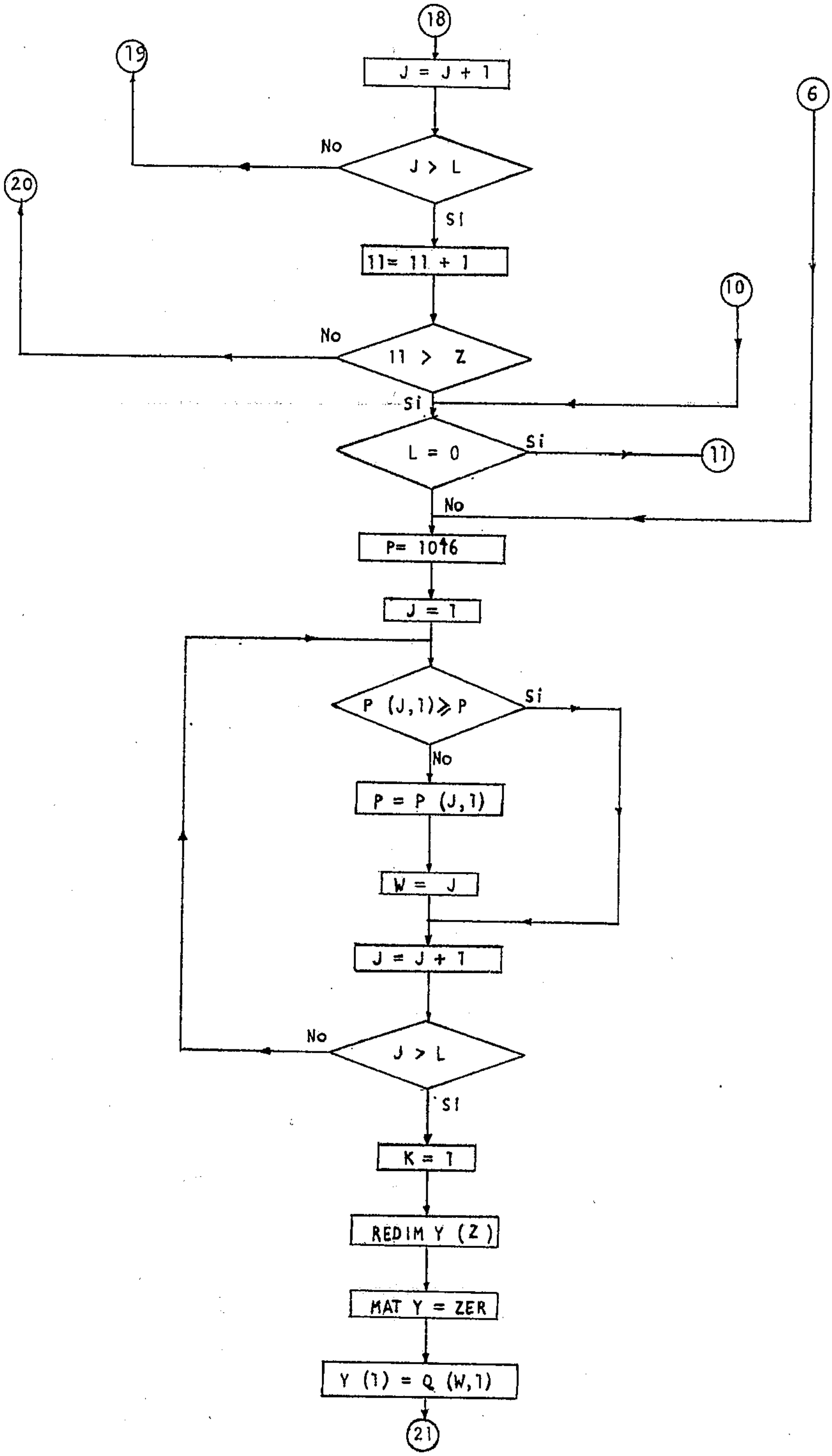


8
7
K = K + 1
9
No.
K > N
Si
J = J + 1
No
J > N
Si
Si
Z = 2
10
No
I1 = 3
L = 0
Si
11
20
No
D2 = L X D [M (I1)]
REDIM L (D2, 1), S (D2, 1), U (D2,11)
L1 = L
L = 0
J = 1
K = 1
B (M (I 1), K) = -1
Si
16
17
No
Si
F (K,1) = 0
No
13
12

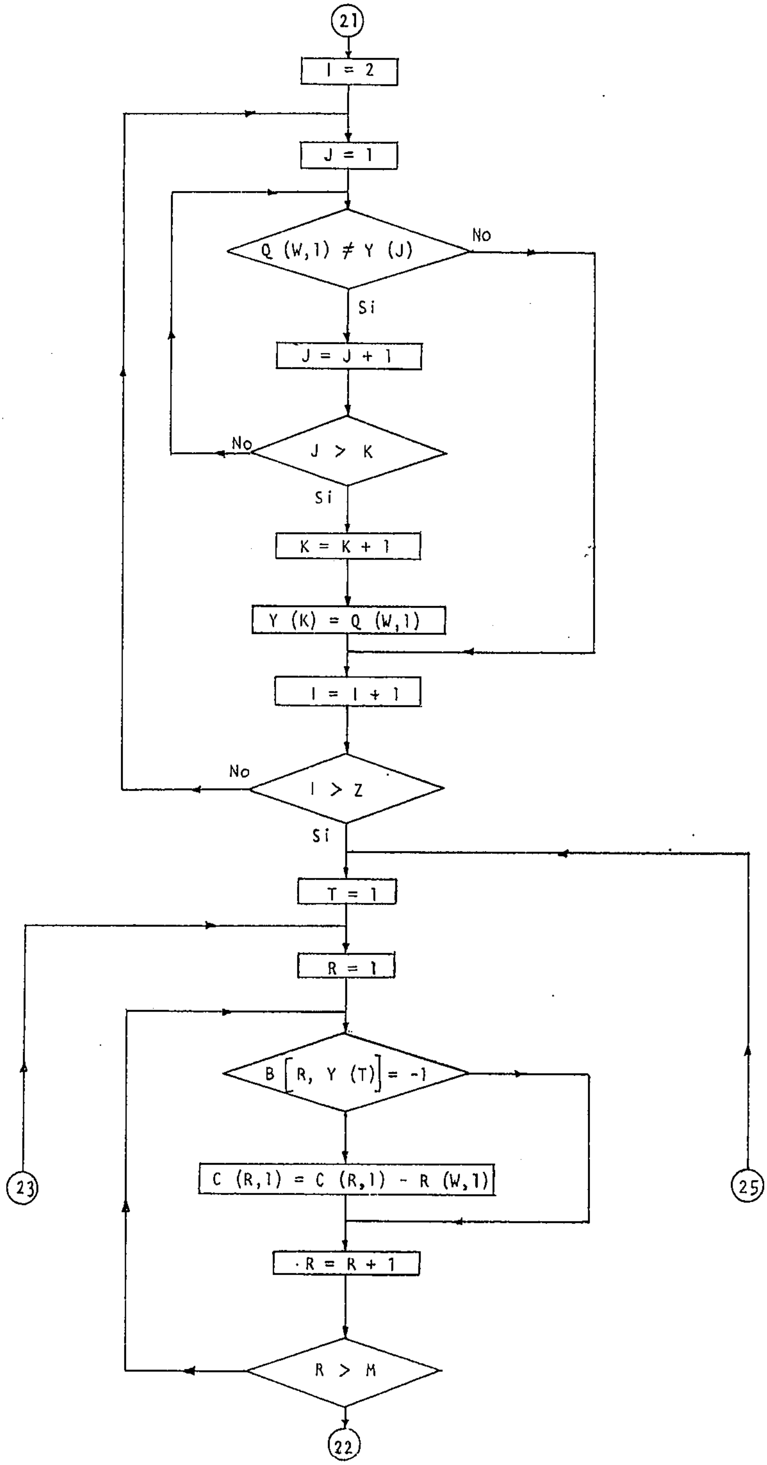

13
L = L + 1
R = 0
T = 1
K= Q (J,T)
Si
No
T = T + 1
No
T > I1 - 1
Si
Si
R > 0
No
R (J,1) ≤ F (K,1)
Si
No
S (L,1) = F (K,1)
S (L,1) = R (J,1)
L (L,1) = P (J,1) + B [M (I 1), K]
S (L,1) = R (J,1)
L (L,1) = R (J,1)
R = R + 1
V = 1
U (L,V) = Q (J,V)
15
14

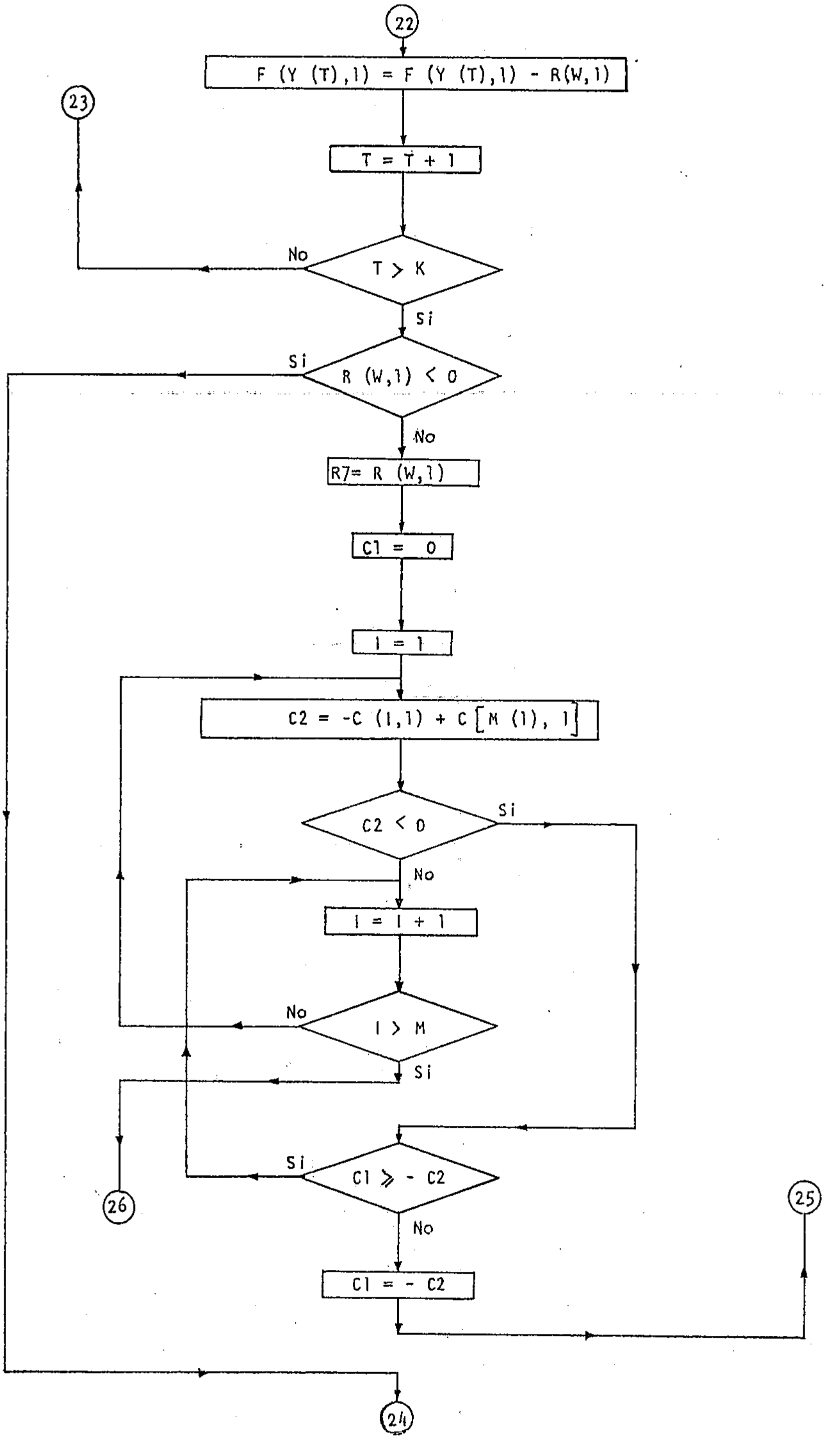


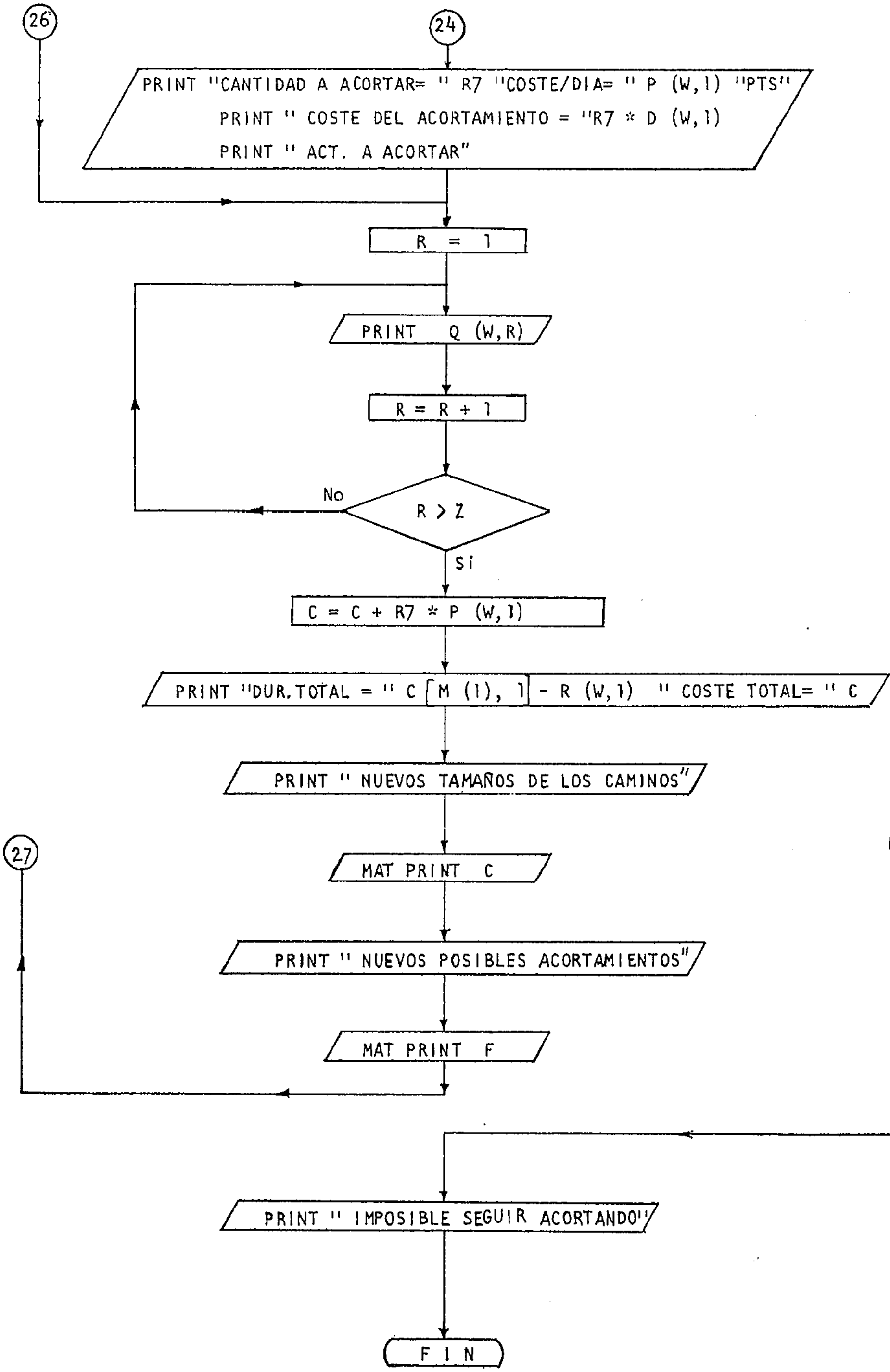
14
V = V + 1
15
No
V > I1 - 1
Si
12
U (L,I1) = K
16
K = K + 1
No
K > N
Si
17
J = J + 1
No
J > L1
Si
L = 0
Si
11
No
REDIM R (L,1), P (L,1), Q (L,1)
D1 = D2
J = 1
R (J,1) = S (J,1)
P (J,1) = L (J,1)
19
H = 1
Q (J,H) = U (J,H)
H = H + 1
No
H > I1
Si
18



18
J = J + 1
19
No
J > L
20
SI
6
I1= I1 + 1
10
No
I1 > Z
SI
L = 0
SI
11
No
P= 10↑6
J = 1
P (J,1) ≥ P
SI
No
P = P (J,1)
W = J
J = J + 1
No
J > L
SI
K = 1
REDIM Y (Z)
MAT Y = ZER
Y (1) = Q (W,1)
21


21
I = 2
J = 1
Q (W,1) ≠ Y (J)
No
Si
J = J + 1
J > K
No
Si
K = K + 1
Y (K) = Q (W,1)
I = I + 1
I > Z
No
Si
T = 1
R = 1
B [R, Y (T)] = -1
C (R,1) = C (R,1) - R (W,1)
R = R + 1
R > M
23
25
22


22
F (Y (T),1) = F (Y (T),1) - R(W,1)
23
T = T + 1
T > K
No
Si
R (W,1) < 0
Si
No
R7= R (W,1)
C1 = 0
I = 1
C2 = -C (I,1) + C [M (1), 1]
C2 < 0
Si
No
I = I + 1
I > M
No
Si
C1 ≥ - C2
Si
No
26
25
C1 = - C2
24


26
24
PRINT "CANTIDAD A ACORTAR= " R7 "COSTE/DIA= " P (W,1) "PTS"
PRINT " COSTE DEL ACORTAMIENTO = "R7 * D (W,1)
PRINT " ACT. A ACORTAR"
R = 1
PRINT Q (W,R)
R = R + 1
No
R > Z
Si
C = C + R7 * P (W,1)
PRINT "DUR.TOTAL = " C [M (1), 1] - R (W,1) " COSTE TOTAL= " C
PRINT " NUEVOS TAMAÑOS DE LOS CAMINOS"
27
11
MAT PRINT C
PRINT " NUEVOS POSIBLES ACORTAMIENTOS"
MAT PRINT F
PRINT " IMPOSIBLE SEGUIR ACORTANDO"
F I N

6. Apéndice II: Programa

```
10 REMALGORITMO DE ACKOFF SASIENI
20 DIM A[30,4],B[10,30],C[10,1],
D[10],F[30,1],M[10],
RS[100,1],PS[100,1]
30 DIM OI[100,10],UI[100,10],LI[100,1],
SI[100,1],Y[10]
40 DISP "N ACTIVIDADES=";
50 INPUT N
60 DISP "N CAMINOS";
70 INPUT M
80 DISP "COSTE INICIAL=";
90 INPUT C
100 REDIM A[N,4],B[M,N],C[M,1],
D[M],F[N,1],M[M]
110 FOR I=1 TO N
120 A[I,1]=I
130 FOR J=2 TO 4
140 DISP I","J;
150 INPUT A[I,J]
160 NEXT J
170 NEXT I
180 PRINT "MATRIZ DE DATOS"
190 MAT PRINT A
200 DISP "MATRIZ DE DATOS"
190 MAT PRINT A
200 DISP "N DE ERRORES";
210 INPUT E
220 IF E=0 THEN 280
230 FOR H=1 TO E
240 DISP "COOR. Y VALOR DEL ERROR"H:
250 INPUT I,J,A[I,J]
260 NEXT H
270 GOTO 180
280 FOR I=1 TO M
290 FOR J=1 TO N
300 B[I,J]=-1
310 NEXT J
320 NEXT I
330 FOR I=1 TO M
340 DISP "N. DE ACTIVIDADES DEL CAMINO "I;
350 INPUT D[I]
360 FOR J=1 TO D[I]
370 DISP "N. DE ORDENDE LA ACTIVIDAD"J;
380 INPUT H
```

```
390 B[I,H]=A[H,4]
400 NEXT J
410 NEXT I
420 PRINT "CUADRO DE COSTES DE REDUCCION POR ACTIVIDAD"
430 MAT PRINT B
440 DISP "N. DE ERRORES";
450 INPUT E
460 IF E=0 THEN 520
470 FOR H=1 TO E
480 DISP "COOR. Y VALOR DEL ERROR H";
490 INPUT I,J,B[I,J]
500 NEXT H
510 GOTO 420
520 FOR I=1 TO M
530 C[I,1]=0
540 FOR J=1 TO N
550 IF B[I,J]=-1 THEN 570
560 C[I,1]=C[I,1]+A[J,2]
570 NEXT J
580 NEXT I
590 PRINT "LONGITUDES DE LOS CAMINOS"
600 MAT PRINT C
610 FOR I=1 TO N
620 F[I,1]=A[I,2]-A[I,3]
630 NEXT I
640 PRINT "DIAS A REDUCIR EN CADA ACTIVIDAD"
650 MAT PRINT F
660 T2=-1
670 MAT M=ZER
680 FOR I=1 TO M
690 IF C[I,1]<T2 THEN 710
700 T2=C[I,1]
710 NEXT I
720 J=1
730 FOR I=1 TO M
740 IF C[I,1]=T2 THEN 770
750 NEXT I
760 GOTO 800
770 M[J]=I
780 J=J+1
790 GOTO 750
800 Z=J-1
810 L=0
820 IF Z£1 THEN 990
830 M1=M[1]
840 D2=D[M1]
850 W=1
860 REDIM R[D2,1],P[D2,1],Q[D2,1]
```

```
870 MAT R=ZER
880 MAT P=ZER
890 MAT Q=ZER
900 FOR S=1 TO N
910 IF B[M1,S]=-1 THEN 970
920 IF F[S,1]=0 THEN 970
930 L=L+1
940 R[L,1]=F[S,1]
950 P[L,1]=B[M1,S]
960 Q[L,1]=S
970 NEXT S
980 GOTO 1690
990 M1=M[1]
1000 M2=M[2]
1010 D1=D[M1]*D[M2]
1020 REDIM R[D1,1],P[D1,1],Q[D1,2]
1030 MAT R=ZER
1040 MAT P=ZER
1050 MAT Q=ZER
1060 FOR J=1 TO N
1070 FOR K=1 TO N
1080 IF (B[M1,J]=-1 OR B[M2,K]=-1) THEN 1210
1090 IF (F[J,1]=0 OR F[K,1]=0) THEN 1210
1100 L=L+1
1110 IF F[J,1]>F[K,1] THEN 1140
1120 R[L,1]=F[J,1]
1130 GOTO 1150
1140 R[L,1]=F[K,1]
1150 IF J=K THEN 1180
1160 P[L,1]=B[M1,J]+B[M2,K]
1170 GOTO 1190
1180 P[L,1]=B[M1,J]
1190 Q[L,1]=J
1200 Q[L,2]=K
1210 NEXT K
1220 NEXT J
1230 IF Z=2 THEN 1680
1240 I1=3
1250 IF L=0 THEN 2210
1260 D2=L*D[M[I1]]
1270 REDIM L[D2,1],S[D2,1],U[D2,I1]
1280 L1=L
1290 L=0
1300 FOR J=1 TO L1
1310 FOR K=1 TO N
1320 IF B[M[I1],K]=-1 THEN 1540
1330 IF F[K,1]=0 THEN 1540
1340 L=L+1
```

```
1350 R=0
1360 FOR T=1 TO I1-1
1370 IF K=Q[J,T] THEN 1460
1380 NEXT T
1390 IF P>0 THEN 1500
1400 IF R[J,1] <= F[K,1] THEN 1430
1410 S[L,1]=F[K,1]
1420 GOTO 1440
1430 S[L,1]=R[J,1]
1440 L[L,1]=P[J,1]+B[M[I1],K]
1450 GOTO 1500
1460 S[L,1]=R[J,1]
1470 L[L,1]=P[J,1]
1480 R=R+1
1490 GOTO 1380
1500 FOR V=1 TO I1-1
1510 U[L,V]=Q[J,V]
1520 NEXT V
1530 U[L,I1]=K
1540 NEXT K
1550 NEXT J
1560 REDIM R[L,1],P[L,1],Q[L,I1]
1570 D1=D2
1580 FOR J=1 TO L
1590 R[J,1]=S[J,1]
1600 P[J,1]=L[J,1]
1610 FOR H=1 TO I1
1620 Q[J,H]=U[J,H]
1630 NEXT H
1640 NEXT J
1650 I1=I1+1
1660 IF I1>Z THEN 1680
1670 GOTO 1250
1680 IF L=0 THEN 2210
1690 P=10"6
1700 FOR J=1 TO L
1710 IF P[J,1] >= P THEN 1740
1720 P=P[J,1]
1730 W=J
1740 NEXT J
1750 PRINT "CANTIDAD A ACORTAR ="R[W,1],"COSTE/DIA ="P[W,1]"PTS."
1760 PRINT "COSTE DEL ACORTAMIENTO="R[W,1]*P[W,1]
1770 PRINT "ACT. A ACORTAR"
1780 FOR R=1 TO Z
1790 PRINT Q[W,R]
1800 NEXT R
1810 PRINT "****DURAC. TOTAL="C[M[1],1]-R[W,1]"***COSTE
     TOTAL="C+R[W,1]*P[W,1]
```

```
1820 K=1
1830 REDIM Y[Z]
1840 MAT Y=ZER
1850 Y[1]=Q[W,1]
1860 FOR I=2 TO Z
1870 FOR J=1 TO K
1880 IF Q[W,I]£Y[J] THEN 1900
1890 GOTO 1930
1900 NEXT J
1910 K=K+1
1920 Y[K]=Q[W,I]
1930 NEXT I
1940 FOR T=1 TO K
1950 FOR R=1 TO M
1960 IF B[P,Y[T]]=-1 THEN 1980
1970 C[R,1]=C[R,1]-R[W,1]
1980 NEXT R
1990 F[Y[T],1]=F[Y[T],1]-R[W,1]
2000 NEXT T
2010 IF R[W,1]<0 THEN 2160
2020 C1=0
2030 FOR I=1 TO M
2040 C2=-C[I,1]+C[M[1],1]
2050 IF C2<0 THEN 2080
2060 NEXT I
2070 GOTO 2110
2080 IF C1 >= -C2 THEN 2060
2090 C1=-C2
2100 GOTO 2060
2110 C2=R[W,1]
2120 IF C1 <= 0 THEN 2160
2130 R[W,1]=-C1
2140 PRINT "CANTIDAD A ACORTAR DEFINITIVA="C2-C1
2150 GOTO 1940
2160 PRINT "NUEVOS TAMAÑOS DE LOS CAMINOS"
2170 MAT PRINT C
2180 PRINT "NUEVOS POSIBLES ACORTAMIENTOS"
2190 MAT PRINT F
2200 GOTO 660
2210 PRINT "IMPOSIBLE SEGUIR ACORTANDO"
2220 END
```