



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

# **RUTA CRÍTICA**

**ING. CARLOS CAPRI**

U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA

SECCION DE CONSTRUCCION

G-600547

Caja 44

APUNTES DE RUTA CRITICA

Estos apuntes han sido tomados directamente de la Tesis Profesional del pasante Carlos Capri Bodegas bajo la dirección del Ingeniero Emilio Gil Valdivia.

G 600547

CAJA  
44

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.



600547

G.- 600547

# INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	
CAPITULO I ANTECEDENTES	1
CAPITULO II SIMBOLOGIA	4
CAPITULO III CONSTRUCCION Y CALCULO DE LA RED	19
CAPITULO IV DIAGRAMA DE BARRAS	30
CAPITULO V COMPRESION DE REDES	36
CAPITULO VI ASIGNACION DE RECURSOS	50
EJEMPLO	60
APENDICES	73
BIBLIOGRAFIA	79

G-600547

## INTRODUCCION

El objeto de éste trabajo, además de presentarlo como tesis, pretendo sirva como apuntes para la materia de construcción III.

El método de la ruta crítica es un proceso administrativo de planeación, programación, ejecución y control de todas y cada una de las actividades componentes de un proyecto que debe desarrollarse dentro de un tiempo crítico y al costo óptimo. Este método es aplicable en cualquier situación en la que se tenga que llevar a cabo una serie de actividades o tareas relacionadas entre sí, para alcanzar un objetivo determinado.

El método lo presento explicado de una forma general y lo aplico al final de éste trabajo con un ejemplo ilustrativo.

## CAPITULO I ANTECEDENTES

Los primeros trabajos sobre el método de la ruta crítica se desarrollaron en enero de 1957 en los Estados Unidos de Norteamérica, y tenían como fin el de mejorar las técnicas existentes de planeación y programación. Estos trabajos fueron desarrollados por los señores M. R. Walker de la división de estudios de Ingeniería de la Dupont, J. K. Kelly Jr., que trabajaba en Remington Rand Univac, y el Dr. R. L. Martino de la empresa Mauchly associates.

La Dupont hizo la primera aplicación del método a un proyecto importante con resultados bastante satisfactorios en el año de 1958.

Al mismo tiempo en que se desarrollaban los estudios del método de la ruta crítica, la marina de los Estados Unidos, en colaboración con el despacho de consultores Booz, Allen and Hamilton, desarrolló una técnica similar que fué utilizada originalmente por el control de tiempos del proyecto Polaris, y se le dió el nombre de PERT que significa: Program Evaluation Reporting Technique.

Ambos sistemas separaban las funciones de planeación y programación; era ésta la innovación a las técnicas anteriores.

Para estimar la duración de todas las actividades de un proyecto existe una diferencia entre PERT y Camino Crítico. El primero utiliza tres tiempos de duración, calculados con -- criterios: a) optimista, b) pesimista y c) el llamado "más plausible", y con esto se calcula el tiempo que se espera dure la -- actividad que se este programando, por lo tanto el tiempo más probable se calcula:

$$T_{pr} = \frac{T_o + 4 T_{pl} + T_p}{6}$$

A partir de éste momento, el PERT, es idéntico al método del camino crítico, en el que se utiliza únicamente un tipo de estimación de duración, basado en la experiencia obtenida -- con anterioridad, o cualquier otro tipo de cálculo, basado en :

- Procedimiento de construcción
- Recursos disponibles
- Volúmen de obra
- Calidad
- Rendimientos
- Condiciones de la localidad donde se ejecuta la obra
- Etc.

En 1959, Catalytic Construction Company, empezó a uti  
lizar el método de la ruta crítica en la Administración de un pro  
yecto de diseño y construcción de una planta de fenol; los resul-  
tados fueron muy buenos.

En México, el método de la ruta crítica se empezó a usar  
en 1961 y debido a sus excelentes resultados, su aplicación es ya -  
generalizada.

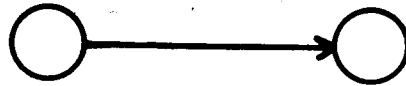


El método de la ruta crítica tiene como elementos básicos un diagrama y una ruta crítica. El diagrama está formado por eventos y actividades.

El evento es un momento dentro del proceso constructivo que no consume tiempo ni recursos, representa a la iniciación o a la terminación de una actividad. Deben los eventos - sucederse en una secuencia lógica y se representan por medio de círculos:



La actividad es la ejecución física de una labor que consume tiempo y recursos. Se representa por una flecha; queda - por tanto, enmarcada entre dos eventos:



Una actividad ficticia es aquella que no consume tiempo ni recursos y se representa por : -----> y se usa, - solamente, para expresar restricciones que define el proceso -- constructivo, como son las dependencias entre actividades.

El conjunto de actividades constituye una cadena y el conjunto de cadenas, ligadas entre sí, constituye la red o diagrama:

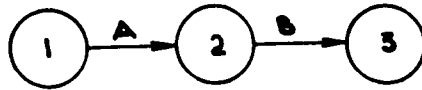


DIAGRAMA I

Los eventos que siguen inmediatamente a otro se llaman eventos subsecuentes. Lo mismo sucede con las actividades: En el diagrama I la actividad B es subsecuente de la actividad A, significa además que para que pueda ejecutarse B, tiene que haberse ejecutado A.

Los eventos que están inmediatamente antes de otro evento se llaman antecedentes o precedentes, lo mismo sucede con las actividades; en el diagrama I el evento 1 es precedente del evento 2.

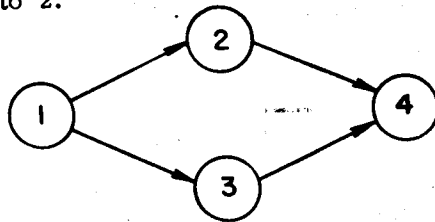


DIAGRAMA II

En el diagrama II el evento 1 es precedente de los eventos 2 y 3.

Dependencia de las actividades. - En el diagrama II la actividad 2-4 depende de la actividad 1-2 y la 3-4 de la actividad

1-3. Las actividades 1-2 y 1-3 no dependen de ninguna actividad. La actividad 1-2 es precedente a la actividad 2-4 y ésta es siguiente de la 1-2.

En una actividad la longitud de la flecha no representa ni su duración ni el volumen de la obra. La flecha representa algo que tiene que ser realizado. El origen de la flecha representa el principio de la actividad y la punta representa su terminación.

Para preparar un diagrama de flechas se deben contar tres preguntas básicas sobre cada actividad específica:

- Qué actividades preceden inmediatamente a la ejecución de ésta?
- Qué actividades deben llevarse a cabo inmediatamente después de realizar ésta?
- Qué actividades pueden realizarse al mismo tiempo que ésta?

Hay ocasiones en que dos actividades que parten de un mismo evento han de realizarse inmediatamente antes de una misma actividad y por lo tanto llegan al mismo evento:

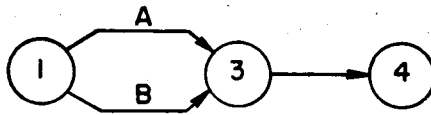


DIAGRAMA III

Esta notación no la usaremos por no ser conveniente para el cálculo de la red. Tiene el inconveniente de que al nombrar la actividad 1-3 no sabemos si nos referimos a la actividad A ó a la B.

En este caso podemos hacer uso de las actividades ficticias y el diagrama nos quedaría de la siguiente manera:

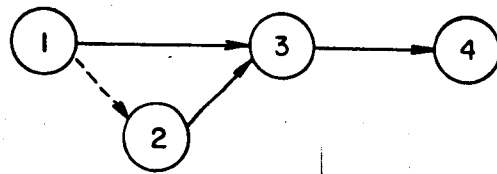


DIAGRAMA IV

Las actividades ficticias se introducen para indicar la secuencia lógica en que se encadenan las actividades.

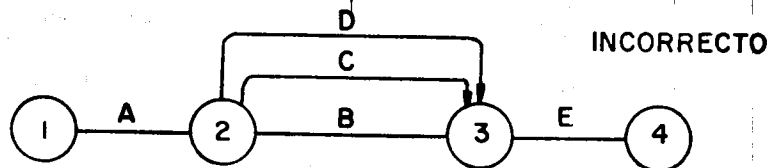


DIAGRAMA V

Lo correcto sería :

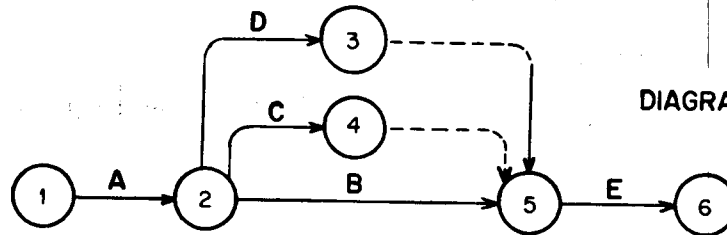
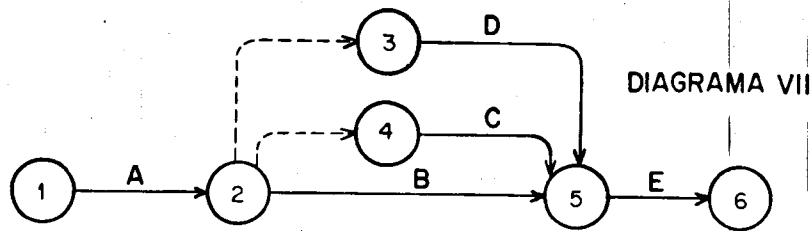
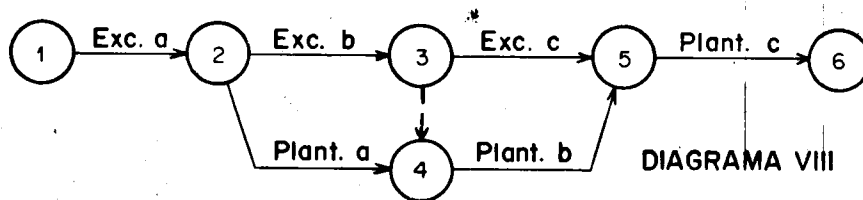


DIAGRAMA VI

En éste diagrama las actividades ficticias se colocaron después de las actividades 2-3 y 2-4; en el diagrama VII se han colocado antes, su significado es el mismo.



Cada actividad se representa sólo con una flecha, sin embargo un trabajo puede dividirse en varias etapas; por ejemplo: si tenemos un terreno cuyas dimensiones son considerables y queremos construir una bodega en ese lugar, no es necesario excavar todo el terreno y después empezar a colar la plantilla para recibir la cimentación. Podríamos dividir el terreno en tres partes iguales a, b y c de tal manera que al término de la excavación en a se inicie el colado de la plantilla en a y la excavación en b al mismo tiempo, y así sucesivamente. El diagrama quedaría de la siguiente manera:



Este trabajo podría representarse de varias maneras, como podemos ver en los diagramas siguientes:

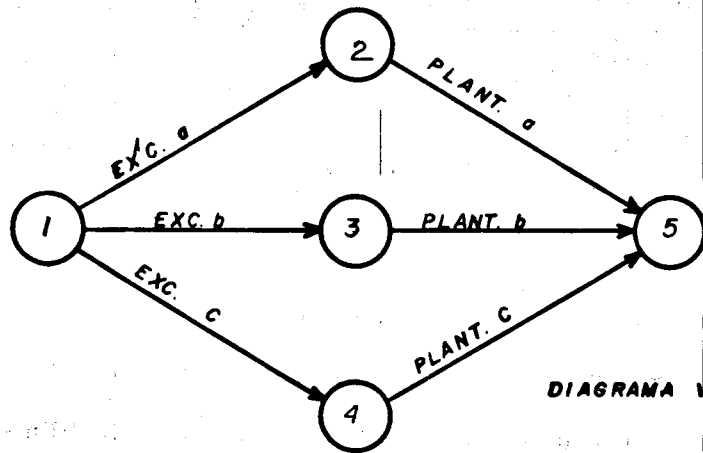


DIAGRAMA VIII. a

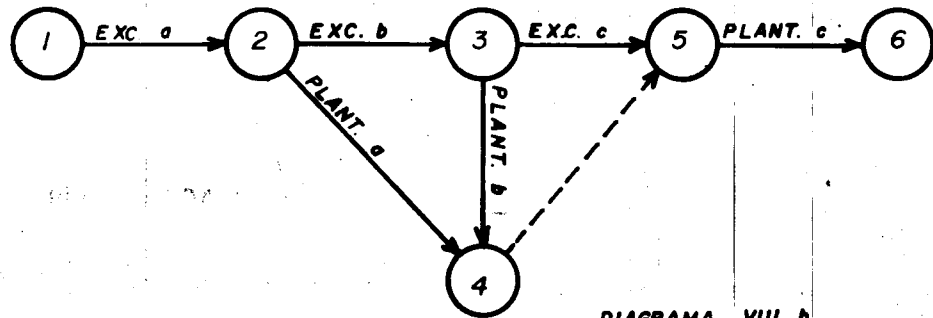


DIAGRAMA VIII. b

El siguiente diagrama indica que la actividad 3-4 no debe iniciarse hasta que las actividades 1-3 y 2-3 se hayan ejecutado:

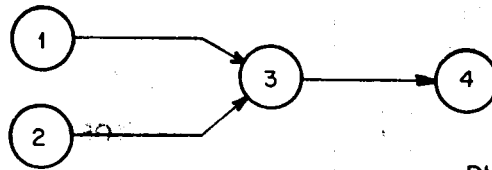
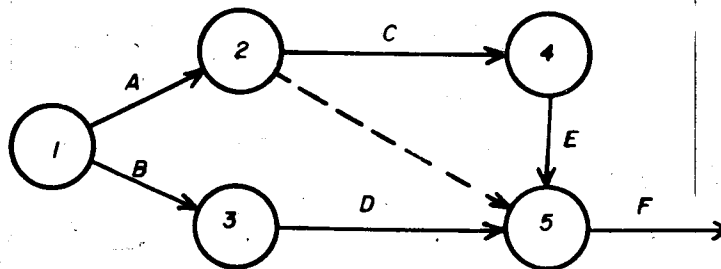


DIAGRAMA IX

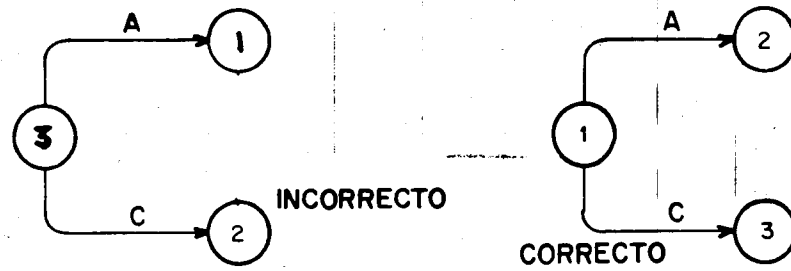
Considérese el siguiente ejemplo:



- A y B no dependen de nada
- C depende de A
- D depende de B
- E depende de C
- F depende de A, D, E.

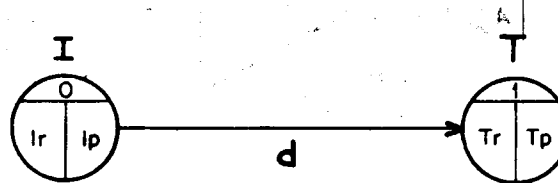
Los eventos hay que numerarlos de tal manera que el número del evento inicial, corresponda a un numeral menor

que el del evento final.



Notación :

Si consideramos la actividad 0-1 (Diagrama XII), tenemos que





En la parte superior del círculo se coloca el número que corresponde a cada evento y en la parte inferior de la flecha la duración de la actividad que corresponda.

**DEFINICIONES:**

Ip : Tiempo de iniciación más próximo de la actividad

Ir : Tiempo de iniciación más remoto de la actividad.

Tp : Tiempo de terminación más próximo de la actividad.

Tr : Tiempo de terminación más remoto de la actividad.

d : Duración de la actividad.

I : Evento inicial.

T : Evento final.

Tiempo de iniciación más próximo de cada actividad.

Para encontrar el tiempo de iniciación más próximo de cada actividad se requieren tres cosas:

1. - La fecha de iniciación del proyecto.
2. - La relación en secuencia de las actividades del proyecto, hasta llegar a la actividad que nos ocupa.
3. - La duración de cada actividad del proyecto, que en cadena anteceden a la actividad que se analiza.

La fecha de iniciación del proyecto puede representarse por el "tiempo cero" y luego desarrollar números con relación a ésta base.

Las relaciones de secuencia de todos los trabajos quedan completamente determinadas de manera lógica y expuestas en el diagrama de flechas.

La duración o medida del tiempo se estima de acuerdo -- con el método constructivo que se vaya a utilizar.

Si tenemos el siguiente diagrama:

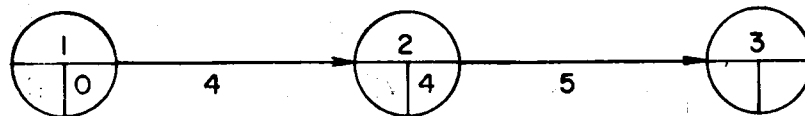


DIAGRAMA XIII

El Ip de la actividad 2-3 se calcula  $0 + 4 = 4$ , que a su vez sería el Tp de la actividad 1-2.

Cuando a un evento concurren varias actividades el Ip -- que debemos tomar es el de mayor valor:

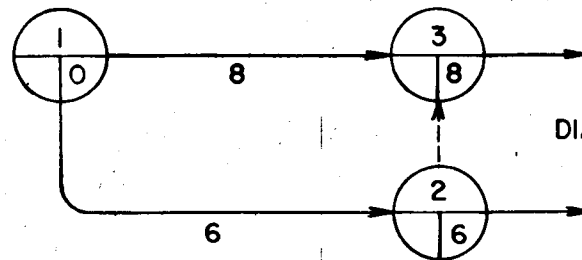


DIAGRAMA XIV.

Las actividades ficticias se manejan como si fueran trabajos reales con una duración nula.

Tiempo de terminación más remoto de cada actividad

Si tenemos calculados todos los  $I_p$  de un diagrama y vemos que el  $I_p$  correspondiente al último evento es  $X$ , conocemos la duración del proceso. Para el último evento se acepta que  $I_p = Tr$

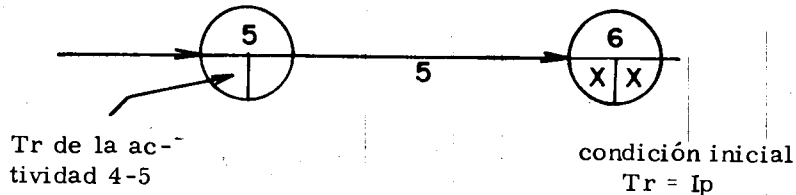


Diagrama XV

El  $Tr$  de la actividad 4-5 se calcula  $Tr$  menos  $d$ , por lo tanto  $Tr = X - 5$ .

Todos los demás  $Tr$  del diagrama se calculan de la misma forma yendo del último evento hasta el primero. Si de un evento parten dos o más actividades, al venir efectuando el cálculo de los  $Tr$  tendremos dos o más  $Tr$  para un solo evento. Debemos de escoger el de menor valor de todos ellos.

En el diagrama XVI podremos darnos cuenta del cálculo de una red y de los  $I_p$  y  $Tr$  que se escogen cuando a un evento concurren dos o más actividades.

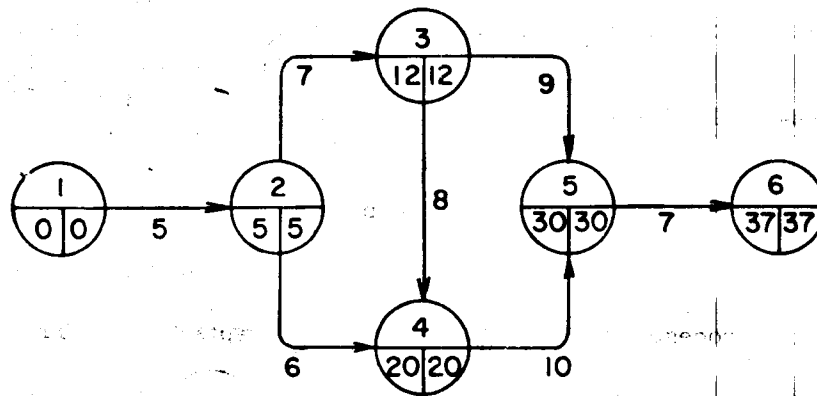


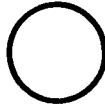
Diagrama XVI

En este ejemplo el Tr de la actividad 2 - 3 tiene dos valores:  
 $30 - 9 = 21$  y  $20 - 8 = 12$ . Se escoge el menor de ellos, que es  
 12.

Si aceptamos que la red es un modelo gráfico de un proyecto, habremos de buscar la mayor semejanza posible entre estos. También el proyecto puede considerarse como un sistema, en el que cada actividad a su vez es un sub-sistema, de aquí se deduce que, -- puede un proyecto representarse en distintos niveles detall e.

**RESUMEN:**

Evento:



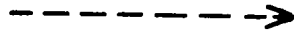
Significa iniciación o terminación de una actividad.

Actividad:



Consumo tiempo y recursos, significa la ejecución de una labor.

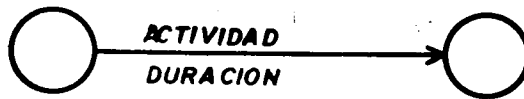
Actividad ficticia:



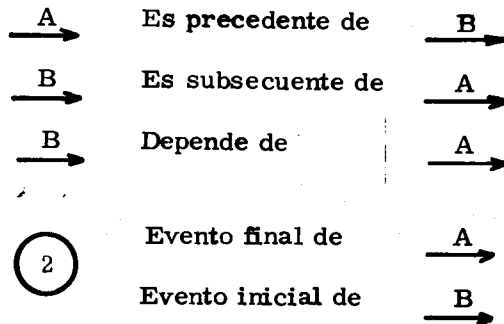
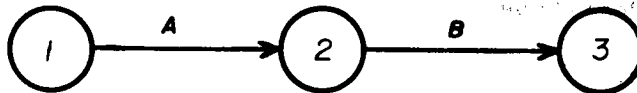
No consume tiempo ni recursos, sirve para expresar -- secuencia lógica.

Evento inicial

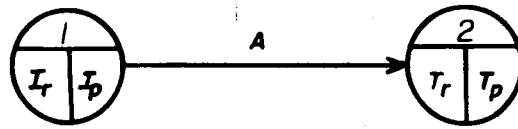
Evento final



Cadena de actividades :



Para cada caso de programación, las condiciones (recursos, restricciones, etc.) nos darán una red diferente.



Si 2 fuera el evento final:

$$T_r = T_p$$

Ejemplo: *si amuestras oh*

Construya la red para:

a y b no dependen de nada

c depende de a

d depende de b

e depende de b

f depende de c

g depende de d

h depende de e

j depende de h

i depende de f, g, h



Calcule  $L_p$ ,  $T_r$  para las siguientes duraciones:

Actividad	d
a	5
b	10
c	4
d	2
e	7
f	10
g	8
h	6
i	10
j	9

### CAPITULO III

#### CONSTRUCCION Y CALCULO DE LA RED

Ha quedado establecido que la red constituye un modelo gráfico de la obra, así como que su semejanza con el fenómeno que representa, es fundamental para que las virtudes de este sistema de programación puedan ser debidamente aprovechadas y en este capítulo se estudiarán los pasos a seguir para lograr una planeación y programación adecuadas; es indispensable que el programador conozca a fondo el proceso constructivo de la obra que habrá de analizar, pues de este conocimiento habrán de derivarse tanto el listado de conceptos que se incluirán en el programa como sus interrelaciones que se establecerán por necesidades propias de la obra (factores externos) así mismo, habrán de determinarse los tiempos de duración de cada concepto programado.

Queda pues establecido que el primer paso a seguir consiste en la identificación de los conceptos, de los cuales se hará un listado.

Como siguiente paso es conveniente organizar los conceptos que se consideren, para lo cual en algunos casos es -



conveniente auxiliarse de la llamada matriz de precedencias, en este se presentan los nombres de las actividades repetidas en una columna y en un renglón, el superior, y se van comparando la primera actividad de la columna con todas las actividades que aparecen en el renglón de encabezado, marcándose a qué casilla corresponde la interdependencia entre las actividades.

Este procedimiento puede sugerir la conveniencia de subdividir algunas actividades, consideradas originalmente en forma global, en tramos.

El siguiente paso consiste en la determinación de la red, para ello se procede a ir dibujando todas las actividades que se consideran respetando las condiciones de dependencia que ya conocemos.

Estamos en condiciones por fin, de determinar el tiempo de duración de la obra, procedemos en consecuencia a la numeración

ción ordenada de los eventos, para lo cual no debemos olvidar que el valor del numeral de un evento final de cada actividad - será mayor que el del evento inicial, recordemos para el paso siguiente la notación que para efectos de estas notas habremos de utilizar:

Para la determinación de las iniciaciones más próximas.

Para el evento inicial de toda la red , que es el evento - inicial de las primeras actividades, habremos de considerar --- como iniciación más próxima el día cero, que habrá de corres-- ponder a la fecha de calendario en que pretende iniciarse la obra.

Si previamente se ha tenido cuidado de anotar la duración calculada para cada actividad, la iniciación más próxima de la - 2a. actividad de cada cadena se obtiene anotando en su evento -- inicial correspondiente, precisamente la duración de la primera actividad de esa cadena. En la misma forma para la 3a. de las - actividades la iniciación más próxima habrá de calcularse sumando la  $I_p$  anterior con la duración de la 2a. actividad.

En algunos eventos concurren 2 ó más actividades, la  $I_p$  que se considera para ese caso será la mayor, después de ana-

lizar todos los recorridos que ofrezca la red, hasta llegar a ese punto de concurrencia. Este sistema se seguirá hasta llegar al último evento de la red. Este evento, pierde la dualidad de iniciación próxima y terminación remota, puesto que al no originarse en él ninguna otra actividad, carece de sentido considerarla como significado de iniciación próxima, por lo tanto a partir de este momento citan 2 hechos importantes:

La cifra alcanzada representa la duración del proyecto, haremos la combinación de que se trata también de la terminación más remota.

Como hemos anotado, por respeto a la combinación, la cantidad calculada la repetimos del lado izquierdo apareciendo en este evento dos cantidades iguales  $I_p = T_r$ . Por lo tanto en este momento hemos determinado el tiempo que habrá de consumirse en la ejecución de la obra.

El paso siguiente en la determinación de las terminaciones más remotas de cada actividad, las que se determinan res-

tando a los eventos finales de cada una duraciones calculadas -  
procediendo a la inversa de como se explica para el cálculo de  
las iniciaciones próximas. Se recomienda tener cuidado en a-  
quellos eventos finales en los que concurren varias actividades,  
para que después del análisis de todas las posibilidades se asig-  
ne la cantidad menor que sea posible.

Para estimar el tiempo que puede durar una actividad ne-  
cesitamos conocer los rendimientos de maquinarias, hombres, -  
etc. Y es función del volumen de obra por ejecutar y de las --  
condiciones en que se va a ejecutar la obra; depende también del  
método constructivo que se vaya a utilizar.

Al sumar las duraciones de todas las actividades encon-  
traremos la duración total del proyecto y veremos qué activida-  
des pueden retrasarse sin que afecte a la duración total del pro-  
yecto y cuáles son las actividades críticas. Las actividades que  
al retrasarse no afectan a la duración total del proyecto se dice  
que tienen holgura, en cambio las actividades críticas no tienen  
holgura y en consecuencia no deben retrasarse pues afectaría -  
la culminación de la obra.

En el diagrama siguiente podremos apreciar qué actividades son críticas:

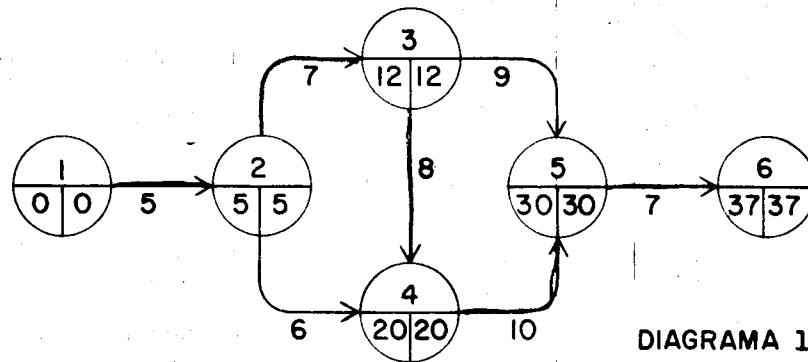


DIAGRAMA 1

Son dos las condiciones que nos determinan si una actividad es crítica :

1. - Los dos valores del evento inicial y del final de una actividad deben ser idénticos tanto en el evento inicial como en el final de la actividad.
2. - La diferencia entre  $Tr - Ip$  debe ser igual a la duración de la actividad.

Todas las actividades del diagrama tienen tanto en su evento inicial como en el final los dos valores repetidos, por lo tanto, cumplen con la primera condición y es necesario analizar si todas cumplen también con la segunda:

La actividad 1-2 tiene una duración de 5 días y si obtenemos la diferencia entre los dos eventos vemos que 5 menos cero es igual a 5, que es igual a la duración, por lo tanto la actividad 1-2 es CRITICA.

En la actividad 2-3,  $12 - 7 = 5$  y  $12 - 5 = 7$ , así que la actividad 2-3 también es CRITICA.

La actividad 2-4 con una duración igual a 6 tiene una diferencia de  $20 - 5 = 15$ : Es diferente a la duración, por lo tanto, ésta actividad no es crítica.

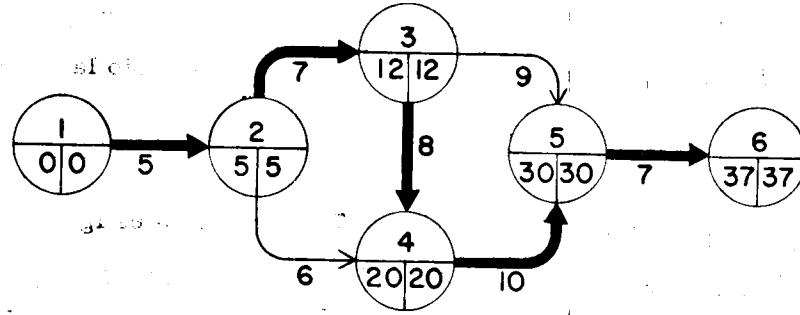
La actividad 3-4 tiene una diferencia de 8 que es igual a su duración. La actividad es CRITICA.

En la actividad 3-5, la duración es de 9 días y  $30 - 12 = 18$  es igual a 18, que es diferente a la duración, por lo que no es actividad crítica.

La actividad 4-5 con una duración de 10 días y una diferencia de  $30 - 20 = 10$  que es igual a la duración también es una actividad CRITICA.

La actividad 5-6 con 7 días de duración y una diferencia de  $37 - 30 = 7$  también es CRITICA.

Todo éste conjunto de actividades críticas constituyen la RUTA CRITICA, que al indicarla en el diagrama nos quedaría :



Ruta crítica : →

De éste diagrama conocemos los Ip y los Tr :

Actividad	duración	Ip	Tr
1-2	5	0	5
2-3	7	5	12
2-4	6	5	20
3-4	8	12	20
3-5	9	12	30
4-5	10	20	30
5-6	7	30	37

Ir y Tp se calculan con las siguientes fórmulas:

$$I_r = T_r - d$$

$$T_p = I_p + d$$

Las actividades no críticas tienen varios tipos de hol-  
guras; las principales son la holgura total y la holgura libre.

**HOLGURA TOTAL:** Es el tiempo que puede desplazarse una ac-  
tividad sin que se modifique la duración del  
proyecto.

**HOLGURA LIBRE:** Es el tiempo que puede desplazarse una acti-  
vidad sin modificar la fecha de iniciación --  
más próxima de las actividades que en cade-  
na le siguen.

La Holgura total se calcula con la diferencia de los --  
tiempos remotos menos los tiempos próximos :

$$H_T = Tr - Tp = Ir - Ip$$

La Holgura libre se calcula directamente del diagrama  
de flechas con la siguiente fórmula :

$$H_L = Tp - Ip - d$$

Las actividades críticas no tienen holguras y en conse-  
cuencia, hay que ponerles mucha atención ya que retrasándose --  
una de ellas, como no tienen holgura, retrasa todo el proyecto.



Nuestra tabla de holguras quedaría:

Actividad	duración	del diagrama Ip	Ir=Tr-d	Tp=Ip+d	del diagrama Tr	H <sub>t</sub> =Tr-Tp	del diagrama H <sub>L</sub> =Tp-Ip-d
1-2	5	0	0	5	5	0	5-0-5 = 0
2-3	7	5	5	12	12	0	12-5-7 = 0
2-4	6	5	14	11	20	9	20-5-6 = 9
3-4	8	12	12	20	20	0	20-12-8 = 0
3-5	9	12	21	21	30	9	30-12-9 = 9
4-5	10	20	20	30	30	0	30-20-10=0
5-6	7	30	30	37	37	0	37-30-7 =0

Calcule la tabla de holguras para el ejemplo del

Capítulo II.

## CAPITULO IV

### DIAGRAMA DE BARRAS

El diagrama de barras o diagrama de Gantt es una representación gráfica del tiempo que se ha estimado para las principales actividades del proyecto a ejecutar y con el cual se podrá llevar un control de obra que es muy importante en la fase constructiva. Este diagrama se deriva de la red de actividades.

El diagrama se forma como sigue :

- a) Para las actividades que hemos seleccionado como conceptos del programa, habrá una barra que a cierta escala, representa el tiempo de ejecución de cada una de ellas.
- b) Se convierte la escala de tiempos efectivos en una escala de días de calendario, haciendo coincidir el origen de la escala con la fecha de iniciación del proceso. Se ajustan enseguida las posiciones de las barras que representan a las actividades teniendo en cuenta los días no laborables (días de descanso y días festivos).
- c) Todas aquellas actividades que poseen holgura deben también representarla en el diagrama.

Los datos para construcción del diagrama de barras, son fundamentalmente las  $I_p$ , la duración y la holgura; de tal manera que si dibujamos para cada actividad una barra, iniciándola en la fecha correspondiente a un  $I_p$ , y prolongándola, a la escala debida por toda su duración, habremos logrado un programa en el que no se han usado las holguras.

El paso siguiente consiste en el análisis del programa obtenido desde el punto de vista de recursos.

- a) Maquinaria, obra de mano, suministro de materiales.
- b) Costos de obra.

Si anotamos para cada período de tiempo, sobre la barra el costo correspondiente al volumen de obra ejecutado, obtenemos el importe de obra en ese lapso de tiempo, también con este sistema podemos obtener las cantidades de dinero necesarias para ese avance de obra; si la distribución general de la obra no nos es conveniente, podemos hacer uso de las holguras hasta obtener una distribución lo más adecuada posible. En la misma forma debe revisarse el programa, con datos tales como distribución del personal, de la maquinaria, etc.

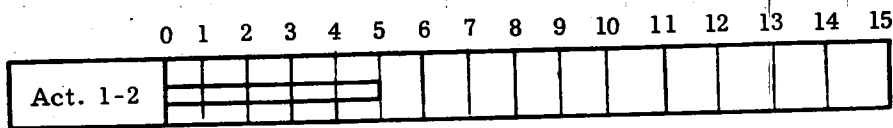
Si la distribución obtenida no nos conviene, haremos uso de

las holguras, en forma total o parcial.

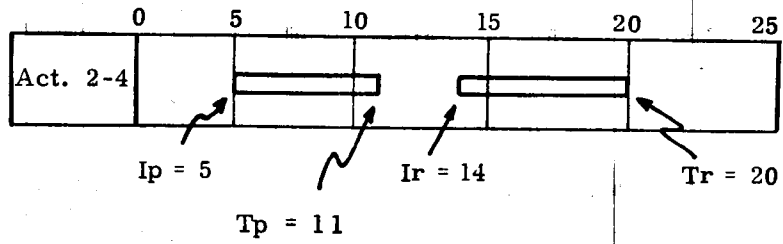
Es importante hacer notar que si desplazamos una actividad en la totalidad de la holgura, puede suceder que toda la cadena se convierta en crítica.

Para el caso que venimos analizando, se ha procedido de la siguiente manera.

Si vemos la actividad 1-2 del diagrama 1 en donde  $I_p = I_r = 0$  y  $T_p = T_r = 5$  quedaría representado en el diagrama de barras de la siguiente forma :



La actividad 2-4 del mismo diagrama es una actividad con holgura. Puede iniciarse cuando  $I_p = 5$  y terminarse cuando  $T_p = 11$ , ya que la duración de ésta actividad es de 6 días. Puede iniciarse también cuando  $I_r = 14$  y terminarse cuando  $T_r = 20$ . Se representa en el diagrama de la siguiente manera :



Por lo tanto, el diagrama de barras para el diagrama -  
1 sería .

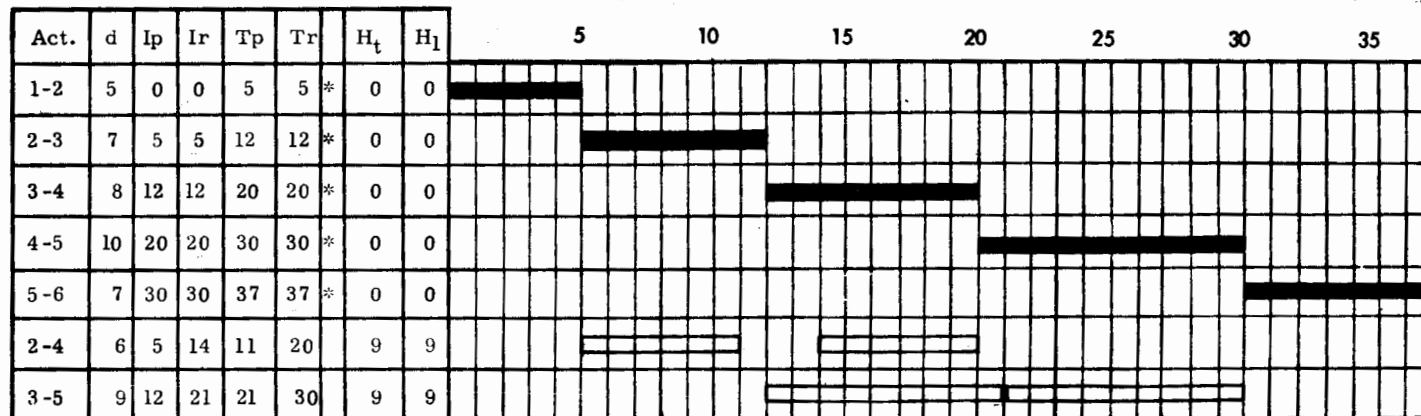
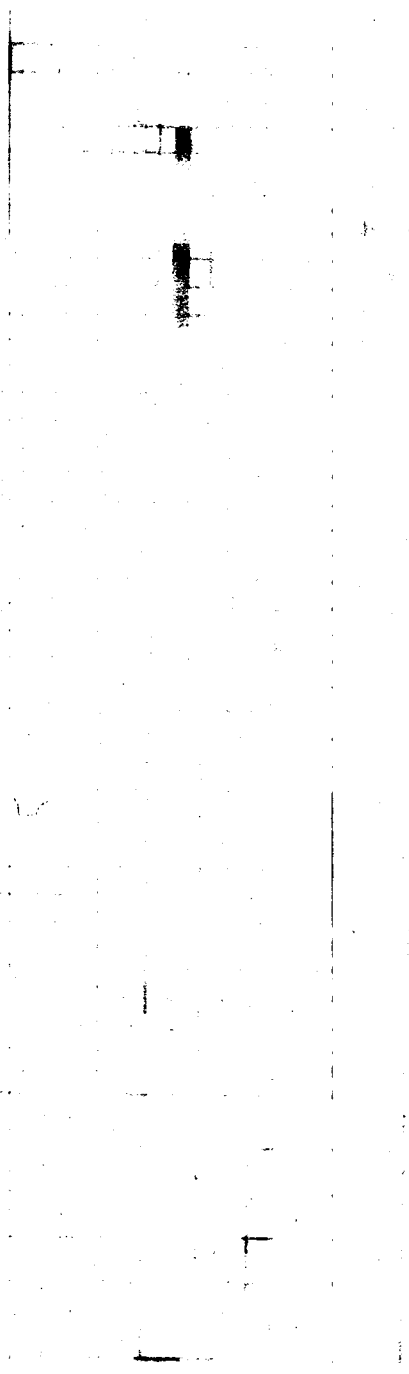


DIAGRAMA DE BARRAS O DE GANTT

Para el ejemplo del Capítulo II determine el diagrama de barras.





## CAPITULO V

### COMPRESION DE REDES

La compresión de redes es el proceso de acortar el tiempo de duración de un proyecto, determinado por el método de la ruta crítica.

El costo directo se forma de la suma de los costos de materiales, mano de obra y de maquinaria y el costo indirecto es una función directa del tiempo de duración del proyecto.

Cuando la duración de un proyecto se acorta, el costo aumenta, si la parte del costo asociada a los recursos aumenta más que lo que se disminuye la asociada con el tiempo. Si la duración del proyecto aumenta, también puede ocurrir que el costo aumente, si la parte del costo asociada con el tiempo crece más que lo que se disminuye la parte asociada a los recursos. También, -- cuando el control del proyecto es deficiente pueden aumentarse -- los costos considerablemente por efecto de recursos que no se utilizan adecuadamente.

Cuando una actividad se ejecuta en un tiempo normal, se dice que dicha actividad tuvo una duración normal. En cambio, cuando la duración de una actividad se acorta hasta su duración límite, se

dice que esa actividad tiene una duración de premura.

La duración de premura se obtiene de igual manera que la duración normal, o sea, volumen/rendimiento, pero con la utilización de un mayor número de recursos que aunque aumentan la producción, el rendimiento de cada máquina o el del personal, disminuye, por lo que aumenta el costo.

El gasto que nos cuesta reducir una actividad por cada unidad de tiempo, una vez conocidas las duraciones y costos normales y de premura, se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{Costo por unidad de tiempo acortada} = \frac{\text{Costo de premura} - \text{Costo normal}}{\text{Duración normal} - \text{duración de premura}}$$

#### Procedimiento para la compresión

Las compresiones las haremos directamente en nuestra red o diagrama, y si queremos acortar nuestro proyecto en un día o más, lo haremos en la ruta crítica y dentro de ésta escogeremos la actividad de menor costo por día acortado.

Para reducir el proceso se escogen actividades de la ruta crítica debido a que no tienen holgura y cualquier reducción de tiempo en alguna de esas actividades se refleja en la duración total del proyecto.

Hay que tener cuidado de que al comprimir una actividad no vaya a desaparecer la ruta crítica original. En el proceso de compresión pueden producirse varias rutas críticas.

Si queremos acortar más tiempo el proyecto y ya tenemos la ruta crítica original y otra más formada por la última compresión, la siguiente reducción deberá hacerse simultáneamente y por el mismo número de días en actividades de ambas rutas críticas.

Una actividad no se puede acortar más allá de su duración límite o de premura.

Al comprimir una actividad, el nuevo costo del proyecto se determina:

$$\text{COSTO } n = \text{COSTO } n-1 + \text{COSTO } / \text{día } n \times \text{No. días acortados}$$

Antes

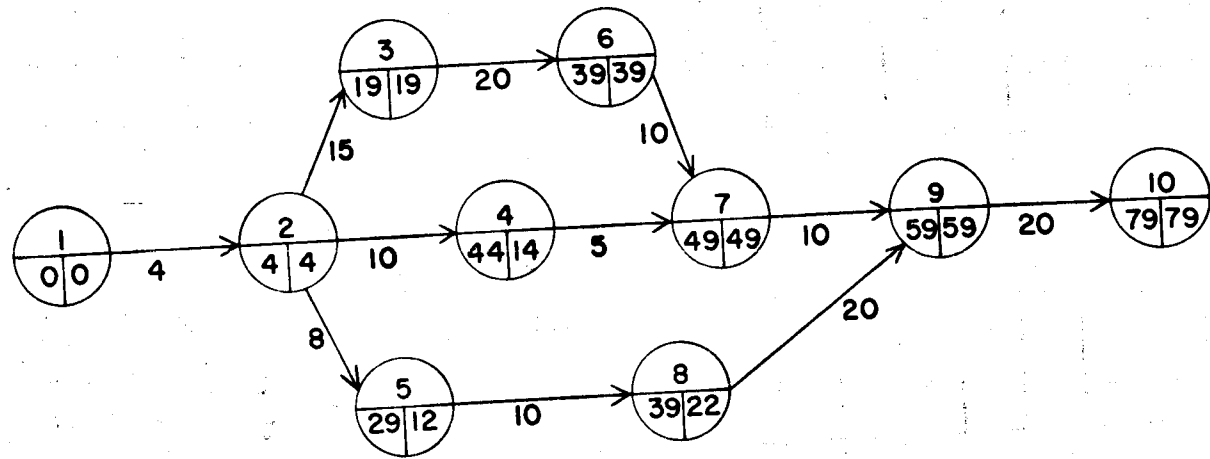
Cuando se desea realizar un proceso productivo en el menor tiempo posible, es común efectuar todas las actividades del proceso en el menor tiempo posible, es decir, en condiciones límites. Esta manera de proceder conduce a un incremento innecesario del costo del proceso; pues como se ha visto deben acelerarse las actividades que producen acortamientos de tiempo. Hay actividades que no es útil acortar pero que de hacerlo incrementan el costo.

En base a lo anterior, podemos decir lo siguiente :

- a) La duración mínima de un proceso productivo, resulta cuando todas las actividades en la o las RUTA (S) CRITICA (S) tienen duraciones de premura.
- b) Existe una infinidad de combinaciones de las duraciones de -- las actividades de un proceso, para las cuales la duración de éste es la mínima.
- c) El costo máximo de ejecución de un proceso cuando la duración de éste es la mínima, resulta de efectuar todas las actividades en condiciones límites de premura.
- d) Las duraciones posibles de proceso se encuentran entre la - duración mínima y la duración normal.

Para la explicación del proceso, proponemos el siguiente ejemplo. Supongamos que tenemos un proyecto representado por el siguiente diagrama :

### DIAGRAMA DE FLECHAS



dades críticas que salga más bajo su costo por acortar un día, por ejemplo la actividad 6-7.

Si acortamos la actividad 6-7 en un día nuestro costo aumentaría :

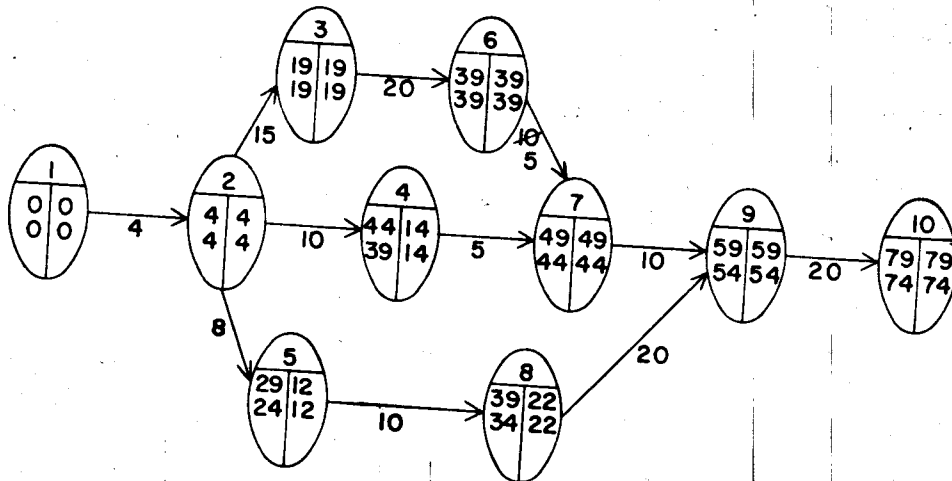
$$C = 850.00 + 4.00 \times 1 = \$ 854.00$$

la. compresión. - Si la actividad 6-7 la acortamos a su límite, o sea, cinco días :

$$\text{Costo del proyecto} = 850.00 + 4.00 \times 5 = \$ 870.00$$

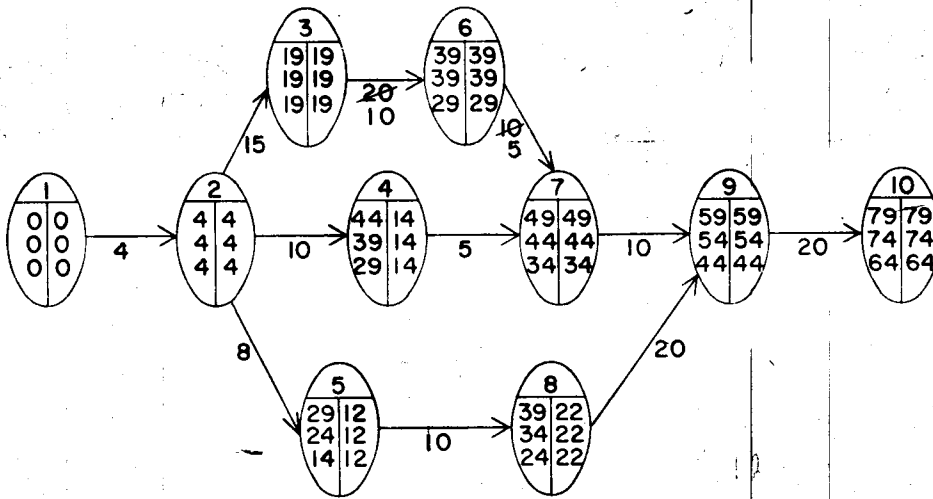
Esta actividad ya no podemos acortarla más pues ya llegó a su duración de premura.

La compresión la representaremos en el diagrama de flechas de la siguiente manera :

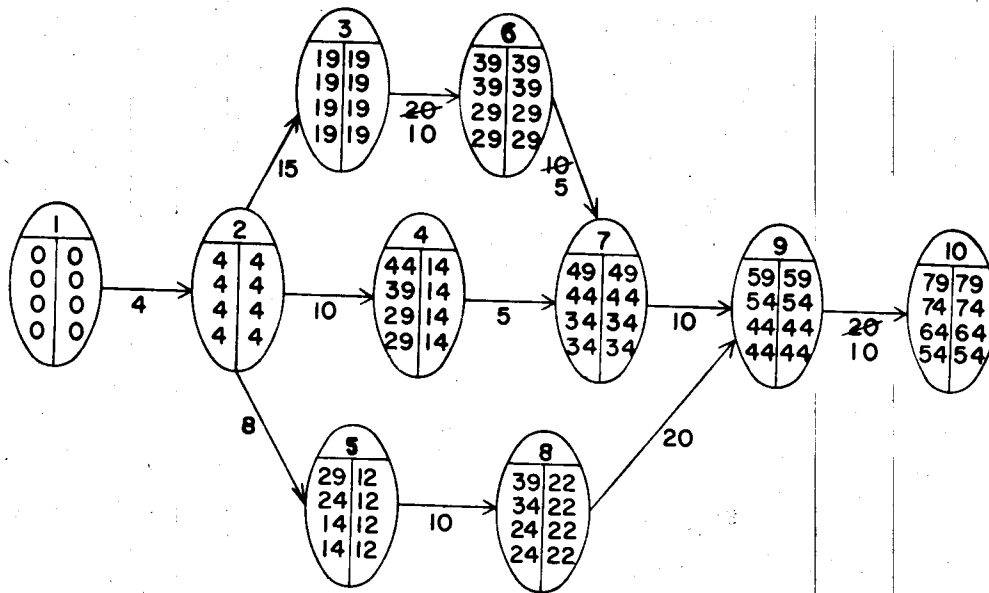


2da. compresión. - La actividad 3-6 puede reducirse 10 días.

El diagrama quedaría :



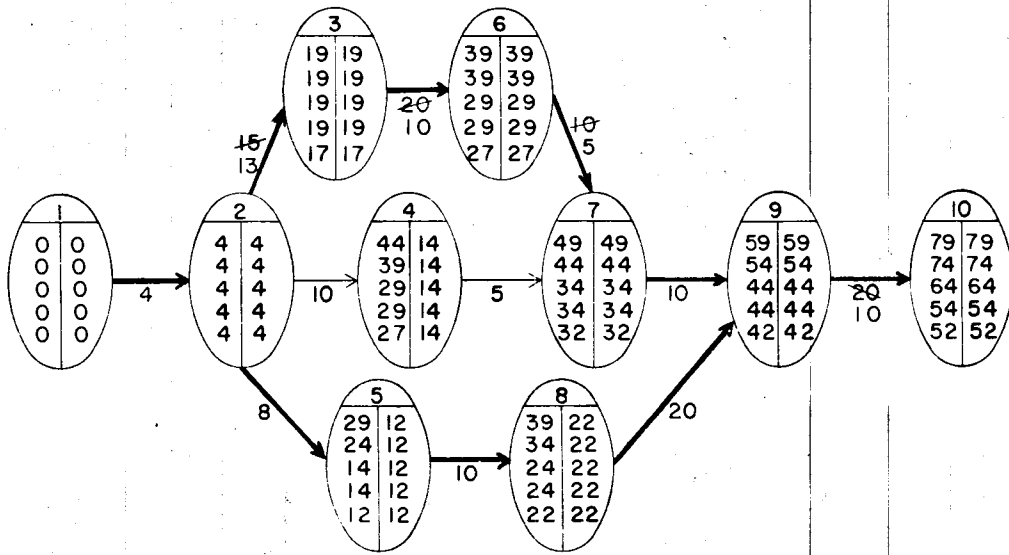
3era. compresión. - Hemos conseguido la duración de premura de las actividades críticas 6-7 y 3-6. Ahora tenemos, que hay otras dos actividades críticas cuyo costo por día acortado es el más bajo de las actividades críticas que quedan, y escogeremos la actividad 9-10 ya que si comprimimos la 2-3 en 5 días se afectaría la ruta crítica original y tendríamos otra; por lo tanto comprimiremos la 9-10 en 10 días:



4ta. compresión. - Comprimiremos la actividad 2-3 en 2 días para no alterar la ruta crítica original.

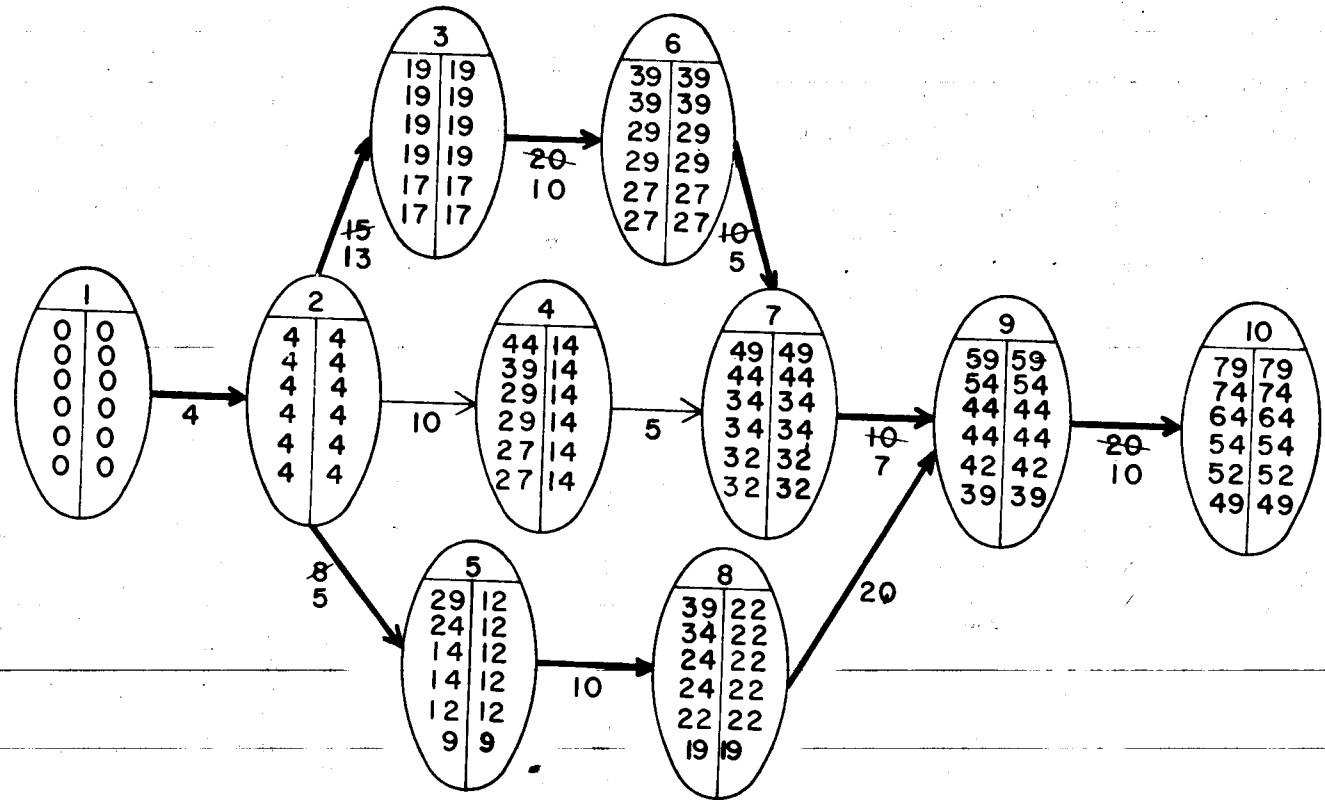
En esta compresión no se afecta la ruta crítica original, pero se forma otra en la cadena 1-2-5-8-9-10, como podremos ver en el diagrama:





5ta. compresión. - Nos faltan 3 días para reducir nuestro proyecto en los 30 días que acordamos con el cliente. La actividad 7-9 la podemos comprimir en esos 3 días pero como ya tenemos otra ruta crítica, debemos reducir también en 3 días alguna actividad de ella para no alterar ninguna de las dos.

Por lo tanto, comprimiremos simultáneamente las actividades 7-9 y 2-5 en tres días. En esta compresión la actividad 2-5 quedará totalmente comprimida. El diagrama nos quedaría :



Por lo tanto, con cinco compresiones llegamos al tiempo que necesitábamos. La compresión de la red se ha terminado, según se ha pedido, y el diagrama final que ha quedado es :

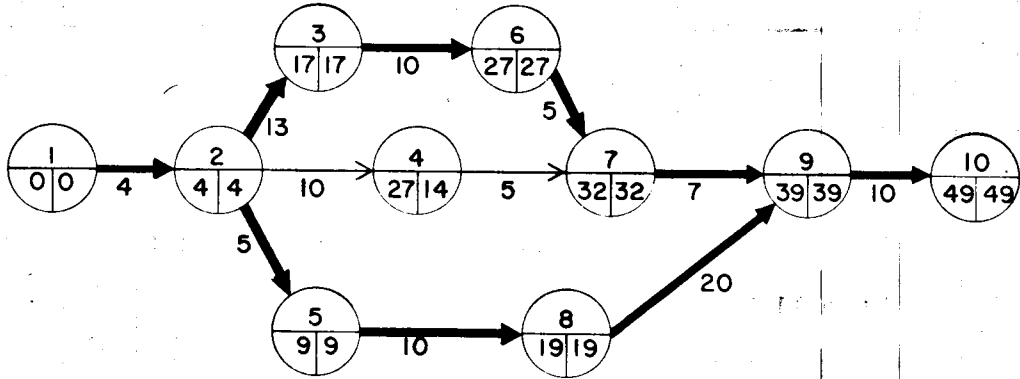


TABLA DE COMPRESIONES

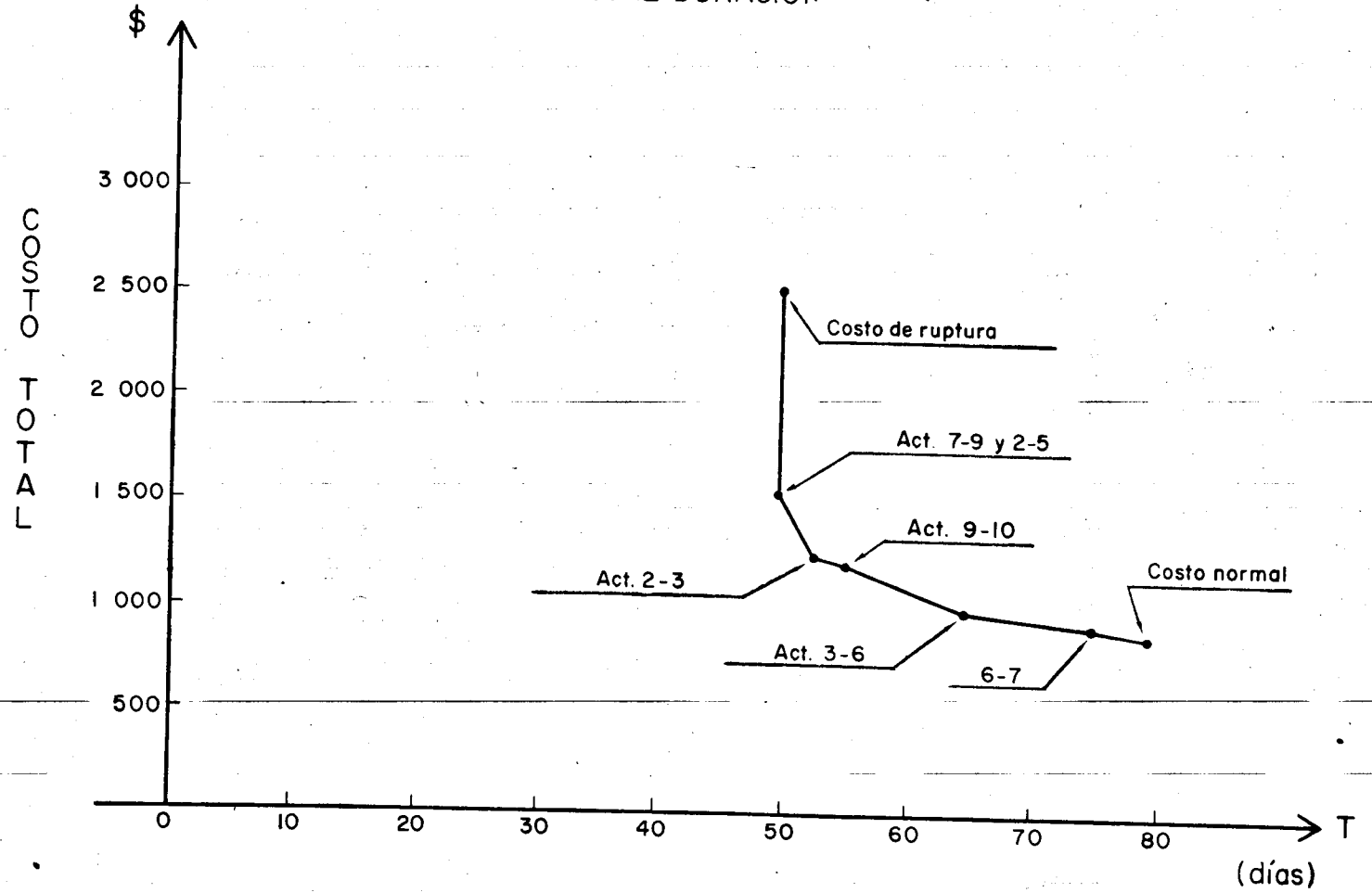
Actividades	Compresiones	Operaciones	Costo Total	Duración acortada
6-7	1a. 5 días	$850+4 \times 5$	870	$79-5 = 74$
3-6	2a. 10 días	$870+12 \times 10$	990	$74-10 = 64$
9-10	3a. 10 días	$990+20 \times 10$	1190	$64-10 = 54$
2-3	4a. 2 días	$1190+20 \times 2$	1230	$54-2 = 52$
7-9 y 2-5	5a. 3 días	$1230+80 \times 3+20 \times 3$	1530	$52-3 = 49$

Para una duración de 49 días, obtenemos por medio de la compresión de redes un aumento en el costo de \$ 850.00 -- hasta \$ 1,530.00

COSTO DE PREMURA = \$ 1,530.00

A este costo también se le llama costo de ruptura, -- porque aunque siguiéramos acortando la duración de otras actividades, aumentaríamos el costo sin lograr reducciones en el tiempo.

# COSTO TOTAL-DURACION



## CAPITULO VI

### ASIGNACION DE RECURSOS

Otra de las ventajas que se ofrece a quien utilice el método de camino crítico para administrar un proyecto, consiste en que permite "nivelar" los requerimientos de recursos a lo largo del mismo.

Pueden darse diversos usos al diagrama de barras, dependiendo del parámetro usado: Inversiones, costo de obras, distribución y mejor utilización de la maquinaria, de personal, etc.

Los recursos requeridos para la ejecución de las actividades de un proyecto dependen de varios factores. Entre ellos pueden citarse los siguientes:

- a) Volúmen de obra por ejecutar.
- b) Duración del proyecto.
- c) Procedimiento de construcción seleccionado.
- d) Equipo seleccionado y su rendimiento previsto.
- e) Calidad del producto terminado.
- f) Condiciones locales: Clima, espacio para ejecutar la obra, restricciones locales, etc.

Entre otros que dependen de cada caso en particular.

Teniendo en cuenta a factores como los anteriores, fijada una duración y la forma de ejecutar las actividades, es posible elaborar una lista de los recursos necesarios, y determinar la cantidad requerida para cada uno de ellos. Esta se obtiene dividiendo la cantidad total del recurso en cuestión que se necesita en el tiempo que dura la actividad, entre el tiempo que dura dicha actividad.

Muchas veces, al estar haciendo la programación de las actividades de un proyecto y calcular los recursos que necesitan cada una de ellas, vemos que hay muchas fluctuaciones -- del número de recursos requeridos. Tratándose de la mano de obra, posiblemente se necesiten 30 hombres un día, 20 al otro día, 40 al tercero y así sucesivamente; esto no conviene -- pues el proyecto sería costoso e ineficaz a todas luces. El metodo del camino crítico, al permitir planear varias alternativas de operación, ofrece una solución práctica al problema de programar de manera uniforme los recursos requeridos para -- ejecutar un proyecto.

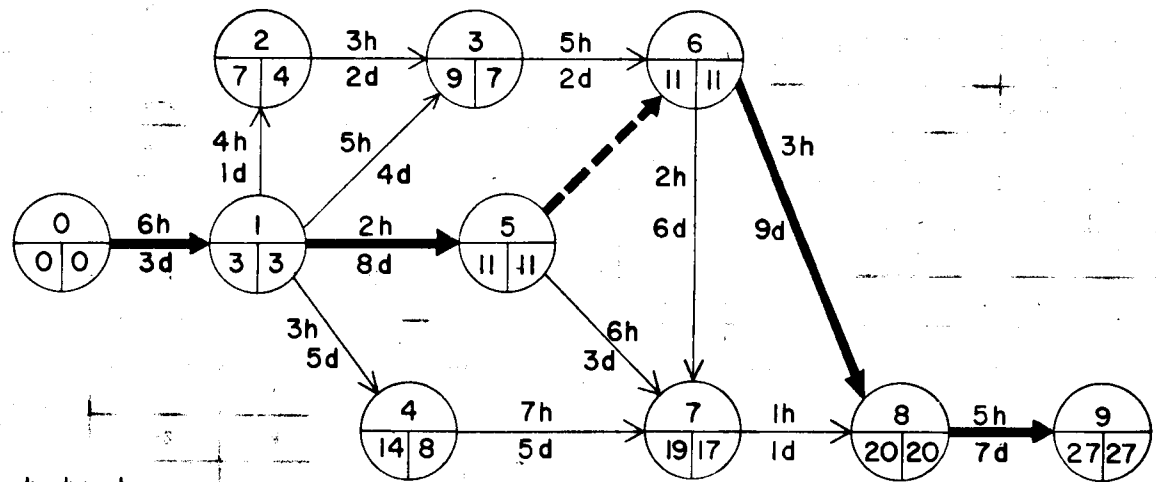
Para lograr una "nivelación" de recursos se parte del -- diagrama de barras obtenido, en el que no se ha hecho uso de --

las holguras, luego se estima el total de recursos requeridos para realizar cada actividad y su distribución a lo largo del tiempo. Estos datos se vacian en el diagrama de barras. Si obtenemos una distribución inconveniente, podemos intentar otras alternativas, para lo cual solamente podremos usar las actividades NO CRITICAS; el rango en el cual podrá moverse la actividad queda definido por su holgura total, quedando comprendido entre  $I_p$  e  $I_r$ , por lo tanto, habremos de definir una nueva  $I$  que habremos de llamar real ( $I_r$ ), la cual en algunos casos coincide con  $I_p$  o con  $I_r$ .

En esta etapa se debe cuidar de la observación de la holgura libre; Cuando en una cadena se absorbe para cualquier actividad la  $H_1$ , las actividades subsecuentes ya no tienen holgura y esta se verá disminuida en la cantidad de  $H_1$  que se haya usado.

Veamos un ejemplo de distribución de recursos humanos. Suponiendo que tenemos un proyecto representado por el siguiente diagrama :





h= hombres  
d= días

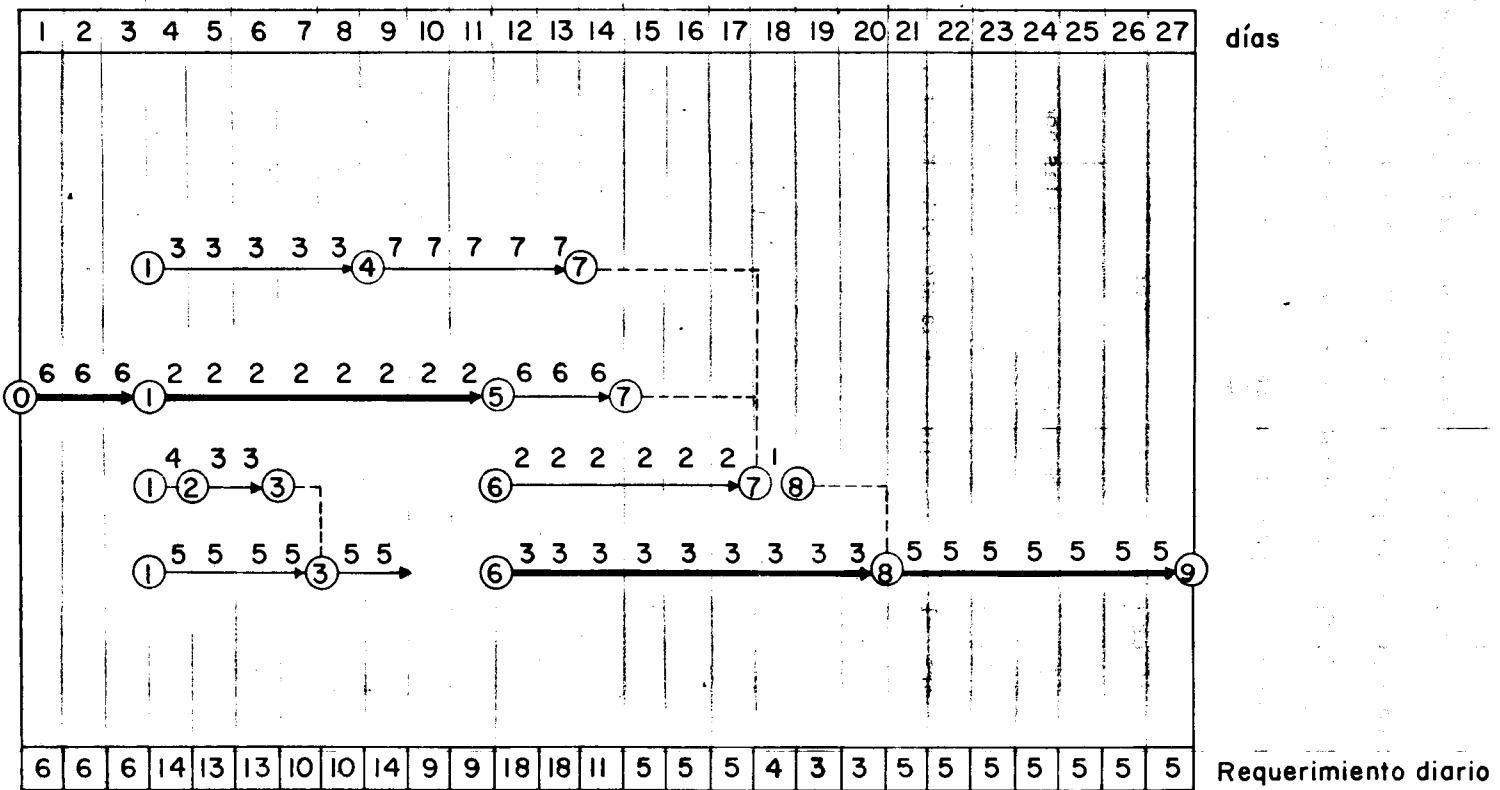
TABLA DE HOLGURAS

Actividad	Personal	Duración <i>días</i>	del diagrama			del diagrama		
			Ip	Ir=Tr-d	Tp=Ip+d	Tr	H <sub>t</sub>	H <sub>l</sub>
0-1	6	3	0	0	3	3	0	0
1-2	4	1	3	6	4	7	3	0
1-3	5	4	3	5	7	9	2	0
1-4	3	5	3	9	8	14	6	0
1-5	2	8	3	3	11	11	0	0
2-3	3	2	4	7	6	9	3	1
3-6	5	2	7	9	9	11	2	2
4-7	7	5	8	14	13	19	6	4
5-6	0	0	11	11	11	11	0	0
5-7	6	3	11	16	14	19	0	3
6-7	2	6	11	13	17	19	2	0
6-8	3	9	11	11	20	20	0	0
7-8	1	1	17	19	18	20	2	2
8-9	5	7	20	20	27	27	0	0

54

El diagrama de barras nos quedaría de la siguiente manera anotando el -

personal :

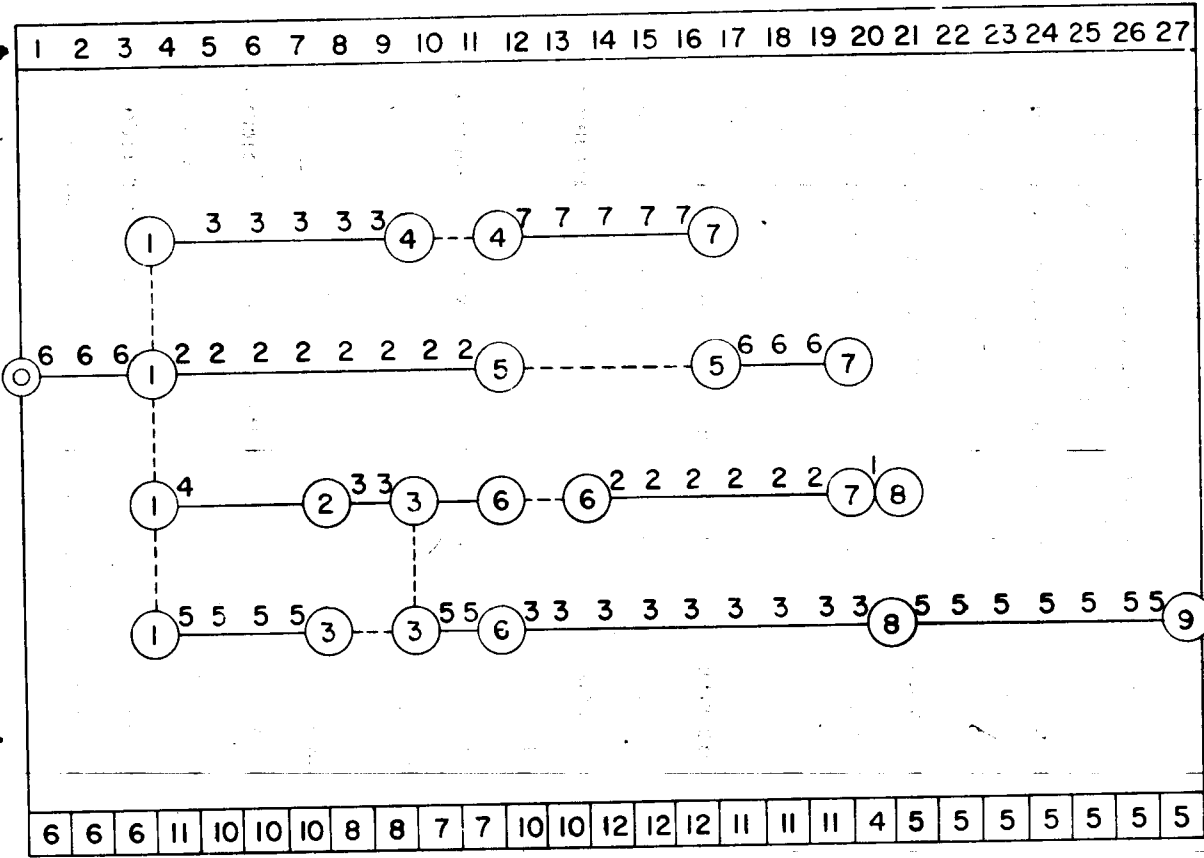


GRAFICA 1

El requerimiento diario de personal tiene muchas fluctuaciones, como puede verse en el diagrama de barras de la fig. 1. Si mantenemos la duración del proyecto de 27 días, podemos reprogramar las actividades no críticas aprovechando sus holguras, con el fin de reducir al mínimo las fluctuaciones en las necesidades de personal.

Después de haber investigado todas las oportunidades para reducir fluctuaciones en los requerimientos de mano de obra, el diagrama queda de la siguiente manera:

dias →



GRAFICA 2

En la gráfica 2, los requerimientos máximos de mano de obra han sido reducidos de 18 a 12, y la variación máxima diaria de personal se disminuyó de nueve a siete.

Cuando se quieren nivelar los requerimientos de mano de obra, se debe escoger qué es mejor, si disminuir lo más posible los requerimientos máximos de mano de obra o las fluctuaciones de personal. Es muy difícil poder lograr ambos objetivos en una misma programación.

La distribución de recursos materiales se hace en la misma forma utilizada para nivelar la mano de obra. Se estiman los recursos necesarios para realizar cada actividad y se aprovechan las holguras de las actividades no críticas, para reducir el máximo de recursos requeridos y las variaciones existentes durante el proyecto.

En la práctica, muchas veces existen condiciones externas que afectan directamente la mano de obra. Por ejemplo - cuando sólo existe un número limitado de personal disponible para una tarea, cuando el espacio es sumamente reducido y sólo unas cuantas personas pueden operar simultáneamente, o

bien cuando es un trabajo especializado que requiera de técnicos para llevarla a cabo. En estas situaciones en que el requerimiento diario de mano de obra queda fijado a un nivel específico, el único recurso abierto al director del proyecto consiste en alargar su duración para permitir que sea realizado dentro de las limitaciones de la mano de obra.

## E J E M P L O

Para poder comprender de una manera más clara el método de la ruta crítica, ilustraremos ésta tesis con un ejemplo.

El ejemplo que presento a continuación, es la programación de la construcción del Aeropuerto de Tapachula, Chiapas, el cual acaba de iniciarse.

El proyecto incluye un edificio terminal para manejo de pasajeros, un edificio de rescate y extinción de incendios, un edificio técnico que aloja la subestación principal y plantas de emergencia y la torre de control. Habrá un camino de acceso localizado en el kilómetro 16 aproximadamente de la carretera Tapachula - Puerto Madero. Lógicamente se construirá una plataforma de operaciones, una pista con orientación 05-23, un estacionamiento para vehículos y la zona de combustibles. Es muy importante también la instalación del sistema de iluminación de pista, rodajes y plataforma, VASI y VOR.

Es importante para efectos de programación, considerar que el Aeropuerto constituye un sistema, y que todas sus partes enunciadas se integran consistiendo cada una en un subsistema. Por lo tanto, la construcción de cada componente de la obra, no es independiente, pues para poder ejecutarse, deberán haberse llevado a cabo obras de las demás partes y así ir integrando un todo, que es en éste caso el Aeropuerto. Desde el punto de vista



del funcionamiento, las partes aisladas carecen de utilidad y solamente cuando han sido debidamente incorporadas al sistema Aeropuerto prestarán el servicio para el que fueron concebidas. Esto se tomará en cuenta para efectos de fechas de terminación, lográndose con este programa una ejecución armónica.

Analizando las partes que en conjunto formarán el Aeropuerto, podremos determinar todas las actividades que se necesitan para poder llevar a cabo el proyecto, considerando el volumen de obra para estimar el tiempo de cada una de las actividades, basándonos en los recursos con que contamos y el método constructivo que se vaya a utilizar.

Todas las actividades que se requieren para llevar a cabo el proyecto, pueden quedar involucradas dentro de las siguientes actividades principales:

1. - Acceso provisional al Aeropuerto.
2. - Terracerías para edificios y estacionamiento.
3. - Construcción de terracerías y pavimentación, hasta base hidráulica en plataforma de operaciones y terracerías en líneas de conducción.
4. - Concurso acceso y zona de combustibles.
5. - Terracerías y avance hasta base hidráulica en acotamientos. Terracerías para VASI y VOR.

6. - Concurso, pedido, adquisiciones y suministro para luces, VASI, etc.
7. - Asignación contratistas y adquisición para VOR.
8. - Introducción de energía eléctrica al Aeropuerto.
9. - Construcción de edificios terminal y de rescate.
10. - Construcción de terracerías faltantes y pavimentación del camino de acceso al Aeropuerto.
11. - Construcción del edificio técnico y de la torre - control.
12. - Ductos y registros en contorno de los edificios.
13. - Ductos y registros estacionamiento y liga vial.
14. - Construcción de hidrantes y registros en plataforma con sus instalaciones y línea de conducción.
15. - Construcción zona de combustibles.
16. - Zanjas, cableado, cable de control, etc.
17. - Cableado y relleno de zanja.
18. - Faltante de terracerías y pavimentación en Aeropuerto.
19. - Instalación sub-estación pistas y cableado de la - torre.
20. - Instalación sistema VOR.
21. - Período de pruebas E. eléctrica.

22. - Pavimentación contorno edificio.
23. - Pavimentación estacionamiento y liga vial.
24. - Construcción de pavimento faltante en plataforma.
25. - Pavimentación en zona de combustibles.
26. - Carpeta en acotamientos.
27. - Colocación de luces.
28. - Pruebas en instalaciones en edificios con total de Aeropuerto.
29. - Instalaciones en estacionamiento y liga vial.
30. - Pruebas en las instalaciones para combustibles.
31. - Pruebas en sistemas de luces, VASI, VOR, etc. de conjunto.

Hay varias actividades que por su volumen de obra se pueden dividir en 2 etapas, ya que al llevar un cierto porcentaje en alguna de esas actividades, pueden iniciarse otras. Como por ejemplo: Los edificios terminal y de rescate, el edificio técnico, la torre de control y la zona de combustibles.

Por lo tanto, el listado final de actividades quedaría:

1. - Acceso provisional al Aeropuerto.
2. - Terracerías para edificios y estacionamiento
3. - Construcción de terracerías y pavimentación hasta base hidráulica en plataforma de operaciones y -- terracerías en líneas de conducción.
4. - Concurso acceso y zona de combustibles.
5. - Terracerías y avance hasta base hidráulica en aco tamientos terracerías para VASI y VOR.
6. - Concurso, pedido, adquisiciones y suministro para luces, VASI, etc.
7. - Asignación contratistas y adquisición para VOR.
8. - Introducción de energía eléctrica al Aeropuerto.
9. - Construcción 80% de edificio terminal y de rescate.
10. - Construcción de terracerías faltantes y pavimentación del camino de acceso al Aeropuerto.
11. - Construcción del 80% del edificio técnico y torre de control.
12. - Ductos y registros en contorno de los edificios.
13. - Ductos y registros estacionamiento y liga vial.
14. - Construcción de hidrantes y registros en plataforma con sus instalaciones y línea de conducción.
15. - 50% de construcción zona de combustibles.
16. - Zanjas, cableado, cable de control, etc.
17. - Cableado y relleno de zanja.

18. - Faltante de terracerías y pavimentación en -  
Aeropuerto
19. - Instalación sub-estación pistas y cableado de  
la torre.
20. - Instalación sistema VOR
21. - Período de pruebas E. eléctrica.
22. - 20% faltante de edificio terminal y rescate
23. - Construcción 20% faltante de edificio técnico y  
torre de control.
24. - Pavimentación contorno edificio
25. - Pavimentación estacionamiento y liga vial.
26. - Construcción de pavimento faltante en plataforma  
de operaciones.
27. - 50% faltante en zona de combustibles
28. - Pavimentación en zona de combustibles
29. - Carpeta en acotamientos
30. - Colocación de luces
31. - Pruebas en instalaciones en edificios con total  
de Aeropuerto.
32. - Instalaciones en estacionamiento y liga vial.
33. - Pruebas en las instalaciones para combusti-  
bles.
34. - Pruebas en sistemas de luces, VASI, VOR, etc.  
de conjunto.

Basándonos en los volúmenes de obra que daremos a conocer más adelante y en los rendimientos de los recursos humanos y materiales se determinaron los tiempos para cada una de las actividades, los cuales están anotados en el diagrama de flechas.

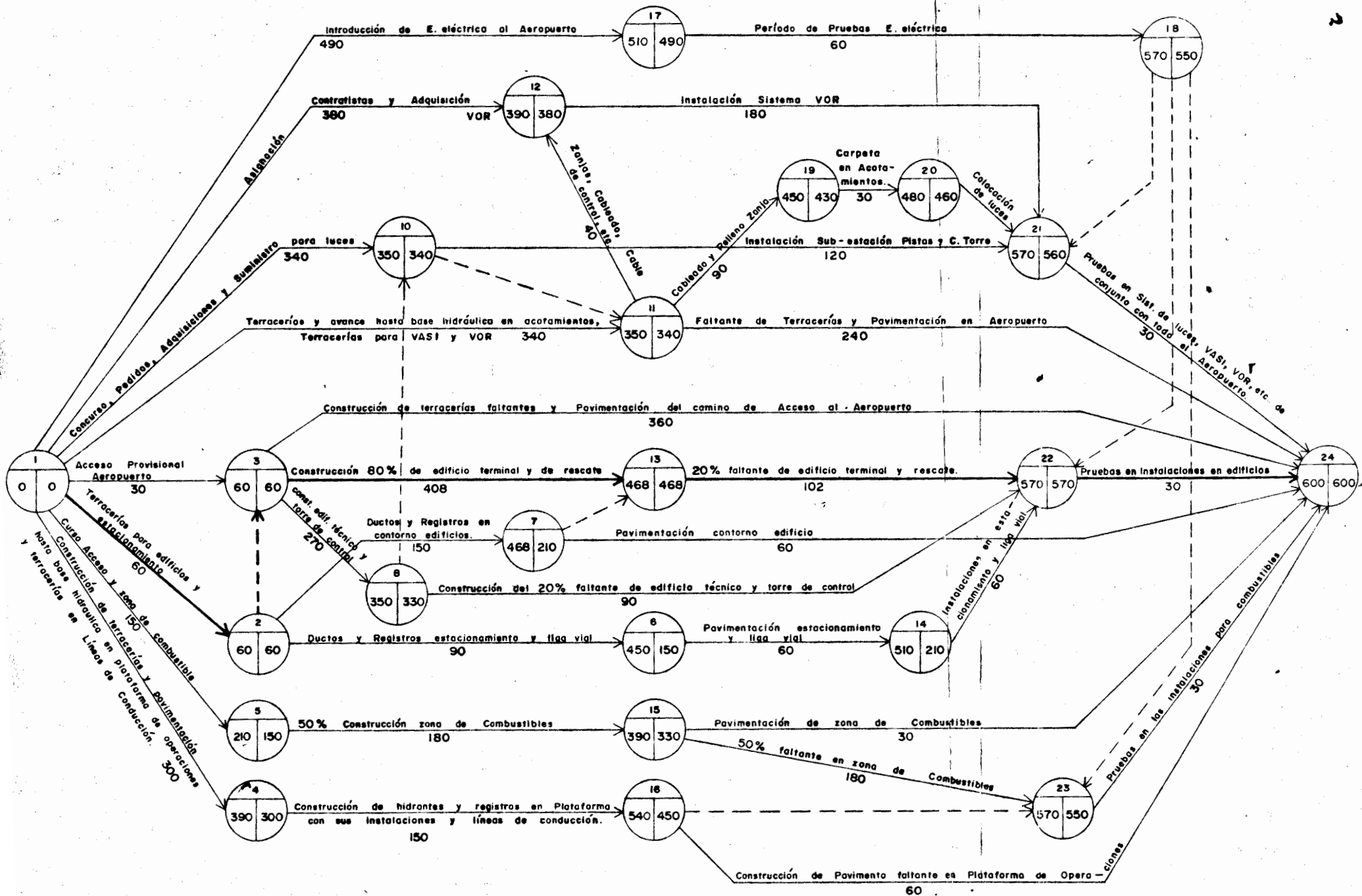
La dependencia de las actividades la presento a continuación:

NOMENCLATURA	NOMBRE DE LAS ACTIVIDADES	DEPENDENCIAS
1	Acceso provisional al Aeropuerto	No depende de nada
2	Terracerías para edificios y estacionamientos	No depende de nada
3	Construcción de terracerías y pavimentación hasta base hidráulica en plataforma de operaciones y terracerías en líneas de -- conducción.	No depende de nada
4	Concurso de acceso y zona de combustibles	No depende de nada
5	Terracerías y avance hasta base hidráulica en acotamientos. - Terracerías para VASI Y VOR.	No depende de nada
6	Concurso, pedido, adquisiciones y suministro para luces, VASI, etc.	No depende de nada
7	Asignación contratistas y adquisición para VOR	No depende de nada
8	Introducción de energía eléctrica al Aeropuerto	No depende de nada
9	Construcción 80% de edificio terminal y de rescate	Depende de 1
10	Construcción de terracerías faltantes y pavimentación del camino de acceso al Aeropuerto.	Depende de 1
11	Construcción del 80% del edificio técnico y torre de control.	Depende de 1

NOMENCLATURA	NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	DEPENDENCIAS
12	Ductos y registros en contorno de los edificios	Depende de 2
13	Ductos y registros estacionamiento y liga vial.	Depende de 2
14	Construcción de hidrantes y registros en plataforma con sus instalaciones y línea de conducción.	Depende de 3
15	50% de construcción zona de combustibles	Depende de 4
16	Zanjas, cableado, cable de control, etc.	Depende de 5
17	Cableado y relleno de zanja	Depende de 5
18	Faltante de terracerías y pavimentación en Aeropuerto	Depende de 5
19	Instalación sub-estación pistas y C. torre	Depende de 6
20	Instalación sistema VOR	Depende de 7
21	Período de pruebas E. eléctrica	Depende de 8
22	20% faltante de edificio terminal y rescate	Depende de 9
23	Construcción 20% faltante de edificio técnico y torre de control	Depende de 11
24	Pavimentación contorno edificio	Depende de 12



NOMENCLATURA	NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	DEPENDENCIAS
25	Pavimentación estacionamiento y liga vial	Depende de 13
26	Construcción de pavimento faltante en plataforma de operaciones	Depende de 14
27	50% faltante en zona de combustibles	Depende de 15
28	Pavimentación en zona de combustibles	Depende de 15
29	Carpeta en acotamientos	Depende de 17
30	Colocación de luces	Depende de 29
31	Pruebas en instalaciones en edificios con total de Aeropuerto	Depende de 22
32	Instalaciones en estacionamiento y liga vial	Depende de 25
33	Pruebas en las instalaciones para combustibles	Depende de 14 y 27
34	Pruebas en sistemas de luces, VASI, VOR, etc. de conjunto	Depende de 21, 20, 30 y 19



Ruta Crítica →

DIAGRAMA DE FLECHAS

**TABLA DE HOLGURAS**

ACTIVIDAD	DURACION	$l_p$	$l_R = T_R - d$	$T_p = l_p + d$	$T_R$	$H_T = T_R - T_p$	$H_l = T_p - l_p - d$
1-3	30 días	0	30	30	60	30	30
1-2	60	0	60	60	60	0	0
1-5	150	0	60	150	210	60	0
1-4	300	0	90	300	390	90	0
1-11	340	0	10	340	350	10	0
1-10	340	0	10	340	350	10	0
1-12	380	0	10	380	390	10	0
1-17	490	0	20	490	510	20	0
3-8	270	60	80	330	350	20	0
3-13	408	60	60	468	468	0	0
3-24	360	60	240	420	600	180	180
2-3	0	60	60	60	60	—	—
2-7	150	60	318	210	468	258	0
2-6	90	60	360	150	450	300	0
5-15	180	150	210	330	390	60	0
4-16	150	300	390	450	540	90	0
11-12	40	340	350	380	390	10	0
11-19	90	340	360	430	450	20	0
11-24	240	340	360	580	600	20	20
10-11	0	340	350	340	350	—	—
10-21	120	340	450	460	570	110	100
12-21	180	380	390	560	570	10	0
17-18	60	490	510	550	570	20	0
8-10	0	330	350	330	350	—	—
8-22	90	330	480	420	570	150	150
13-22	102	468	468	570	570	0	0
7-13	0	210	468	210	468	—	—
7-24	60	210	540	270	600	330	330
6-14	60	150	450	210	510	300	0
15-23	180	330	390	510	570	60	40
15-24	30	330	570	360	600	240	240
16-23	0	450	570	450	570	—	—
16-24	60	450	540	510	600	90	90
19-20	30	430	450	460	480	20	0
20-21	90	460	480	550	570	20	10
21-24	30	560	570	590	600	10	10
18-21	0	550	570	550	570	—	—
18-22	0	550	570	550	570	—	—
18-23	0	550	370	550	570	—	—
22-24	30	570	570	600	600	0	0
14-22	60	210	510	270	570	300	300
23-24	30	550	570	580	600	20	20

APENDICES:

a) Ejemplo de un programa de barras en el que se  
ha vaciado el presupuesto:



HERI

CONCEPTO	VOI DE OBRA		1975									1976										
	CANTIDAD	UNIDAD	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCTUBRE	NOV.	DIC.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.		
DESMONTE	502 50,240 K6	Hos f	502 14,016.00	150 15,012.00	150 15,012.00							100.00	100.00									
DESPALME	48068 359,13060	m <sup>3</sup> f	16,288 121,686.16	16,288 121,686.16	16,483 127,588.64							800 3,720.00	800 4,019.55									
EXCAVACIONES EN CORTE PARA TERRAPLEN	7616 44,02048	m <sup>3</sup> f	2,660 19,968.00	4,956 23,663.32								68 308.58										
COMPACT. TERRENO NATURAL	64100 46607500	m <sup>3</sup> f	728 23,904.00	7,762 36,608.00	6,000 43,500.00				6,000 43,500.00	6,000 43,500.00	6,000 43,500.00	6,000 43,475.00	7,100 43,500.00	6,000 43,500.00	6,000 43,500.00							
TERRAPLEN AL 90% Y 95%	240177 4,484,01672	m <sup>3</sup> f	21,657 266,336.19	21,657 266,336.19	21,657 266,336.19				21,657 266,336.19	21,657 266,336.19	21,657 266,336.19	21,657 266,336.19	22,263 415,462.51	21,739 406,867.13	21,739 406,867.13	22,847 428,465.62						
SUB RASANTE AL 100%	129124 2,959,91003	m <sup>3</sup> f												1,826 30,391.92			20,920 438,258.40					
CERCADO	14,914 (3434,0748	ml f	7,228 129,962.36	7,228 129,962.36	2,228 129,962.36	2,654 229,924.48	2,654 229,924.48	2,322 229,649.64														
ESTRUCTURAS Y TRABAJOS DIVERSOS	1 2,065,11531	lote f	3.9% 80,000.00	3.9% 80,000.00	4.0% 82,724.74				11.8% 248,000.00	12.0% 248,000.00	12.0% 267,847.22	11.85% 288,796.72		7.9% 167,882.60								
SUB BASE HIDRAULICA	30650 4,506,89595	m <sup>3</sup> f																				
BASE HIDRAULICA	29400 5,852,36237	m <sup>3</sup> f																				
BASE ASFALTICA	12020 5,504,98583	m <sup>3</sup> f																				
CARPETA ASFALTICA	9050 4,144,76897	m <sup>3</sup> f																				
PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO	4860 3,769,36940	m <sup>3</sup> f																				307 300,153.73
SELLO EN PAVIMENTOS	13500 426,87000	m <sup>2</sup> f																				
SUMA DE IMPORTES	PARCIAL ACUMULADO	f	839,900.25	841,260.77	794,835.54	299,734.40	299,934.40	323,649.54	690,836.19	690,836.19	716,703.64	689,878.89	471,916.50	647,641.63	449,347.11	466,465.82	418,858.40	0.00	0.00	300,153.73		
		f	839,900.25	1,680,761.02	2,474,896.56	2,774,730.94	3,074,669.82	3,398,319.16	4,089,155.35	4,784,991.54	5,500,694.00	6,190,568.97	6,662,482.27	7,305,173.92	7,754,491.63	8,080,956.67	8,539,815.07	8,539,815.07	8,539,815.07	8,539,815.07	8,939,968.80	



b) Solución al ejemplo propuesto en el Capítulo II

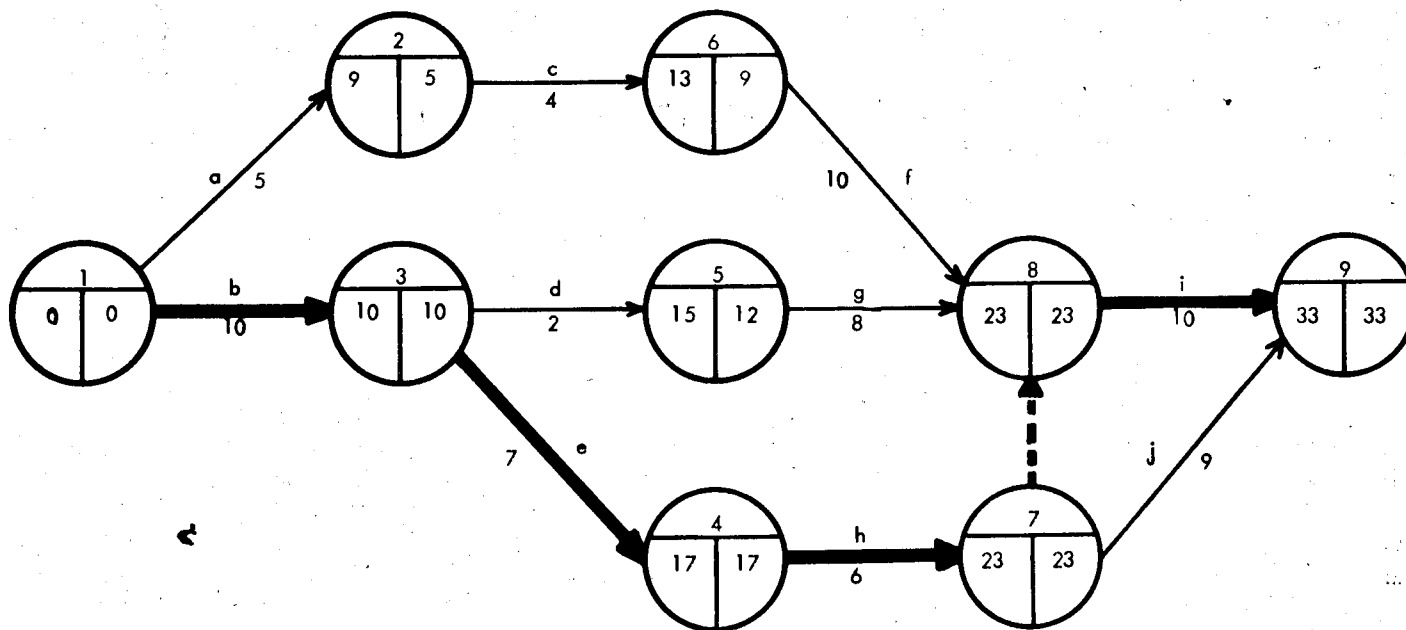




TABLA DE HOLGURAS

Actividad	duración	$I_p$	$I_r$	$T_p$	$T_r$	$H_t = T_r - T_p$	$H_l = T_p - I_p - d$
1-2	5 días	0	4	5	9	4	0
1-3	10 días	0	0	10	10	0	0
3-4	7 días	10	10	17	17	0	0
2-6	4 días	5	9	9	13	4	0
3-5	2 días	10	13	12	15	3	0
6-8	10	9	13	19	23	4	4
5-8	8	12	15	20	23	3	3
4-7	6	17	17	23	23	0	0
7-8	0	23	23	23	23	-	-
7-9	9	23	24	32	33	1	1
8-9	10	23	23	33	33	0	0

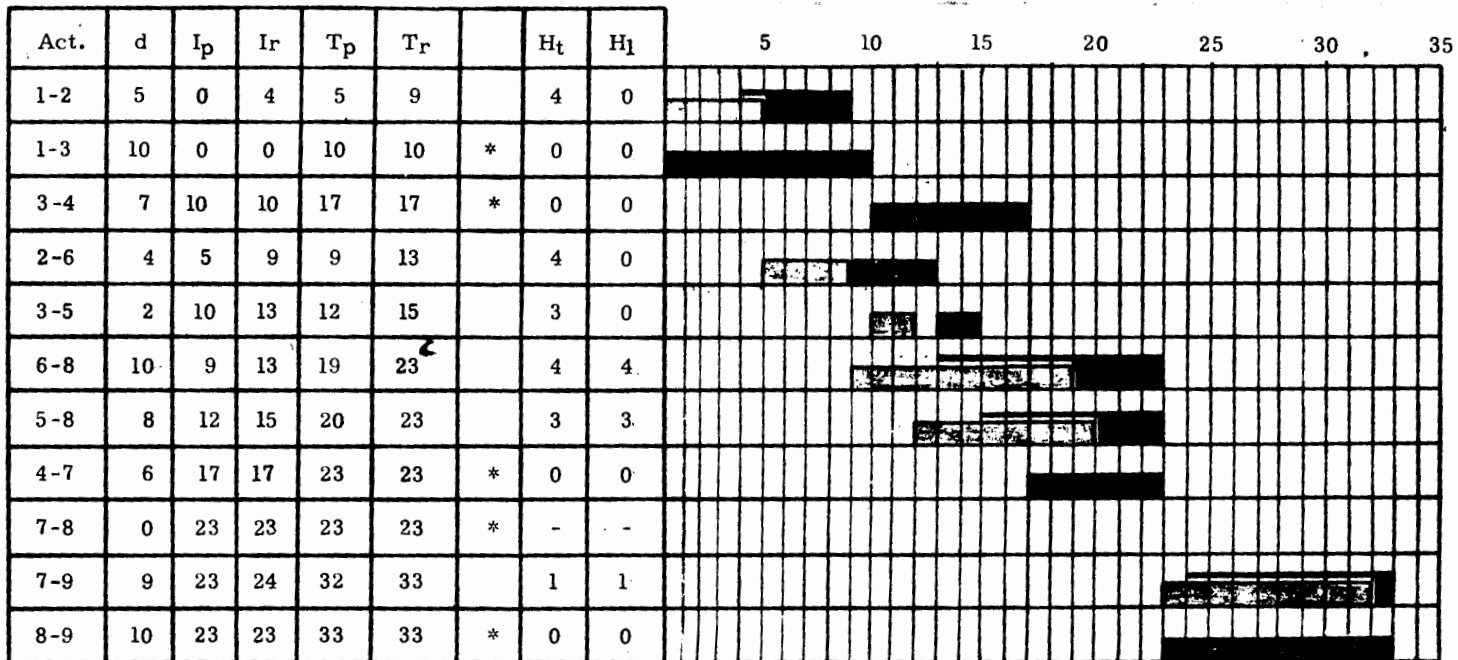


DIAGRAMA DE BARRAS

## BIBLIOGRAFIA

### METODO DEL CAMINO CRITICO

Catalytic Construction Company  
Editorial Diana - 1970

### CRITICAL PATH

L.N. Morris  
Pergamon Press Ltd. - 1967

### PROJECT MANAGEMENT

Moder and Phillips  
Reinhold Publishing Corporation - 1964

### METODOS MODERNOS DE PLANEACION, PROGRAMACION Y CONTROL

Melchor Rodríguez Caballero, Sc. D.  
Limusa - Wiley 1972

### ADMINISTRACION Y CONTROL DE PROYECTOS. TOMOS I, II y III

Dr. R.L. Martino

### APUNTES DE CONSTRUCCION III.

De la clase del Ing. Emilio Gil Valdivia - 1973