



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de Ingeniería, unam



A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS DEL CENTRO DE EDUCACION CONTINUA

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del Jefe del Centro de Educación Continua, Dr. Pedro Martínez Pereda, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso. Las personas que deseen que aparezca su título profesional precediendo a su nombre en el diploma, deberán entregar copia del mismo o de su cédula profesional a más tardar el SEGUNDO DIA de clases, en las oficinas del Centro, con la señorita Barraza, encargada de inscripciones, de lo contrario NO será posible.

El control de asistencia se efectuará a través de la persona encargada de entregar notas, en la mesa de entrega de material mediante listas especiales. Las ausencias serán computadas por las autoridades del Centro.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece el Centro están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso. Las personas comisionadas por alguna institución deberán pasar a inscribirse en las oficinas del Centro en la misma forma que los demás asistentes.

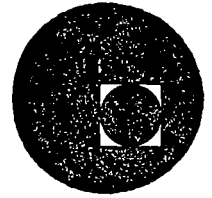
Con objeto de mejorar los servicios que el Centro de Educación Continua ofrece, se hará una evaluación del mismo a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos por parte de los asistentes; esto se hará al finalizar el curso.

ATENTAMENTE

ING. SALVADOR MEDINA RIVERO
COORDINADOR DE CURSOS ABIERTOS



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PROGRAMACION, CONTROL DE AVANCE Y EVALUACION DE
PROYECTOS DE CONSTRUCCION

TEMA: PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS.



M. EN C. JOSE CASTRO ORVANANOS.

AGOSTO DE 1977.

I N D I C E

1.	EL PROCESO CONSTRUCTIVO	1
2.	PLANEACION	2
3.	CONTROL	4
4.	EL METODO DE LA RUTA CRITICA	6
5.	TECNICAS DE ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS APLICADAS A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION	54
	BIBLIOGRAFIA	87
	ANEXOS: 1	

1. EL PROCESO CONSTRUCTIVO

Si se considera al proceso constructivo como un sistema, podrá representársele esquemáticamente en la siguiente forma:

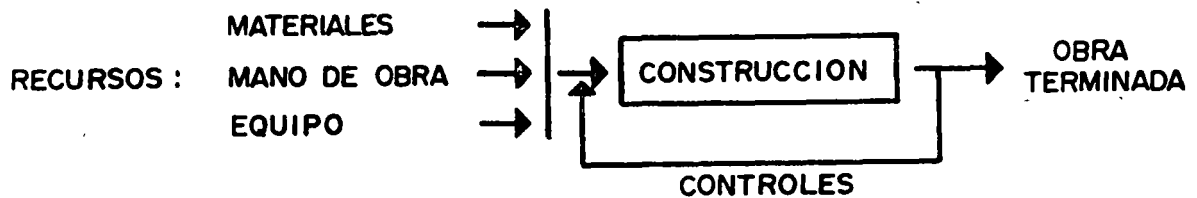


FIG. 1

Para lograr un buen producto terminado, en calidad, en precio, y a tiempo, será necesario que el constructor ponga en juego toda su experiencia, conocimientos e inventiva, para poder optimizar el uso de los recursos disponibles y minimizar las desviaciones que vayan ocurriendo a lo largo de la obra con relación a lo previsto.

2. PLANEACION

En forma convencional, puede definirse la planeación de las obras como la etapa en donde el constructor prevé lo que acontecerá en el campo.

En esta etapa se definirán los procedimientos de construcción a seguir, los recursos con que se contará para realizar los trabajos y los rendimientos que de ellos se esperan.

De lo anterior se desprende que mientras mejor sea la calidad de la planeación, menos problemas e imprevistos se tendrán en la obra, y esta calidad dependerá del conocimiento del proyecto (alcances de las especificaciones, cubicaciones, etc...) y de la información, tanto de los recursos disponibles (materiales, mano de obra y equipo) como del lugar mismo donde se realizará la construcción (servicios existentes, clima, topografía, accesos, etc...).

El resultado de lo planeado en términos de dinero, lo constituye el presupuesto; el programa también lo es, pero en términos de tiempo. La interrelación o dependencia que existe entre planeación-programa-presupuesto, podría representarse como sigue:

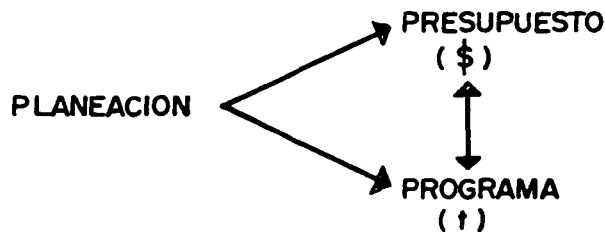


FIG. 2

Cabe aclarar que el proceso de planeación es iterativo, ya que cuando el costo o el tiempo de realización correspondiente a una determinada planeación, no son del todo satisfactorios, será necesario replanear la obra las veces que sea necesario hasta llegar a un resultado aceptable.

Lógicamente, es imposible lograr una planeación perfecta, ya que siempre existirán contingencias imprevisibles, y por lo tanto, siempre habrá desviaciones de los planes originales.

Caract
de
Control

Veraz
Completo
oportuno
(fácil de asimilar)

4

3. CONTROL

Aunque existen varias acepciones del término control, se entenderá en adelante como el detectar las desviaciones entre lo que se pensaba que iba a suceder y lo que realmente sucede en la obra.

Tradicionalmente existen tres tipos de control: control de calidad, control de costo y control de avance; aunque en realidad existen otros controles, como el financiero, el de personal, etc... Habrá tantos controles como comparaciones se hagan.

Para que un control se califique como "bueno", deberá ser completo, veraz y oportuno. Con estas tres cualidades del control, será posible tener una visión realista de las cosas, y se facilitará tomar acciones correctivas apropiadas.

Como para corregir las desviaciones será necesario replanear las actividades, el proceso constructivo puede quedar expresado de la siguiente manera:

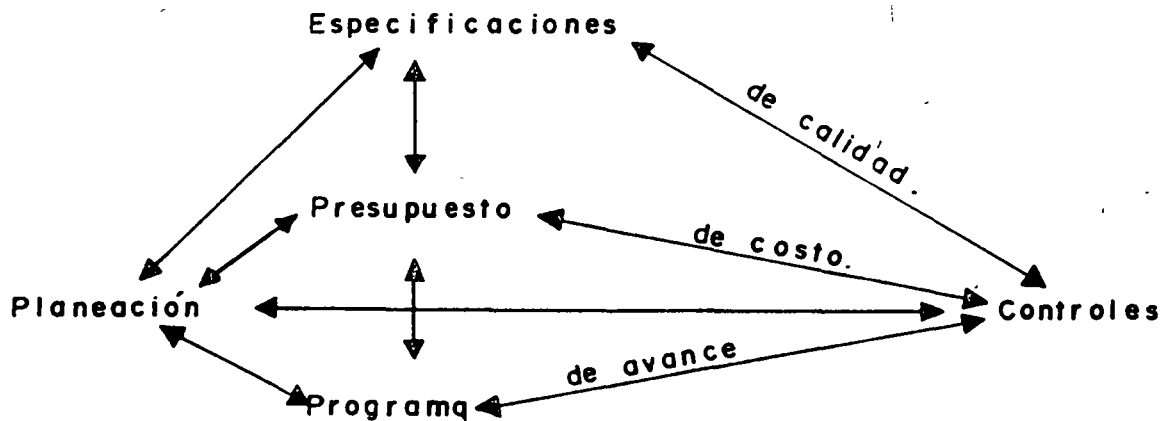
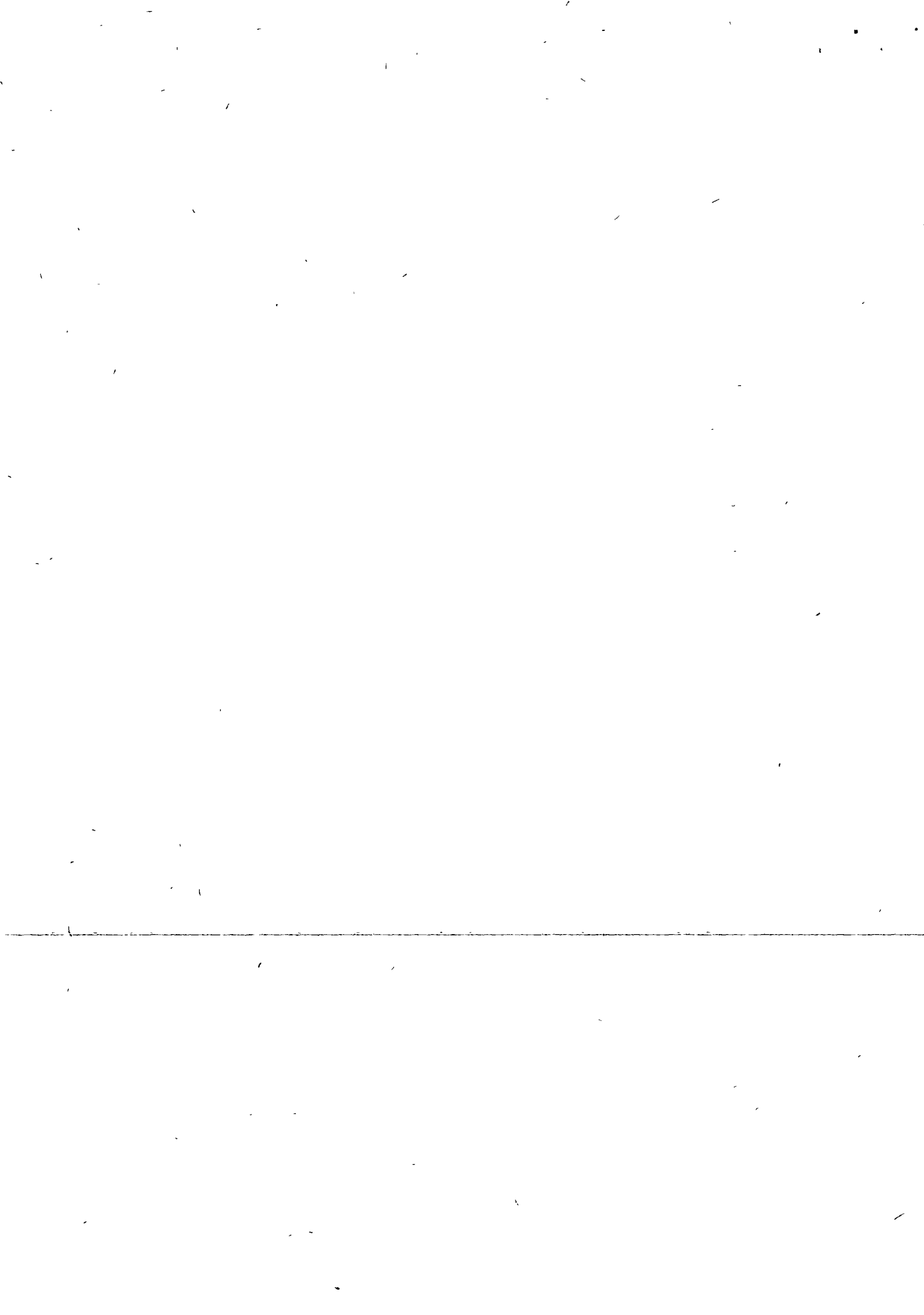


FIG . 3

Como una ayuda a la realización más eficiente y racional de las etapas de planeación y control de avance de obra, se desarrolló el método de la ruta crítica, cuya descripción y forma de aplicación aparece a continuación.



4. EL METODO DE LA RUTA CRITICA

4.1 INTRODUCCION

En ocasiones se ha confundido al método de la ruta crítica o CPM (Critical Path Method) con el método PERT (Program Evaluation Research Task), porque ambos métodos de programación utilizan redes de actividades y por haber sido desarrollados prácticamente en la misma época. Sin embargo, tienen una diferencia fundamental que los hace aplicables a problemas muy distintos.

La ruta crítica es un método determinista (define una duración específica para cada actividad) y su aplicación es sumamente útil en la planeación y control de obras, siempre y cuando dicha aplicación sea dinámica y su uso sea sencillo y práctico con los recursos de que se disponga.

El PERT es un método probabilista (define duraciones medias, optimistas y pesimistas para cada actividad) y se usa en la elaboración de programas de ciertos proyectos sumamente complejos e inciertos, en los que se requiere manejar datos probabilísticos, como fue el caso del proyecto Polaris o del proyecto Apolo, en donde hubo que programar actividades que requerían de elementos que aún no se conocían y cuya duración era imposible de definir en forma determinística. Su aplicación a la construcción resulta poco recomendable, no sólo por la mayor complejidad de su cálculo, sino por el volumen de información que requiere.

Por las razones expuestas, y como estas notas están dirigidas a constructores, en adelante sólo se hablará del CPM.

Aunque en ocasiones el tamaño y la complejidad de algunos proyectos, tales como las refinerías, requieren para su aplicación del uso de una computadora, en la mayoría de las obras es posible prescindir de ella. Por ello y porque es necesario dominar la mecánica del método para sacar

provecho de él, se enfocará su descripción y su aplicación en forma manual, sin utilizar la computadora en absoluto.

Para su estudio, el método se dividirá en tres fases o etapas:

La primera se ocupa de la elaboración de la red de actividades, o sea, la representación gráfica de las secuencias definidas en la etapa de planeación.

La segunda calcula el programa de obra, definiendo las fechas de inicio y terminación de cada actividad, con sus distintos tipos de holguras y su representación gráfica. En esta etapa se incluye la reasignación de recursos y la determinación de los programas colaterales de obra, tales como de equipo, de personal, etc...

La tercera estudia la compresión de la red y el cálculo de la curva tiempo-costo mínimo.

4.2 PRIMERA FASE CONSTRUCCION DE LA RED DE ACTIVIDADES

La red de actividades es la representación gráfica de la secuencia en que se desarrollarán las actividades en la obra. Para su elaboración se usan las notaciones de las flechas y la de los nodos. Ambas suponen las siguientes hipótesis:

- a) Que las actividades no se traslapen. Para poder iniciar alguna actividad, deben terminarse completamente todas las actividades que le preceden.
- b) Las actividades son independientes en cuanto a su realización, y sólo tienen relación entre sí en cuanto a su secuencia de ejecución.

...

La notación de las flechas fue la primera en usarse, y aunque en la práctica se le considera obsoleta, todavía es usada en la actualidad por programadores de computadora o por ciertos "consultores en ruta crítica". Los primeros la usan porque les facilita su trabajo, y los segundos, porque dicha notación implica varios problemas que hacen difícil el uso del método en obra, lo que hace necesaria su presencia y justifica su contratación.

La notación de nodos, por su sencillez y porque elimina los problemas que se presentan en la otra notación, es la más usada en la actualidad.

4.2.1 Comparación de las dos notaciones

Con objeto de comparar las dos notaciones en forma clara, se escogió un problema específico muy sencillo, consistente en el tendido de una tubería en un tramo de 240m de largo, cuya excavación tiene 1 m² de sección:

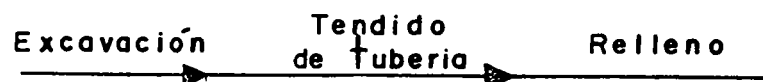
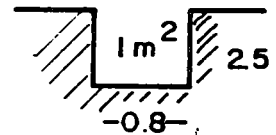
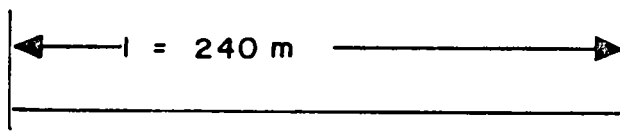


FIG . 4

Si se piensa que se debe empezar a colocar la tubería cuando esté terminada la mitad de la excavación, como por la hipótesis no se pueden traslapar las actividades, habrá necesidad de dividir la longitud total en dos partes, y si llamamos a la primera parte Zona A y a la segunda parte Zona B, la red de actividades quedará como sigue para cada notación:

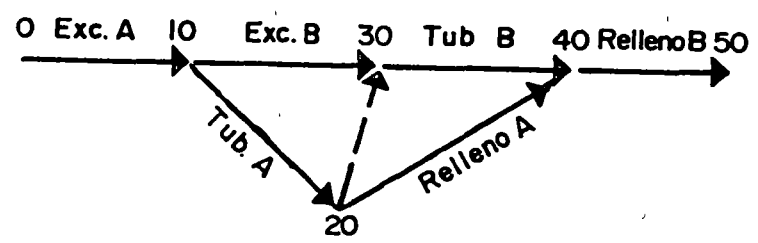
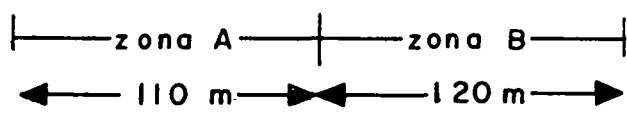


FIG. 5

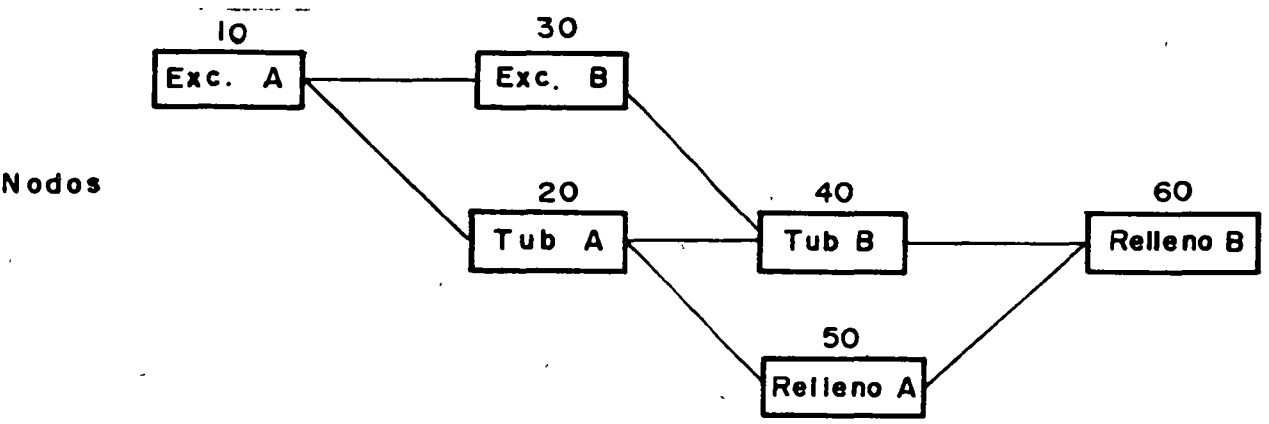
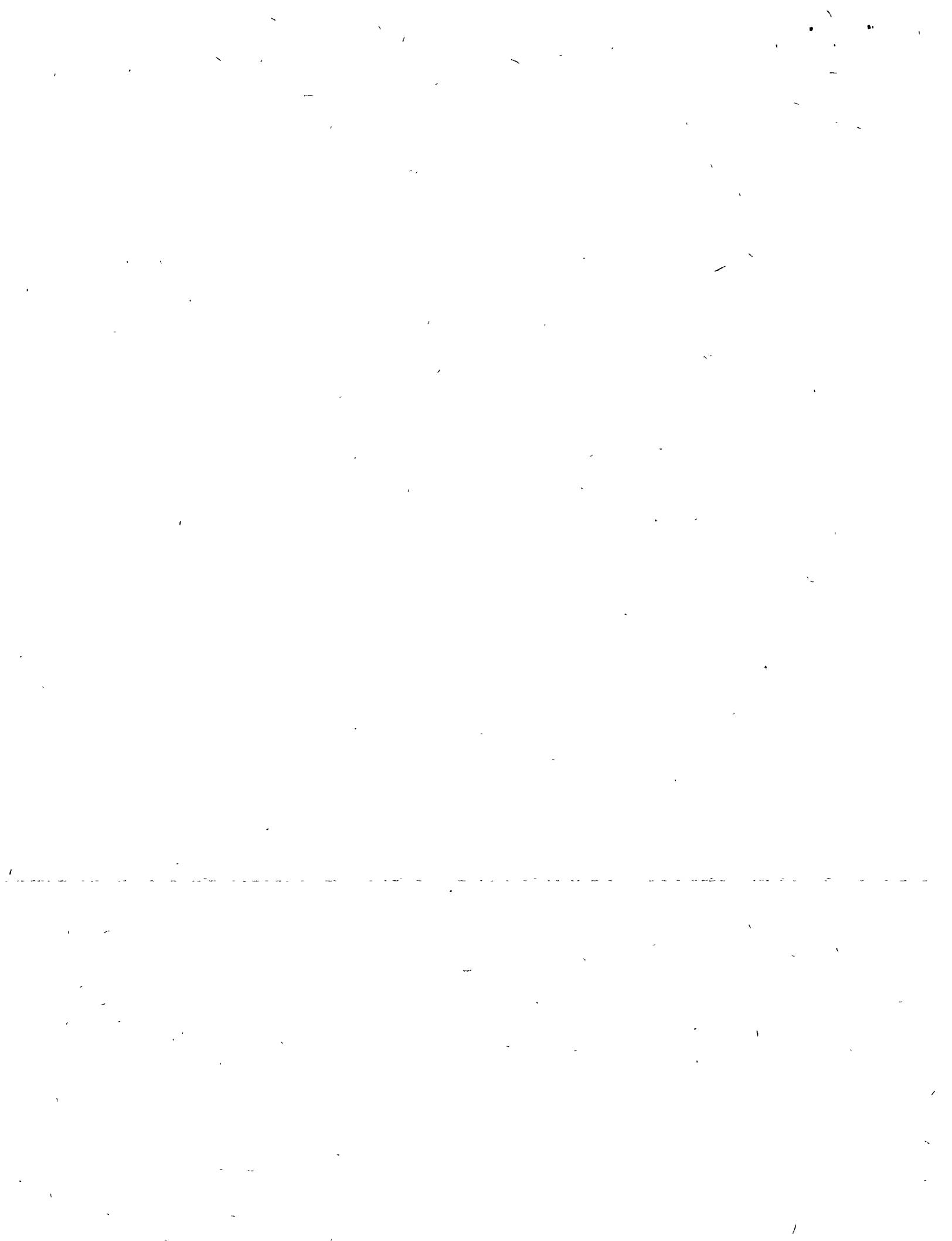


FIG 6



Si al revisar la red, se decide o se descubre que es necesario agregar la actividad "suministro de tubería" antes del tendido de la misma, y únicamente se dibuja esta actividad en las redes originales, se tendrá lo siguiente:

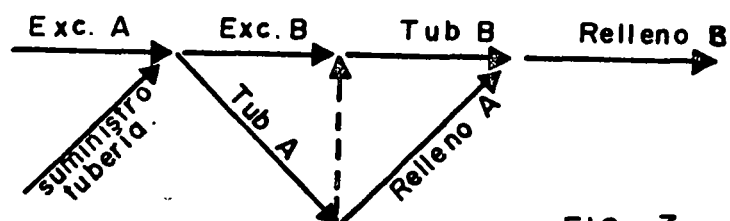


FIG. 7

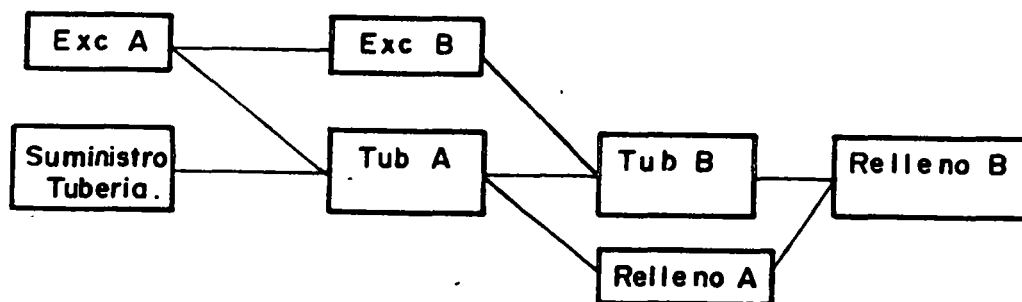


FIG. 8

En el primer caso se ve que la red no representa lo que se quiere, ya que indica que la excavación en la zona B no se podrá iniciar mientras no esté la tubería en la obra, cosa absurda, ya que no existe ninguna relación entre el suministro de la tubería y la excavación.

...

Para representar la realidad, que es lo que indica el segundo diagrama (fig 8), habrá que hacer uso de alguna actividad "ficticia", o sea, una actividad cuyo costo y tiempo de ejecución sea cero. Esto se hará de la siguiente manera:

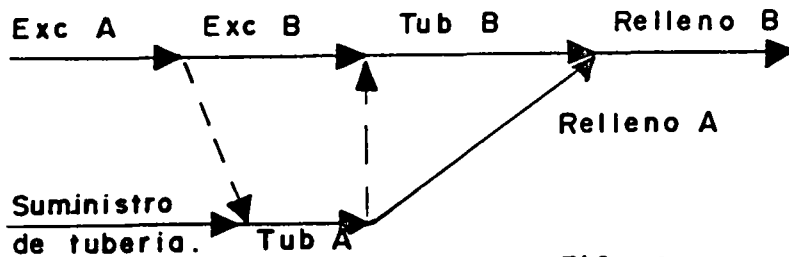


FIG. 9

Lo anterior ilustra los tres problemas que acarrea la notación de las flechas:

1. Redibujar la red cuando es necesario modificarla.
2. La omisión de una sola actividad ficticia, hace que la red no sirva, o sea, que no expresa lo que se quiere.
3. Normalmente en cualquier red, más del 50% de las actividades son ficticias, lo que hace que las redes de flechas sean mucho más complicadas de analizar.

Estos problemas han originado que la notación de las flechas haya sido rechazada por la mayoría de los usuarios del método.

Un ejemplo que confirma claramente lo anterior, es el que se presenta a continuación, y que consiste en la construcción de la losa de un paso a cubierto:



Simbología usada:

P_1	puntales en la zona 1	Ci_1	cimbra en la zona 1
P_2	puntales en la zona 2	Ci_2	cimbra en la zona 2
P_3	puntales en la zona 3	Ci_3	cimbra en la zona 3
P_4	puntales en la zona 4	Ci_4	cimbra en la zona 4
Ar_1	armado en la zona 1	Co_1	colado en la zona 1
Ar_2	armado en la zona 2	Co_2	colado en la zona 2
Ar_3	armado en la zona 3	Co_3	colado en la zona 3
Ar_4	armado en la zona 4	Co_4	colado en la zona 4

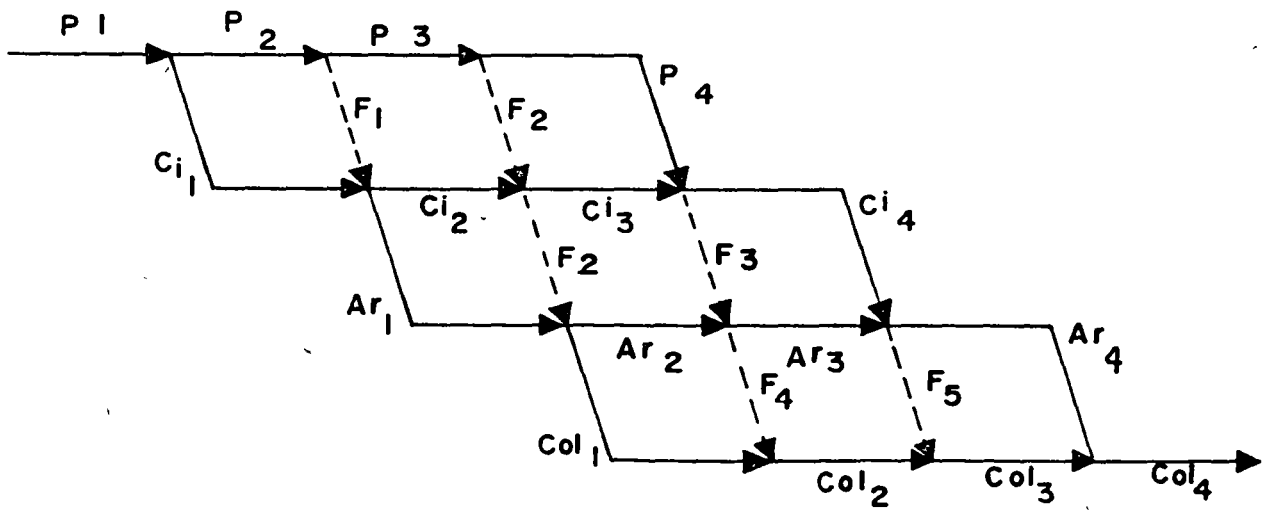


FIG. 10

...

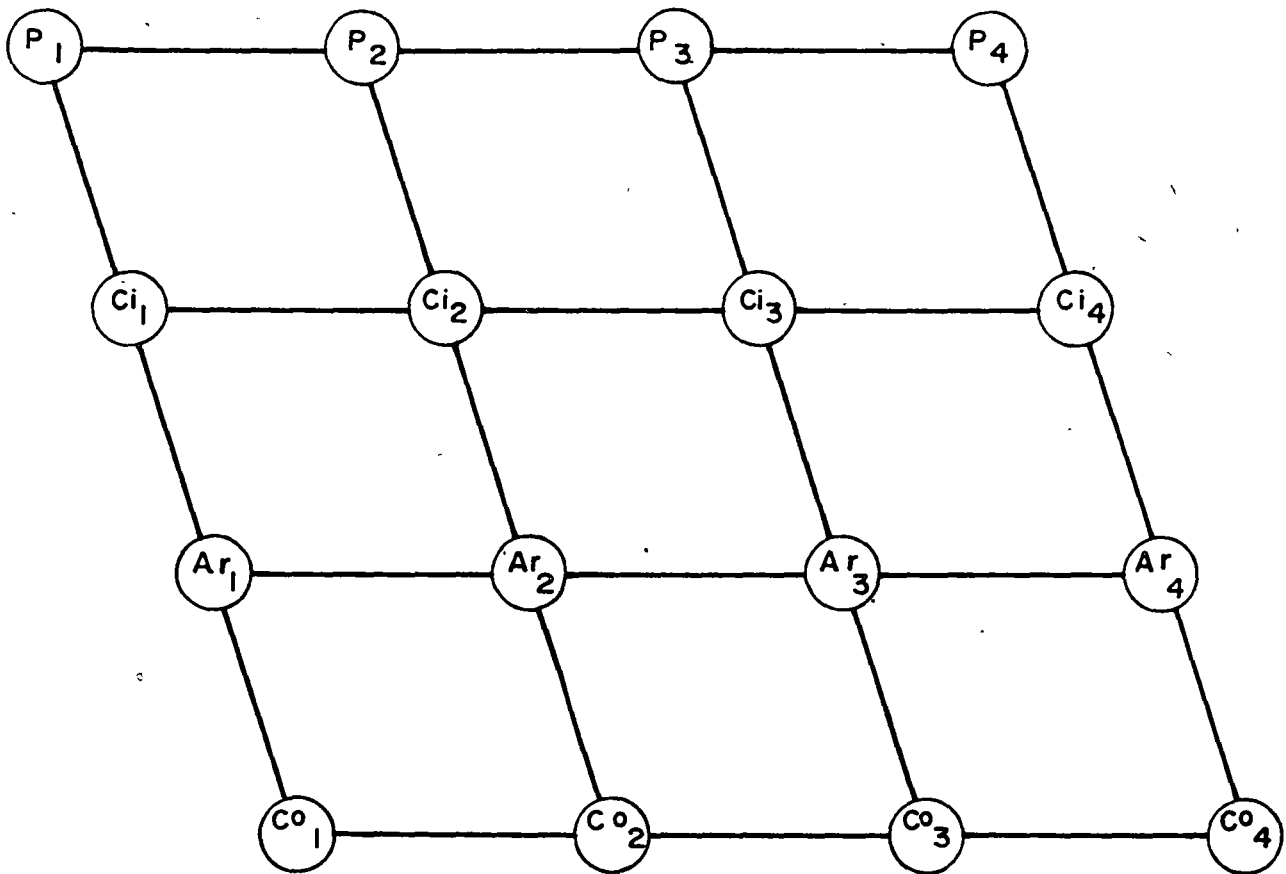


FIG. II

Ambas redes aparentemente son iguales, ya que las actividades que anteceden a cualquiera de ellas son idénticas. Sin embargo, si se analizan las otras actividades precedentes, como las que se representan aisladamente en la figura 12, se descubrirá que hay ciertas secuencias que son absurdas, como que, para poder colar en la zona 1, sería necesario haber terminado la cimbra en la zona 2, lo mismo que los puntales en la zona 3.

...

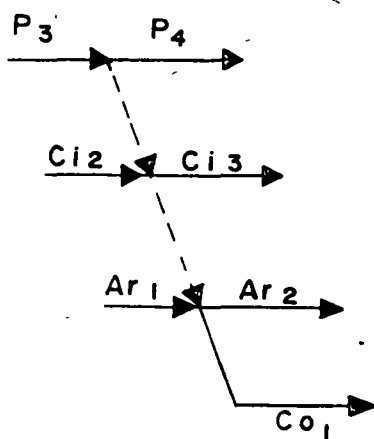


FIG. 12

El error consistió en omitir actividades ficticias, según puede verse en la siguiente red, que es la correcta:

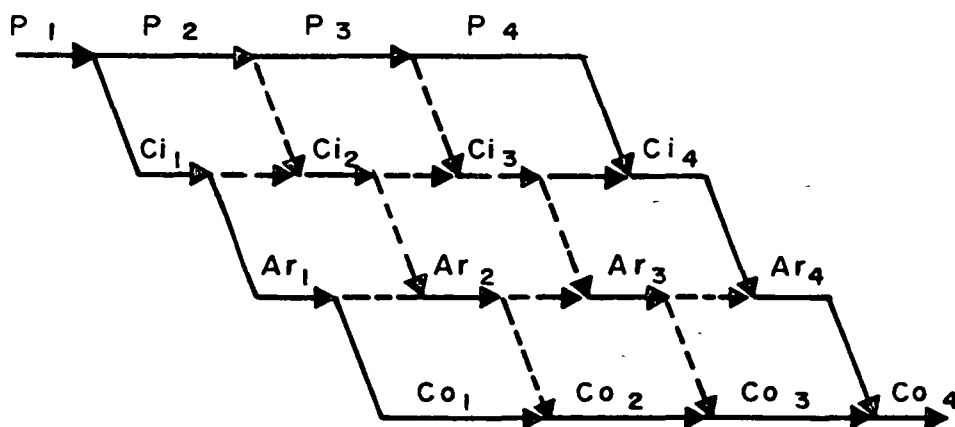


FIG. 13



En resumen, puede afirmarse que los problemas que se presentan cuando se usa la notación de las flechas, se derivan de la presencia de las actividades ficticias, y que éstas no existen en la notación de nodos. Por lo anterior, en adelante ya sólo se usará la notación de nodos.

4.3 SEGUNDA FASE: CALCULO Y REPRESENTACION DEL PROGRAMA DE OBRA

Para el cálculo manual de la red, será necesario usar la convención siguiente:

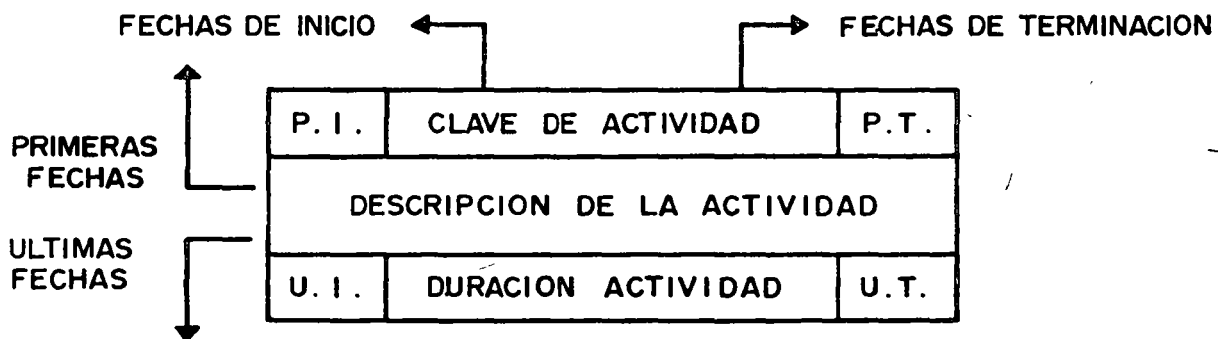


FIG. 14

P.I. primera fecha de inicio

P.T. primera fecha de terminación

U.I. última fecha de inicio

U.T. última fecha de terminación

...

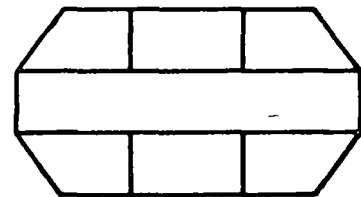
Es recomendable distinguir fácilmente en la red, las actividades que sean suministros, para lo cual éstas pueden representarse de la siguiente manera:

ACTIVIDAD DE CONSTRUCCION

P. I.	II ACT.	P. T.
DESCRIPCION		
U. I.	DURAC.	U. T.

FIG. 15

SUMINISTRO



Si una actividad específica B. está precedida por n actividades A_i y a ésta le siguen m actividades C_i (fig 16), el cálculo numérico de la red se realizará según las siguientes fórmulas:

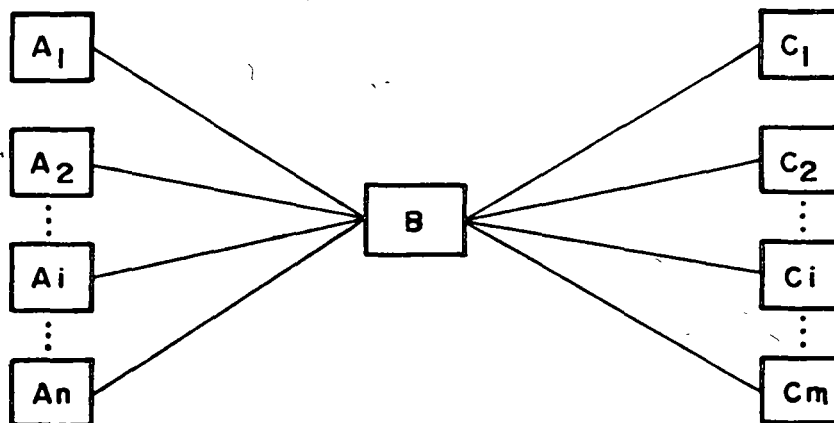


FIG . 16

$$(PI)_B = \text{mayor } (PT)_{A_i}$$

$$(PT)_B = (PI)_B + (\text{duración})_B$$

$$(UI)_B = (UT)_B - (\text{duración})_B$$

$$(UT)_B = \text{menor } (UI)_{C_i}$$

...

Las duraciones de las actividades deberán calcularse con base en los recursos con que se contará en la obra y con los rendimientos que de ellos se esperan.

Para el ejemplo del tendido de tubería que se ha venido desarrollando, las duraciones calculadas para cada actividad son las siguientes:

ACTIVIDADES

1 y 3 Excavación por tramo de 120m

(A - B ó B - C)

Recurso: 1 oficial + 4 peones = 1 cuadrilla

Rendimiento: 4 peones x 5 m³/día x peón = 20 m³/día

Duración: 120 m³/20 m³/día = 6 días

Costo: $(\$225 + 4 \times \$150)/20 \text{ m}^3 = \$41.25/\text{m}^3$

ACTIVIDADES

4 y 5 Colocación tubería por tramo de 120m

(A - B ó B - C)

Recurso: 1 oficial + 1 peón = 1 pareja

Rendimiento: (40ML/pareja x día) x 1 pareja = 40ML/día

Duración: 120ML/40 ML/día = 3 días

Costo: $(\$225 - \$150)/40 \text{ ML} = \$9.40/\text{m}$

...

ACTIVIDADES6 y 7 Relleno por tramo de 120m

(A-B ó B-C)

Recurso: 1 oficial + 4 peones = cuadrilla

Rendimiento: 4 peones x 15 m³/día x peón = 60 m³/díaDuración: 120 m³/60 m³/día = 2 díasCosto: (\$225 + 4 \$150) = \$14.60/m³

El cálculo de la red se hará con estas duraciones a partir de las actividades que no tienen ningún precedente, obteniéndose las primeras fechas de inicio y terminación.

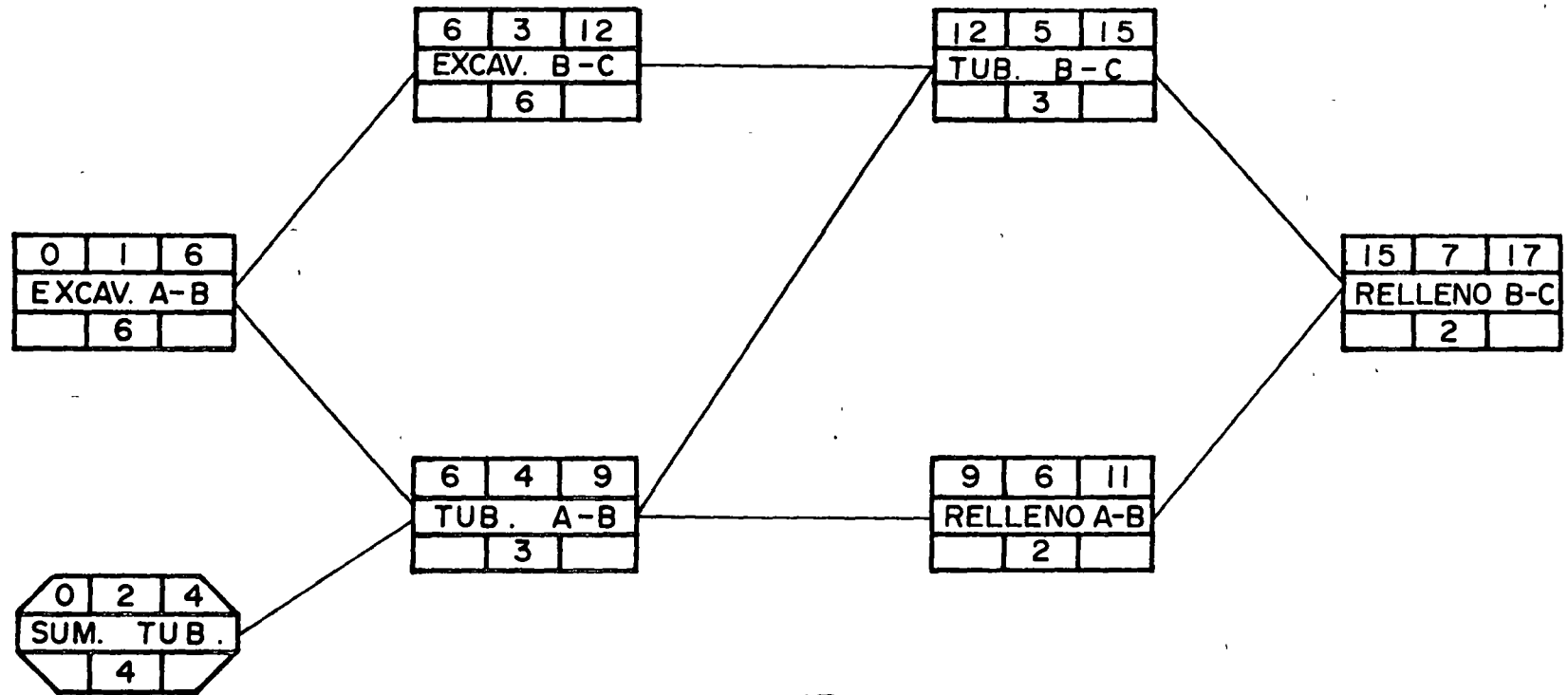


FIG. 17

A continuación se calcularán las últimas fechas de inicio y terminación, partiendo de la última actividad de la red, para lo cual se hará coincidir su primera y su última fecha de terminación (el proceso es opuesto al del cálculo de las primeras fechas)

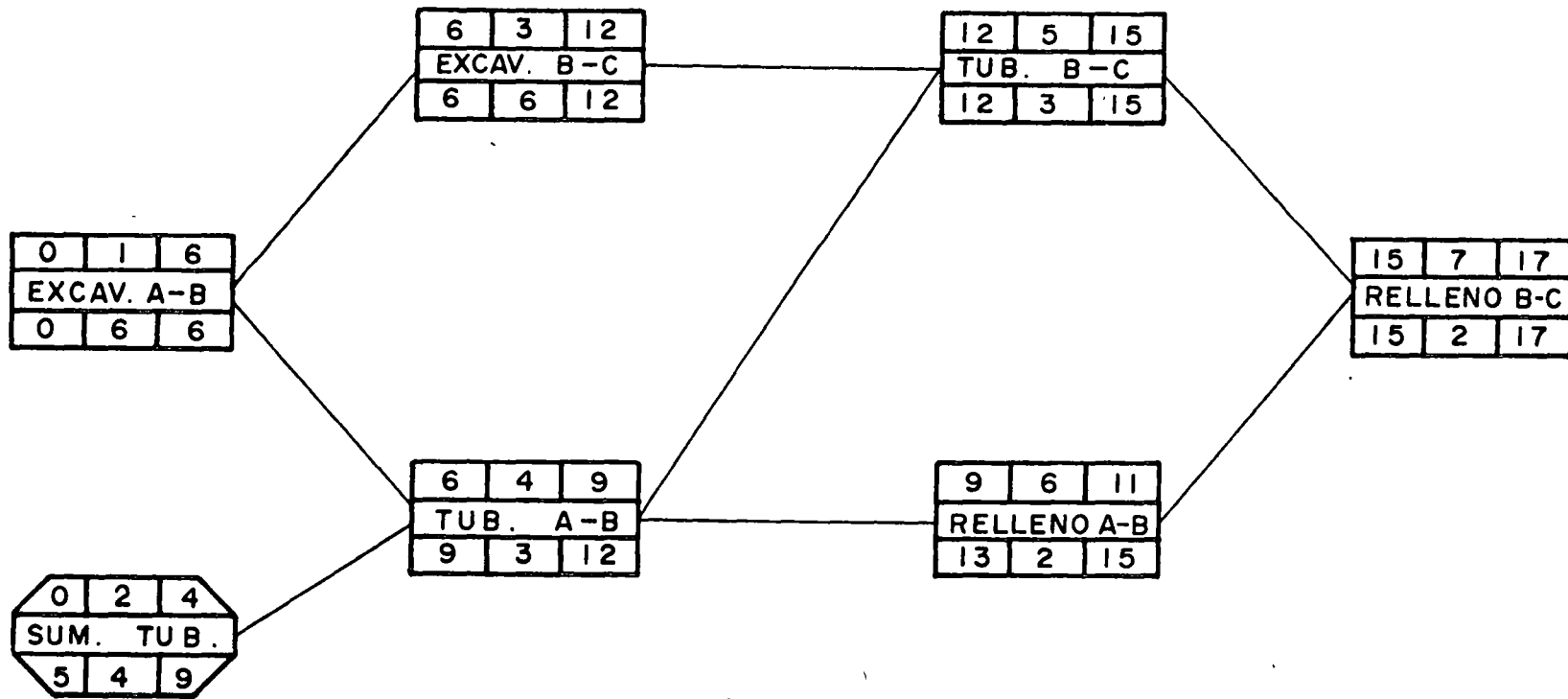


FIG. 18

Por definición, la holgura total de una actividad es el lapso de tiempo que puede posponerse la terminación de dicha actividad, sin que se modifique la fecha de terminación de la obra; su valor será la diferencia entre su primera y su última fecha de terminación.

Al analizar la actividad 2 de la figura 18 (suministro de tubería) se podrá observar que de los días que tiene de holgura total: $(UT = 9) - (PT = 4) = 5$ días, sólo dos días puede posponerse su terminación sin afectar a ninguna otra actividad. A partir de allí, aunque se puede seguir posponiendo dicha terminación sin modificar la fecha de terminación de la obra, sí se modificarán los inicios de algunas actividades subsecuentes.

De lo anterior se deduce que la holgura total de una actividad está integrada por dos partes: la holgura libre, que es el lapso de tiempo que puede posponerse la terminación de una actividad sin modificar el inicio de ninguna otra actividad y la holgura con interferencia, que es el tiempo que puede posponerse la terminación de una actividad sin modificar la fecha de terminación de la obra, aunque sí se alteren los inicios de algunas actividades subsecuentes. Algebraicamente, lo anterior puede expresarse como:

$$(HT)_B = (HL)_B + (HI)_B$$

en donde

$(HL)_B$. holgura libre de la actividad B

$(HI)_B$. holgura libre con interferencia de B

Si definimos como holgura particular a la diferencia entre la $(PI)_{Bi}$ y la $(PT)_{Ai}$ (siempre será entre dos actividades específicas relacionadas directamente entre sí), habremos descrito el significado de los cuatro tipos de holgura que maneja el CPM.

...

Por razones de facilidad en el manejo de la red, se ha decidido escribir sobre la liga de dos actividades, el valor de su holgura particular. Cuando ese valor es igual a cero, habrá que identificar ese caso con una doble raya, tal como aparece a continuación:

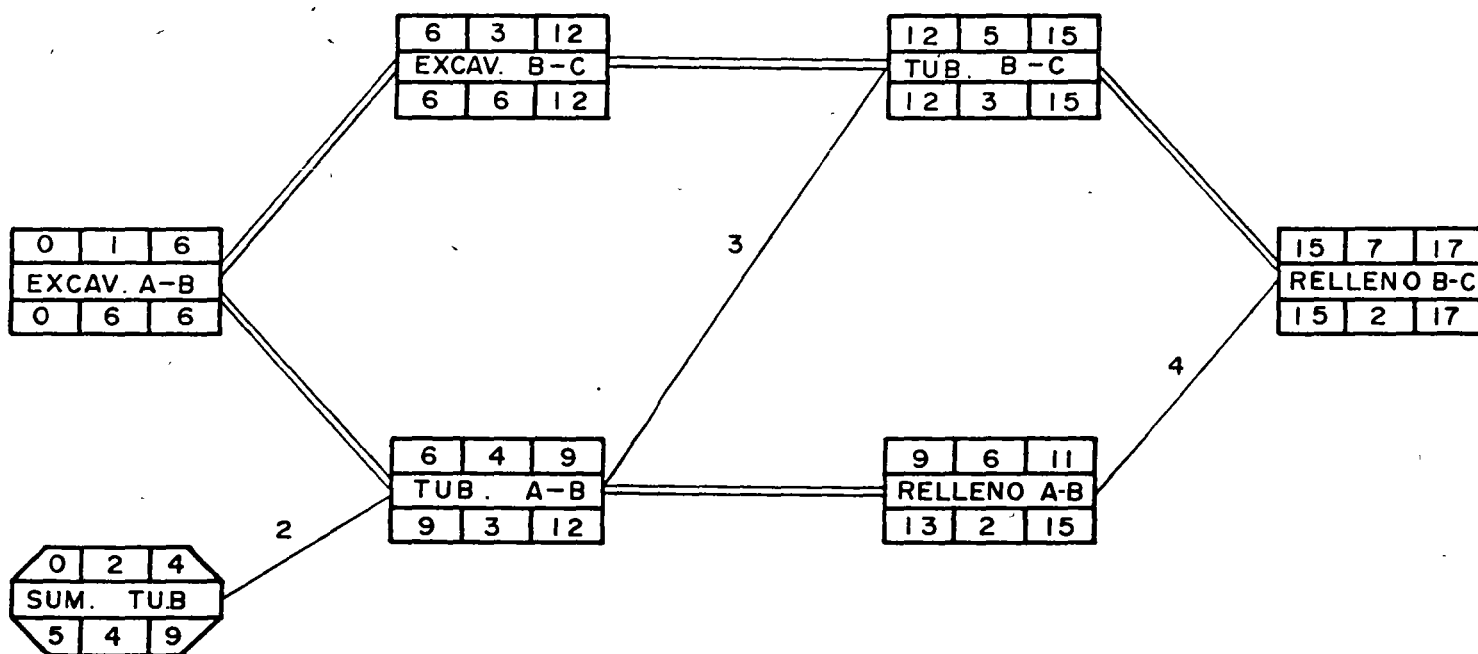


FIG. 19

Al contar con esta información, se puede calcular la holgura libre de cualquier actividad como la menor holgura particular que sale de dicha actividad:

$$(HL)_B = \text{menor } (HP)_{B-C_i}$$

Si definimos como ruta o camino crítico al conjunto de actividades que definen la fecha de terminación de una obra, será lo mismo decir, que la ruta crítica estará formada por el conjunto de actividades que no tienen holgura (actividades críticas).

Si en la red de la figura 19 identificamos una serie de actividades unidas ininterrumpidamente por doble raya (holguras particulares = 0), ésa será precisamente la ruta crítica de la red, la que deberá marcarse con triple raya.

De esta manera, la red totalmente terminada aparecerá de la siguiente forma:

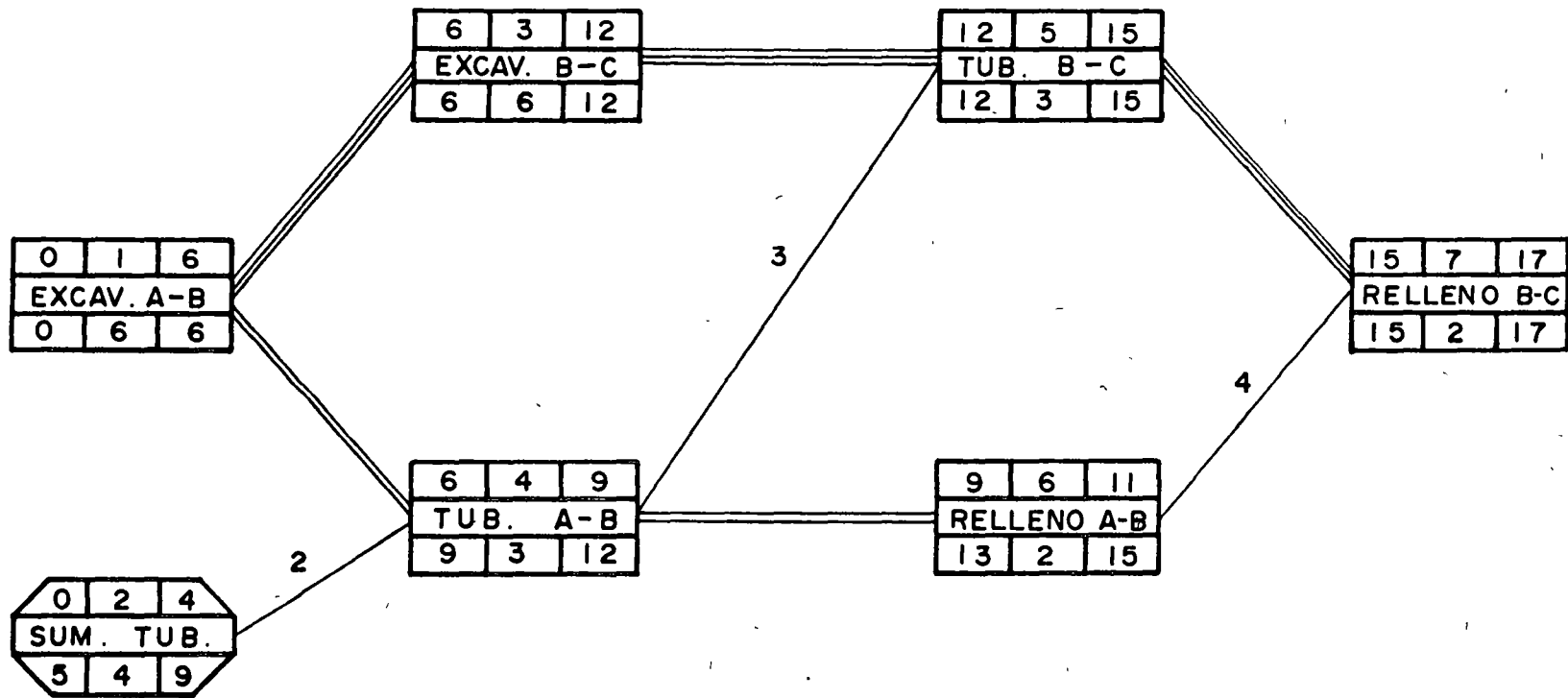


FIG. 20

Desde luego que en todas las actividades que pertenecen a la ruta crítica, la primera y última fecha de terminación coincidirán, ya que sus holguras totales necesariamente serán nulas.

Para diversas circunstancias, la representación en barras de la información que proporciona el método de la ruta crítica es sumamente útil, para lo cual se ha propuesto la siguiente convención:

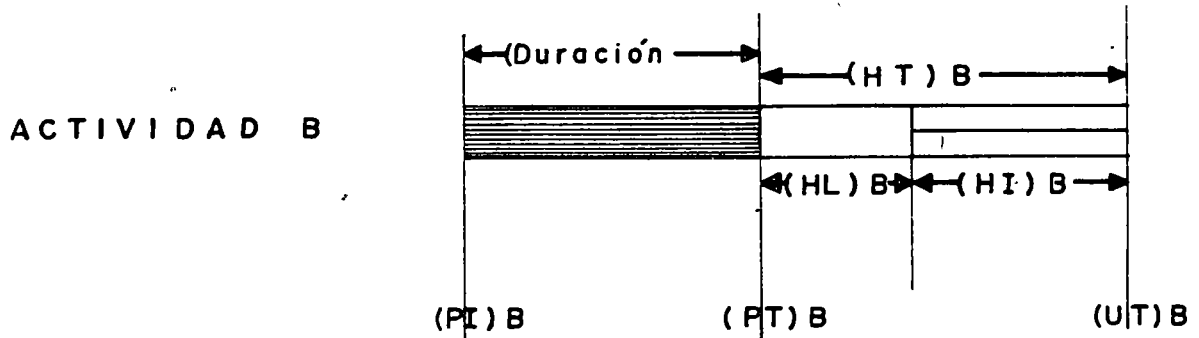


FIG. 21

Para ilustrar lo anterior, se muestra el siguiente programa de barras que corresponde a la red de la figura 20.

...

CLAVE	ACTIVIDAD	CANT.	UN.	Gantt Chart															
				1	5	6	10	11	15	16	20								
1	Excavación A-B	120	m ³	[Hatched bar from 1 to 6]															
2	Suministro Tubería	480	ML	[Hatched bar from 1 to 5]				[White bar from 5 to 6]	[White bar from 6 to 10]										
3	Excavación B-C	120	m ³				[Hatched bar from 6 to 11]												
4	Tubería A-B	240	ML				[Hatched bar from 6 to 10]				[White bar from 10 to 11]								
5	Tubería B-C	240	ML										[Hatched bar from 11 to 15]						
6	RELLENO A-B	120	m ³							[Hatched bar from 10 to 11]		[White bar from 11 to 15]							
7	RELLENO B-C	120	m ³													[Hatched bar from 15 to 16]			

FIG . 2 2

Si se vacían los recursos que se piensa utilizar en la obra, en el diagrama de barras respectivo se obtendrán los programas "colaterales" de obra, tal como aparece a continuación (aunque sólo se muestra el programa de personal, en idéntica forma se obtendrían los otros programas colaterales, tales como el de equipo, de necesidades de materiales y compras, etc...)

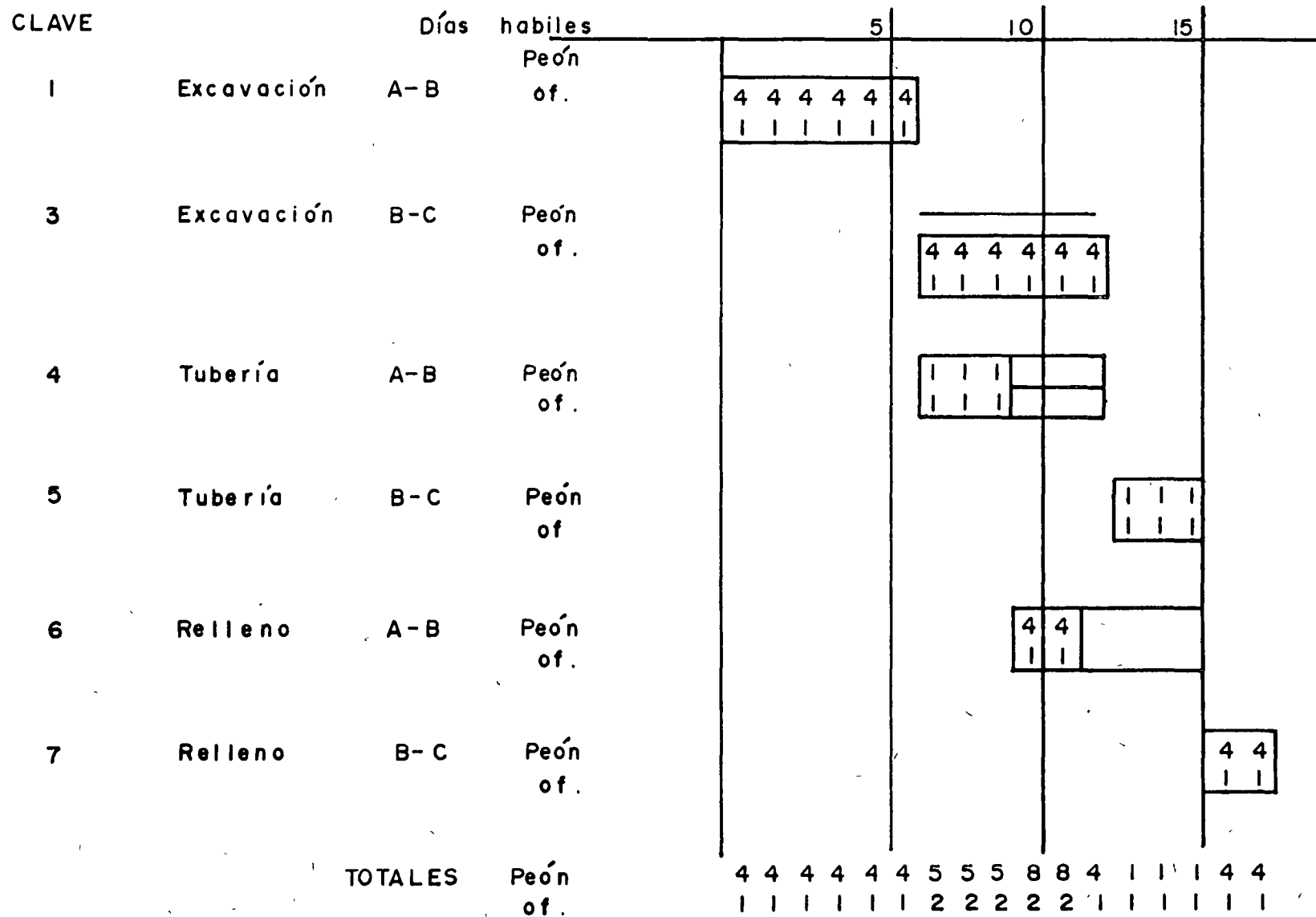


FIG. 23

Al observar los totales de la figura anterior, es fácil detectar la necesidad de redistribuir recursos para evitar problemas en la obra y minimizar los costos directos, ya que es imposible disponer de distintas cantidades de personal en determinadas fechas.

En general, puede decirse que es aconsejable eliminar los aumentos y las disminuciones frecuentes de los recursos necesarios, haciendo la distribución de dichos recursos lo más uniforme posible en el tiempo.

El conocimiento de las holguras es de gran valor y utilidad para hacer esta redistribución de recursos en una forma racional.

La red y el diagrama de barras, ya habiendo redistribuido los recursos, aparece en las figuras 24 y 25.

NUEVO PROGRAMA

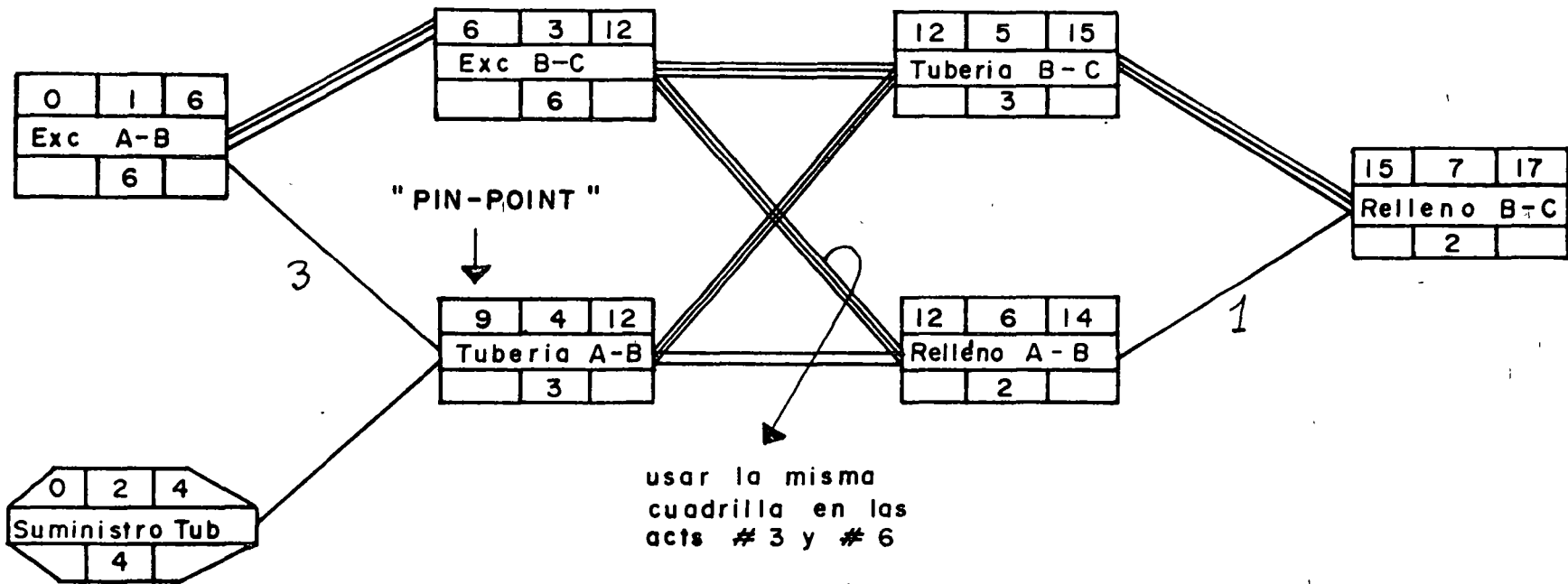
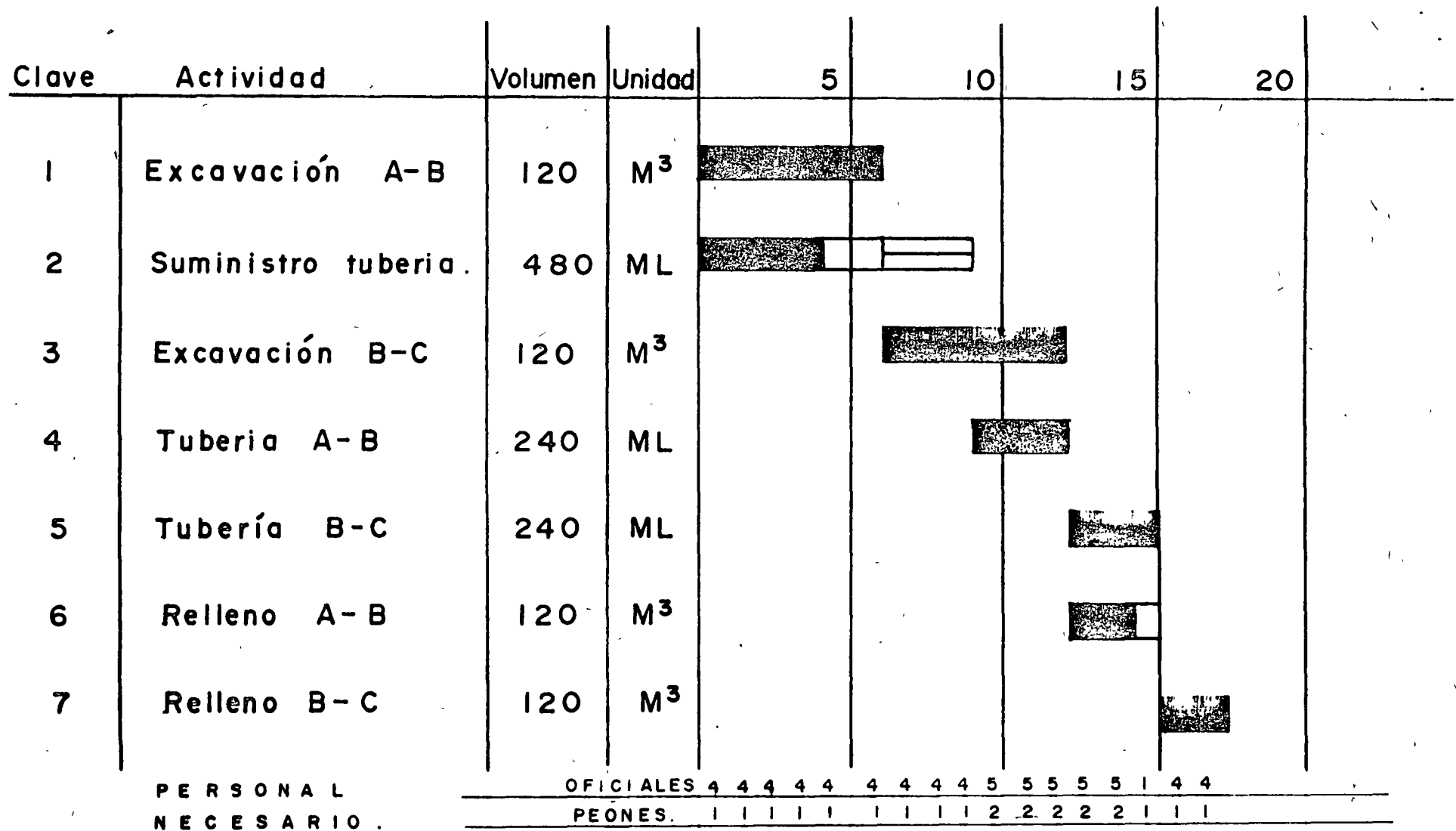


FIG. 24

NUEVO F O G R A M A .



Habría que ocupar a la cuadrilla de terracería (1 OFICIAL + 4 PEONES) en algún otro trabajo el día 15 o pensar en que en la realidad sí se traslaparán las actividades, por lo que la actividad 7 podría adelantarse 1 día.

FIG . 25 \

Siguiendo la misma técnica, si en vez de vaciar los recursos en el programa de barras se vacían las cantidades de obra que se piensan realizar, el monto de estimaciones por realizar, etc..., se tendrán los programas que normalmente se elaboran en el sistema conocido como "administración por objetivos", que de hecho son metas parciales muy definidas por alcanzar en períodos de tiempo determinados.

En la red de la figura 24 se introdujo el concepto que los americanos llaman "pin point" y en nuestro medio se le empieza a llamar con el anglicismo "pin-pontear". Este concepto se puede definir como el hecho de fijar arbitrariamente la fecha de inicio o terminación de una actividad específica, independientemente de las demás actividades de la red. Esta actividad sirve como origen para el cálculo del resto de la red.

En ocasiones es conveniente su uso, como podría ser el caso del ejemplo descrito anteriormente, aunque en otras puede ser delicado, ya que cuando se "pimpontean" dos o más actividades, pueden obtenerse resultados absurdos, como duraciones negativas, etc...

A veces, el desglose de actividades que se hace para superar la restricción impuesta por la hipótesis referente al traslape de actividades, origina complicaciones serias en la red; debido a esto, se ha introducido el concepto conocido como "relación principio - principio, fin - fin", con el que se supera dicha restricción.

La relación "principio - principio, fin - fin" se representa gráficamente como sigue:

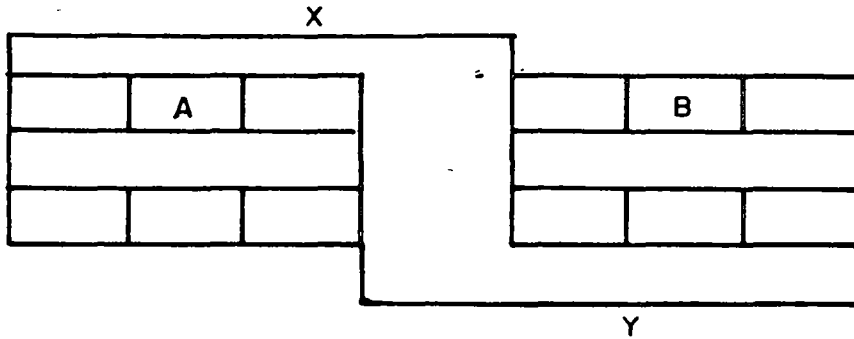


FIG . 27

Esto significa que la actividad B no puede iniciarse sino hasta después de X tiempo de iniciada la actividad A, ni tampoco terminarse antes de pasar Y tiempo de terminada la actividad A.

Para el cálculo de la red, cuando en ella existe este tipo de relación, se usarán los siguientes algoritmos:

Para obtener las primeras fechas de inicio y terminación:

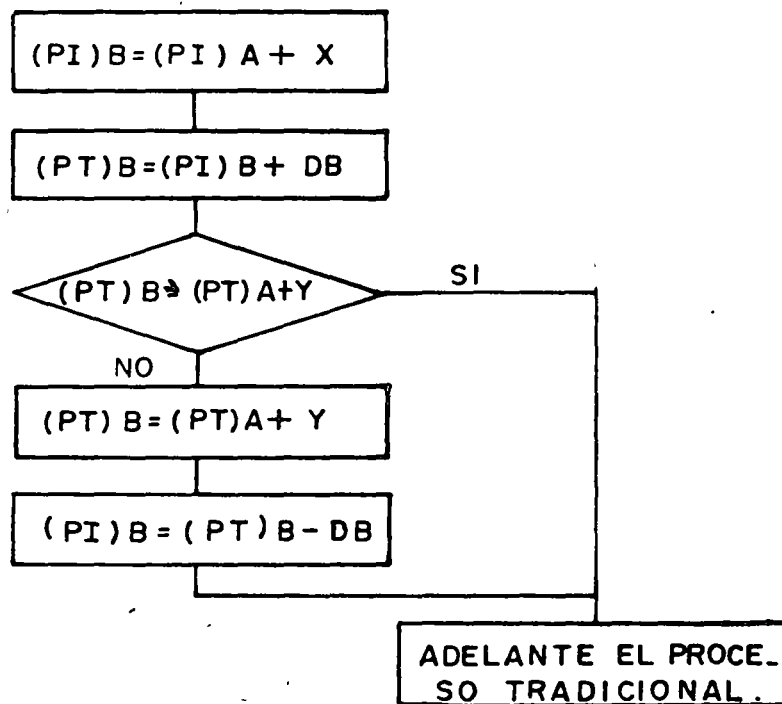


FIG . 28

Para obtener las últimas fechas de inicio y terminación:

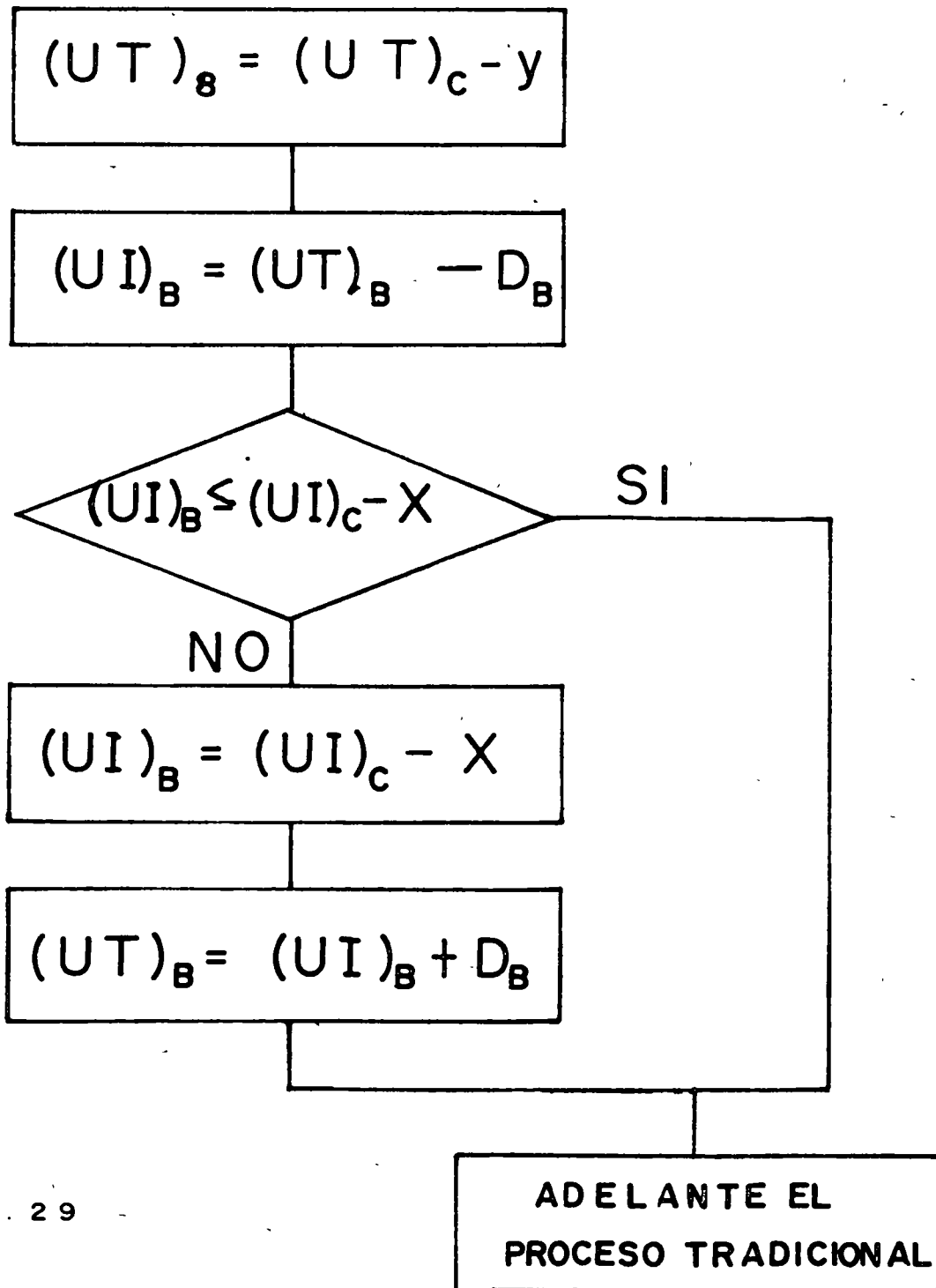


FIG. 29

De los algoritmos anteriores, es fácil detectar que existen casos en que la relación principio - principio es la que prevalece, y otros, en que la que rige es la fin - fin. Estos casos pueden representarse de la siguiente manera:

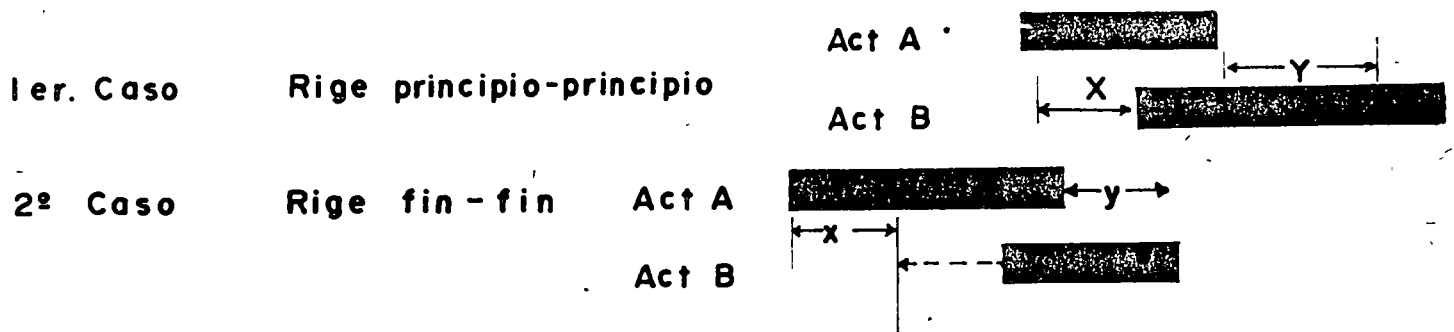


FIG. 30

La barra de la actividad B del segundo caso, tiene a su izquierda una flecha punteada. Esto significa, que si se considera conveniente aumentar la duración de la actividad B, puede hacerse hasta el límite señalado por la mencionada flecha, sin necesidad de posponer la flecha de terminación establecida.

Algunas personas se atreven a llamar "holgura invertida" a este lapso de tiempo que puede aumentar la duración de una actividad, modificando su fecha de inicio y respetando su primera fecha de terminación.

Para ilustrar lo anterior se propone el siguiente ejemplo, consistente en la construcción de una estructura de dos niveles:

...

La estructura se construirá a base de columnas, traveses portantes y sistema de piso prefabricado montado sobre las traveses portantes.

La red de actividades calculada según los algoritmos de las figuras 28 y 29, es la que aparece a continuación:

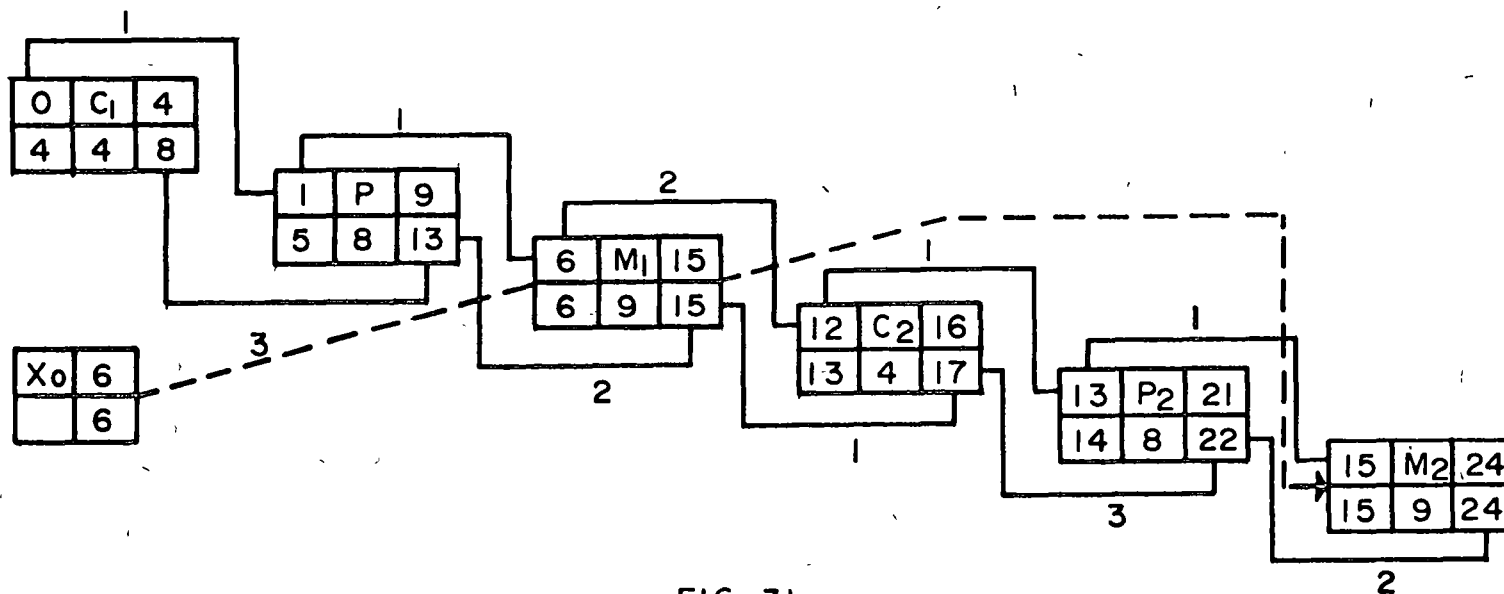


FIG. 31

en donde

C_i =Columnas en el nivel i

P_i =Traveses portantes en el nivel i

M_i =Montaje del sistema de piso en el nivel i

La representación en barras de esta red, aparece a continuación:

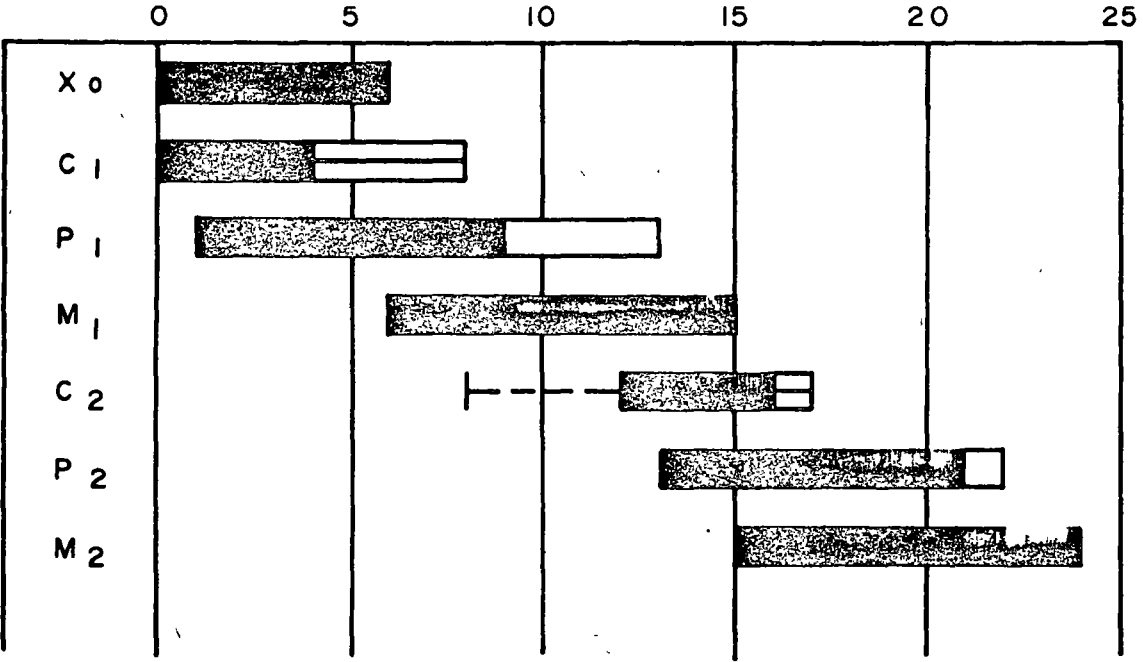


FIG. 32

Desde un principio se dijo que el método de la ruta crítica deberá aplicarse en una forma dinámica, tanto en la etapa de planeación como de control. Esto significa que el programa original debidamente afinado, deberá servir como guía para la obtención de las desviaciones que vayan ocurriendo durante la ejecución de la obra, y cuando se requiera, se modificará dicho programa adecuándose a las nuevas circunstancias y a las decisiones tomadas como resultado de la replaneación de la obra.

Para ejercer el control de avance de obra, según la definición de control dada en un principio, será necesario comparar el programa vigente contra el avance reportado en una determinada fecha, y valorar las consecuencias de las desviaciones detectadas.

Esto puede lograrse si se dibuja junto a la barra correspondiente a cada actividad, otra barra que represente el trabajo desarrollado, definiendo el final que ésta tendría si se siguiera trabajando al mismo ritmo y se siguieran obteniendo los mismos rendimientos.

PRIMER CASO: Se está dentro de programa; todo O.K.

Barra de programa original



Barra de avance de obra

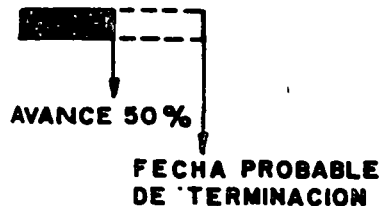
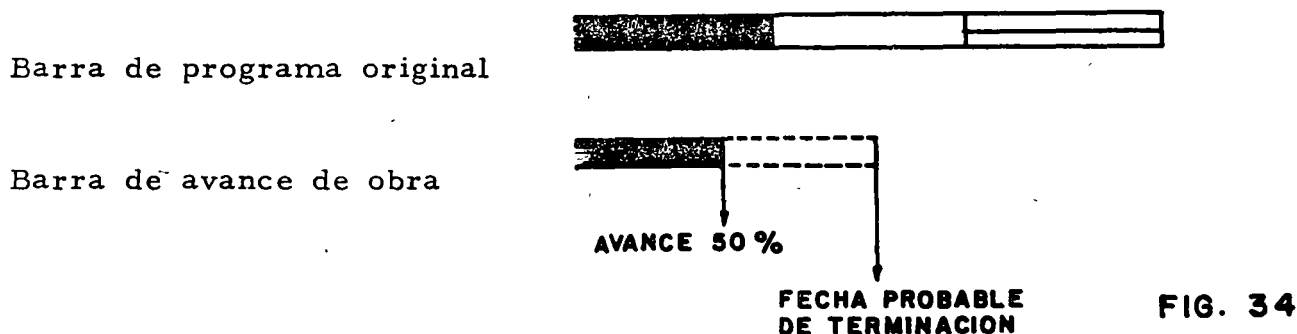


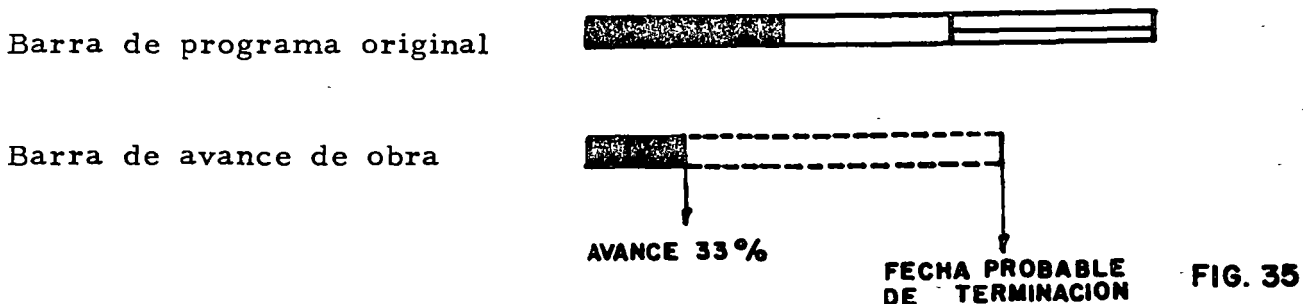
FIG. 33

...

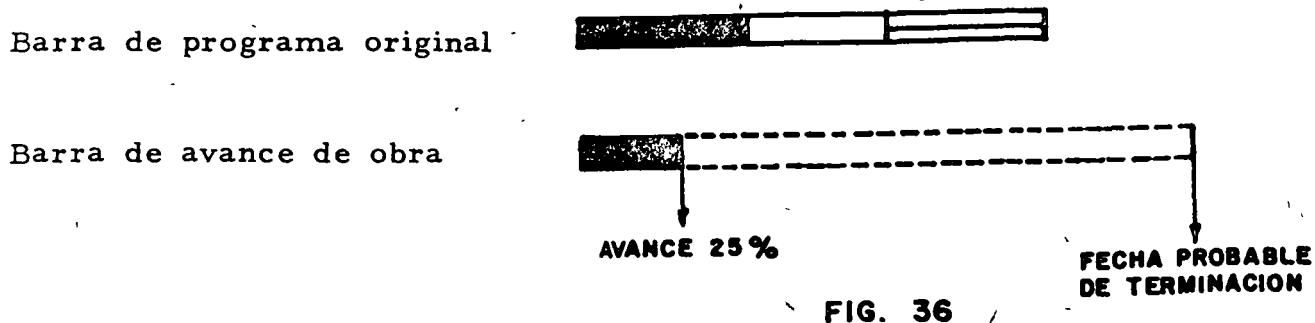
SEGUNDO CASO: La posible terminación está en la zona de holgura libre. No pasa nada, sólo disminuye la holgura de la propia actividad



TERCER CASO: La posible terminación está en la zona de holgura con interferencia. Aunque todavía habrá posibilidad de terminar a tiempo la obra, ya se habrán usado holguras de otras actividades, y será necesario conocer si ya aparecieron nuevas actividades críticas.



CUARTO CASO: Se atrasa la terminación de la obra. Habrá que reprogramar la obra si se desea terminar en la fecha predeterminada, o comprimir la nueva red actualizada



Habrá casos en que no pueda calcularse esta posible terminación por extrapolación de la información recibida, sino que habrá que definirla por el tipo de trabajo faltante por realizar, los problemas específicos que habrá que resolver o las nuevas fechas de suministro de los elementos requeridos para la terminación de dichas actividades.

4.4 TERCERA FASE CURVA COSTO-TIEMPO MINIMO

Si se considera que los costos indirectos de una obra, son prácticamente constantes, podemos graficar la relación tiempo-costo de la siguiente manera:

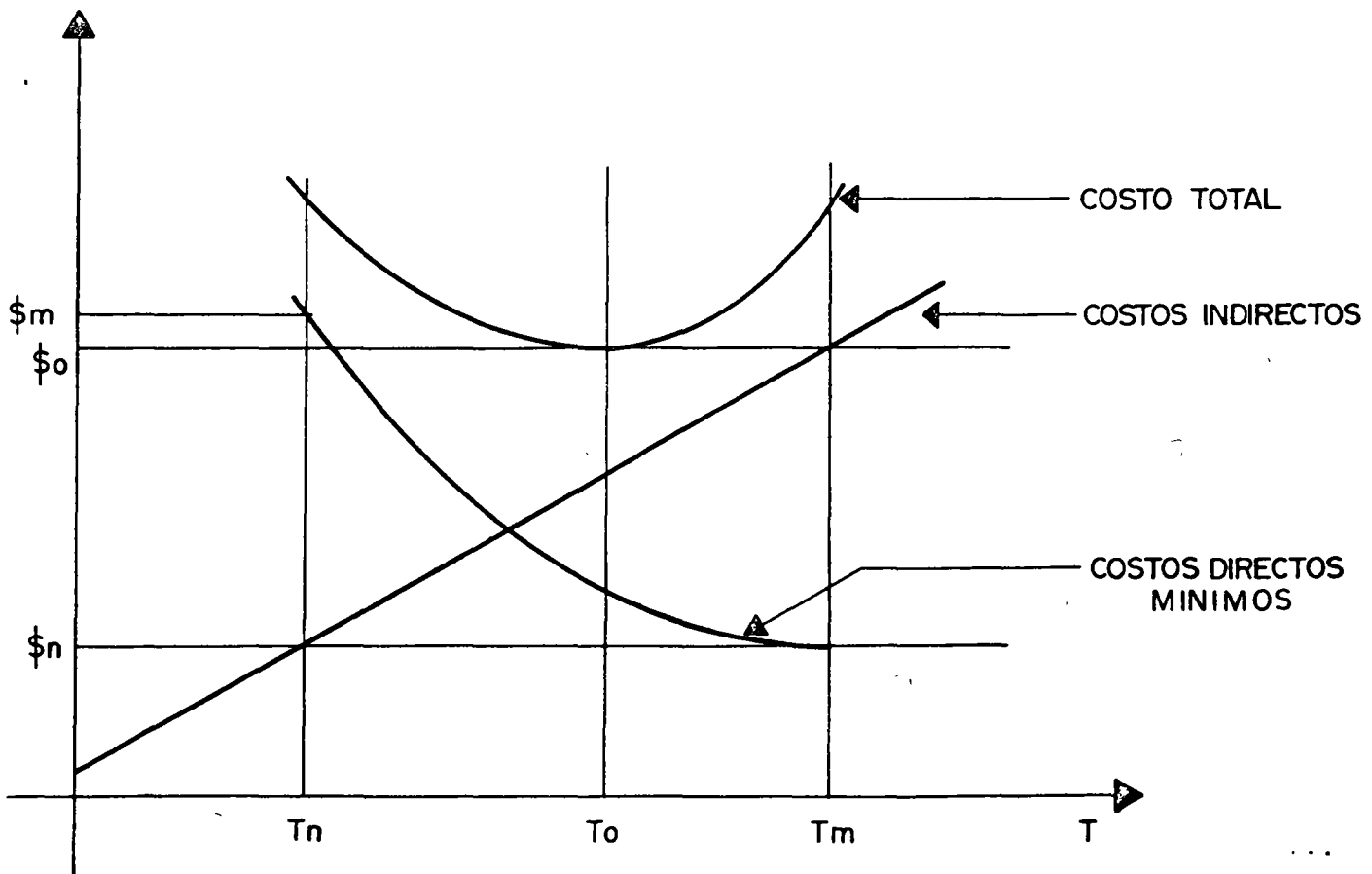


FIG. 37

en donde:

t_n = (tiempo normal): tiempo de realización de la obra, en donde el costo directo es mínimo (\$) N.

t_m = (tiempo mínimo): tiempo menor en que físicamente es posible realizar la obra, suponiendo que se tienen recursos ilimitados disponibles y que no interesa el importe del costo correspondiente.

t_o = (tiempo óptimo): tiempo de realización de la obra, en donde el costo total es mínimo: (\$) o.

La tercera fase del método de la ruta crítica, versa sobre la forma de obtener la curva tiempo-costo directo mínimo expresando en otras palabras, cómo comprimir la red en la forma más económica.

La hipótesis que se introduce en esta etapa, consiste en suponer una variación lineal costo-tiempo para cada una de las actividades de la red, cosa que estrictamente no se cumple en la realidad.

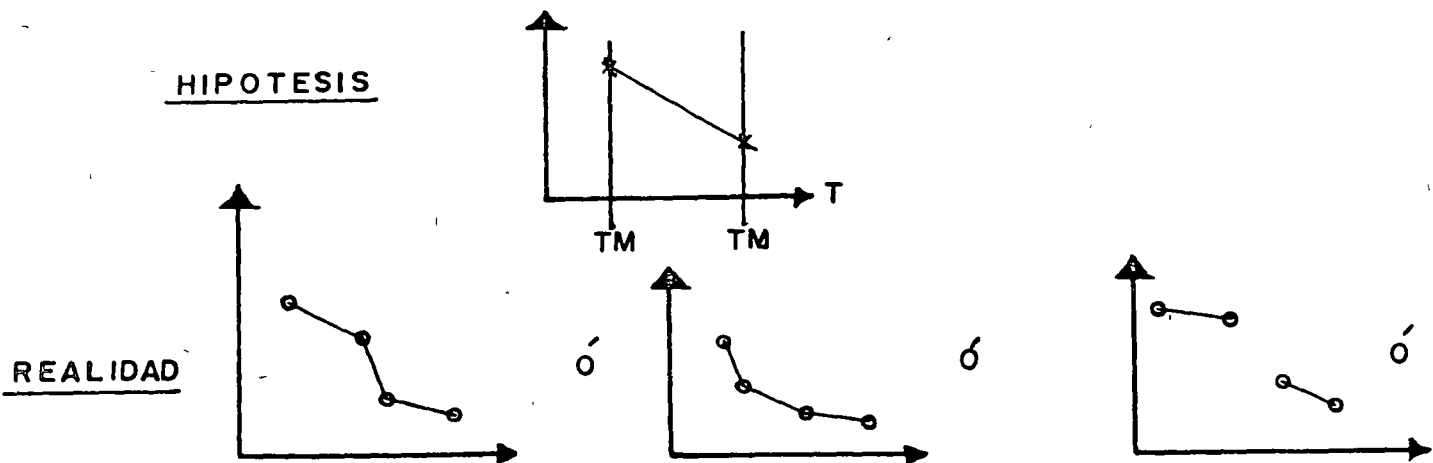


FIG . 38

El proceso de compresión de la red, es un proceso netamente iterativo y tedioso de hacer manualmente, por lo que muchas personas limitan su aplicación para los casos en que se utiliza la computadora.

Por otra parte, la experiencia ha demostrado que en la realidad el uso de la computadora en la aplicación de la tercera fase del CPM es prácticamente inútil, no sólo por las implicaciones de la hipótesis introducida (fig 38), sino por la imposibilidad de obtener la información que requiere la máquina: los t_n y t_m de cada una de las actividades de la red con sus respectivos costos.

Sin embargo, la metodología que se usa en esta etapa es muy valiosa en su aplicación manual, ya que conduce al constructor a tomas de decisiones racionales y realistas, al no perder la noción de las limitaciones que implican la hipótesis del método, ni tampoco las situaciones reales de disponibilidad de recursos en un momento dado.

La metodología para la obtención de la curva costo directo mínimo-tiempo, consiste en modificar alguna(s) actividad(es) de la red, siguiendo la secuencia que se describe a continuación:

a) Identificación de alternativas

Para lograr acortar la duración de la obra, será necesario identificar las actividades críticas cuyas duraciones puedan variarse, y que el valor de las modificaciones que se hagan coincida con la variación de la nueva fecha de terminación de la obra.

b) Selección de la alternativa más conveniente

De las alternativas identificadas, según se describe en el párrafo anterior, se debe seleccionar la más

económica.. Si se cumpliera la hipótesis introducida, esta alternativa sería la que tuviera menor incremento de costo en la unidad de tiempo.

c) Determinación del acortamiento de la alternativa seleccionada

El último paso del proceso, consistirá en determinar el acortamiento de la alternativa seleccionada, y esto se hará tomando en cuenta las dos restricciones siguientes:

- El tiempo mínimo de realización de la alternativa
- Que la alternativa no deje de ser crítica

Una vez que se hayan llevado a cabo los tres pasos descritos, se volverá a repetir el proceso n veces, partiendo cada vez de la red resultante en cada caso.

Esto implica necesariamente que en cada paso existirán otras alternativas que habrá que identificar y manejar en forma semejante a como se describió anteriormente.

Con objeto de ilustrar lo anterior, se desarrollará el siguiente ejemplo, en donde se supone que los recursos que presupone la red, ya han sido distribuidos convenientemente.

En los cálculos mostrados sólo aparecen las primeras fechas de inicio y terminación, ya que no se manejan en la tercera fase las últimas fechas de inicio y terminación. Sólo cuando se obtiene la duración de la obra deseada, habrá necesidad de calcular estas últimas fechas para poder obtener el calendario de barra correspondiente, el cual se usará como base del control de avance de obra.

...

ACTIVIDAD	NORMAL		MINIMO		$\Delta \$/\Delta T$
	TIEMPO (semanas)	COSTO (miles de pesos)	TIEMPO (semanas)	COSTO (miles de pesos)	
1	4	250	3	265	15
2	10	160	7	190	10
3	15	140	13	160	10
4	7	145	6	150	5
5	8	130	5	175	15
6	1	200	1	200	-
7	6	140	4	180	20
8	12	110	11	115	5
9	2	120	2	120	-
		<u>1,295</u>		<u>1,455</u>	



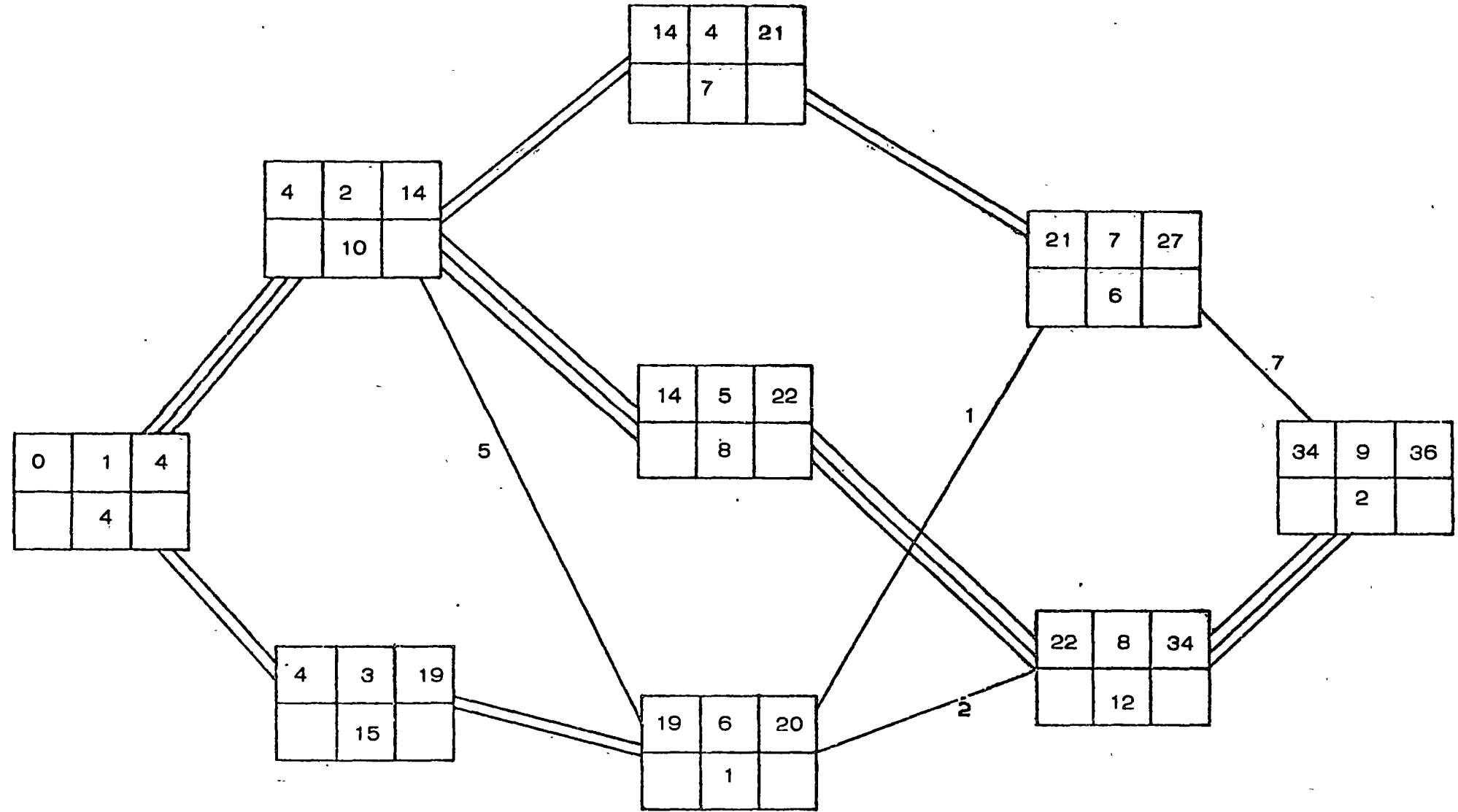


Figura 39

Tiempo duración : 36 semanas
 Costo directo mínimo 1,295

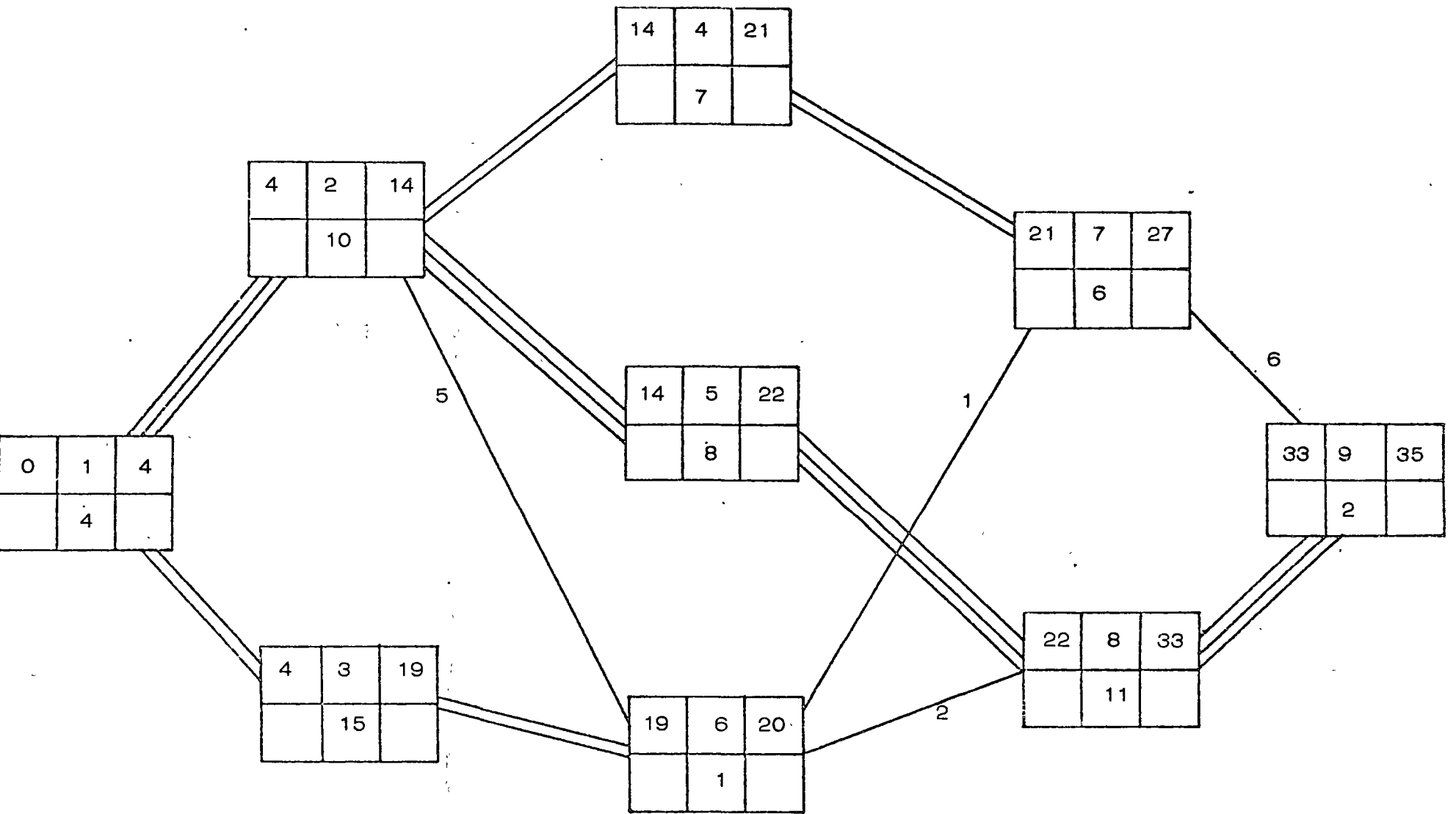
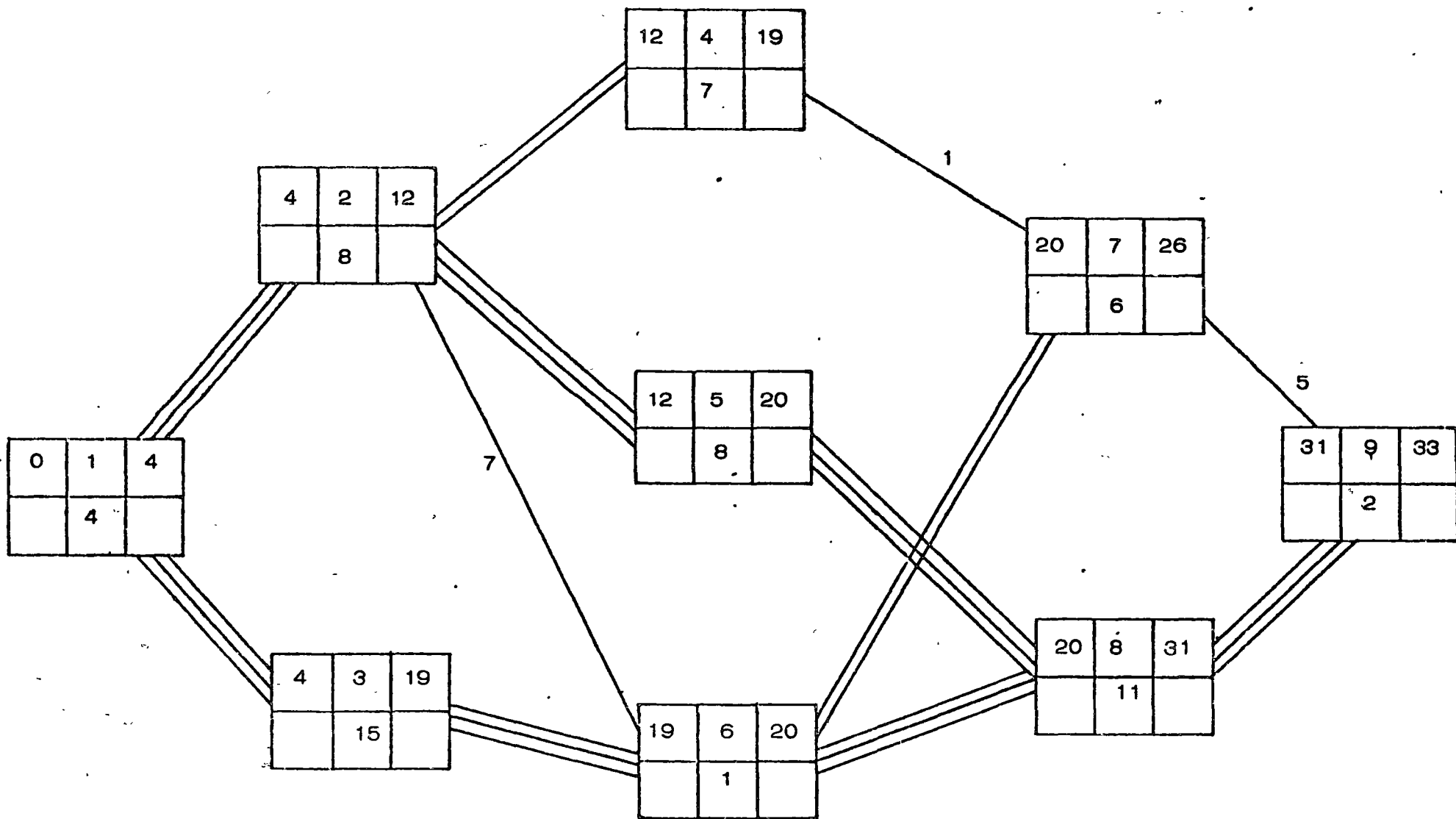


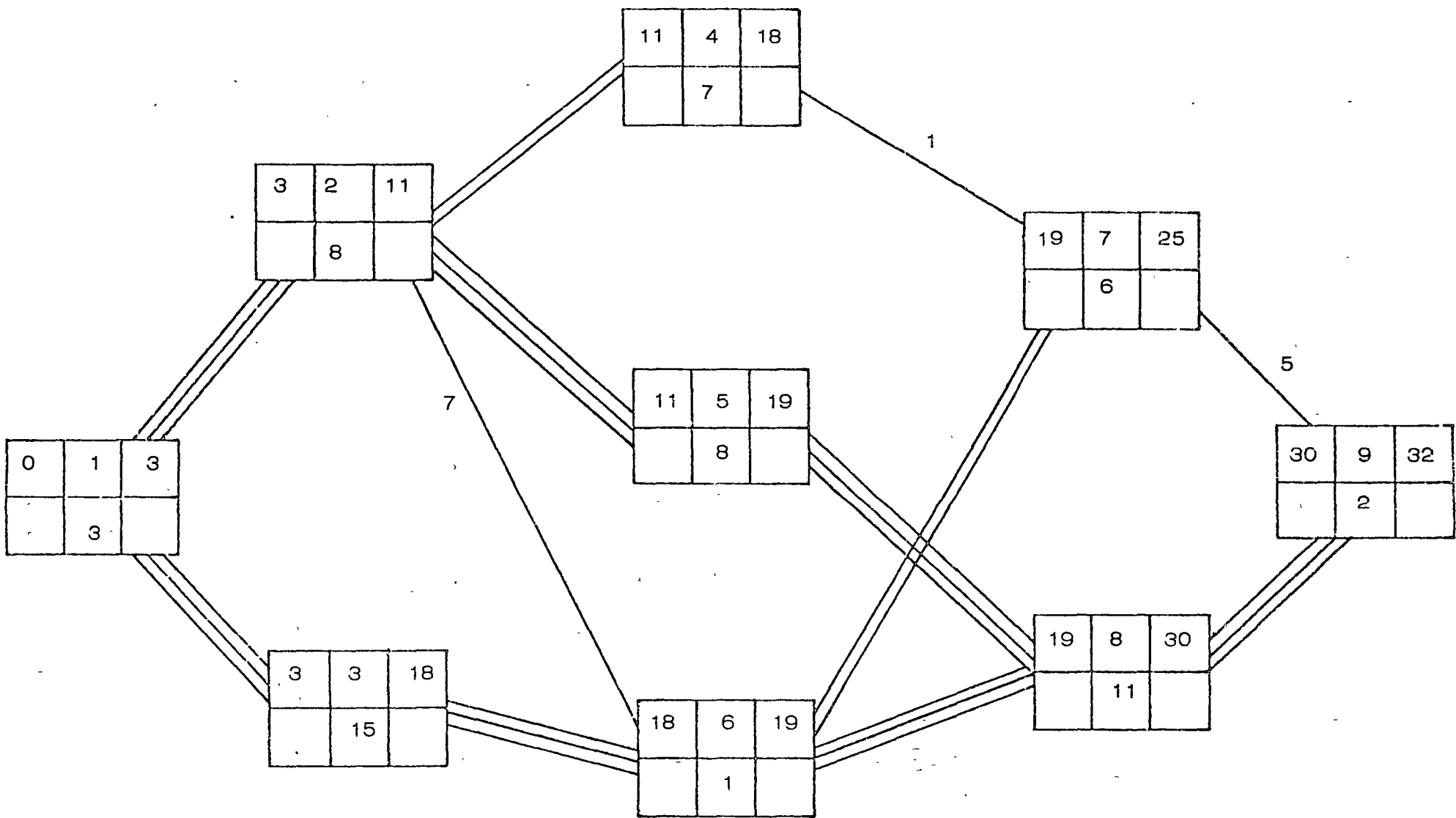
Figura 40

Tiempo duración: 35 semanas
 Costo directo mínimo: 1,300
 Modificación: Art. 8: 1 semana.



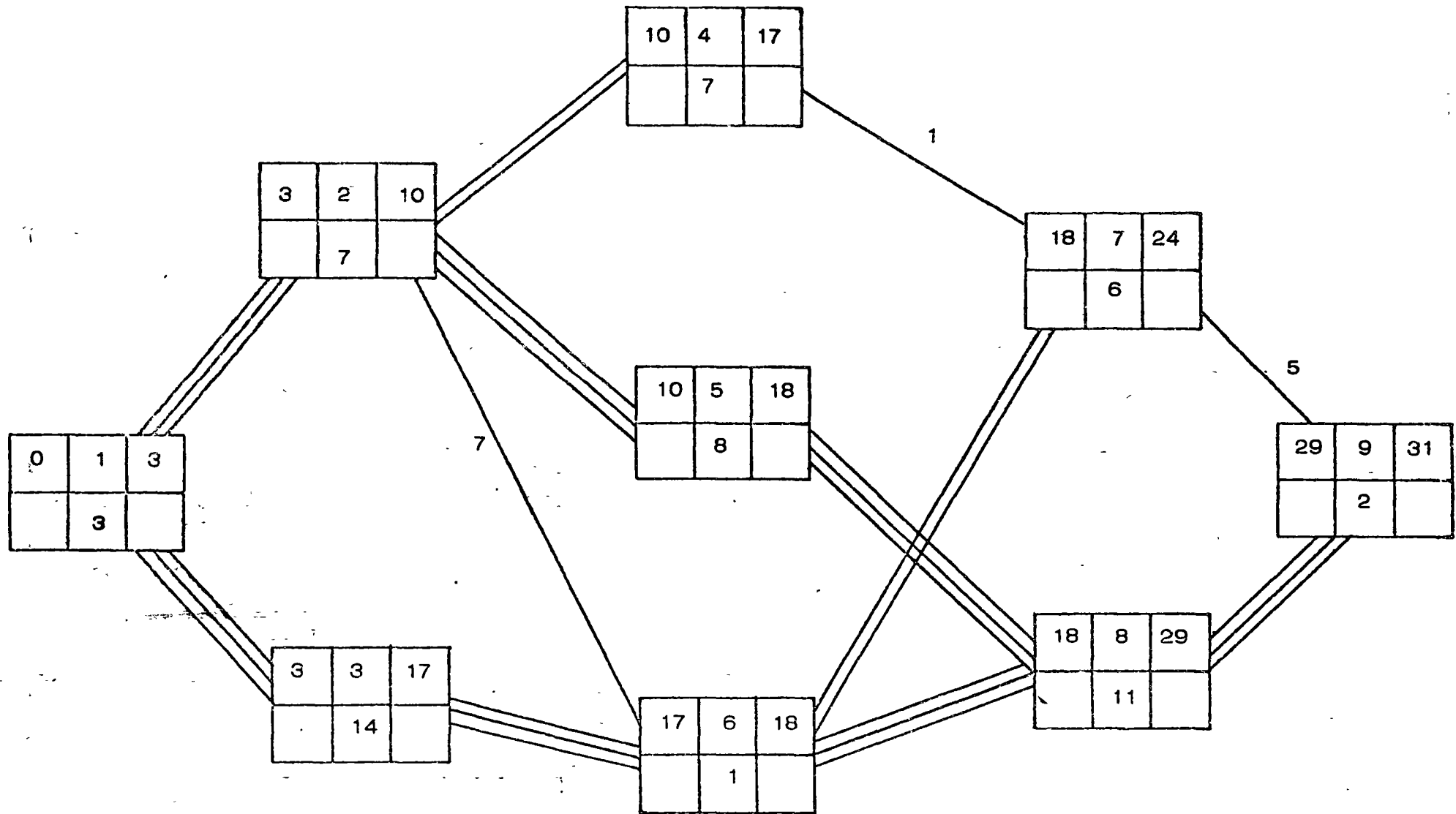
Tiempo duración: 33 semanas
 Costo: 1,320
 Modificación: 2 semanas.

Figura 41



Tiempo duración: 32 semanas
 Costo: \$1,320 + \$15 = \$1,335
 Modificación: Act 1: 1 semana

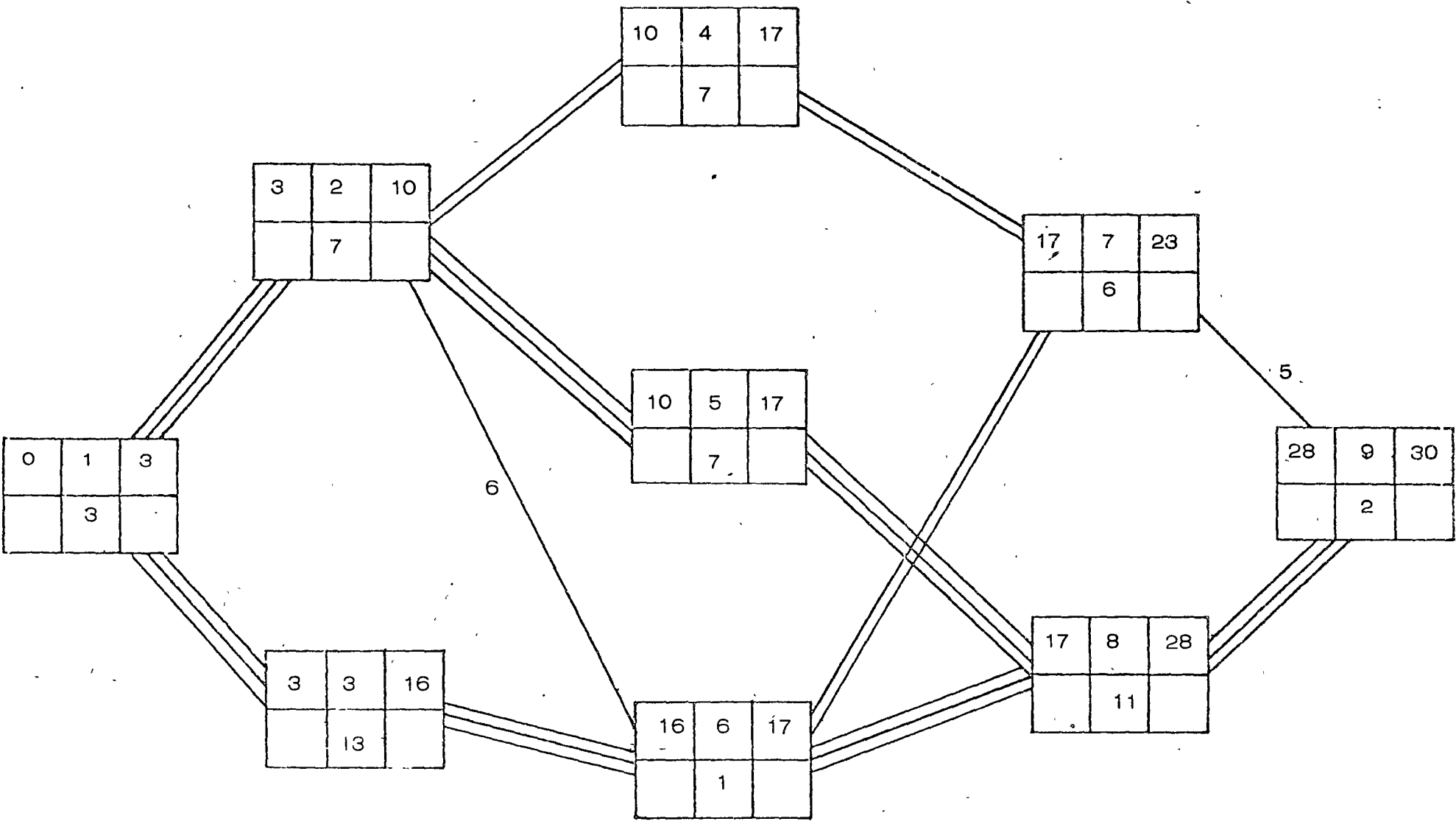
Figura 42



Tiempo duración:
 Costo:
 Modificación:

31 semanas
 $\$1,335 + (10 + 10) = \$1,335$
 Acts 2 y 3: 1 semana.

Figura 43.



Tiempo duración:
 Costo:
 Modificación:

30 semanas
 $\$1,355 + (10 + 15) = \$1,380$
 Acts 3 y 5: 1 semana

Figura 44

CURVA: Costo directo mínimo

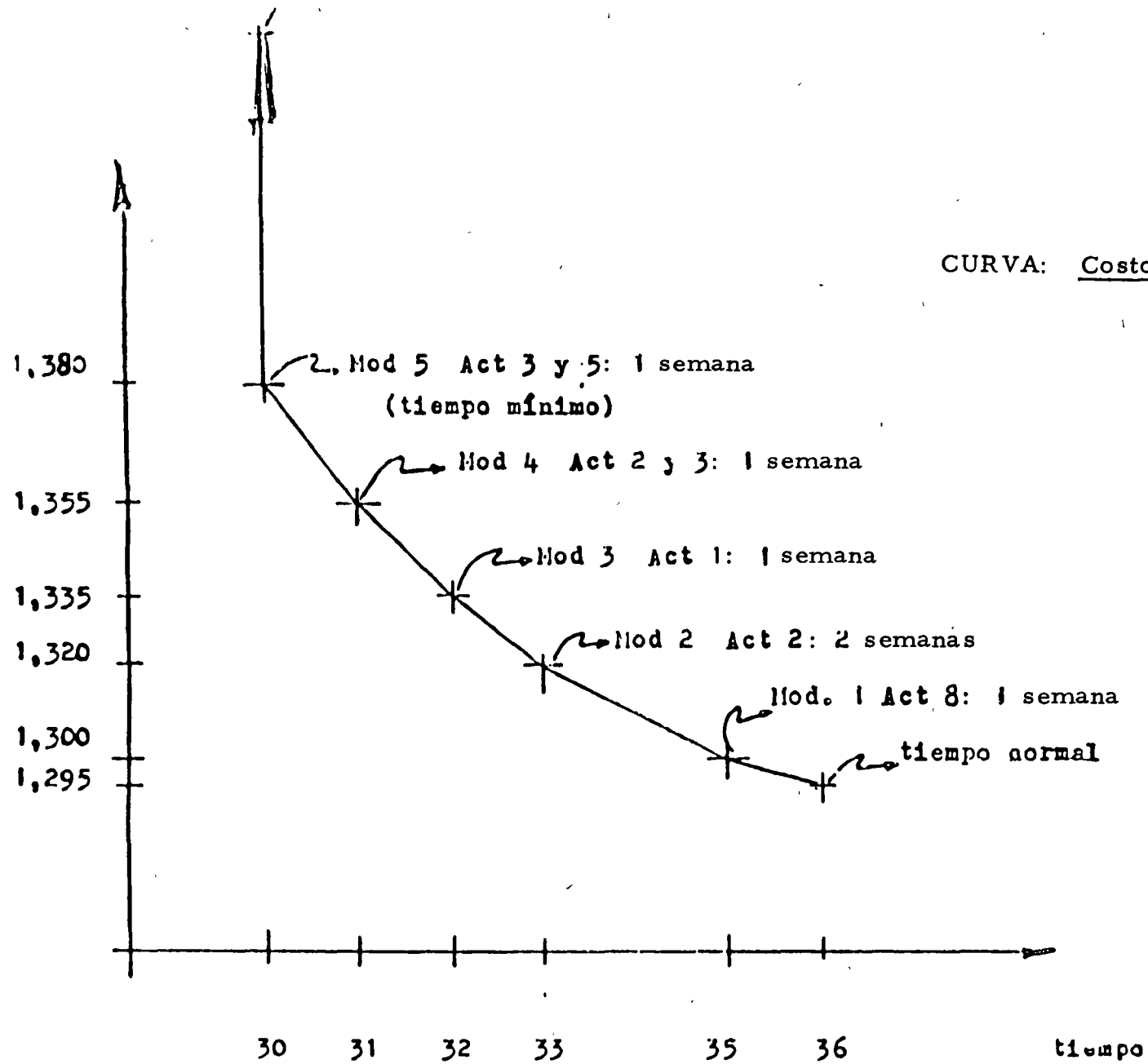


Figura 45

Para poder controlar los costos indirectos, habrá necesidad de predecirlos con base en experiencias anteriores. Una manera práctica de lograr lo anterior, lo constituye el diagrama conocido como del "punto de equilibrio" correspondiente a un determinado período de tiempo (fig 46). En él puede observarse el volumen mínimo que deberá hacerse en ese período, para "salir a mano", es decir, para no tener pérdidas y poder absorber los costos fijos existentes.

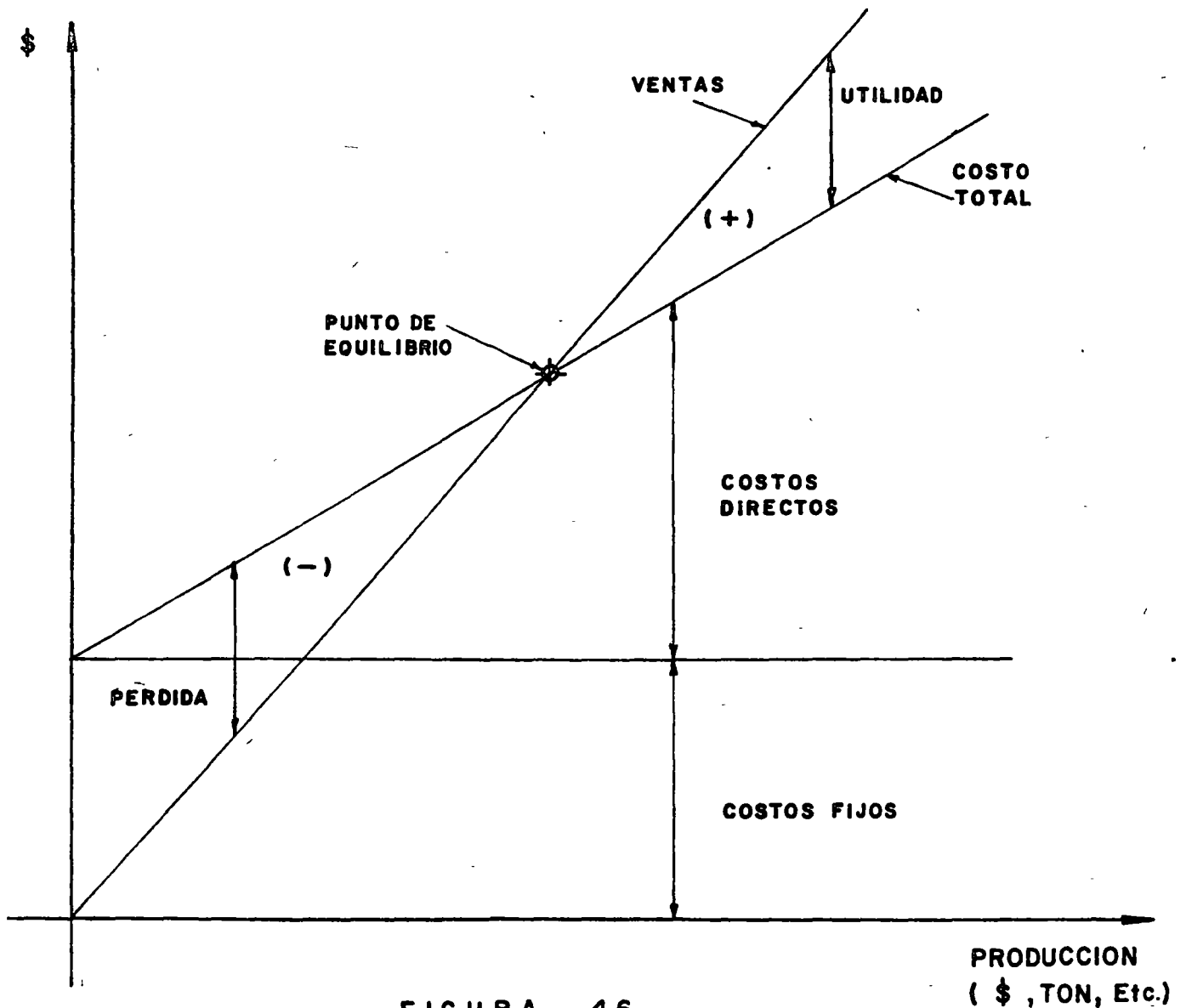
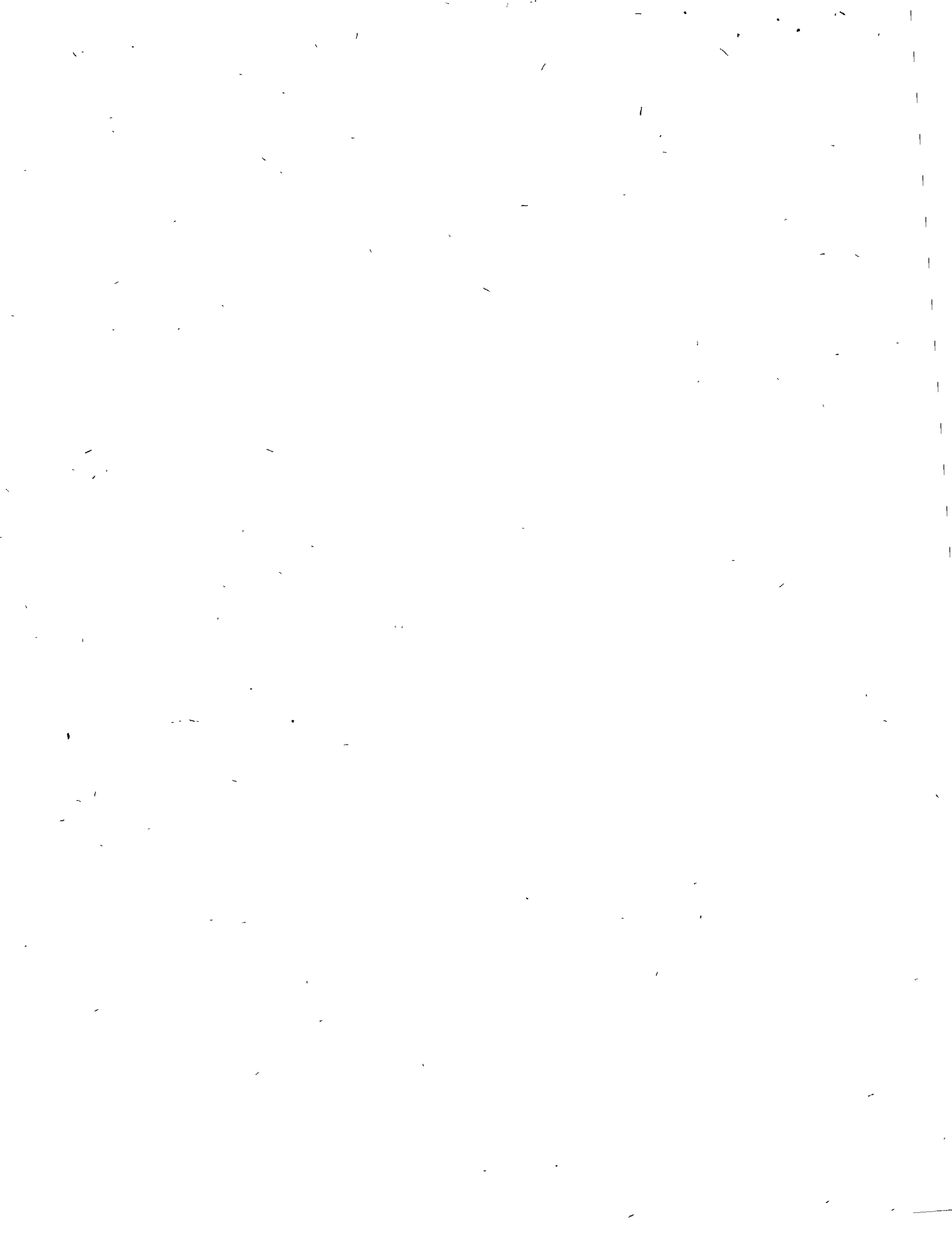


FIGURA 46

Los controles detectan las desviaciones respecto a los planes originales, mas no las causas que las originan. Las técnicas de análisis de tiempos y movimientos, constituyen una herramienta muy poderosa en la identificación de errores o vicios que normalmente son las causas que motivan esas diferencias, entre los resultados obtenidos y los rendimientos esperados.

Es por lo anterior, que se estudiarán en el siguiente capítulo dichas técnicas, como un complemento importante del método de la ruta crítica.



5. TECNICAS DE ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS APLICADAS A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION

5.1 INTRODUCCION

El motivo por el cual se decidió presentar este trabajo, fue la observación de que las técnicas de análisis de tiempos movimientos han sido empleadas con bastante éxito en la industria manufacturera, y en cambio, su aplicación en la industria de la construcción ha sido casi ignorada por completo.

Estas técnicas consisten en analizar la forma de realizar las operaciones rutinarias para llevar a cabo una determinada tarea, con el objeto de encontrar una manera más fácil, económica y segura de llevarlas a cabo. Tratan de optimizar la efectividad de cada esfuerzo que se efectúa.

Toman como premisas de su aplicación:

- a) "Cada peso ahorrado incrementa la ganancia o disminuye la pérdida"
- b) "Siempre hay una mejor manera de hacer las cosas, una óptima solución que no estamos aplicando"

Ventajas resultantes de su aplicación:

- a) No se pasan por alto puntos importantes
- b) Al analizar cada actividad, aislándola de los problemas cotidianos, es posible descubrir una mejor forma de realizarla.

El análisis de tiempos y movimientos se ha usado poco en la construcción, a pesar de la gran importancia de esta actividad, por los siguientes argumentos:

....

- a) cada obra es diferente
- b) el personal no es de planta
- c) las actividades no son repetitivas
- d) las actividades duran poco

Además de lo anterior, existe la tendencia en el constructor de responsabilizar al "maestro de obra" de la ejecución, dirección y selección de procedimientos, atribuyéndole una "genial habilidad" organizadora y planificadora.

Por otra parte, si tenemos presente que un 75% a 85% de todas las actividades de una obra consisten en el manejo y movimiento de materiales, y que observadores de la implantación de estas técnicas sostienen que los ahorros derivados de estos estudios se estiman conservadoramente en 8 a 10 veces el costo de su aplicación, puede concluirse que es indispensable aplicar estas técnicas en la industria de la construcción.

5.2 EL ELEMENTO HUMANO

El éxito de la aplicación de las técnicas de análisis de tiempos y movimientos en la industria de la construcción, depende en gran parte de la colaboración que preste el personal, por lo que es aconsejable involucrarlo en su aplicación, motivarlo lo más posible y hacerlo partícipe en la toma de decisiones, incrementando con esto su interés en aumentar la productividad.

Por lo anterior, se comprende que es de sumo interés no desanimarlo, ni que pierda su iniciativa e imaginación.

Se recomienda, para lograr involucrar al personal en la aplicación de estas técnicas, las reuniones informales de

...

grupo, dirigidas por el encargado de estos estudios, acompañadas de exhibiciones de material fotográfico, procurando la participación espontánea y sincera de los asistentes, y tratando de explotar la máxima: "hágalo usted mismo". Los principales beneficios derivados de reuniones de este tipo, son:

- a) La creatividad e inventiva generadas a través de la emulación mutua, la aportación de la experiencia de los participantes y la crítica constructiva.
- b) La "psicología de la participación": la gente se considera como autora del nuevo método desarrollado, lo que conduce a una mayor cooperación y entusiasmo de los que intervendrán en la aplicación del nuevo plan de trabajo.

El principal obstáculo que se interpone en la realización de algún cambio, es el problema humano, ya que en general, la gente es renuente al cambio. La principal causa de esto es el temor a la pérdida del prestigio, al fracaso, etc... La mejor forma de superarlo es el buen conocimiento y entendimiento de las cosas.

Es común el uso ineficiente de la mano de obra, esto se debe a la mala o nula comunicación que se tiene con los obreros; las órdenes no son claras y específicas, ni tampoco se les indica la mejor manera de hacer las cosas.

Es necesario tener presente que cada persona entiende según su experiencia, memoria, preparación y conveniencia. Por ello, es recomendable que las órdenes sean escritas y lo más claras que sea posible. Además, es conveniente al asignar tareas a los obreros, tener presente ciertos principios que gobiernan el comportamiento humano para condiciones de trabajos físicos pesados, como es el caso de la construcción.

...

Estos principios pueden resumirse en las gráficas de las figuras siguientes:

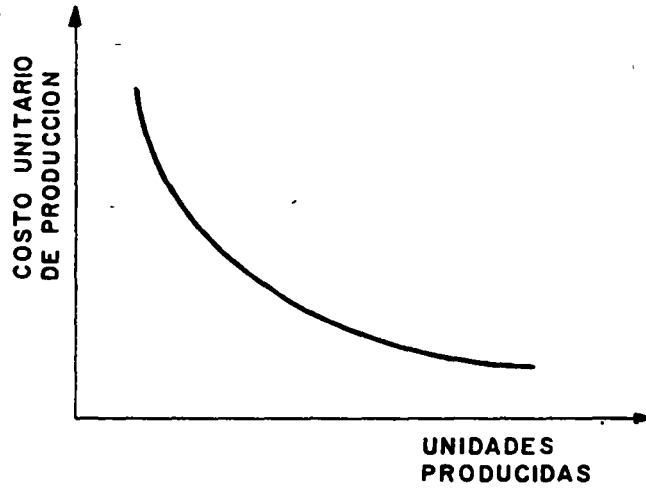
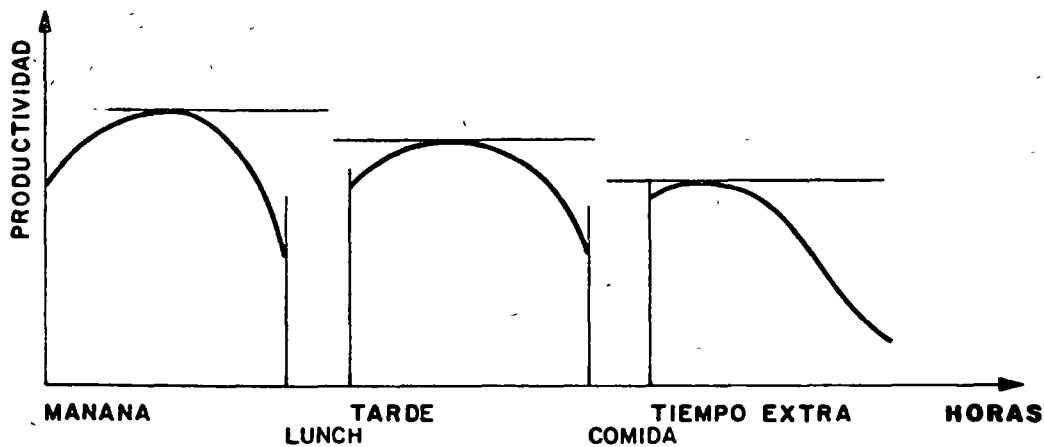
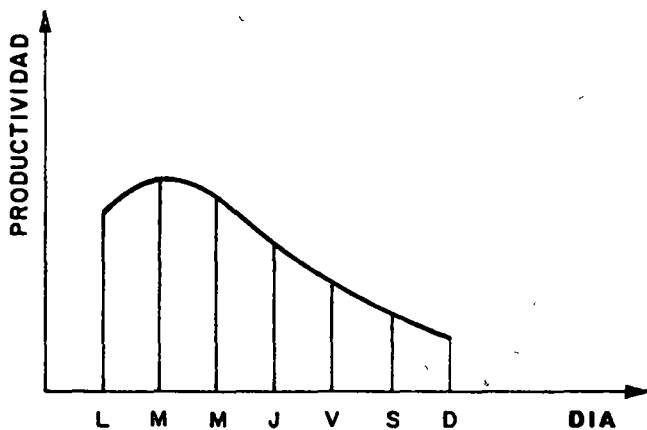


Figura 47

RENDIMIENTO DIARIO



RENDIMIENTO SEMANAL



SI SE TRABAJA EL DOMINGO UNAS CUANTAS HORAS, EN EL INICIO DE LA SEMANA LA PRODUCTIVIDAD BAJA.

RENDIMIENTO BIMESTRAL

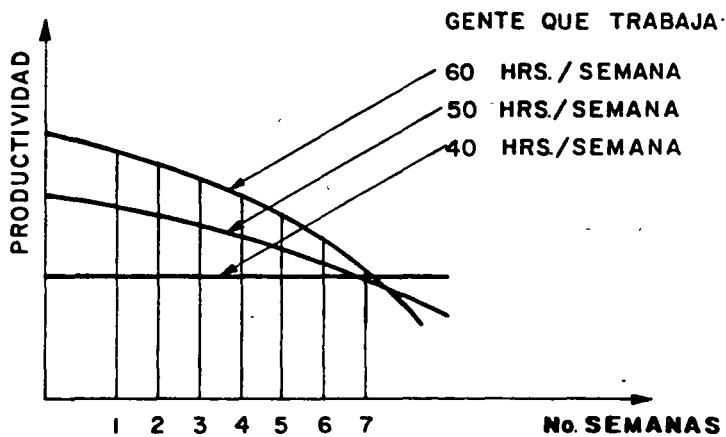


Figura 48

...

Por último, habrá también que tener presente que el tiempo de adaptación absoluta de turnos diurnos a nocturnos y viceversa, varía entre 2 a 25 días, dependiendo de características específicas de las personas.

En resumen, para tratar de descubrir una mejor manera de realizar las cosas, se necesita además de tener una mente abierta al cambio, tener un espíritu de creatividad y una posición contraria al conformismo, al tradicionalismo, a la timidez y a la suficiencia. Es necesario tener presente que no se deben cambiar las formas de realización de las cosas sólo por cambiarlas, sino por mejorarlas.

5.3 PASOS PARA PODER DESARROLLAR ESTAS TECNICAS

Registro de cómo se lleva a cabo el ciclo que se está estudiando, enmarcado dentro de las condiciones generales de la obra. Este registro se puede realizar mediante:

5.3.1 Observación visual

5.3.2 Estudios con cronómetro

VENTAJAS:

Los más baratos y más rápidos de realizar en el campo. Útiles cuando es uno o muy pocos los elementos observados.

LIMITACIONES:

- a) Siempre existe un error acumulativo cada vez que el cronómetro se para, se lee y se vuelve a echar a andar (el error es más importante mientras más cortas sean las duraciones de las actividades observadas)
- b) El observador decide al momento de tomar lecturas, cuándo empieza y cuándo termina una cierta

actividad, o en qué instante separar dos actividades o ciclos. Esto puede ser grave cuando el estudio lo realiza más de un observador, cosa que es necesario en obras grandes.

- c) Es bastante largo, lo que puede originar un cambio de las condiciones de la obra, y con ello, una falsedad en la información recabada; por ejemplo, para registrar una actividad que involucra 10 elementos (hombres, máquinas, etc...), se requerirá de la observación de:

$10 \text{ elementos} \times 5 \text{ observaciones/elemento} = 50 \text{ ciclos}$

Es probable que las condiciones hayan variado considerablemente entre la primera observación y la quinta.

- d) El estudio se limita a lo estrictamente observado, por lo que resulta incompleto, especialmente en lo relacionado con la interdependencia de las actividades.
- e) Debido al volumen de información que el observador debe ir anotando en muy poco tiempo, es usual que descuide su objetivo y la precisión en los datos tomados. Para contrarrestar esto, es recomendable dedicar un tiempo del observador exclusivamente a ver los trabajos sin tomar ninguna nota, para que norme el criterio de sus observaciones en función de las condiciones en las que realmente se está llevando a cabo el trabajo.
- f) Al darse cuenta los obreros de la realización de este estudio, adoptan una posición distinta a la normal. Esto es debido a que los trabajadores se sienten considerados como simples máquinas, a quienes se trata de explotar al máximo, consideran

que los estudios se hacen con el objeto de bajar el monto de los destajos que se les están pagando, etc...

5.3.3 Estudios con fotografías tomadas a intervalos constantes de tiempo (time-lapse photography)

VENTAJAS

- a) Relativamente barato: un rollo de 100 pies dura 3 horas 30 minutos, con fotos cada 3 segundos (40 fotos/pie).
- b) Capaz de tomar nota de varias actividades de un gran número de componentes a la vez.
- c) Capaz de tomar nota de las interrelaciones de los componentes.
- d) Es una colección de observaciones permanentes y de fácil comprensión.
- e) Los supervisores y maestros de obra pueden estudiar y mejorar su trabajo con la sola visualización de la película.
- f) Las fotografías pueden servir para fines de enseñanza, descripciones de algún problema o estudios de seguridad.
- g) Descubre muchos vicios o trabajos innecesarios que se hacen por rutina y pasan desapercibidos normalmente, o a los cuales no se les da la importancia que realmente tienen.
- h) Los datos observados son irrefutables: la gente en ocasiones no quiere cambiar sus procedimientos

...



tradicionales, alegando que los estudios no tienen validez por estar basados en observaciones equivocadas. Con este procedimiento aceptan los cambios al ver el estudio fotográfico, y en ocasiones sugieren ellos mismos mejoras importantes, y con ello se vuelven colaboradores del sistema.

- i) Archivo de experiencias obtenidas en distintas obras.

EQUIPO:

- a) Cámara de cine con solenoide, dispositivo para fijar la frecuencia de las fotografías (timer), fuente de energía y tripié.
- b) Proyector con contador de fotografías y velocidad de proyección regulable, para adelante y en reversa.
- c) Estudios con video-tape. Está en desarrollo el equipo para su aplicación a la construcción.

Es recomendable que no se re-use la cinta magnética, porque se pierden experiencias pasadas.

Tiene la ventaja sobre la fotografía de que la información tomada en el campo puede analizarse de inmediato, sin tener que esperar al revelado del material filmado. En resumen, podría asignársele a esta forma de recolección de datos, las mismas ventajas que las correspondientes a los estudios con time-lapse.

5.4 ANALISIS DE LA INFORMACION RECOLECTADA

Los sistemas de análisis gráficos constituyen en sí, un

...



método de registro y de comunicación. Deben contener datos representativos de lo que sucede en la obra y no hechos ocasionales.

Los más útiles y usados en construcción, son:

5.4.1 Balance de recursos

Es un conjunto de barras verticales que parten de un mismo eje horizontal, construidas a escala y expresadas en % del tiempo del ciclo. En cada barra se expresan las actividades que desarrolla un sólo elemento del grupo estudiado (máquina u hombre), incluyendo en ellas el tiempo improductivo u ocioso, por lo que la interrelación de cada uno de los recursos usados puede apreciarse al comparar las diversas barras a lo largo de una línea horizontal. De su observación, se advierte en muchos casos, algún cambio en la manera de realizar las cosas o de integrar más eficientemente una cuadrilla (es importante hacer notar que con este estudio no se puede analizar la eficiencia o rendimiento de los recursos usados).

Es importante tratar de tener siempre las cuadrillas balanceadas, porque al cambiar ciertas condiciones (entregas de material, nuevos o más elementos disponibles, más eficiencia individual de algunos trabajadores, etc...), éstas se pueden desbalancear.

Es necesario, al construir las barras, identificar el % de cada tipo de actividad o tiempo ocioso, con un determinado color o asciurado.

5.4.2 Diagrama de flujo de proceso

Es la representación en un croquis (acotado si es

...

posible, aunque sea en forma aproximada) del movimiento y ubicación de los materiales y equipo usados en el proceso.

5.4.3 Carta de procesamiento

Es la relación de trabajos que integran un ciclo de trabajo.

A la descripción de cada uno de los trabajos relacionados, deberá agregársele el tiempo que toma en llevarse a cabo, el % del tiempo del ciclo que le corresponde, y el símbolo que lo identifica como una actividad de transporte, operación, inspección, retardo o almacenamiento, según la tabla que aparece a continuación, propuesta por la ASME (American Society of Mechanical Engineers)

<u>Símbolos usados</u>	<u>Nombre</u>
○ -----	operación
➔ -----	transporte
□ -----	inspección
Ⓓ -----	retardos
▽ -----	almacenamiento

Para ilustrar los métodos gráficos de análisis de información, se reproducen los ejemplos que sugiere H W Parker en la publicación que aparece al final de estas notas como referencia #2.



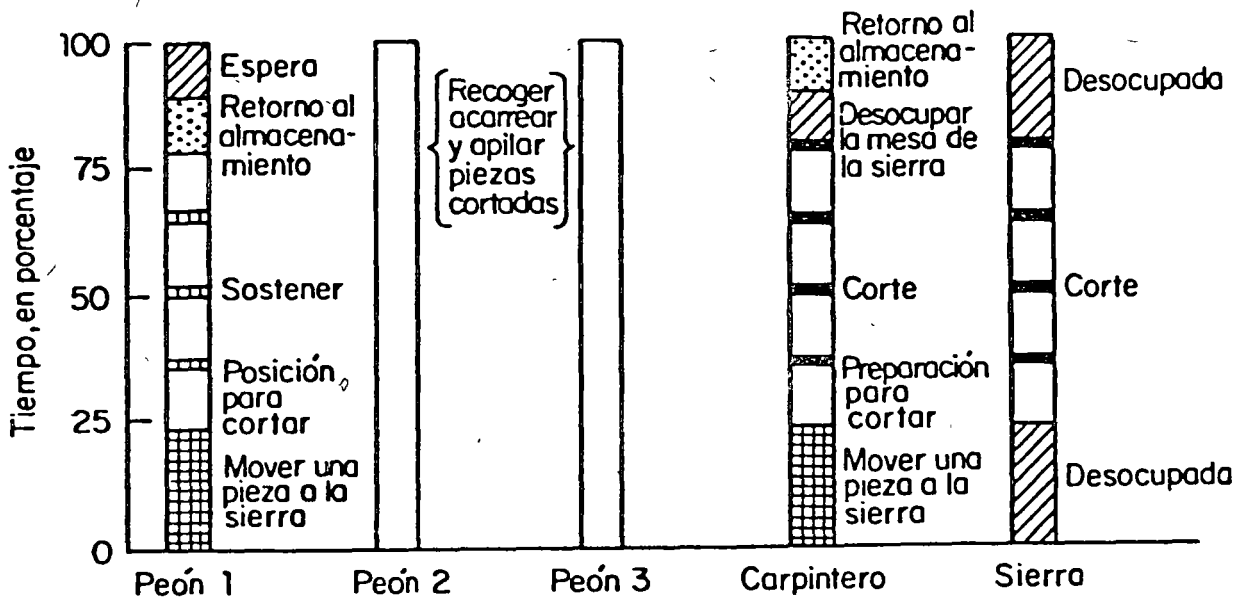


Diagrama de balance de recursos

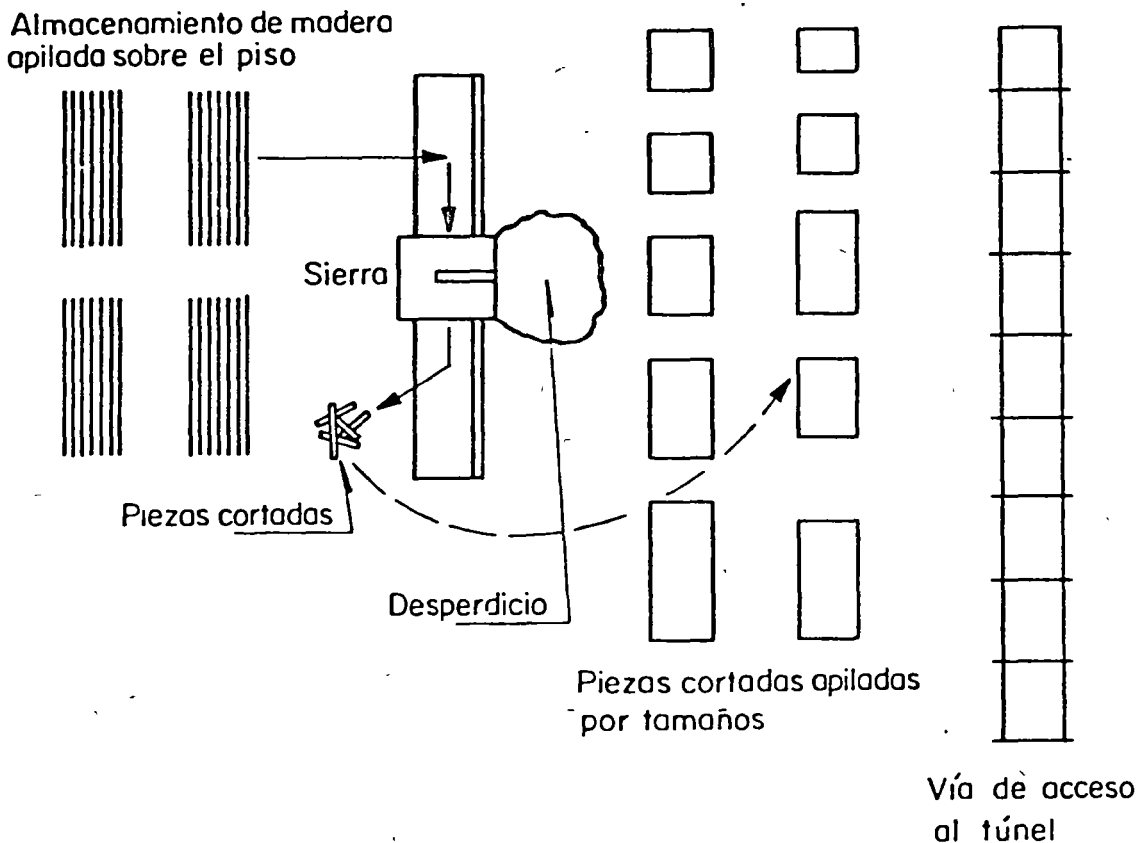


Diagrama de flujo

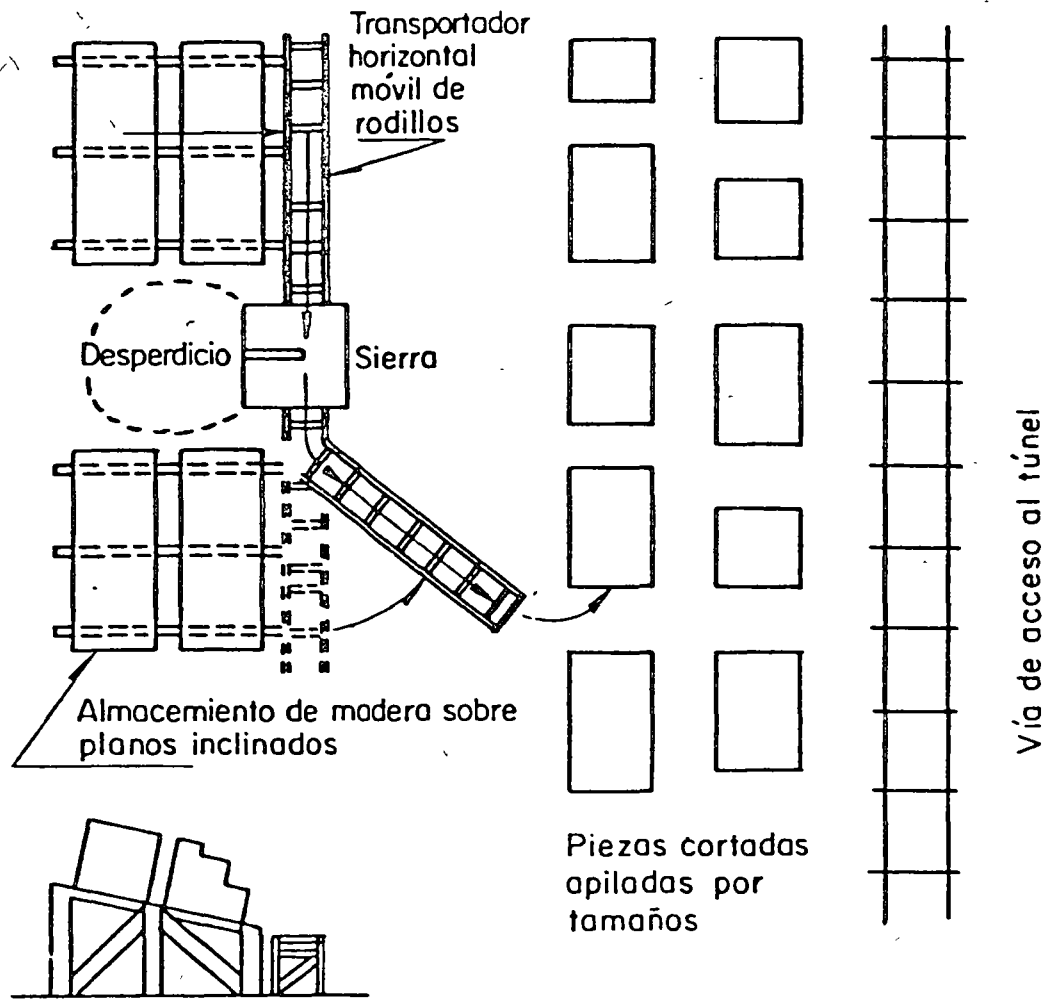


Diagrama de flujo

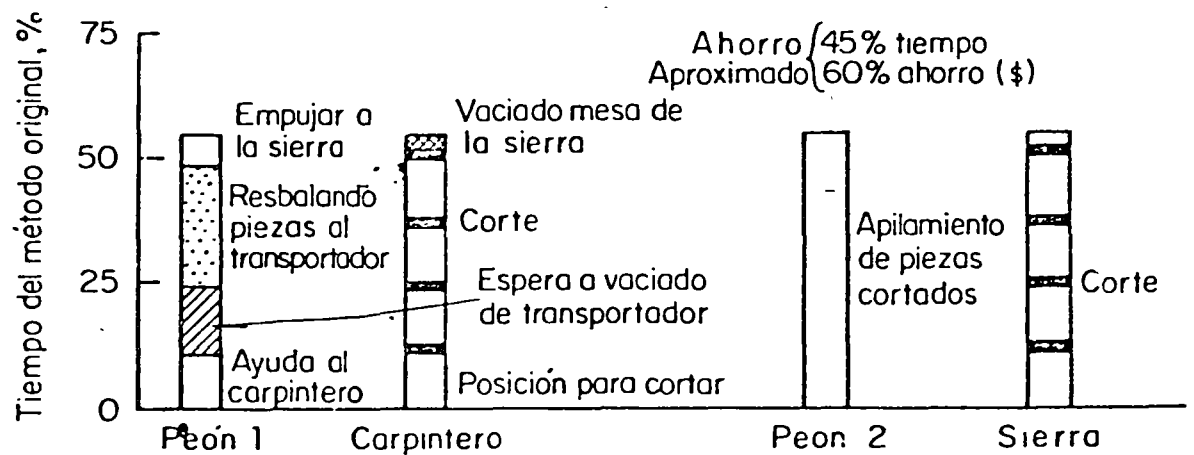
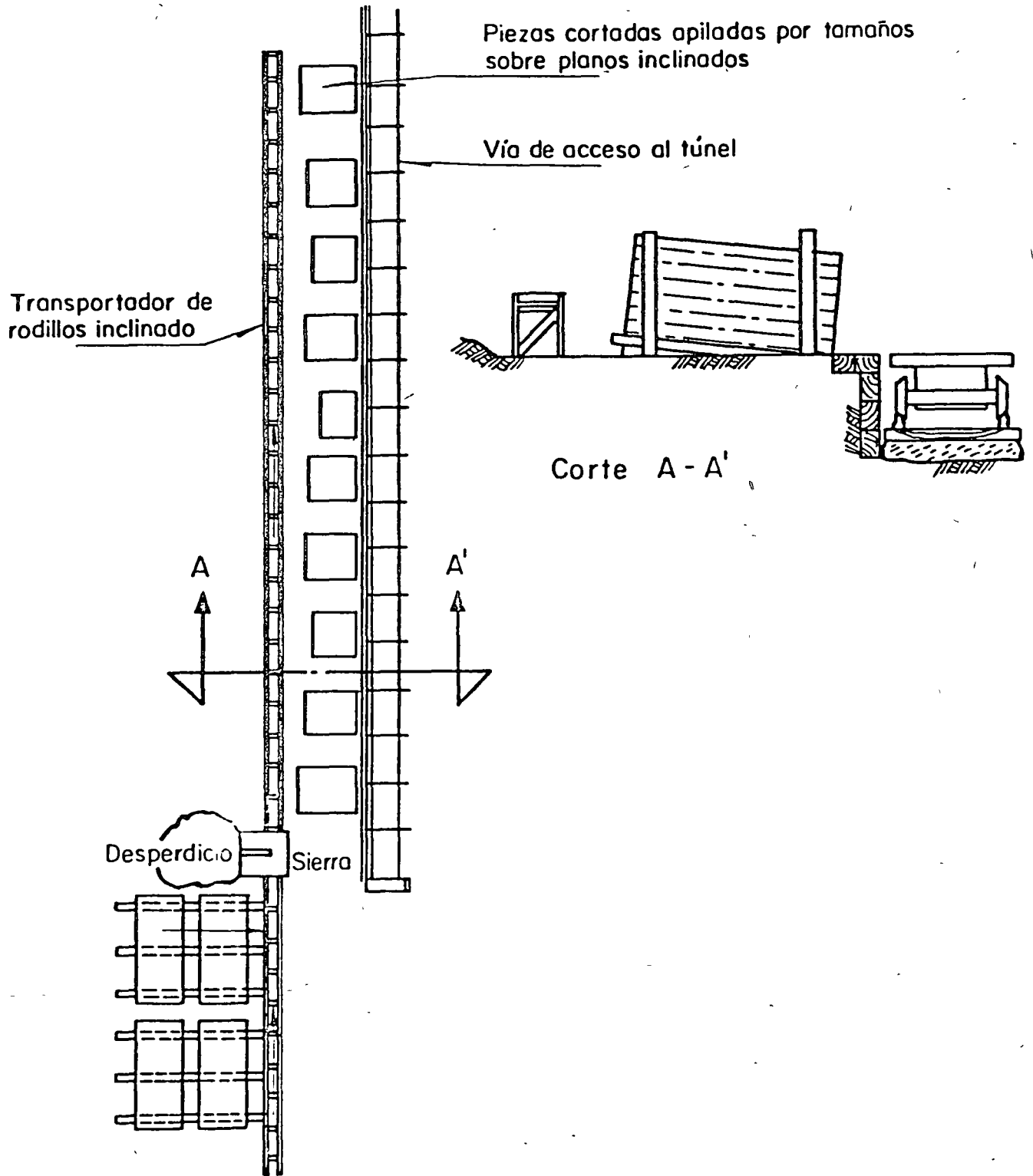


Diagrama de balance de recursos



5.5 "DESAPROVECHAMIENTO" DE NUEVOS METODOS

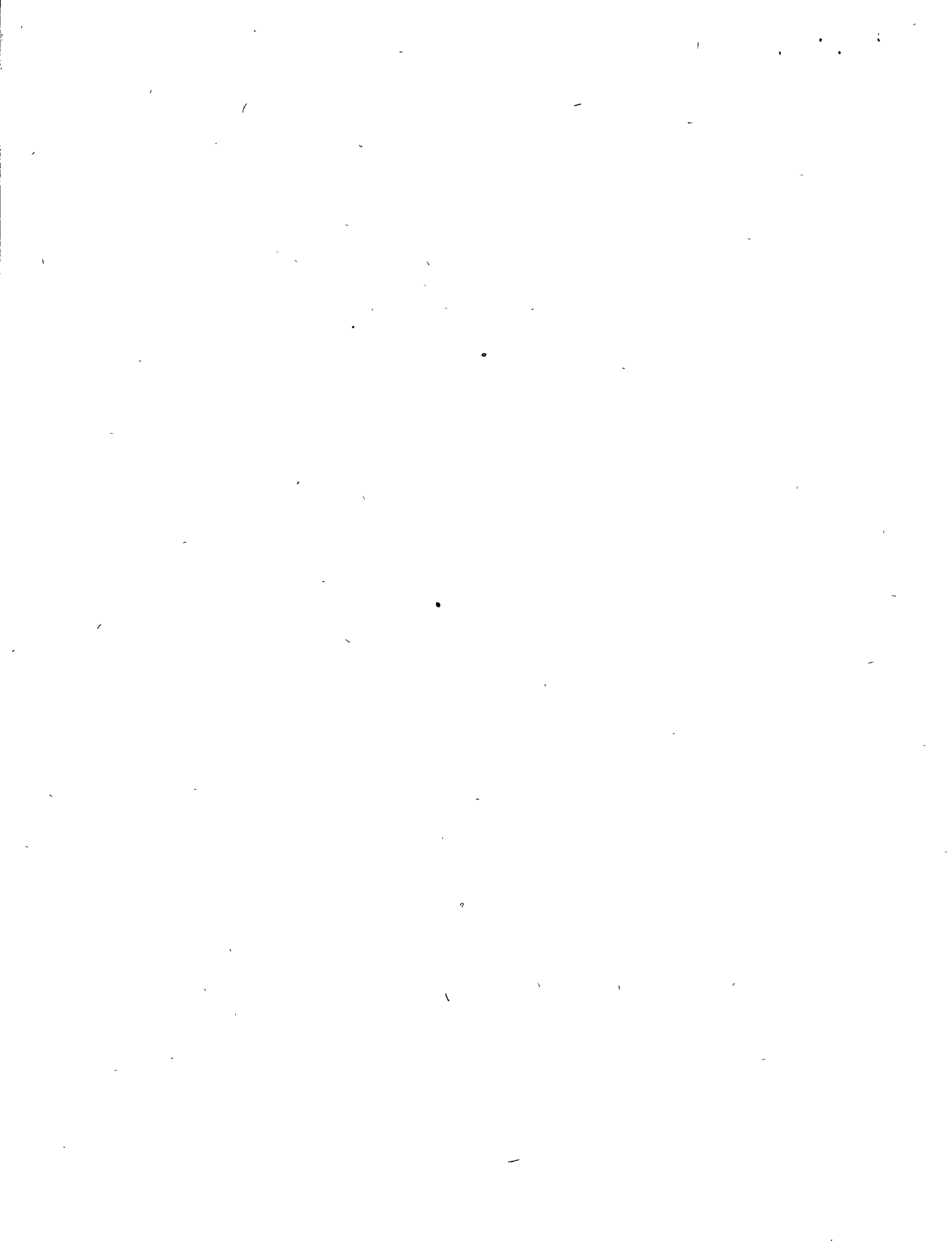
Es conveniente, para lograr mejores resultados en esta etapa, seguir las siguientes sugerencias:

- a) Hacer las seis preguntas básicas para cada detalle:
QUE se propone (objetivo)
POR QUE se hace de esa manera
CUANDO es el mejor momento de realizarla
DONDE es el mejor lugar para hacerla
COMO es la mejor manera de realizarla
QUIEN es el más calificado para llevarla a cabo
- b) Evaluar el lugar donde se lleva a cabo la obra, los recursos usados, herramienta, equipo y materiales, el flujo de los materiales y las condiciones de seguridad.
- c) Discusiones en mesas redondas con gente que participe directamente en la ejecución de la obra.
- d) Solicitar ideas de gerentes, superintendentes, maestros de obra, etc...

5.6 DESARROLLO DE UN NUEVO METODO

- a) Con un claro entendimiento del objetivo deseado, eliminar detalles no necesarios, reasignar recursos, simplificar procedimientos, etc..., para hacer las cosas más fáciles, rápidas y económicas.
- b) Escribir una versión detallada del nuevo método propuesto.
- c) Vender el nuevo método al patrón, superintendente, maestro, trabajadores, etc...

...



5.7 IMPLANTACION DEL NUEVO METODO

- a) Una vez aceptado, ponerlo en práctica de inmediato
- b) No dejar de poner atención en la ejecución del nuevo método para comprobar que se han aprendido hasta los pequeños detalles.
- c) Dar crédito y reconocimiento a quien se lo merezca.

5.8 MODELOS DINAMICOS

Es posible también analizar actividades cíclicas de construcción, utilizando las herramientas que nos proporciona la ingeniería de sistemas, como puede ser la simulación de modelos dinámicos en los que se utilizan los principios de la Teoría de Colas, probabilidades, etc...

Como ejemplo interesante del empleo de estas técnicas, vale la pena mencionar el estudio que se realizó para la construcción del "Peachtree Center Plaza Hotel" cuya estructura de concreto, la más alta del mundo destinada a hotel, se levanta en Atlanta, Georgia, y que describe D W Halpin en su libro que aparece al final de estas notas como referencia #11.

5.9 CONCLUSIONES

Se piensa que las técnicas de análisis de tiempos y movimientos tienen un gran valor en el medio de la construcción, no sólo por su carácter formativo, sino también por los resultados que pueden obtenerse a través de su aplicación.

6. TECNICAS DE MUESTREO DE LA ACTIVIDAD REAL

Con objeto de juzgar la calidad de la utilización de la mano de obra y el equipo empleado en una construcción, se han desarrollado algunas técnicas de muestreo de las actividades realizadas en el campo, que conducen a una valorización de grupo (no individual).

Estas técnicas consisten fundamentalmente en la obtención de ciertos índices fáciles de conseguir, que ayudarán a identificar con oportunidad dónde existe ocio o mala utilización de los recursos de que dispone la obra. Se basan en principios estadísticos y probabilísticos.

6.1 INDICES

Aunque existe una gran variedad de índices, los más usados en la construcción son:

6.1.1 Índice de campo

Se basa en la observación de elementos que sí trabajan y que no trabajan:

$$\text{Índice de campo} = \frac{\# \text{ gente trabajando}}{\# \text{ gente observada}} + 10$$

6.1.2 Índice de utilización

Se basa en la observación de elementos de tres tipos:

a) Que realizan trabajo efectivo (E):

ejemplo: excavación

b) Que realizan trabajo de contribución (C):

ejemplo: acarreo de tabique

- c) Que realizan trabajo inefectivo o no realizan trabajo (I):

ejemplo: demolición o estar ocioso

$$\text{Indice de utilización} = \frac{E + 1/4 C}{E + C + I}$$

6.2 RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones que se aconsejan en la realización de los muestreos de campo, sobresalen las siguientes:

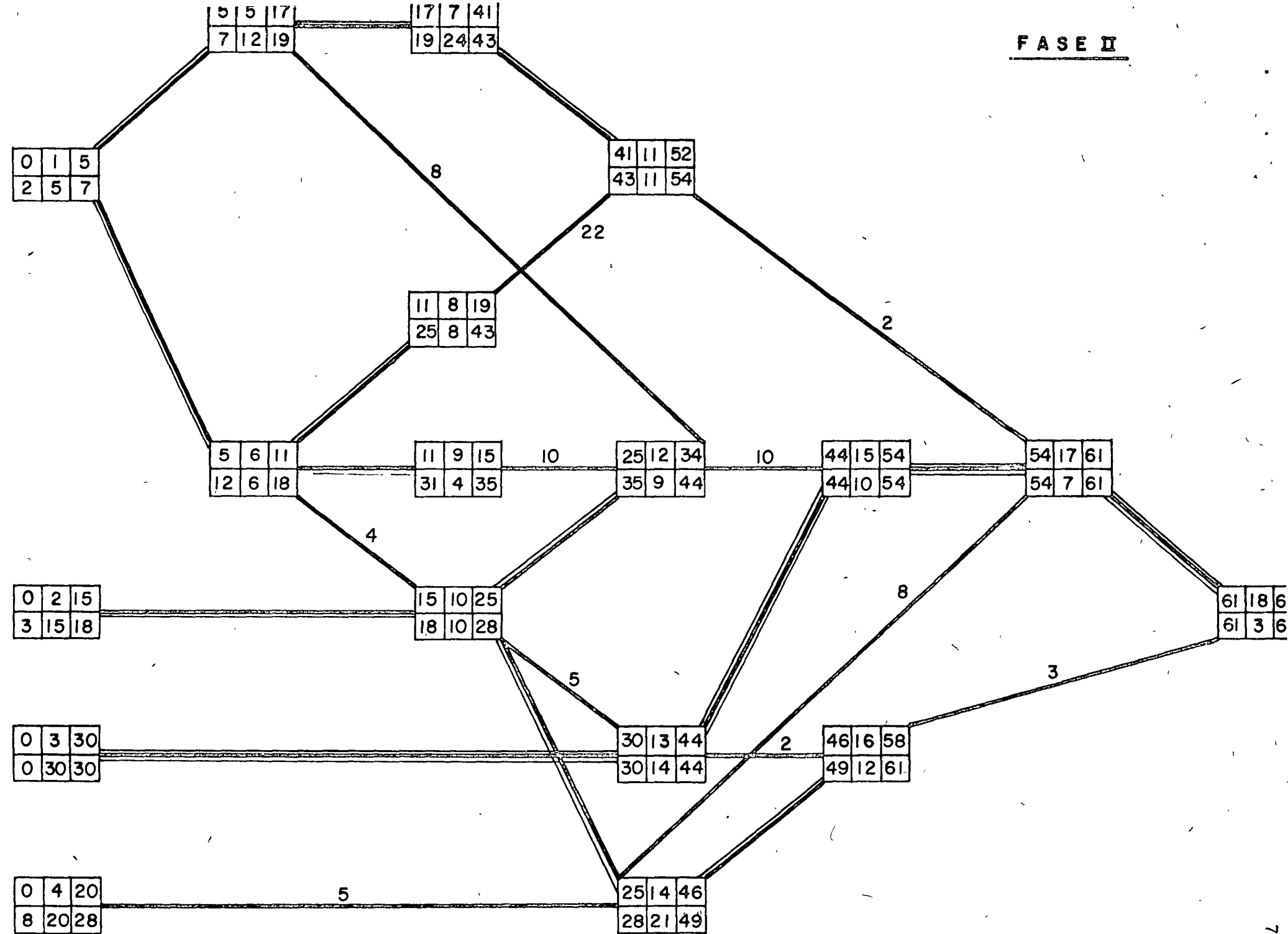
- a) Deben usarse contadores mecánicos
- b) Debe tomarse en cuenta cada conteo a todo el personal (mínimo 90%) y de ser posible hacerse y reportarse por áreas de trabajo.
- c) La persona que realiza el conteo, no deberá hacer otro tipo de trabajo mientras desarrolla su labor específica.
- d) La cuenta deberá hacerse al instante de la observación, no importa que acabe de terminar una actividad o esté por iniciar otra.
- e) El contador deberá estar entrenado en la manera de hacer el conteo y los motivos por los que se hace.
- f) Los conteos deben hacerse media hora antes o después de haber iniciado o terminado las labores (incluye lunch).
- g) Ningún conteo debe desecharse.

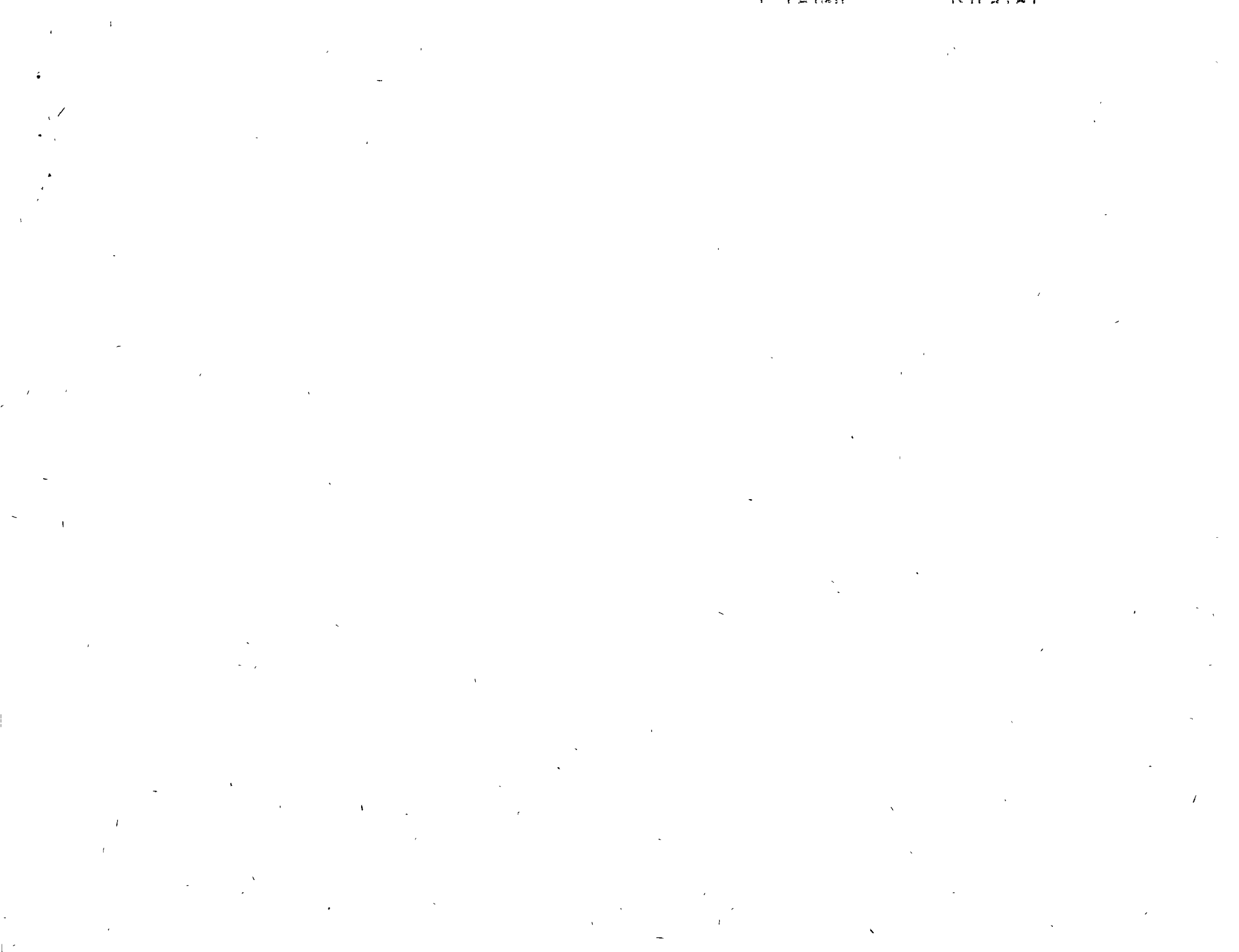
...

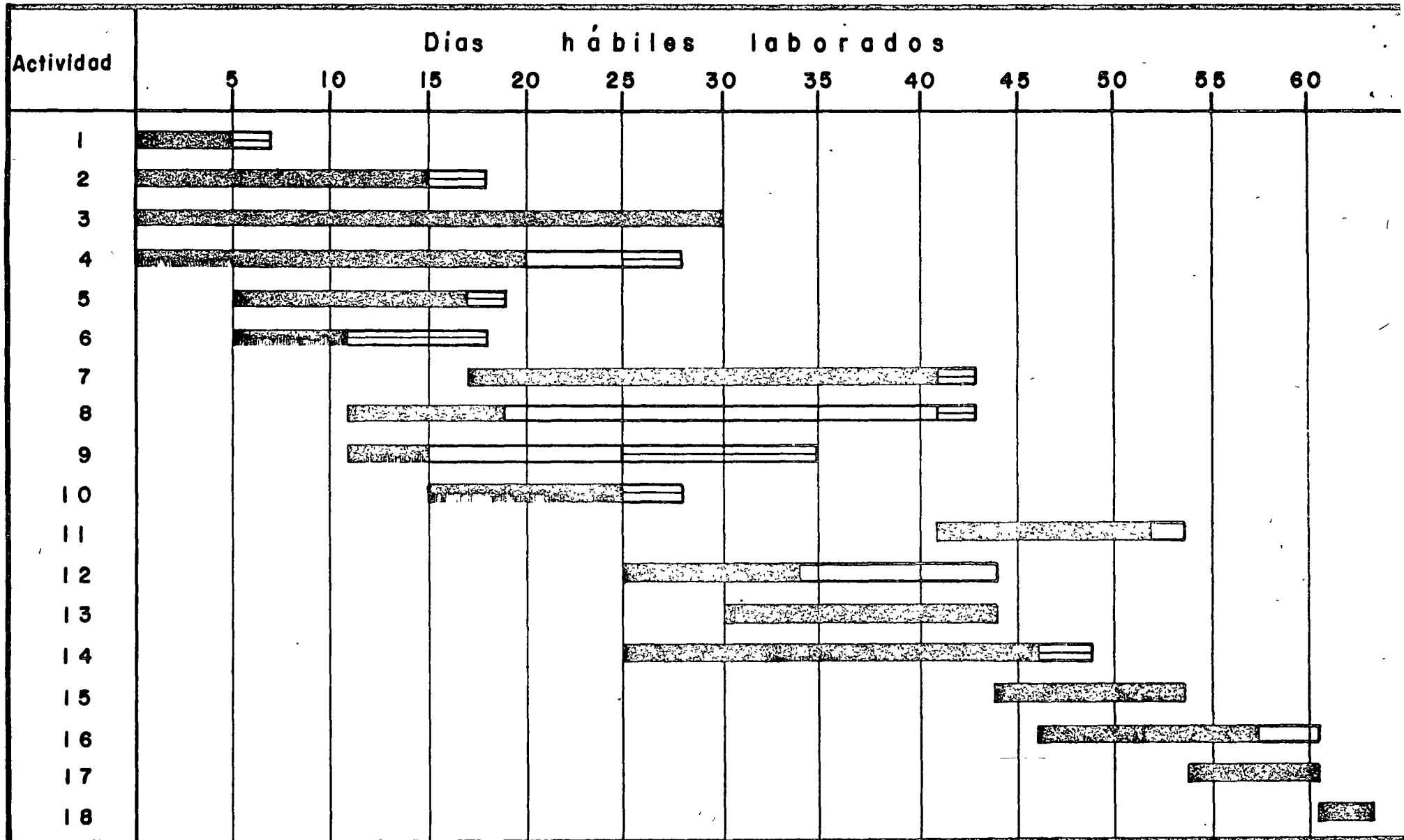
- h) Cada persona tiene la misma oportunidad de ser observada en cualquier momento, e independiente a las demás.
- i) Las observaciones no deben seguir ninguna secuencia específica.
- j) La característica básica del trabajo debe permanecer constante mientras se hacen las observaciones.


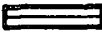



FASE II

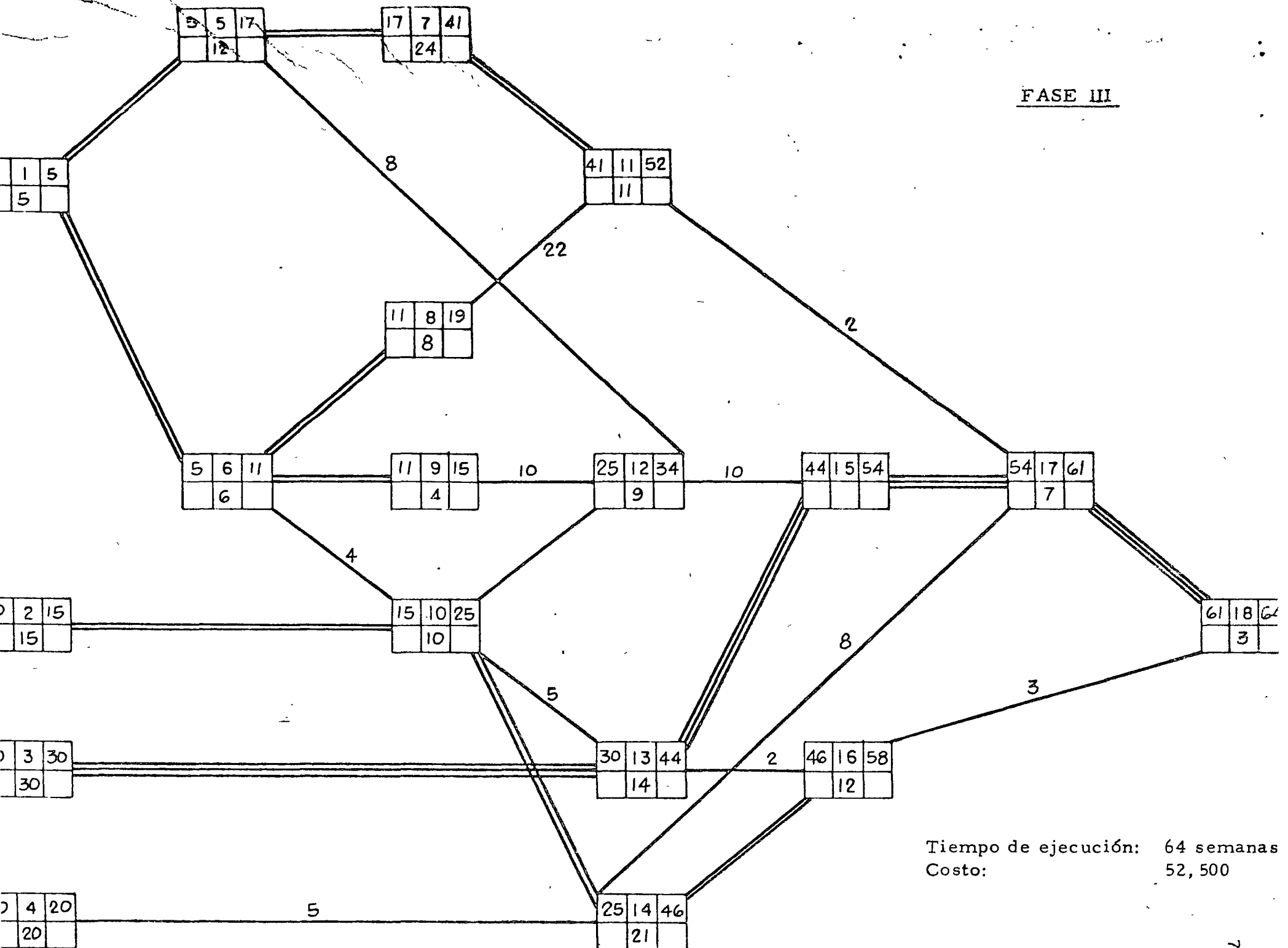




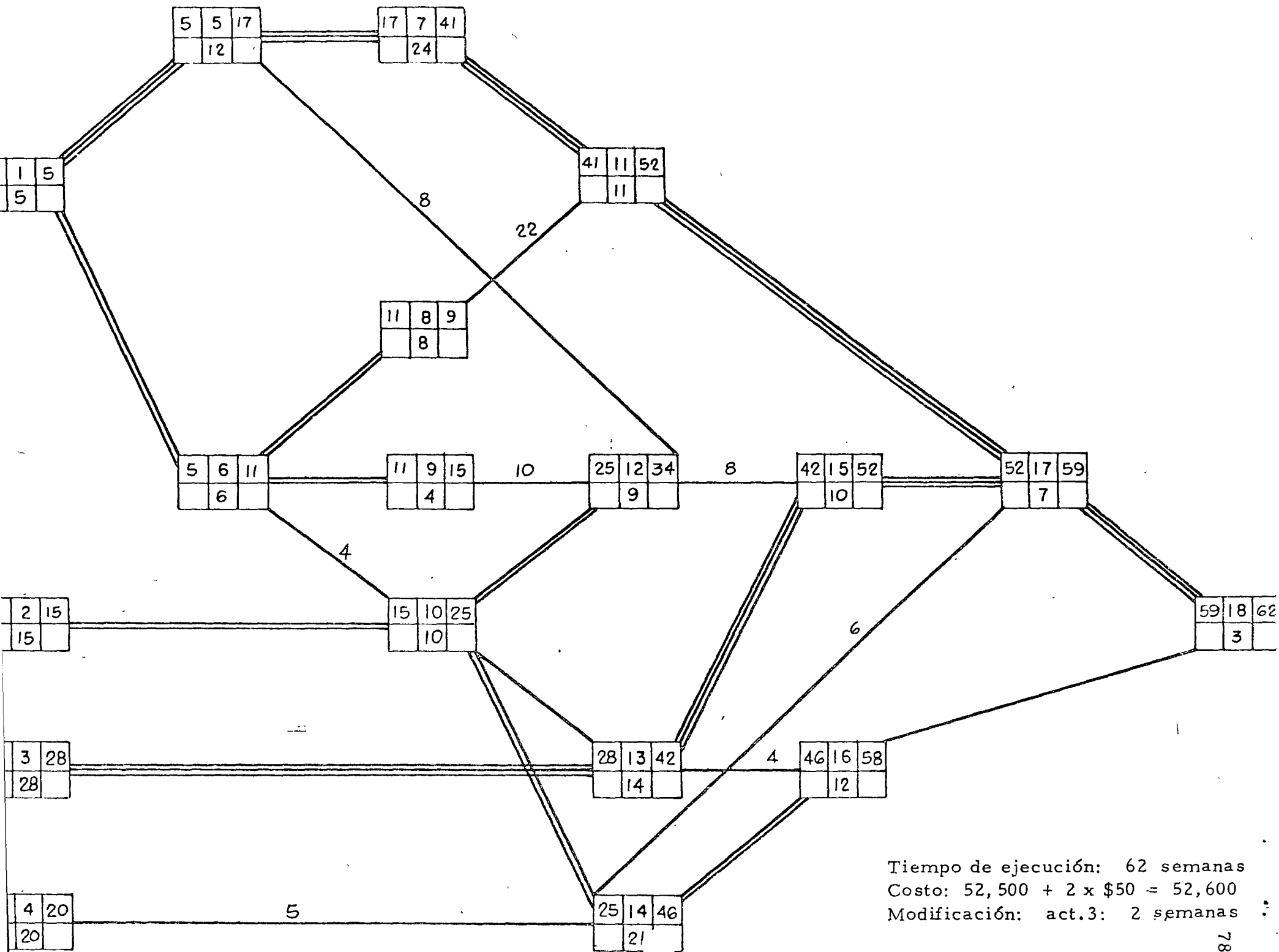


Duracion actividad 
 Holgura con interferencia 
 Holgura libre 

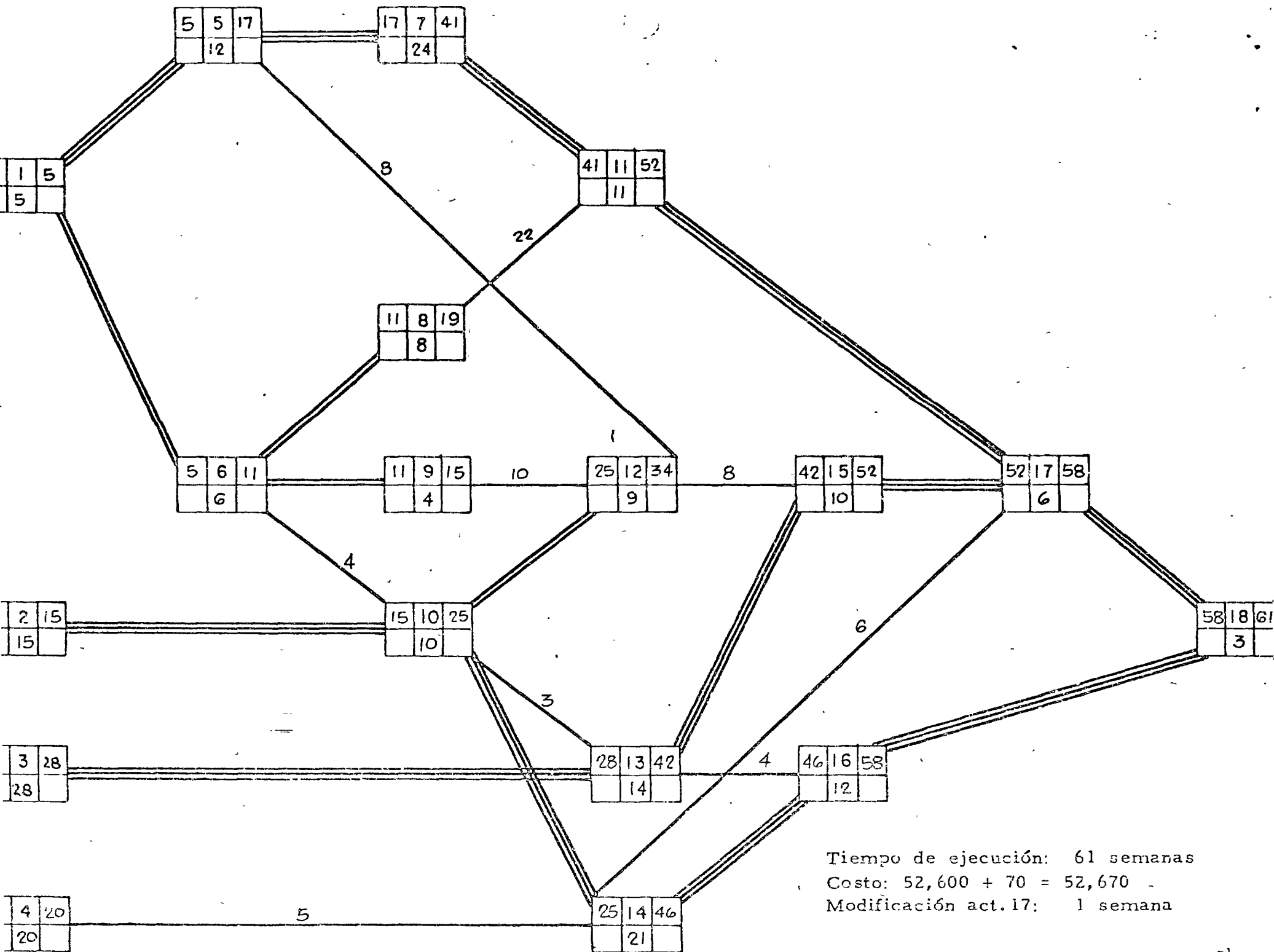
FASE III



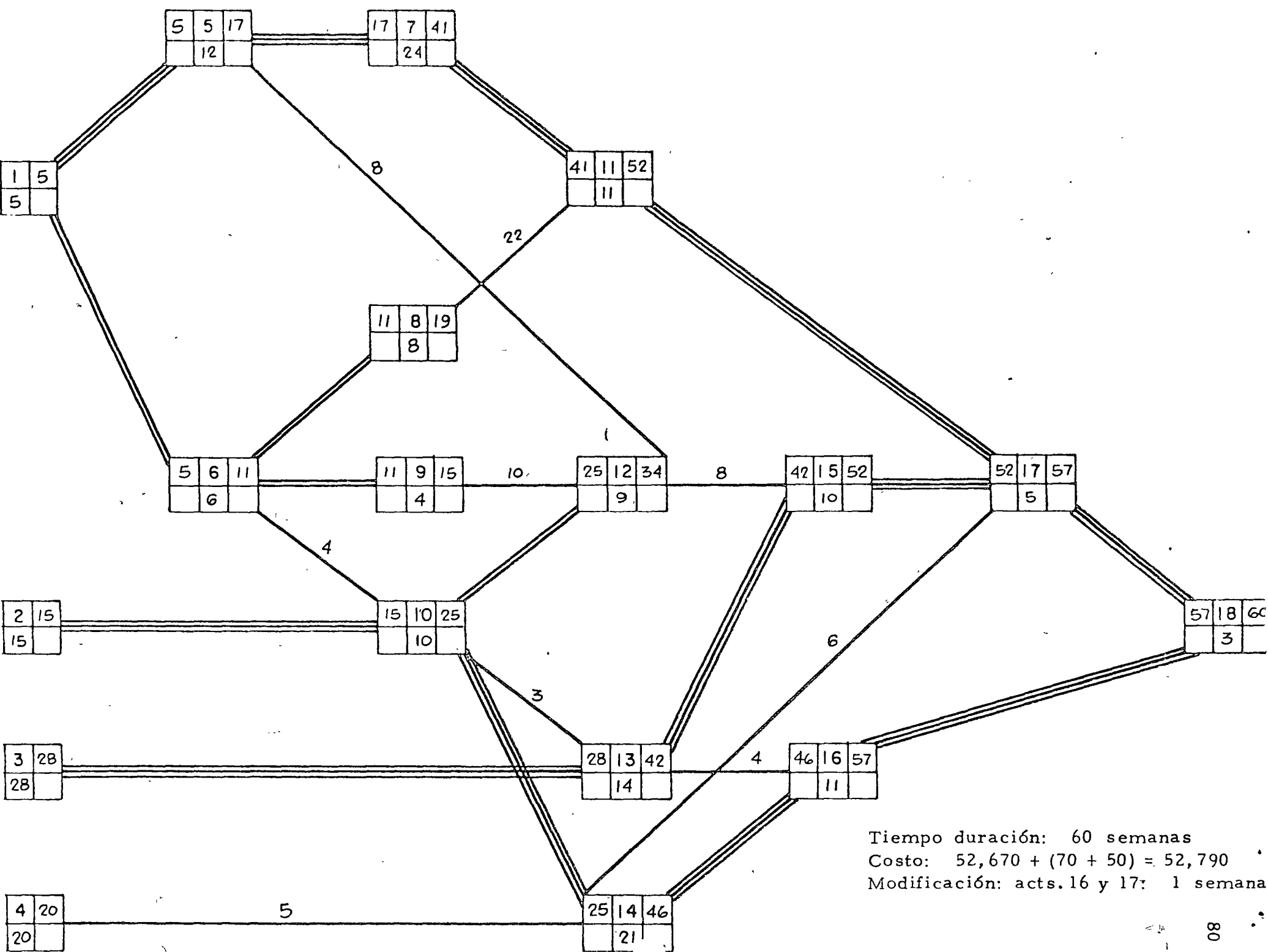
Tiempo de ejecución: 64 semanas
Costo: 52,500



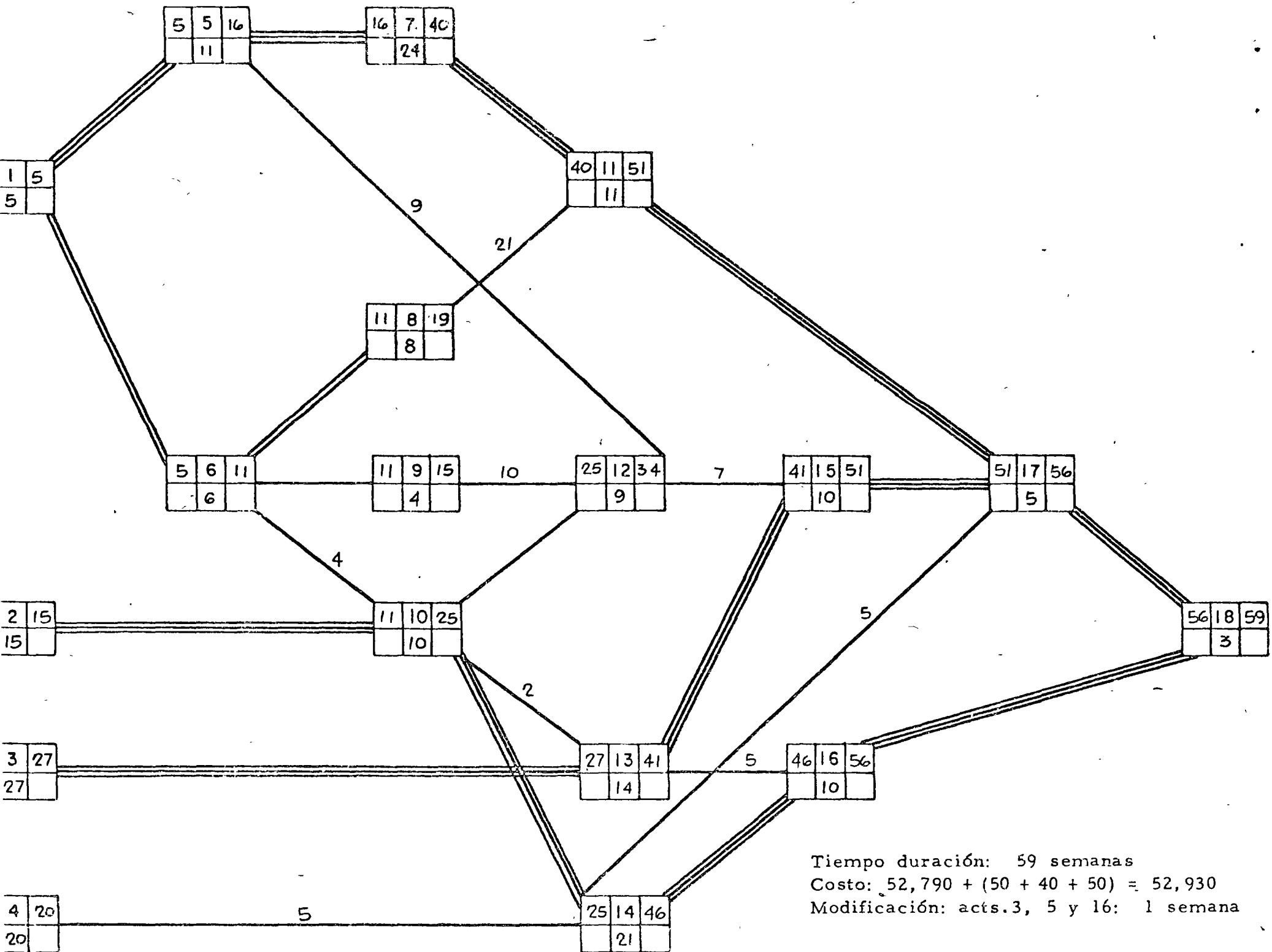
Tiempo de ejecución: 62 semanas
 Costo: 52,500 + 2 x \$50 = 52,600
 Modificación: act.3: 2 semanas



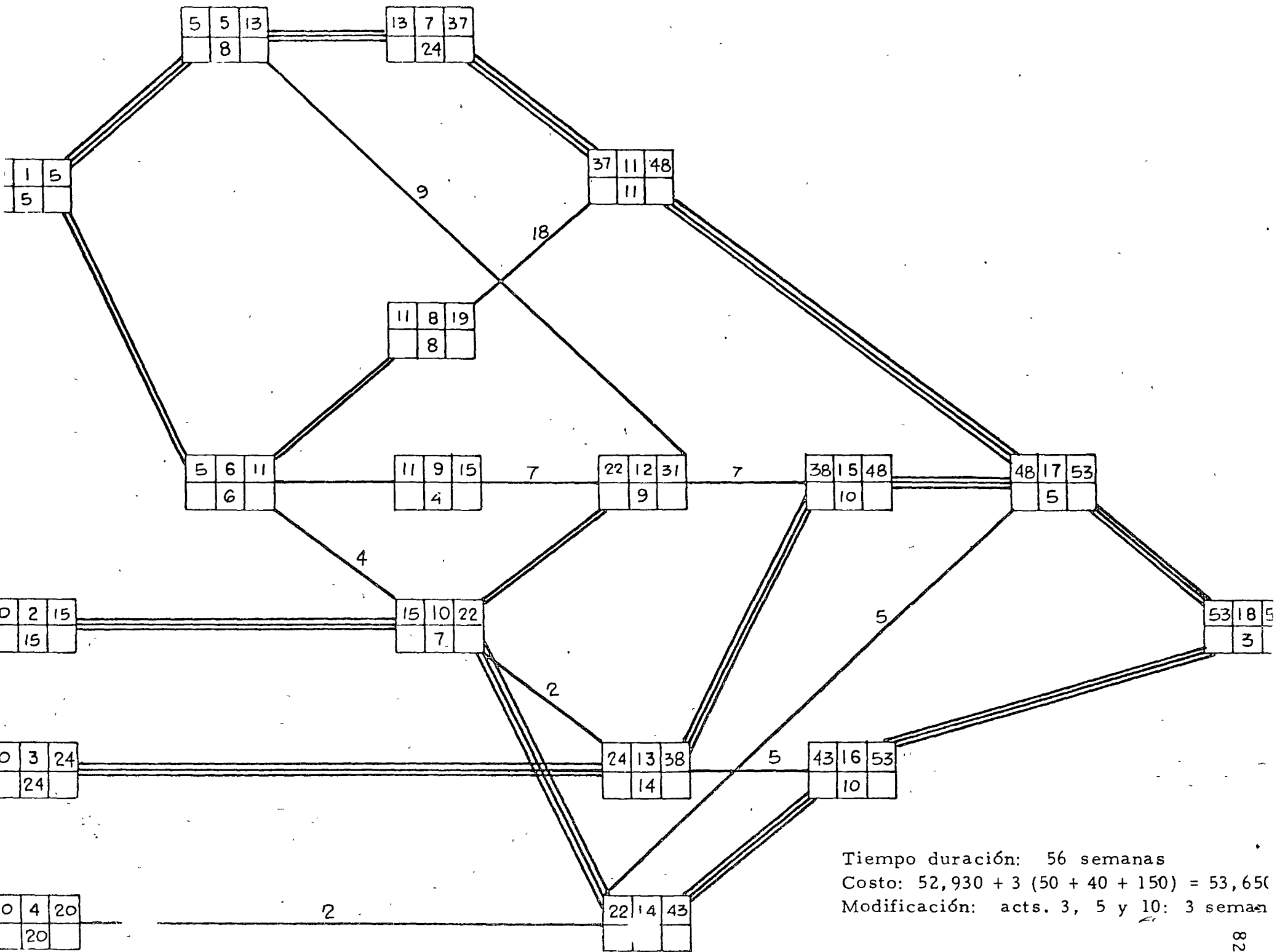
Tiempo de ejecución: 61 semanas
 Costo: 52,600 + 70 = 52,670
 Modificación act.17: 1 semana



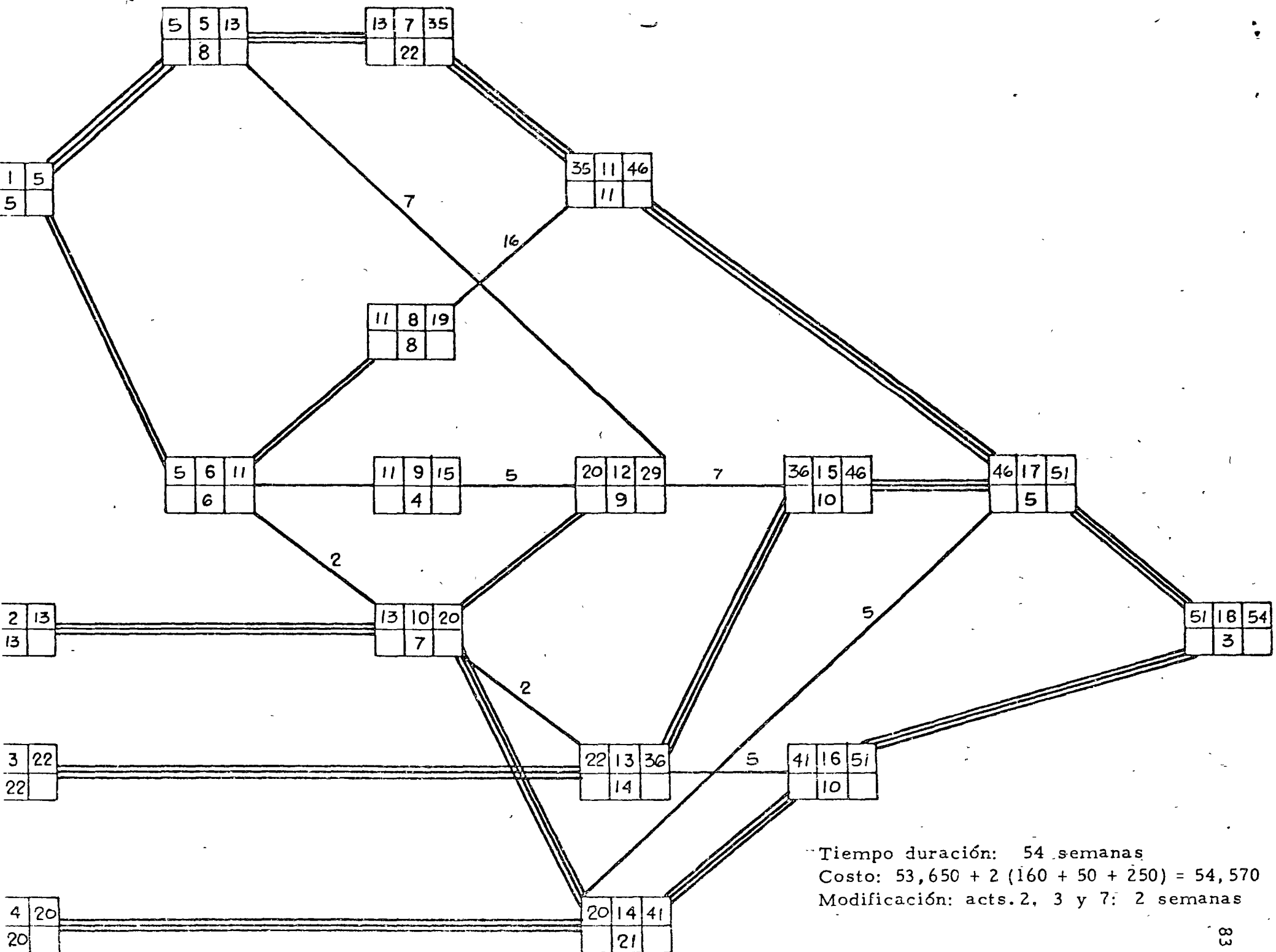
Tiempo duración: 60 semanas
 Costo: $52,670 + (70 + 50) = 52,790$
 Modificación: acts. 16 y 17: 1 semana



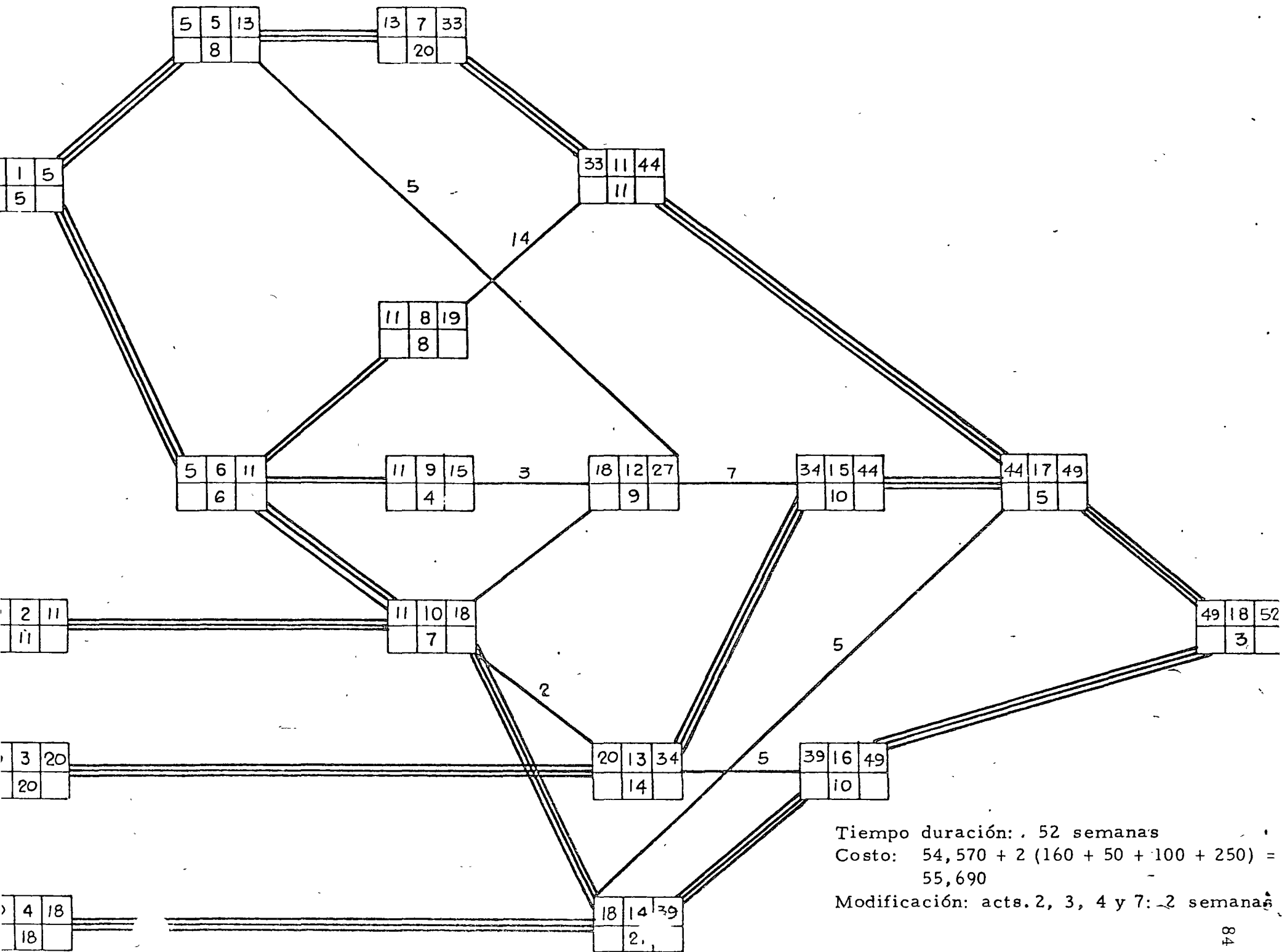
Tiempo duración: 59 semanas
 Costo: 52,790 + (50 + 40 + 50) = 52,930
 Modificación: acts. 3, 5 y 16: 1 semana



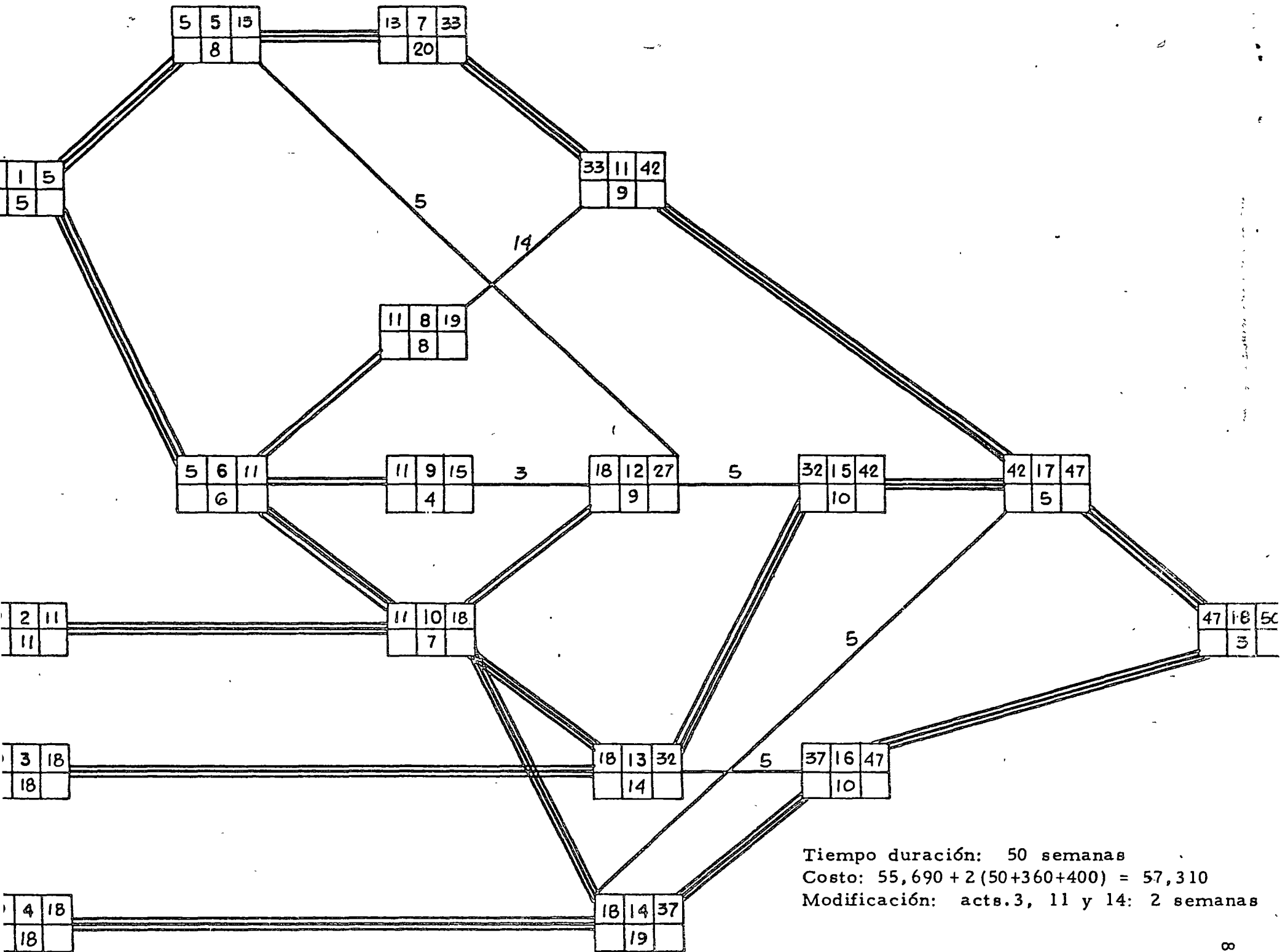
Tiempo duración: 56 semanas
 Costo: 52,930 + 3 (50 + 40 + 150) = 53,650
 Modificación: acts. 3, 5 y 10: 3 semanas



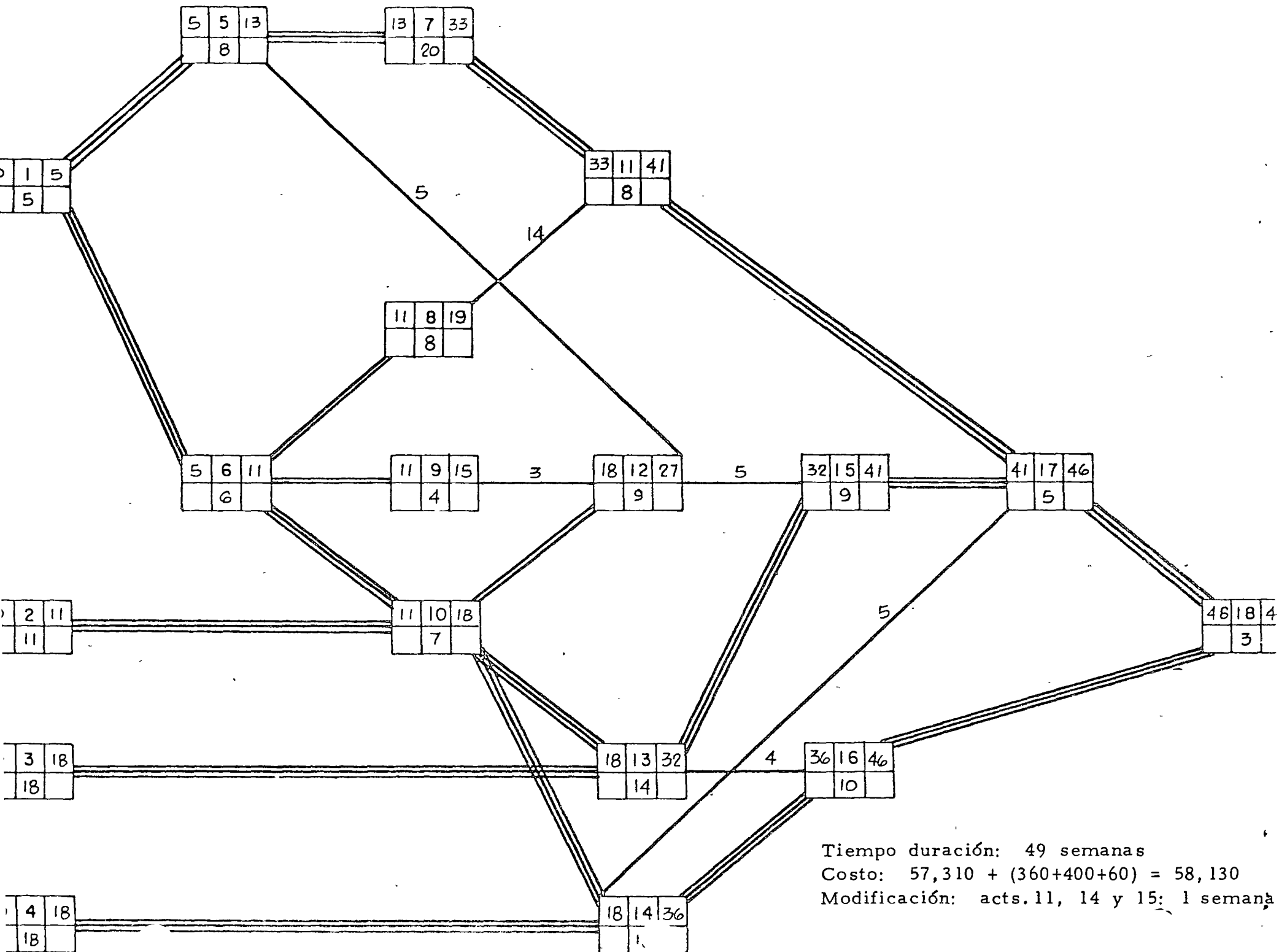
Tiempo duración: 54 semanas
 Costo: 53,650 + 2 (160 + 50 + 250) = 54,570
 Modificación: acts. 2, 3 y 7: 2 semanas



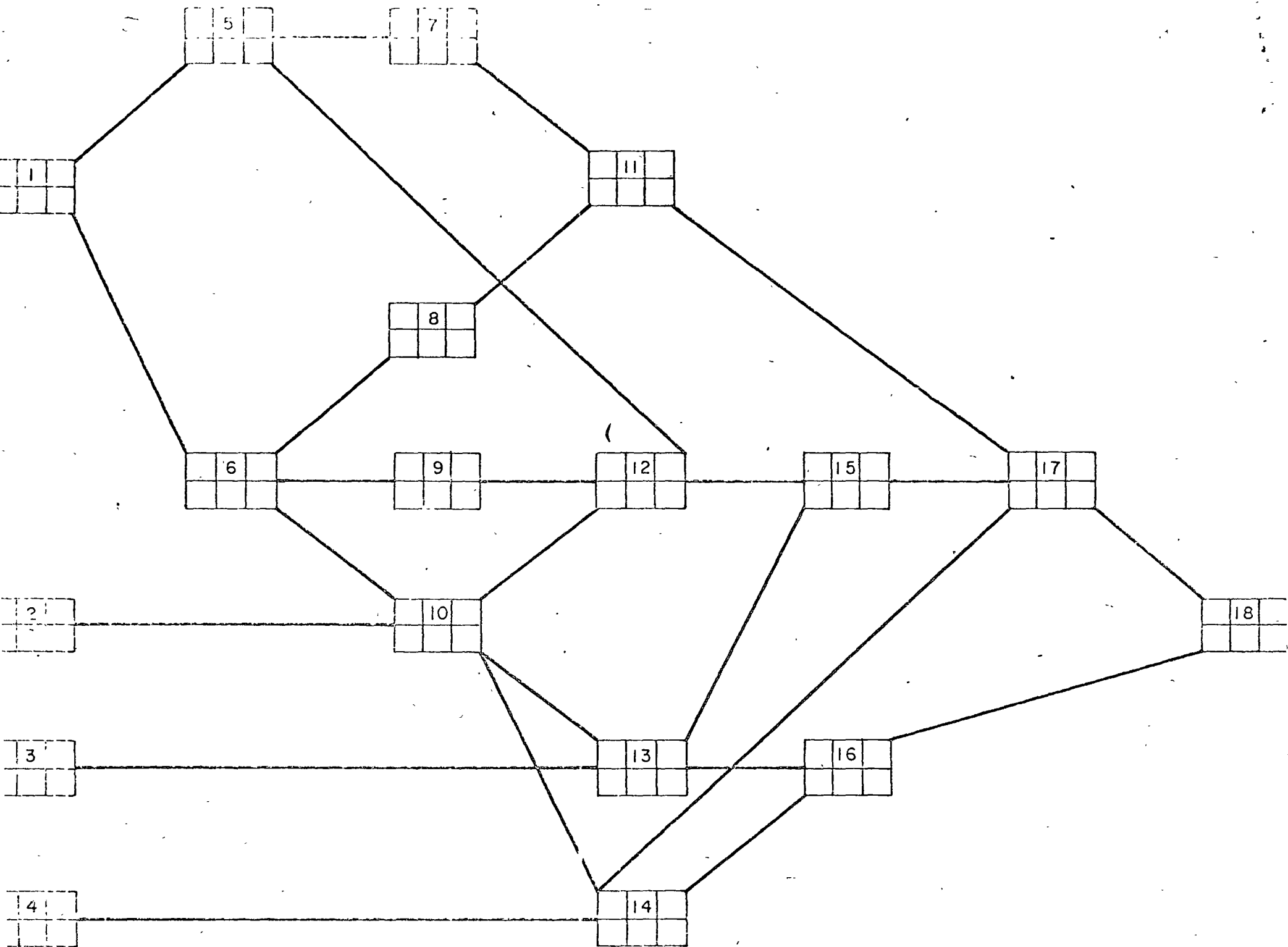
Tiempo duración: . 52 semanas
 Costo: 54,570 + 2 (160 + 50 + 100 + 250) = 55,690
 Modificación: acts. 2, 3, 4 y 7: 2 semanas

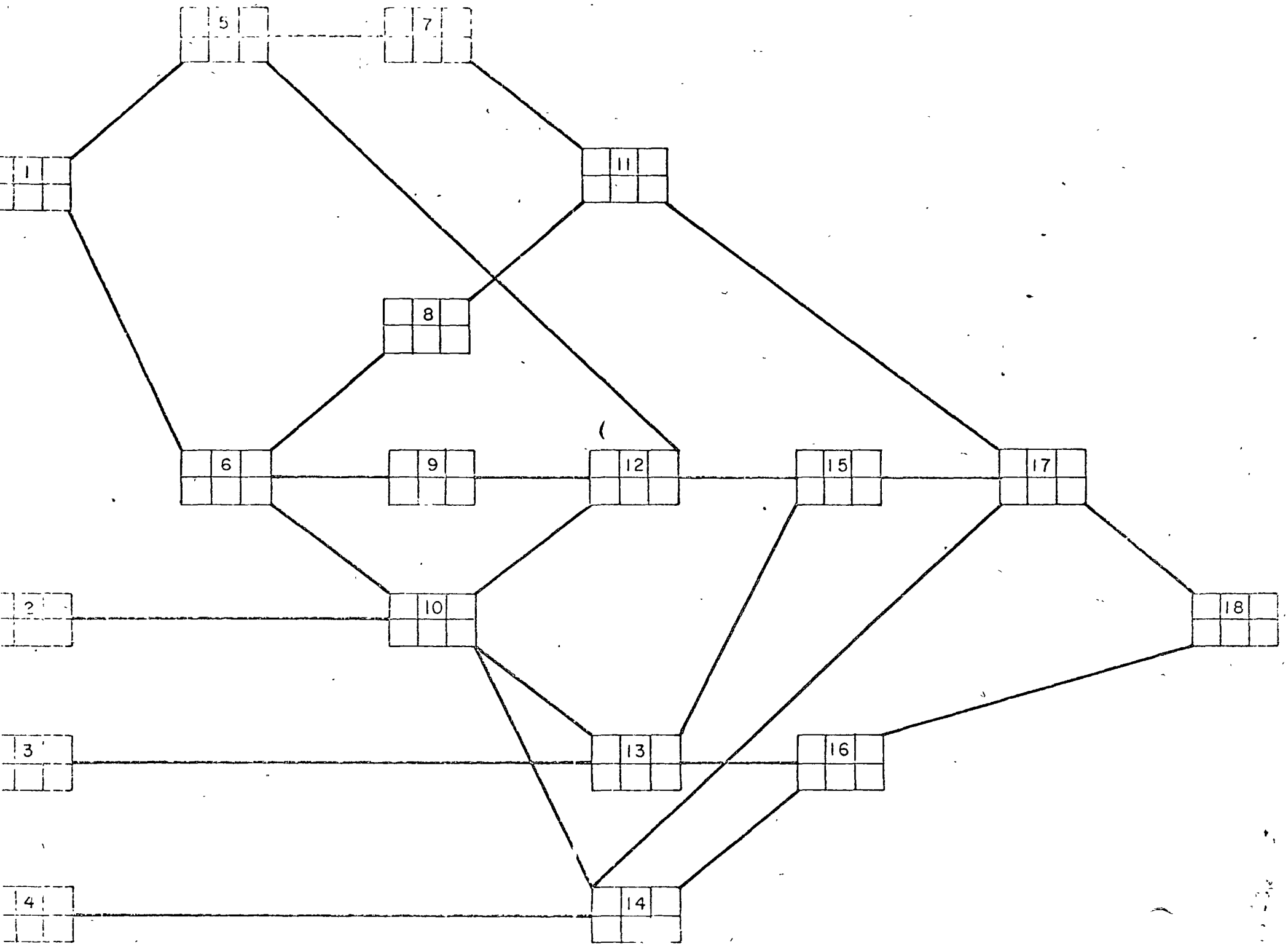


Tiempo duración: 50 semanas
 Costo: $55,690 + 2(50+360+400) = 57,310$
 Modificación: acts. 3, 11 y 14: 2 semanas



Tiempo duración: 49 semanas
 Costo: $57,310 + (360+400+60) = 58,130$
 Modificación: acts. 11, 14 y 15: 1 semana



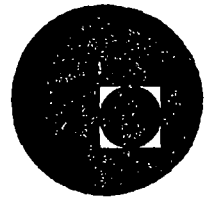


BIBLIOGRAFIA

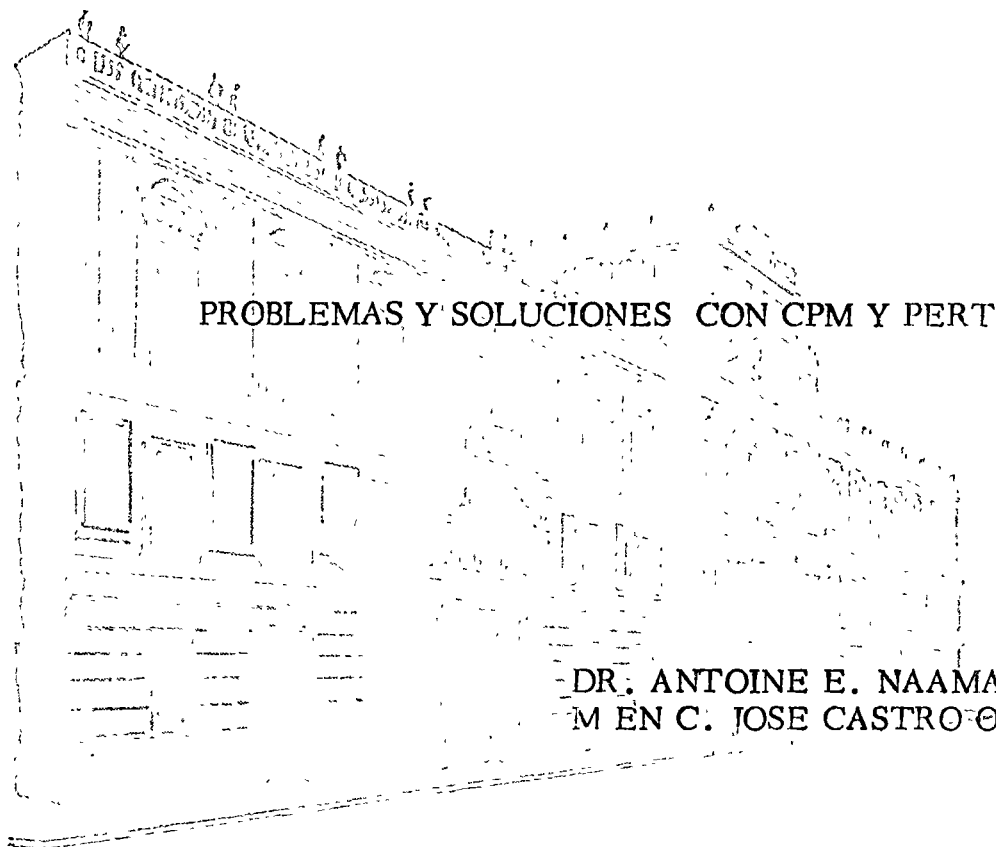
1. Parker W.Henry, Oglesby H.Clarkson, Methods improvement for construction managers Mc Graw-Hill B.C. 1972
2. Parker W.Henry, Methods improvement techniques for construction and public works managers. Stanford University Department of Civil Engineering. Technical report N.51. 1965
3. Nave J.Henry. Construction personnel management. Journal of the Construction Division ASCE. Jan-1968
4. Mc Nally E Harold. Labor productivity in the construction industry. Journal of the Construction Division ASCE. Sep-67
5. Schader R.Charles. Motivation of construction craftsmen. Journal of the Construction Division ASCE. Sep-72
6. Reynaud B.C. The site as the workshop of the industry. Building technology and Management. Dec-71
7. Gillham M.John. A contractor's view of factors affecting site productivity. Building Technology and Management. April-1972
8. Sprinkle B.Howard. Analysis of time-lapse construction films. Journal of Construction Division ASCE. Sep-72
9. Fondahl W.John. Photographic analysis for construction operations. Journal of the Construction Division ASCE. May-60
10. Sakuma Akiyuki. Video time study. Industrial engineering. Feb-73
11. Halpin W.Daniel, R.W.Woodhead. Design of construction and process operation. J. Wiley and Sons, 1976



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PROGRAMACION, CONTROL DE AVANCE Y EVALUACION DE
PROYECTOS DE CONSTRUCCION



PROBLEMAS Y SOLUCIONES CON CPM Y PERT

DR. ANTOINE E. NAAMAN Y
M EN C. JOSE CASTRO ORVAÑANOS

Agosto, 1977.

Problem #1

<u>Activity</u>	<u>Preceded by</u>	<u>Normal Duration (Days)</u>	<u>Normal Direct Cost</u>	<u>Crasl. Duration (Days)</u>
A		2	500.	1
B		5	1750.	2
C		3	600.	2
D	A	8	2000.	5
E	A	10	6000.	7
F	B	7	2450.	4
G	B,C	10	2000.	5
H	D,E,F	8	2800.	6
J	A,E,F	5	2250.	3
K	G	10	4000.	6
L	G	4	1400.	2

In addition to the cost items shown above, there is \$5000 for overhead and profit (indirect cost) and \$1200 for hauling equipment to the job and back to the stock yard.

For the normal duration of the activities:

- Draw a bar graph (Gantt chart) of the project.
- Draw a network diagram with activities on arrows.
- Draw a network diagram with activities on nodes.
- Are there any redundancies in the precedence relations?
- What are the critical path, its duration and the total cost of the project?
- Redraw the arrow diagram giving number 1 to event start and show all activities as A_{iJ} instead of A, B, C ... etc.

Problem #2

Use the same network as Problem #1 and assume the earliest starting time for each activity. Draw activity-on-arrow and activity-on-node networks for normal times on a time scale. Redraw activity-on-node network for all-crash durations on a time scale.

Problem #3

Use the same network as Problem #1 assuming the earliest starting time for each activity.

- a) For the activities-on-arrow diagram (normal duration), carry out the forward pass and backward pass manipulations and determine EST, EFT, LST, LFT, as well as total float, free float and interfering float for each activity. Also determine the earliest starting time and latest finish time of each event.
- b) For the crashed network (all activities crashed), determine the critical path and repeat the same computations as in a).

Problem #4

Use the same network as Problem #1. In the attached table are given the number of men of crafts M and P needed for the various activities to be performed in the times indicated; similarly for equipments Q and R.

- a) Assuming the earliest starting time for each activity, what is the total cost for normal project duration? What maximum number of men and equipment are needed per day?
- b) Assuming the earliest starting time for each activity, what is the total project cost if all activities are crashed? What maximum number of men and equipment are needed per day?
- c) For each case (a) and (b) draw a diagram showing the variations of resources required, M, P, Q and R versus time.
- d) Draw for activities A, B and K the direct time-cost curves (do not include hauling cost). Discuss how hauling cost can be fairly allocated.
- e) For the normal duration time of the project is it possible to level some of the resources needed? How? Give an example.

Problem #5

Continuing Problem #4

- a) For the crash duration of the project, what network will result in the lowest cost? Draw it to a time scale. Make a time histogram or table at the bottom of your network showing the number of men and pieces of equipment needed each day.
- b) What network will result in the lowest cost if 20 days are available for project completion.
- c) Based on Problems #4 and #5 (a) and (b) draw the time-cost curve for the project, assuming as a first approximation that the curve can be plotted using three points only.
- d) What would be the minimum cost duration if the indirect cost amounted to \$500 per day?
- e) The project manager would like to complete the project in 20 days but only 2Q and 2R pieces of equipment are available. Is it possible? Show the network for the feasible duration satisfying the above constraints.

Table 1. Summary of data

Year	Sample Size	Number of Sites	Number of Species	Number of Individuals
1970	100	10	15	1000
1971	100	10	15	1000
1972	100	10	15	1000
1973	100	10	15	1000
1974	100	10	15	1000
1975	100	10	15	1000
1976	100	10	15	1000
1977	100	10	15	1000
1978	100	10	15	1000
1979	100	10	15	1000
1980	100	10	15	1000

1. The data were collected from 10 sites over a 10-year period. The number of individuals per site per year was 1000. The number of species per site per year was 15. The number of sites per year was 10. The number of years was 10.

2. The data were collected from 10 sites over a 10-year period. The number of individuals per site per year was 1000. The number of species per site per year was 15. The number of sites per year was 10. The number of years was 10.

Problem 6

Let us assume that the network of Problem 1 is to be modeled by PERT for duration time or for cost. Given the following information:

Activity	Duration (Days)			Direct Cost (\$)		
	Optimistic	Most Likely	Pessimistic	Optimistic	Most Likely	Pessimistic
A	1	2	3	400.	500.	650.
B	4	5	6	1500	1750.	2000.
C	2	3	6	500	600.	800.
D	6	8	10	1800	2000.	2400.
E	8	10	13	5500	6000.	7500
F	5	7	10	2100	2450.	2800
G	8	10	13	1800	2000.	2300
H	6	8	11	2500	2800.	3200
J	4	5	7	2000	2250.	2600
K	8	10	13	3700	4000.	4400
L	3	4	6	1300	1400	1600.

1. Calculate the mean, variance and standard deviation of time for each activity, for the critical path and for the second critical path.
2. Calculate the mean, variance and standard deviation of the total direct cost of the project.
3. What is the probability that the total direct cost (hauling not included) is more than 25750. \$ (assume normal distribution of total cost)?
4. Assume that completion times for the critical path and the second critical path are normally distributed. Formulate the probability that the second critical path becomes critical instead of the first one.
5. What is the probability that the project will be completed in 25 days?
6. Plot the cumulative distribution of cost and completion time (critical path) for the project.

Problem #7

A construction project has been condensed to eleven major operations. The basic scheduling computations for the project as well as other information on cost and duration of each operation are given below:

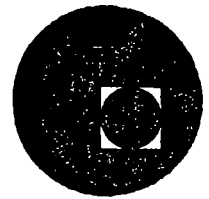
Act.	i	j	Dur. Months	EST	EFT	LST	LFT	TF	Bid Value in 10^3 .\$
A	0	1	2	0	2	5	7	5	100.
B	0	3	2	0	2	0	2	0	40.
C	0	6	1	0	1	6	7	6	50.
D	1	2	4	2	6	7	11	5	120.
E	3	4	5	2	7	3	8	1	100.
F	3	7	8	2	10	2	10	0	240.
G	6	7	3	1	4	7	10	6	90.
H	2	5	1	6	7	11	12	5	40.
K	4	5	4	7	11	8	12	1	160.
L	7	8	5	10	15	10	15	0	100.
M	5	8	3	11	14	12	15	1	150.

The bid for the project specifies a 5% profit for the contractor and 10% retainage by the owner during the whole construction period. (Assume that the contractor will present the owner a bill for the value of work completed every month for the preceding month and that he will be paid during the following month).

1. Calculate the amount of financing required each month based on EST.
2. Calculate the amount of financing required each month based on LST.
3. If the contractor decides to borrow the money at 12% yearly interest rate (1% per month) determine the present value of interest paid for case (1) and case (2).
4. Discuss the significance of the results in (3).



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PROGRAMACION, CONTROL DE AVANCE Y EVALUACION DE
PROYECTOS DE CONSTRUCCION

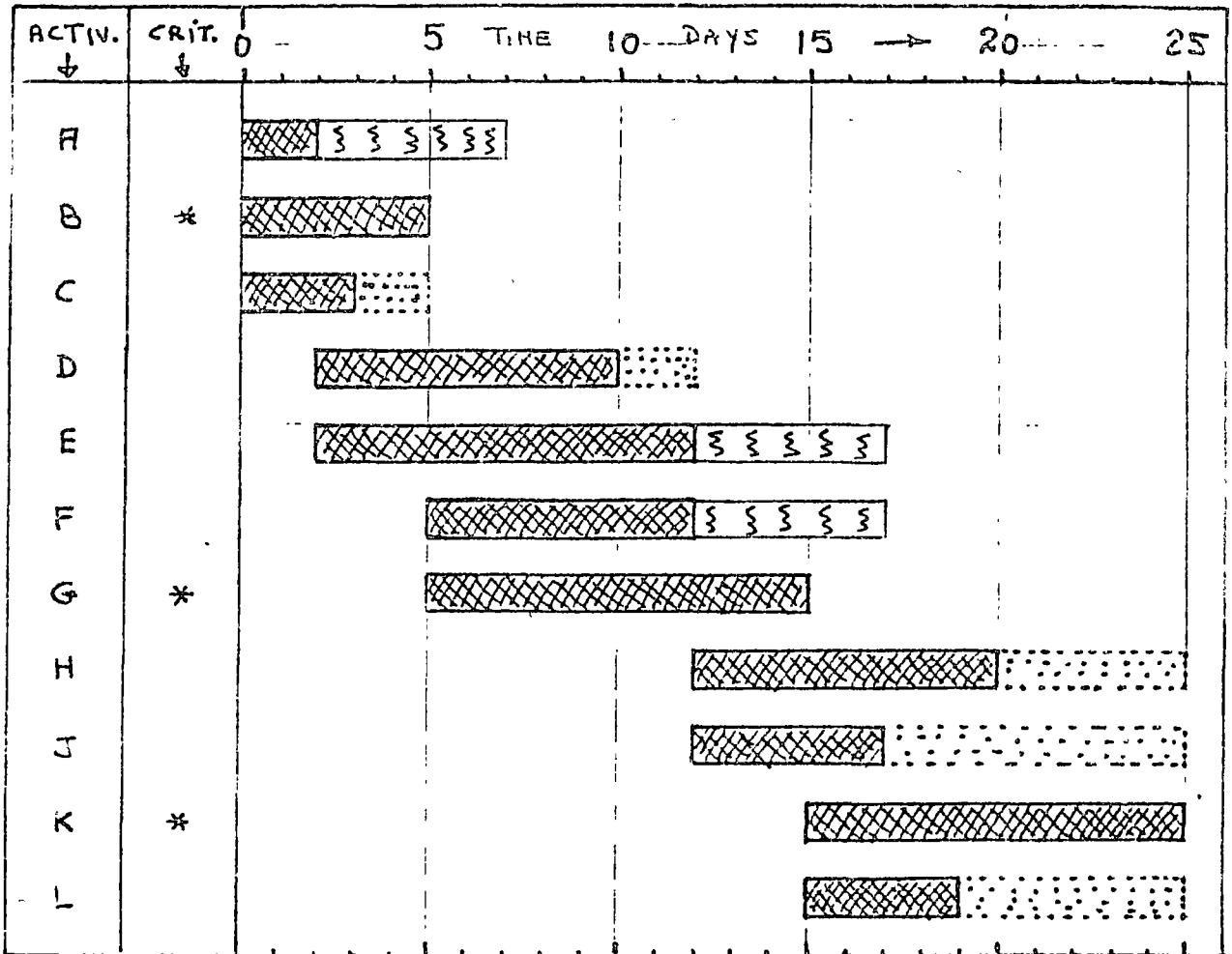
PROBLEMAS Y SOLUCIONES CON CPM Y PERT



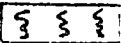
(CONTINUACION)

DR. ANTOINE E. NAAMAN Y
M EN C. JOSE CASTRO ORVAÑANOS

Agosto, 1977.

1.a BAR GRAPH or GANTT CHART ASSUMING NORMAL PROJECT DURATION and Early Start Time for each activity



-  SCHEDULED DURATION
-  FREE FLOAT
-  INTERFERING FLOAT

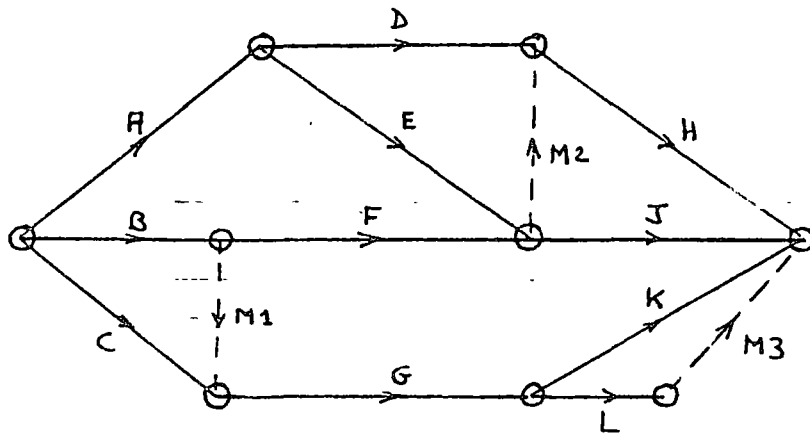
NOTE: CRITICAL ACTIVITIES DO NOT SHOW ANY FLOAT.

SUM OF DIRECT COSTS = 25750.
 HAULING COST = 1200.
 INDIRECT COST = 5000.

TOTAL COST = 31950. #

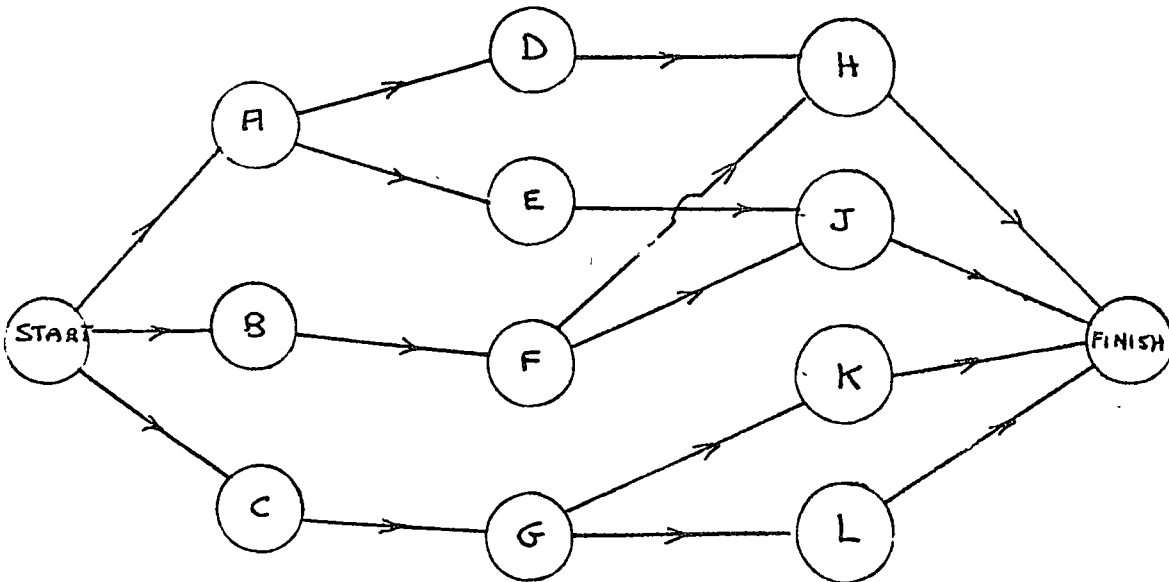
1. b

Network diagram with Activities on Arrows

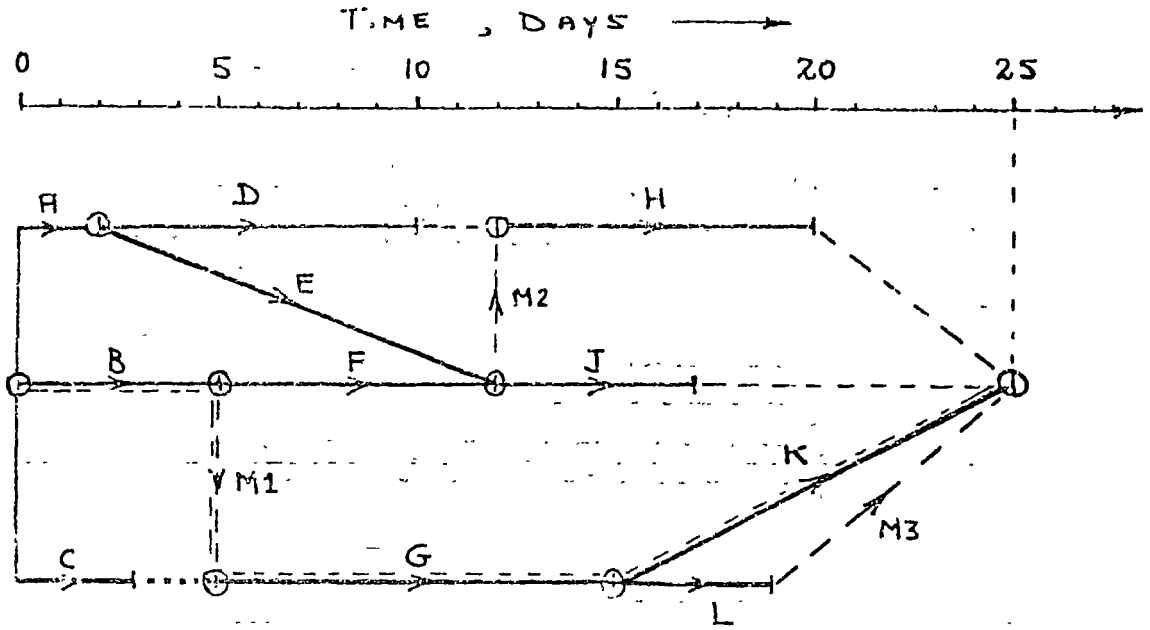


1. c.

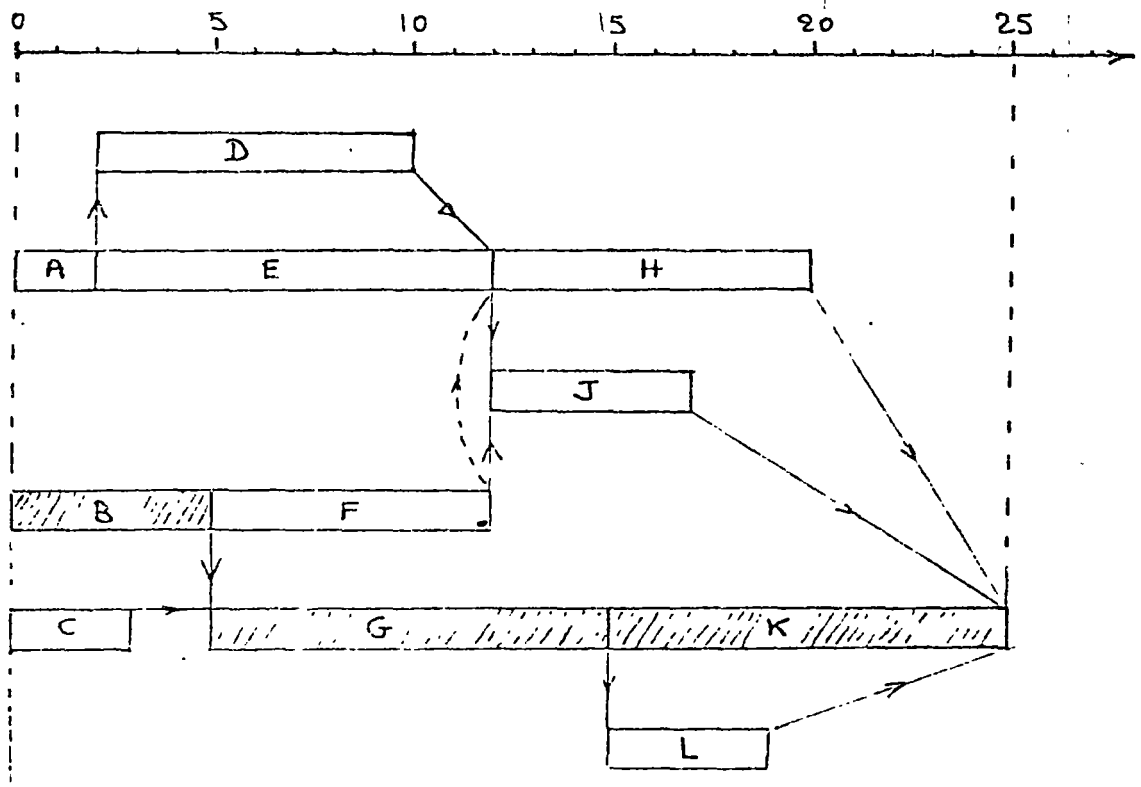
Network diagram with Activities on Nodes.



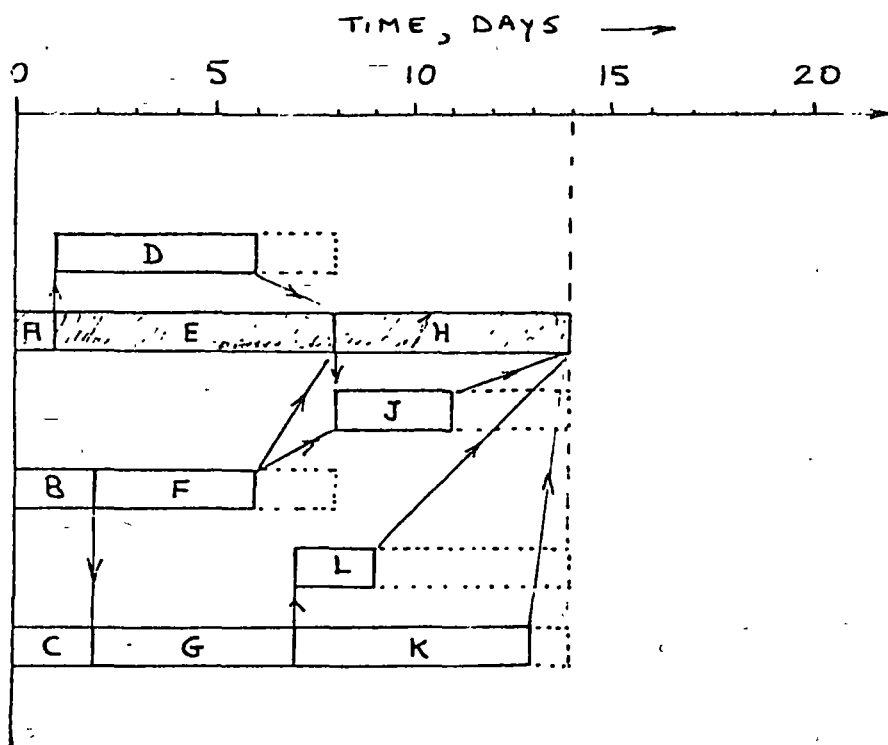
2.1. TIME - SCALE NETWORK WITH ACTIVITIES ON ARROWS
 (NORMAL PROJECT DURATION)



TIME - SCALE NETWORK WITH ACTIVITIES ON NODES
 (NORMAL PROJECT DURATION)



2.2. TIME-SCALE CRASHED NETWORK WITH ACTIVITIES ON NODES



1. d REDUNDANCIES IN THE PRECEDENCE RELATIONS?

There is one redundancy:

ACT. E preceded by A
 " J " by A, E, F

IF J IS preceded by A then it is preceded by E and there is no need to repeat this in the precedence relation of J.

1. e. CRITICAL PATH and total Project Cost.

The critical path is the longest PATH from start to finish.

<u>PATH</u>	<u>LENGTH</u>	
A, D, H	18. days	
A, E, H	20. "	
B, F, H	20. "	
B, F, J	17. "	
B, G, K	25. "	← CRITICAL PATH B, G, K
B, G, L	19. "	LENGTH 25 days.
C, G, K	23. "	
C, G, L	17. "	

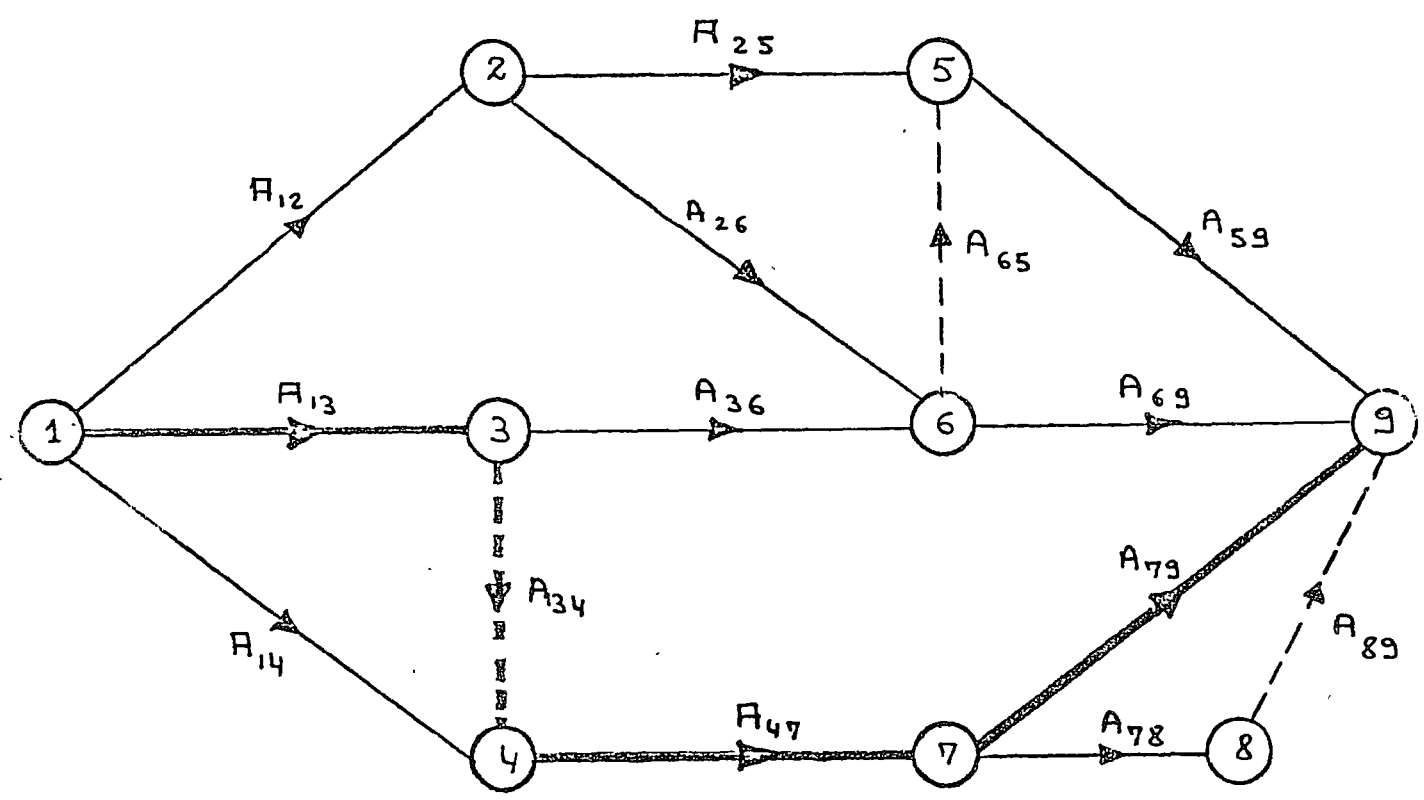
$$\text{TOTAL COST OF Project} = \sum \text{DIRECT COST OF EACH ACTIVITY} \\ + \text{HAULING COST} \\ + \text{INDIRECT COST.}$$

$$\text{TOTAL COST} = 25750 + 1200 + 5000 = 31950 \text{ \$}$$

TOTAL COST = 31950 \$
NORMAL DURATION = 25 days.

1.5 ACTIVITIES NUMBERED AS A_{ij}

NETWORK DIAGRAM - NORMAL DURATION -



3. a and b.

FORWARD PASS COMPUTATIONS \Rightarrow $EST_{i,j}$, $EFT_{i,j}$, T_j^E

1) set $T_1^E = 0$. INITIAL EVENT AT ZERO TIME

2) $EST_{i,j} = \text{MAX. } EFT_{h,i}$

where $h \ll i$

for all h 's connected to i and preceding it.

3) $EFT_{i,j} = EST_{i,j} + t_{i,j}$

4) For EVENT J :

$$T_J^E = EST_J = \text{MAX } EFT_{i,j}$$

where $i \ll J$

for all i 's connected to J and preceding it

BACKWARD PASS COMPUTATIONS \Rightarrow $LST_{i,j}$, $LFT_{i,j}$, T_i^L

1.) set $T_n^L = LFT_n = EST_n$ for last event n

2.) $LFT_{i,j} = \text{Min. } LST_{j,k}$

for activities $A_{j,k}$'s directly following $A_{i,j}$

3) $LST_{i,j} = LFT_{i,j} - t_{i,j}$

4) $T_i^L = LFT_i = \text{Min. } LST_{i,j}$ for all activities $A_{i,j}$

FLOATS :

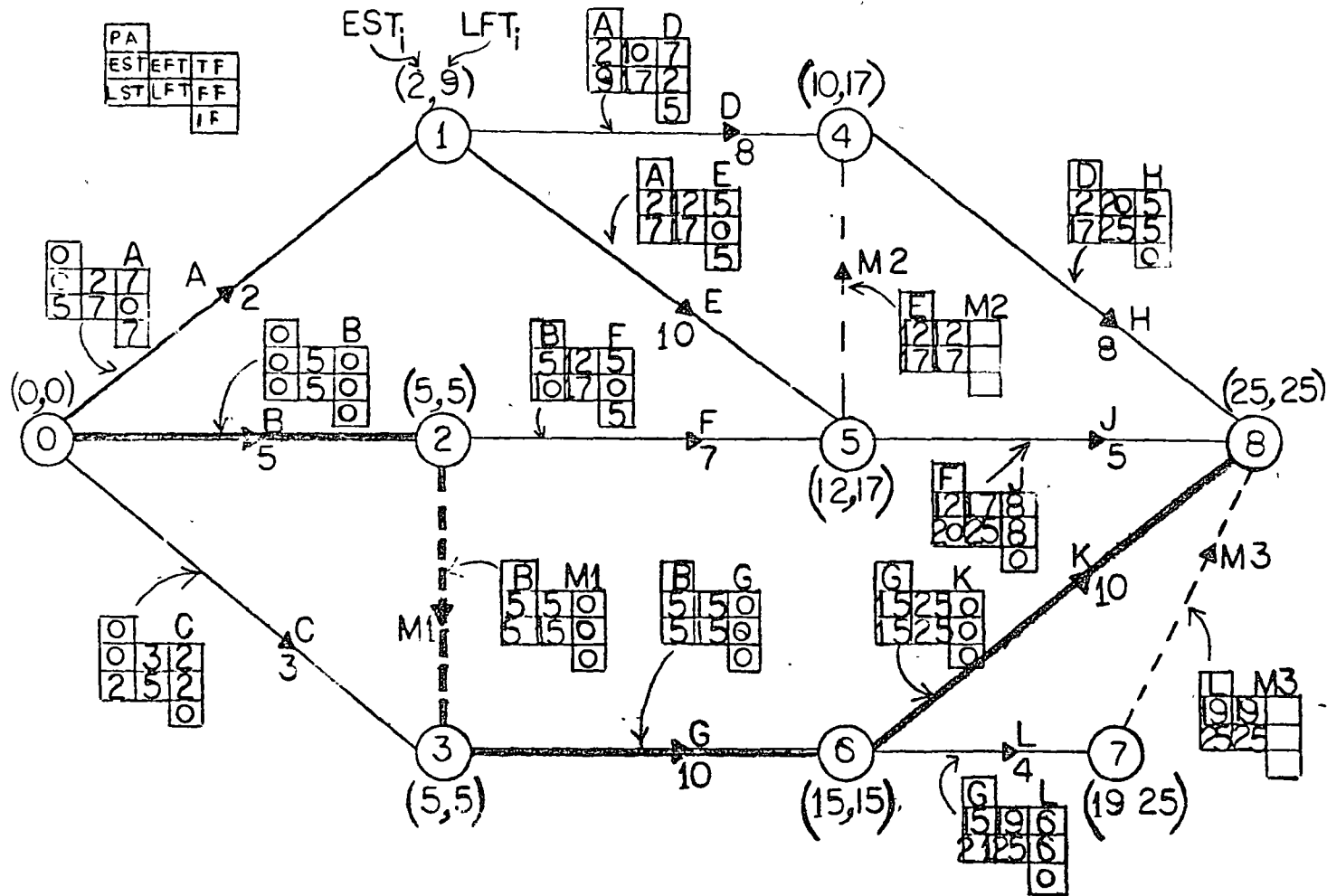
1) $TF_{i,j} = LST_{i,j} - EST_{i,j} = LFT_{i,j} - EFT_{i,j}$

2) $FF_{i,j} = EST_{j,k} - EFT_{i,j}$ for all activities $A_{j,k}$'s following $A_{i,j}$

3) $IF_{i,j} = TF_{i,j} - FF_{i,j}$

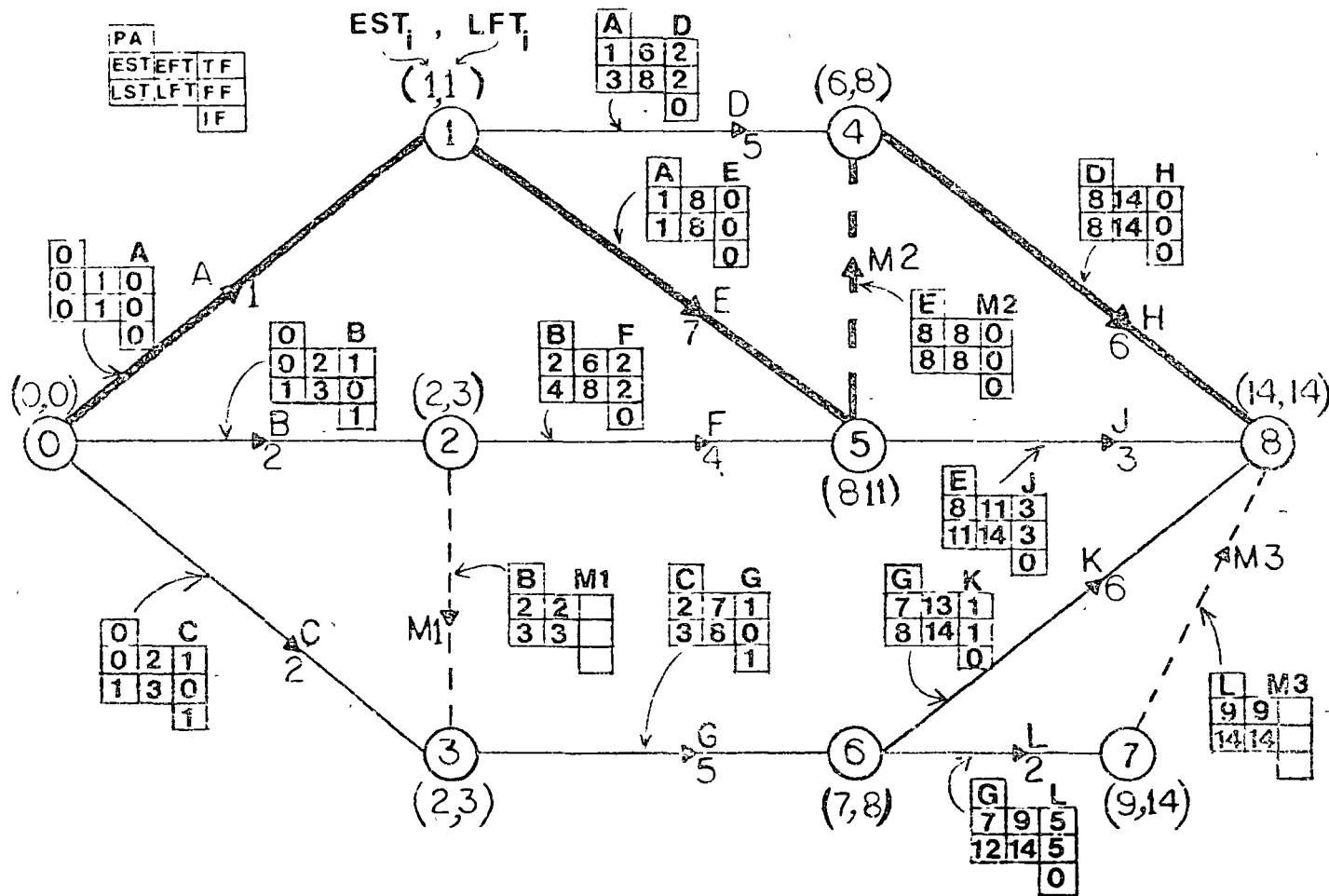
3.a) NORMAL DURATION NETWORK

CRITICAL PATH B G K

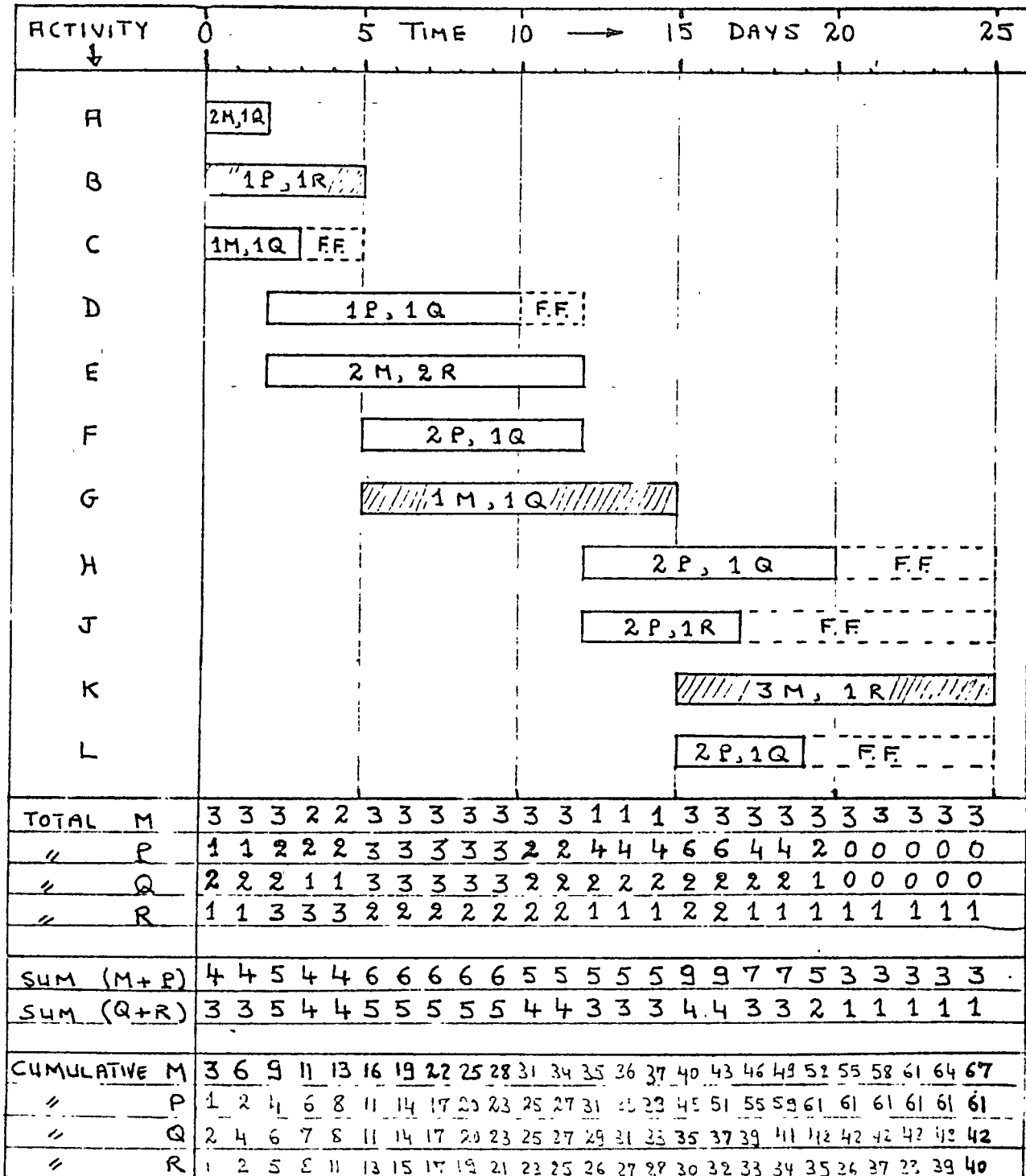


3. b) CRASHED NETWORK

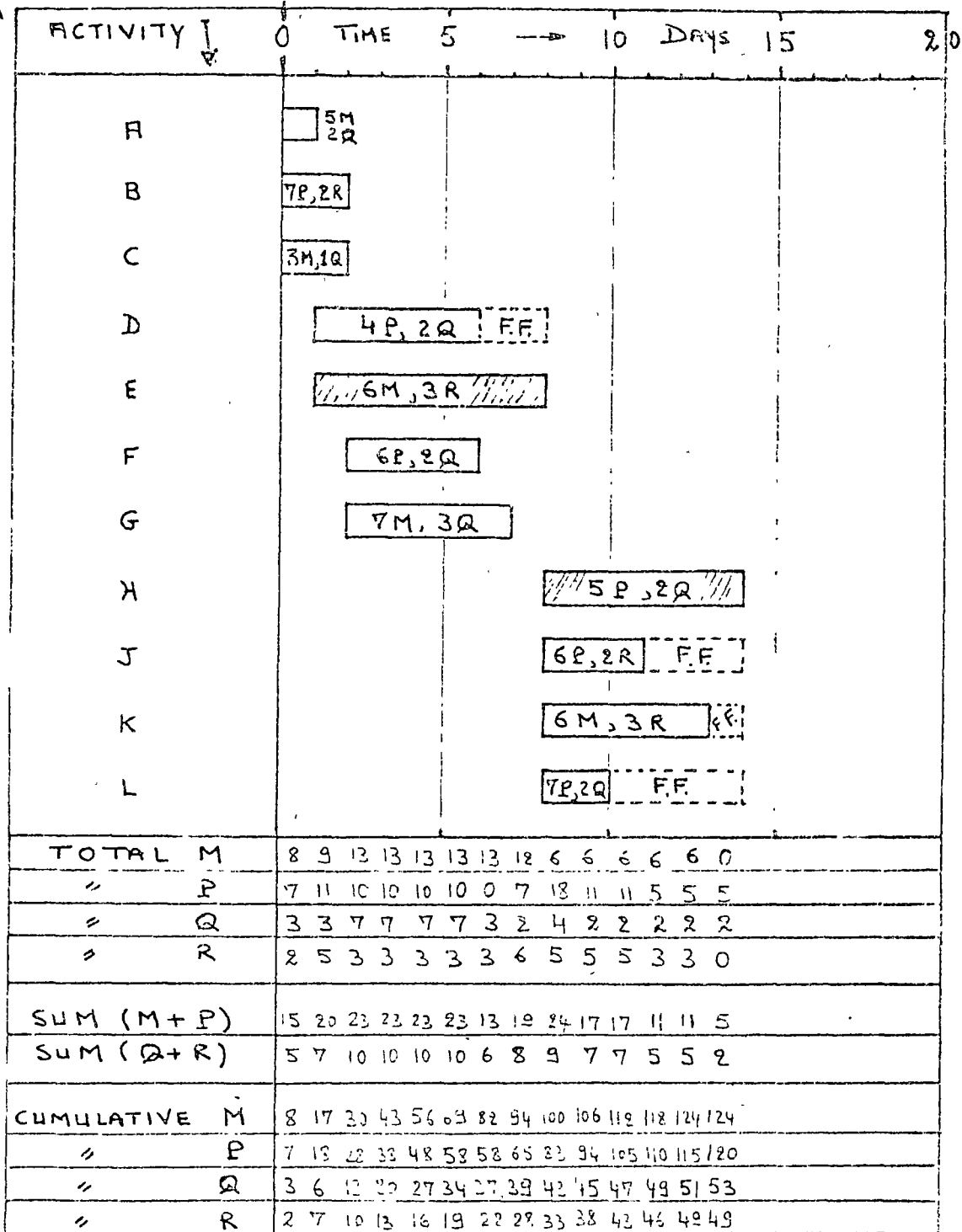
CRITICAL PATH A E H



4.a. NORMAL PROJECT DURATION BAR CHART BASED ON EST
SHOWING REQUIRED RESOURCES FOR EVERY DAY.



4.5 CRASHED PROJECT (ALL ACTIVITIES CRASHED) : BAR CHART BASED ON EST SHOWING REQUIRED RESOURCES FOR EVERY DAY



4-a-5 PROJECT COST BREAKDOWN

a) NORMAL DURATION (25 DAYS)

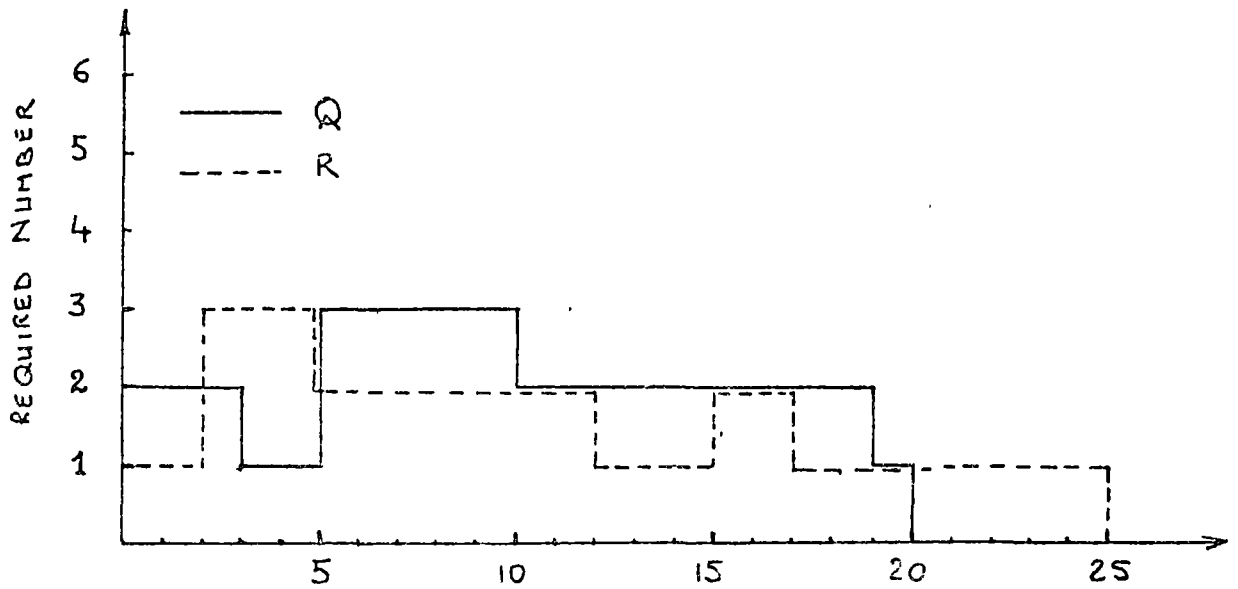
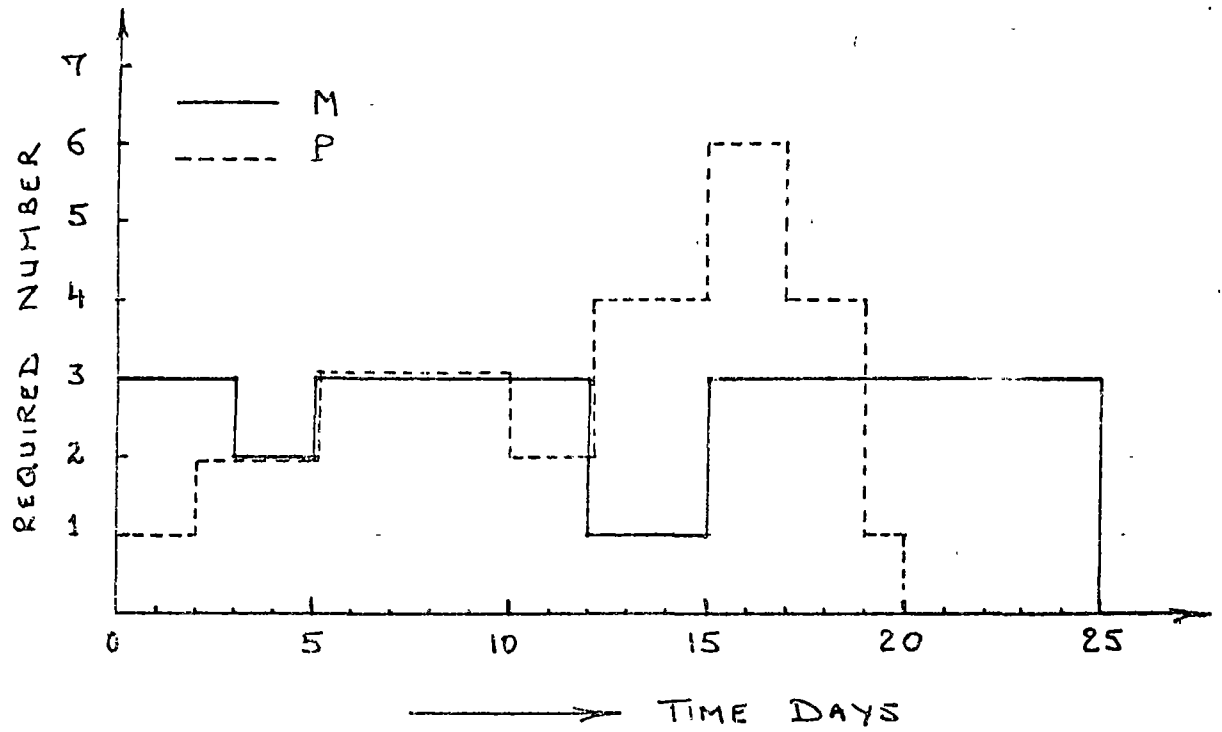
COST FOR M	: 67 x 50	= 3350.
" "	P : 61 x 100	= 6100.
" "	Q : 42 x 150	= 6300.
" "	R : 40 x 250	= 10000.
		<hr/>
		25750.
EQUIPMENT HAULING COST :		
(600 \$ For Q + 600. For R.)		1200.
		<hr/>
DIRECT COST :		26950.
OVERHEAD (INDIRECT COST)		5000.
25 x 200.		<hr/>
TOTAL PROJECT COST		<u>31950.</u> \$

b) CRASH DURATION (14 DAYS) [ALL ACTIVITIES CRASHED]

COST FOR M	: 124 x 50	= 6200.
" "	P : 120 x 100	= 12000.
" "	Q : 53 x 150	= 7950.
" "	R : 49 x 250	= 12250.
		<hr/>
		38400.
EQUIPMENT HAULING COST :		
(1350. For Q + 1200 For R)		2550.
		<hr/>
DIRECT COST		40950.
OVERHEAD (INDIRECT COST)		2800.
14 x 200.		<hr/>
TOTAL PROJECT COST		<u>43750.</u> \$

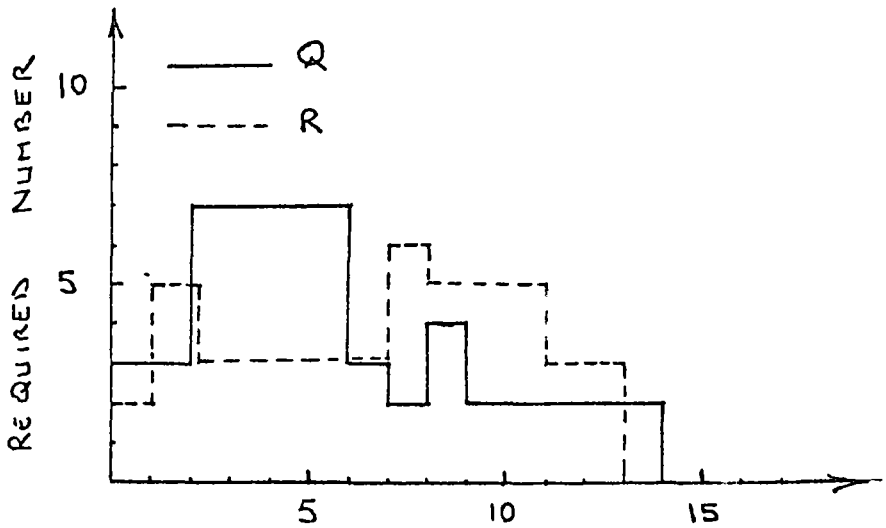
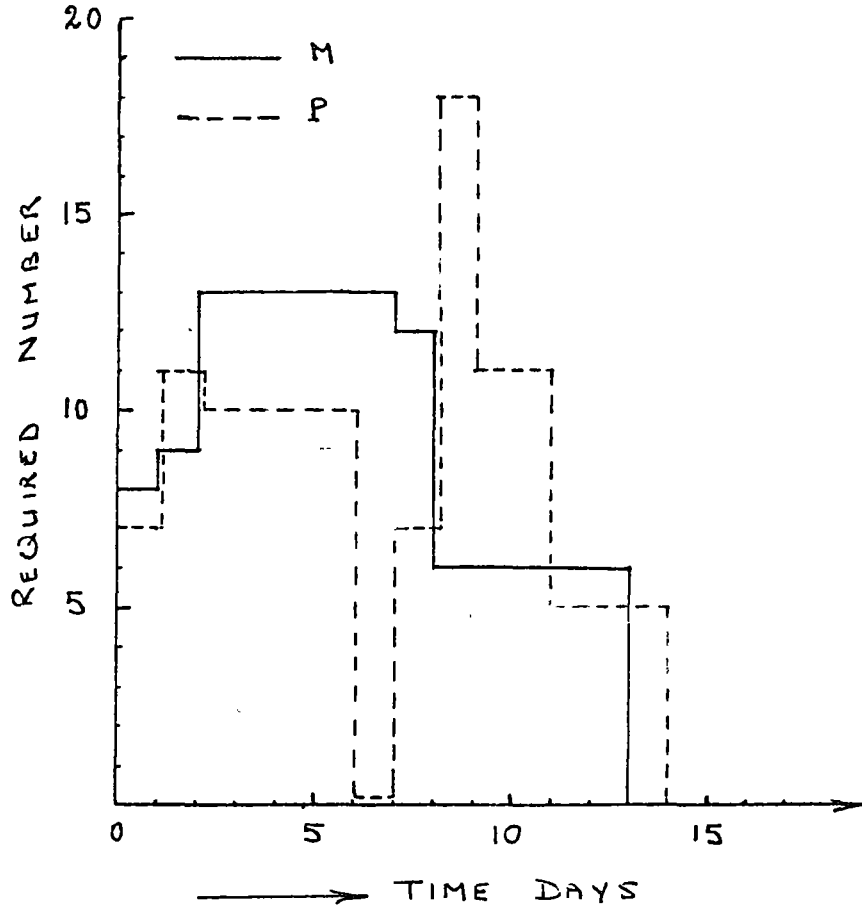
4.C NORMAL DURATION

REQUIRED RESOURCES ASSUMING EARLY START TIME FOR EACH ACTIVITY.



4.c CRASH DURATION

REQUIRED RESOURCES ASSUMING ALL ACTIVITIES ARE CRASHED AND EARLY START TIME FOR EACH ACTIVITY.



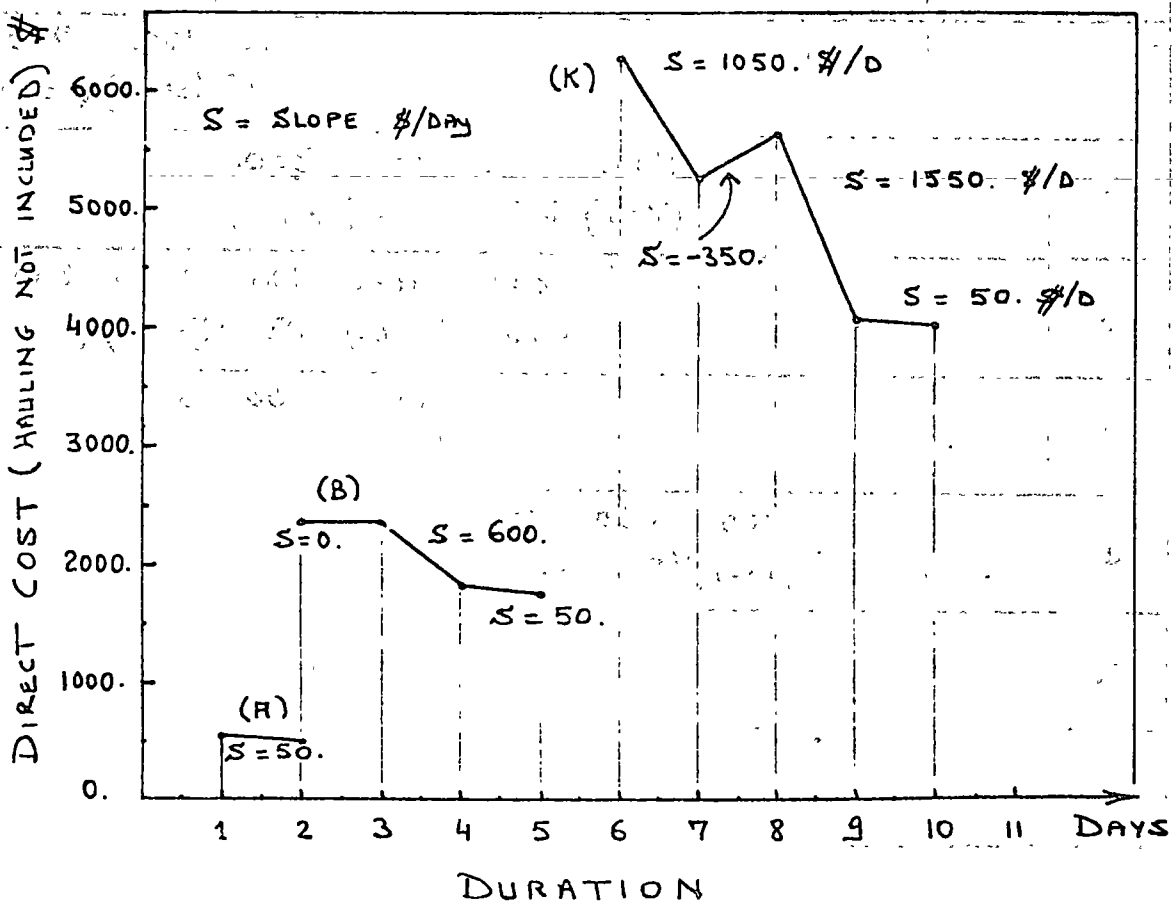
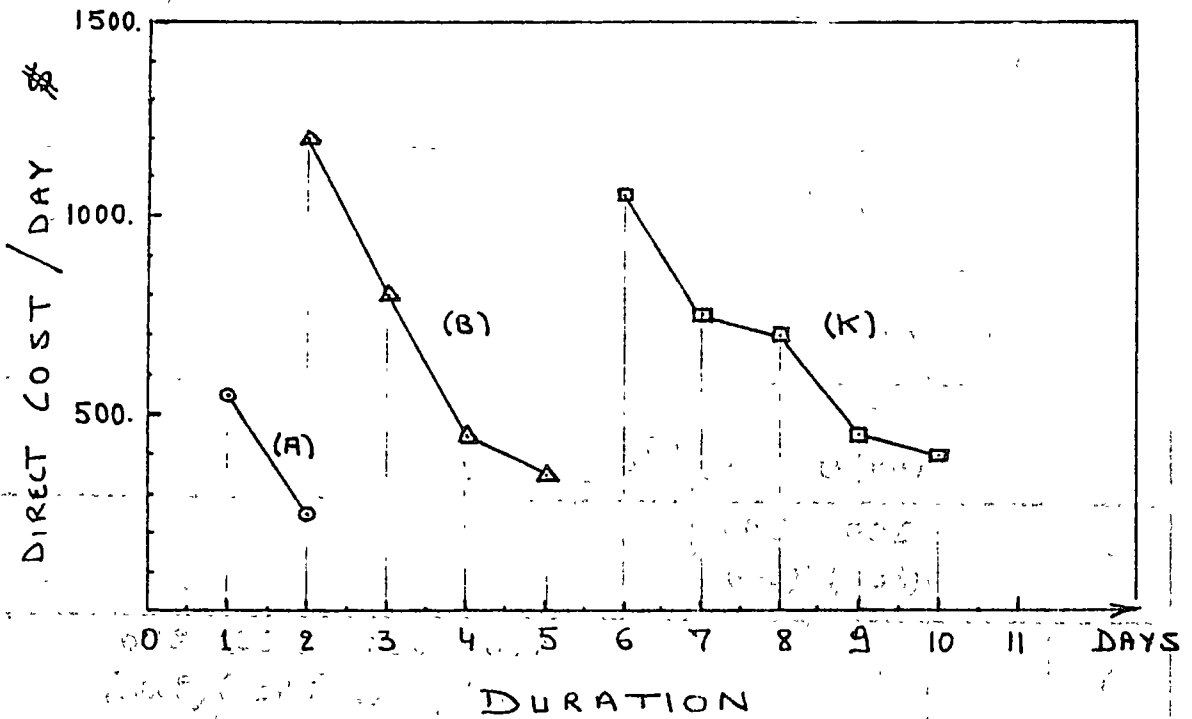
4.d TIME - COST INFORMATION FOR EACH ACTIVITY

(Hauling cost is not included)

Given are : COST PER DAY EX. 800.
(COST FOR THE DURATION) (2400.)

ACTI. ↓ \ t →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	550. (550.)	250. (500)								
B		1200. (2400)	800. (2400)	450. (1800)	350. (1750)					
C		300. (600)	200. (600)							
D					700. (3500)	600. (3600)	350. (2450)	250. (2000)		
E							1050. (7350)	1000. (8000)	700. (6300)	600. (6000)
F				900. (3600)	700. (3500)	450. (2700)	350. (2450)			
G					800. (4000)	700. (4200)	500. (3500)	450. (3600)	250 (2250)	200. (2000)
H						800. (4800)	600. (4200)	350. (2800)		
J			1100. (3300)	650. (2600)	450. (2250)					
K						1050. (6300)	750. (5250)	700. (5600)	450. (4050)	400. (4000)
L		1000. (2000)	700. (2100)	350. (1400)						

4.d CURVES SHOWING DIRECT COST PER DAY and TOTAL DIRECT COST (HAULING NOT INCLUDED) FOR ACTIVITIES A, B, K.



4.d How TO ALLOCATE HAULING COST TO EACH ACTIVITY WHICH USES EQUIPMENT?

a) NORMAL DURATION OF PROJECT

Q : TOTAL HAULING COST FOR Q = 600 \$
CUMULATIVE WORK DAYS Q = 42.

$$\text{COST PER DAY} = 600/42 = 14.29 \$$$

R : TOTAL HAULING COST FOR R = 600 \$
CUMULATIVE WORK DAYS FOR R = 40.

$$\text{COST PER DAY} = 600/40 = 15.0 \$$$

EX. ACTIVITY E USES 2 R FOR 10 DAYS.

$$\begin{aligned} \text{HAULING COST} &: 2 \times 15 = 30 \$/\text{day} \\ \text{TOTAL FOR E} &: 2 \times 15 \times 10 = 300 \$ \end{aligned}$$

b) CRASH DURATION OF PROJECT

It can be similarly shown that:

$$Q : \text{COST PER DAY} = 1350/53 = 25.47 \$$$

$$R : \text{COST PER DAY} = 1200/49 = 24.49 \$$$

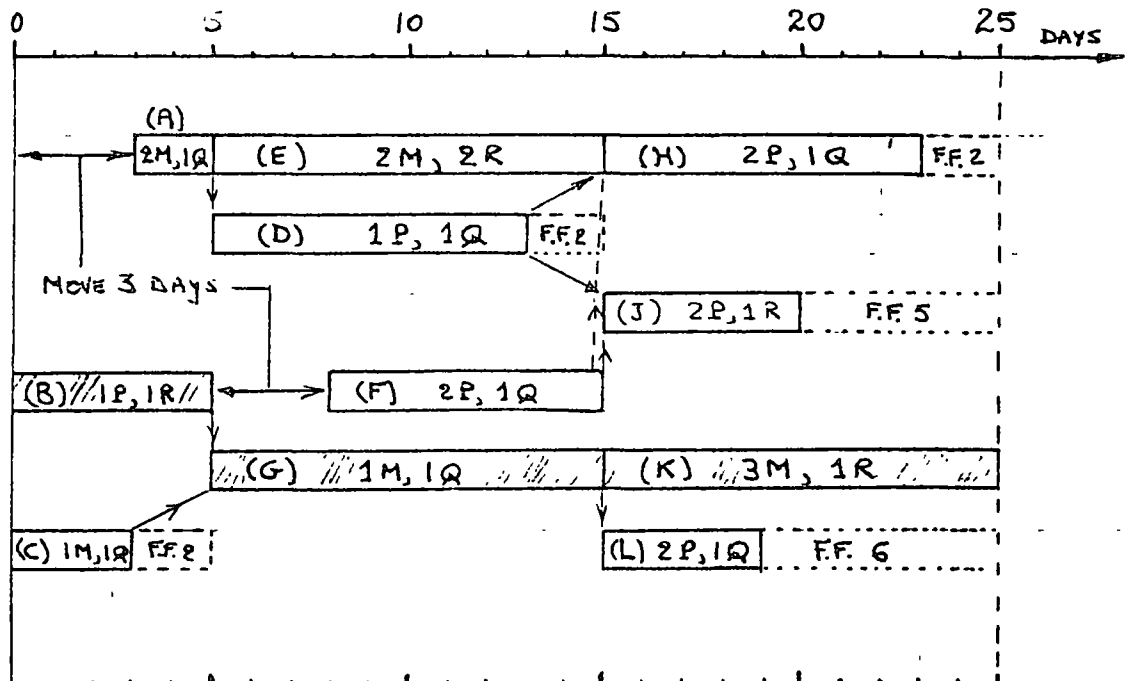
EX. ACTIVITY E USES 3 R FOR 7 DAYS

$$\begin{aligned} \text{HAULING COST} &: 3 \times 24.49 = 73.47 \$/\text{day} \\ \text{TOTAL FOR E} &: 73.47 \times 7 = 514. \$ \end{aligned}$$

NOTES : 1) This method leads to a result different from that obtained say by multiplying number of R by 150. \$

2) Linear interpolation may be used (as a first approximation) for durations between normal and crash.

4.e. PROJECT NORMAL DURATION : EXAMPLE OF RESOURCE LEVELLING



TOTAL PER DAY									CUMULATIVE
M	1	2	3						67
P	1		3	2	6	4	2	0	61
Q	1	2	3	2		1		0	42
R	1	2			1				40

NOTES : 1) PRIORITY WAS GIVEN TO "LEVEL" EQUIPMENTS Q and R First.

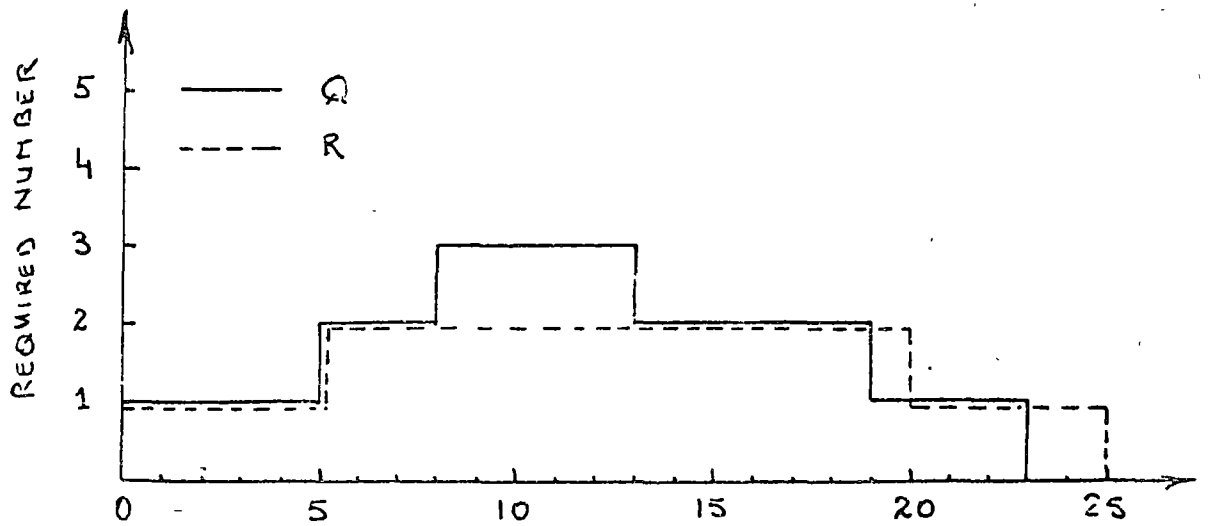
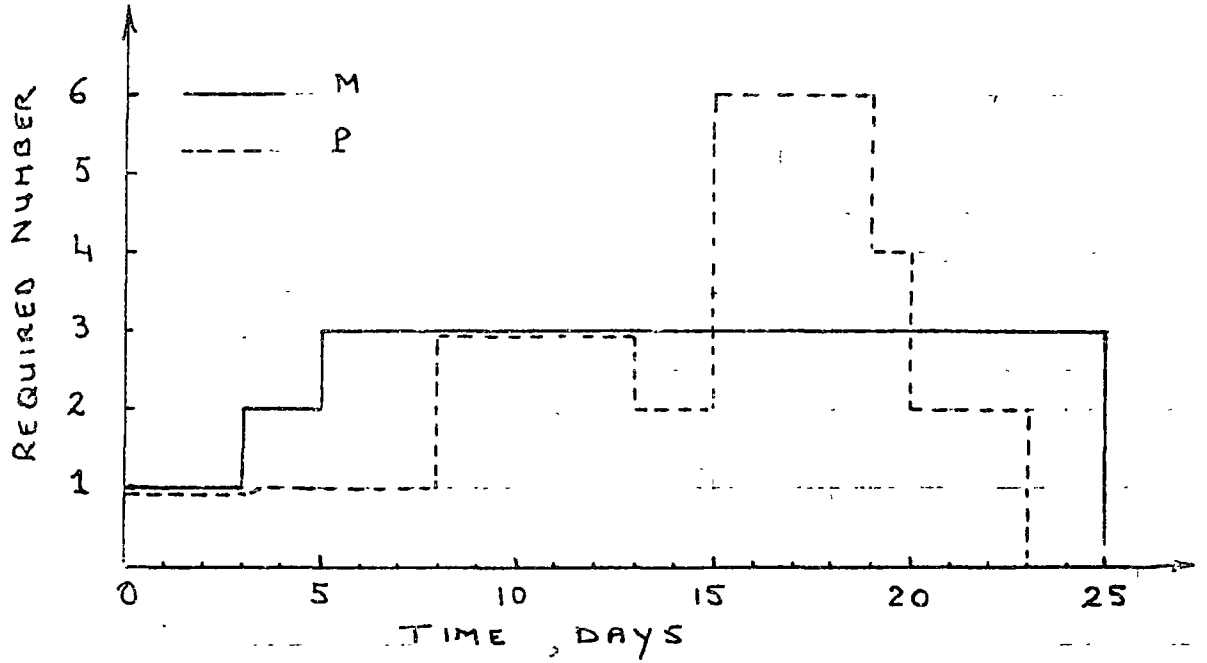
2) WITHOUT CHANGING THE CUMULATIVE VALUES OF "MAN-DAYS" and "EQUIPMENT-DAYS" REQUIRED THE EFFECT OF "LEVELLING" LEAD TO A REDUCTION IN "HAULING" COST. (FROM 1200. \$ TO 750. \$)

3) IT IS SELDOM POSSIBLE TO "LEVEL" ALL RESOURCES SIMULTANEOUSLY

4) IN LEVELLING AN ATTEMPT WAS MADE TO KEEP EITHER A UNIFORM INCREASE, OR A CONSTANT OR A UNIFORM DECREASE IN THE AMOUNT OF RESOURCES.

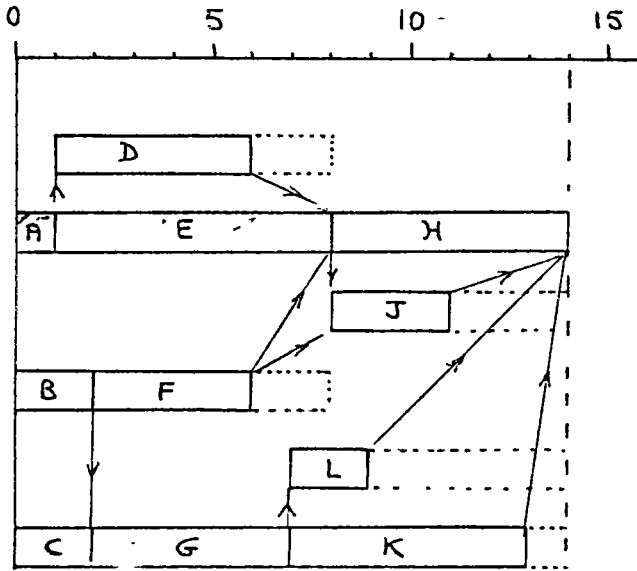
4.2 NORMAL DURATION

REQUIRED RESOURCES AFTER
"LEVELLING"



5.9 MINIMUM COST CRASHED NETWORK (Duration 14 Days)

It is obtained from the network where all activities are crashed by increasing the duration of noncritical activities until they either become critical or they reach their normal duration.



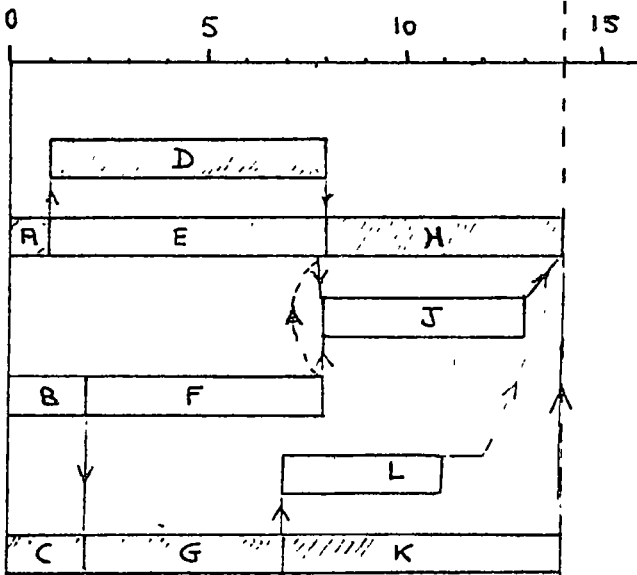
CRASHED NETWORK (14 Days)

ALL ACTIVITIES CRASHED.

CRITICAL PATH : A, E, H

- OTHER PATHS :
- A, D, H
 - B, F, H
 - B, F, J
 - B, G, K
 - C, G, K
 - C, G, L

In order to reduce cost
Some activities can be
relaxed using Free Floats
or Total Floats.



MINIMUM COST CRASHED NETWORK (14 Days)

CRITICAL PATHS: A, E, H
A, D, H

- The new Network was obtained
by increasing the duration
of :
- F by 2 days
 - D by 2 days
 - J by 2 days
 - L by 2 days
 - K by 1 day

K was chosen along path
C, G, K instead of G or K as
it leads to the highest Cost
reduction for one day.

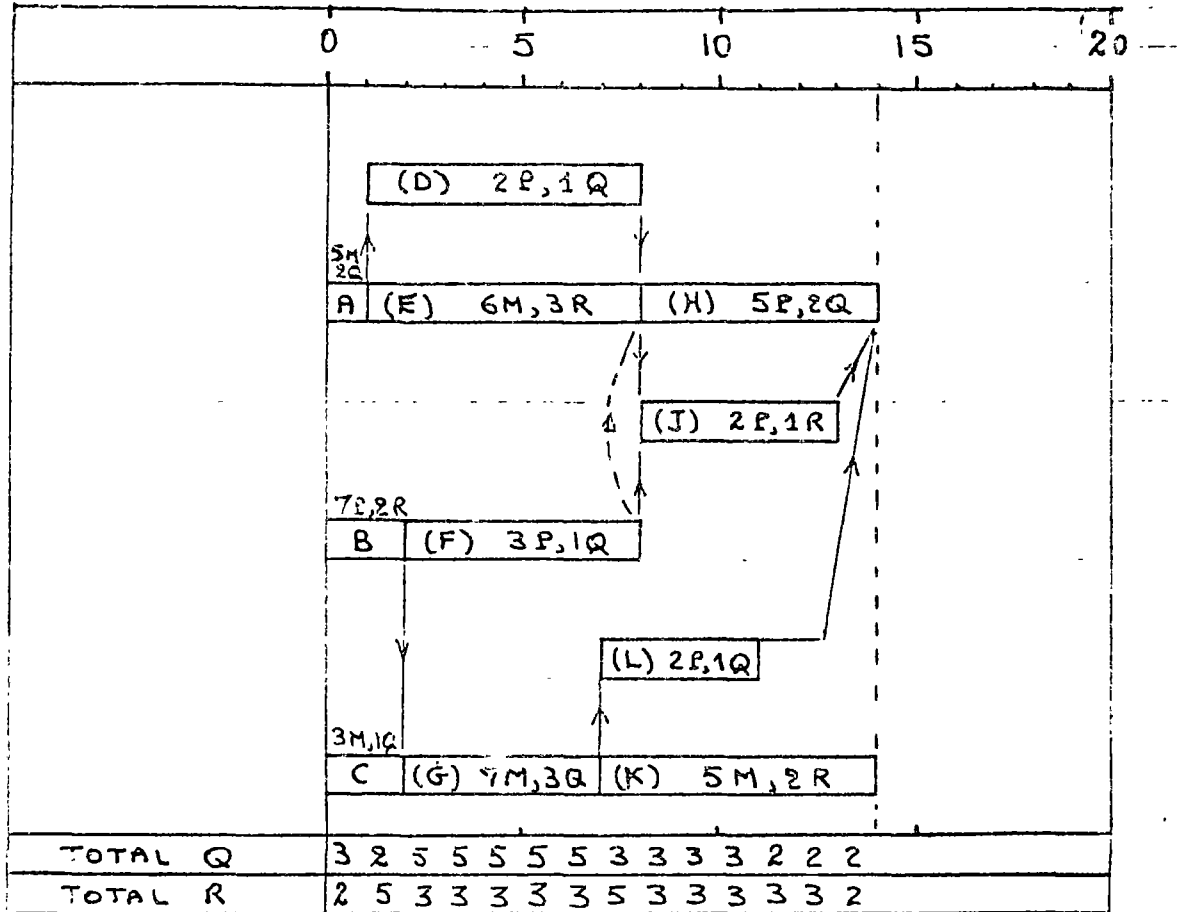
SAVINGS ACHIEVED IN DIRECT COST (HAULING NOT INCLUDED):
(See Time-Cost information table for each activity)

- FOR D : 3500 - 2450 = 1050.
- " J : 3300 - 2250 = 1050.
- " L : 2000 - 1400 = 600.
- " K : 6300 - 5250 = 1050.
- " F : 2600 - 2700 = 900.

} TOTAL SAVINGS = 4650.₹

5.2 MINIMUM COST CRASHED PROJECT. (Duration 14 Days.)

COST INFORMATION.



Hauling cost for Q : 900. #
 " " " R : 1050.
1950 #

Thus for the minimum cost crashed network

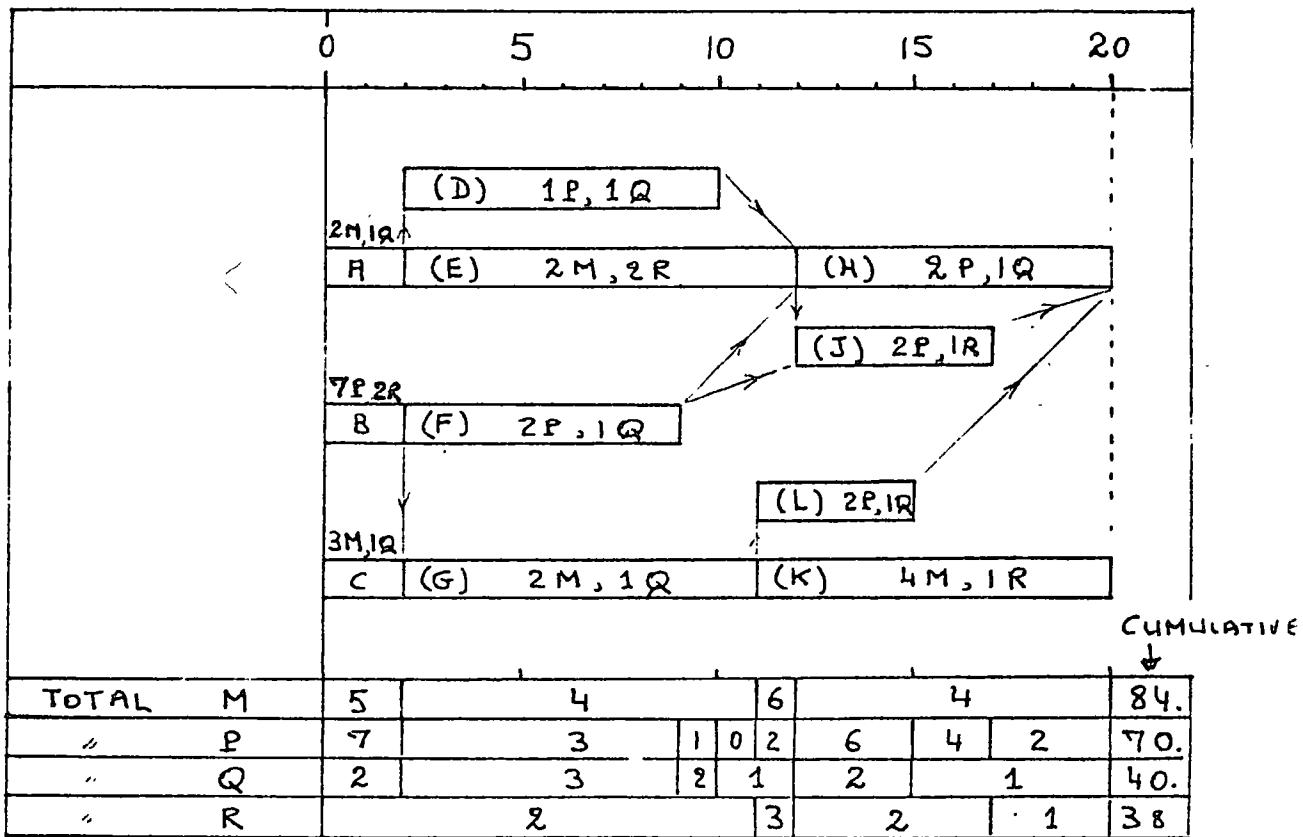
Direct cost = 38400. - 4650 (SAVINGS) = 33750.
 HAULING " = Above calculated = 1950.
 Overhead = 14 x 200. = 2800.

TOTAL PROJECT COST = 38500. #.

5.6 MINIMUM COST NETWORK ASSUMING 20 Days Project DURATION.

As for normal duration all PATHS except the critical PATH have LENGTHS less than or Equal to 20 days, reduction of 5 days must be made along the critical PATH B,G,K STARTING FROM THE NORMAL DURATION NETWORK BASED ON EST, the minimum cost network for 20 days is obtained by decreasing the duration of:

- K by 1 day
- G by 1 day
- B by 3 days and C by 1 day.



Note that reducing the duration of B and C from 3 days to 2 days does not change the value of the direct cost involved. (See Time-cost information table for each activity)
 Priority is given to those activities or combination of activities which lead to the minimum increase in direct cost per day of reduction in duration along the critical path.

S. 5. CONT.

FOR THE 20 days project duration :

HAULING COST FOR Q = 600.

" " " R = 450.

TOTAL HAULING COST = 1050. \$.

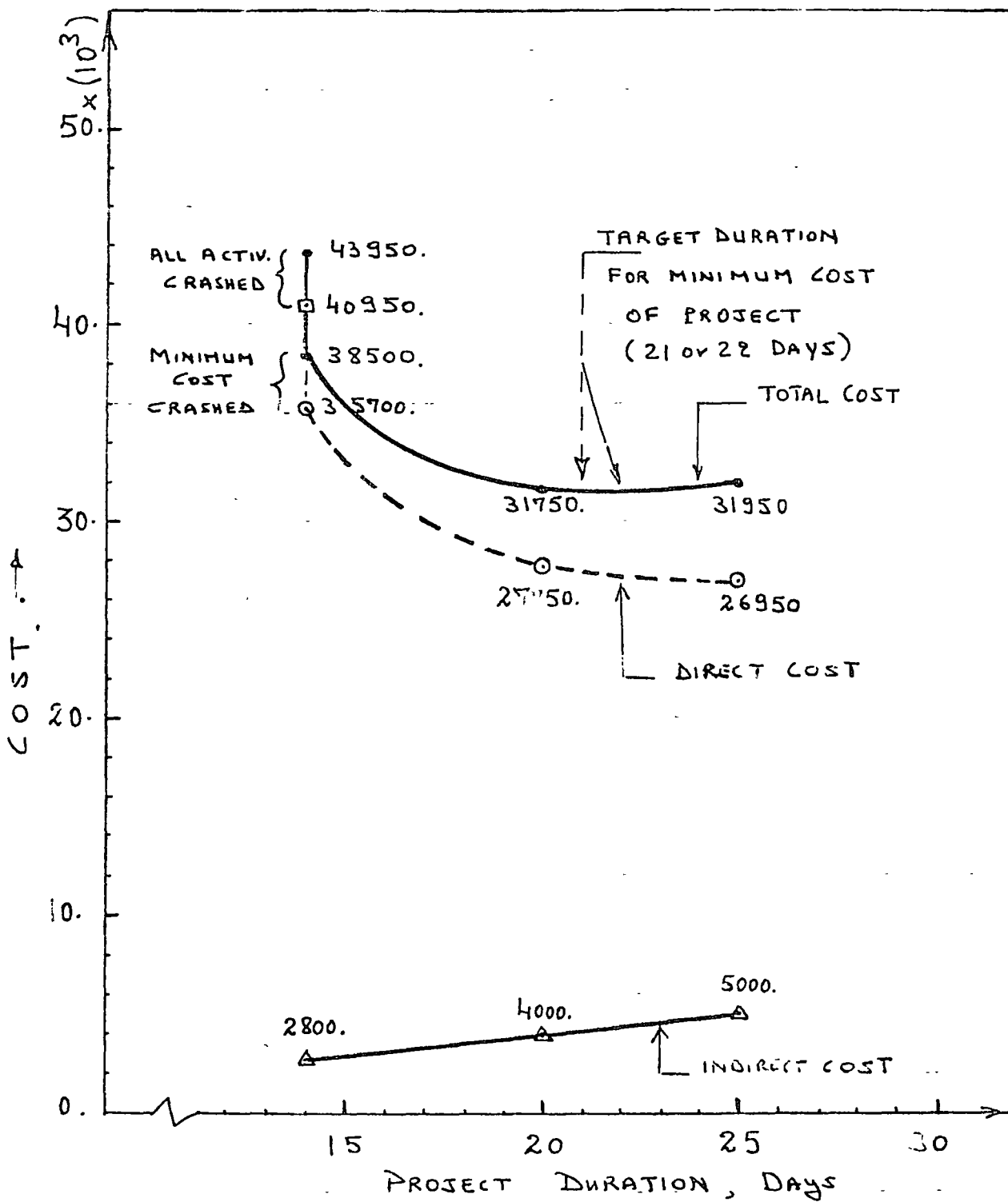
DIRECT COST (HAULING = 26700. \$.
NOT INCLUDED)

TOTAL DIRECT COST = 27750 \$.

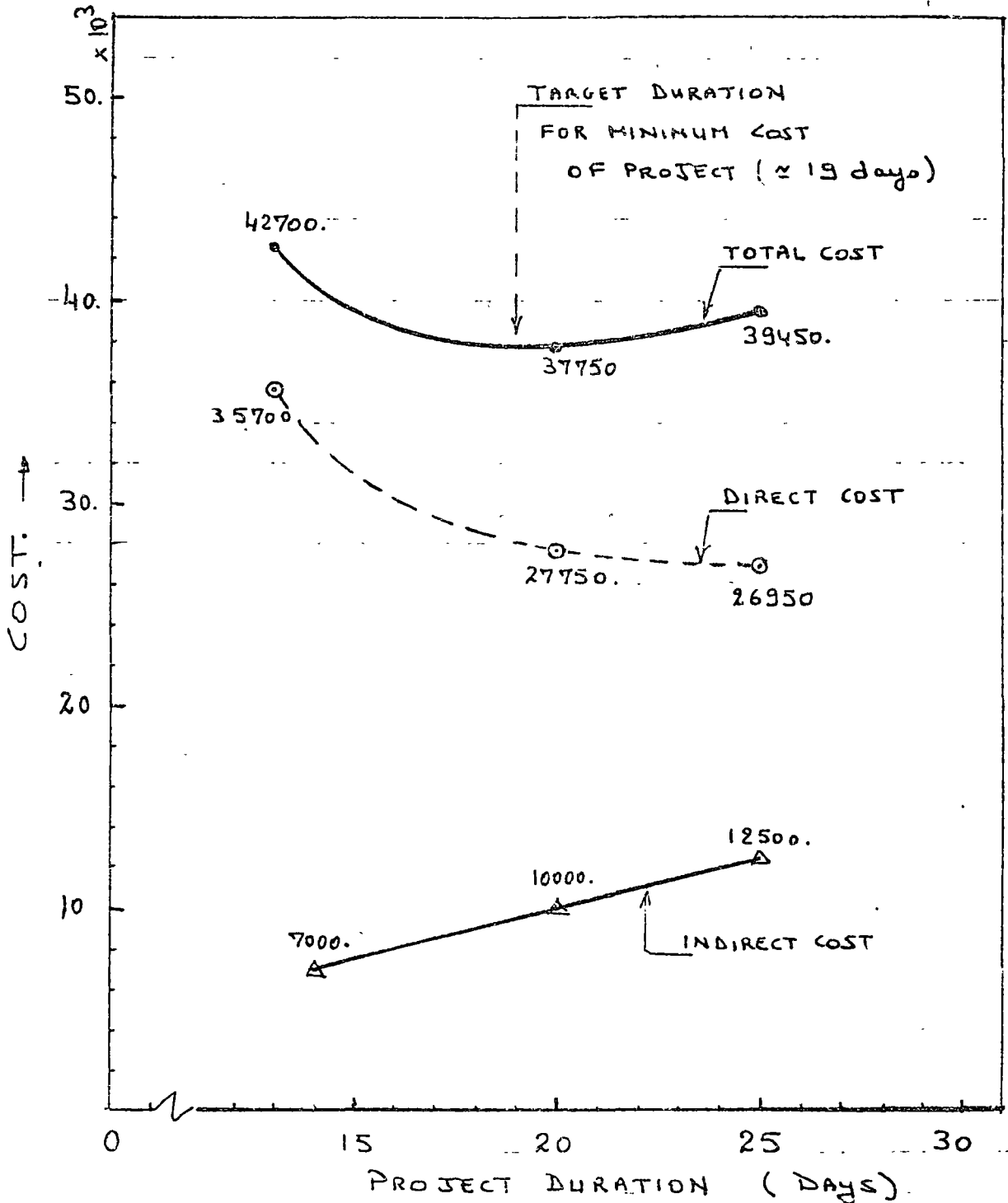
INDIRECT COST 20 X 200 = 4000. \$.

TOTAL COST = 31750. \$

5.C PROJECT TIME-COST CURVES



5.d PROJECT TIME-COST CURVES Assuming indirect cost at 500. \$/day instead of 200 \$/day.



5.2 TARGET DURATION IS 20 days but Only 2Q and 2R ARE AVAILABLE

For handling resource constraints several priority criteria can be used. For example:

- 1) Start with the first day and schedule all possible activities then do the same for the following day and so on...
- 2) If several activities compete for the same resources then schedule first the one with the smallest total float (i.e. critical first)
- 3) If two activities compete in step 2 select the one with the shortest duration
- 4) Then if possible reschedule non critical activities.

If due to the constraints the project duration tends to increase, keep in mind that:

- a) Some activities which may have been so far critical can be relaxed
- b) For some activities which have become critical it may still be possible to shorten their duration without increasing the scarce resource.

Applying the above remarks to the minimum Cost Network with 20 days described in question (5):

→ 1st and 2nd day : No Problem.

→ 3rd day. 3 activities compete D, F, G for 2R
schedule G First (critical) 1R
D Second (TF=2) 1R

F is delayed as only 2R are available, and will start at the end of D.

→ As H follows F and is critical the project duration increases.

Thus : Questions : Can we shorten D ?
Can we shorten H ?
" " " F ?

→ SHORTEN D by one day (only 1R is still needed) from 8 to 7 days.

S.E. CONT.

→ H cannot be shortened without increasing the number of Q's required

→ SHORTEN F by one day from 7 to 6 days.
(only 1 Q is still needed)

So F now starts on 9th day and finishes at the end of the 14th day.

As H follows F and lasts 8 days the new project duration is 23 days.
The critical path is B, F, H

→ Going back to the 3rd day.
There do not seem to be a conflict for the available resources.

However as the project new duration is 23 days one may consider relaxing activities: B, C, G, K.

It has been observed earlier that increasing the duration of B and C from 2 to 3 days does not change the direct cost of these activities.

→ Thus : $\begin{cases} \text{Increase G by one day from 9 to 10} \\ \text{Increase K by one day from 9 to 10} \end{cases}$

Note This has also as an effect to reduce the number of R required at day 12 from 3 to 2 thus satisfying the constraint on R.

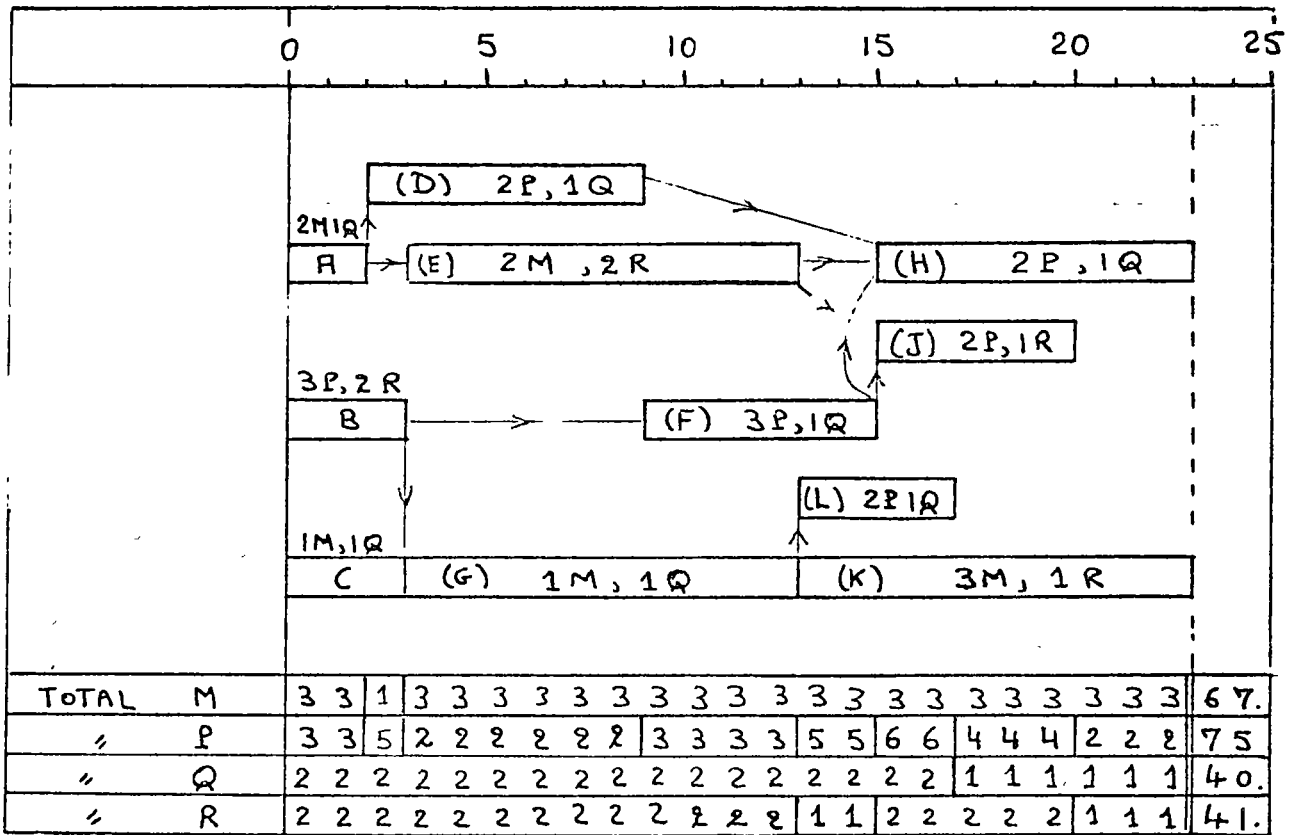
→ As still one day is available before B, G, K or C, G, K become critical, activities B and C are relaxed by one day from 2 to 3 days. This does not decrease the direct cost, does not change the required number of Q and R but reduces the number of men M and P per day.
E is delayed one day in order to satisfy available 2R.

→ The new network with the required resources is shown in the next diagram

5.2. CONT.

PROJECT NETWORK WITH CONSTRAINED RESOURCES 2Q and 2R

- TARGET DURATION 20 days
- ACTUAL DURATION 23 days to satisfy constraints.



CUMULATIVE ↑

The following expressions will be used:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_e = \frac{t_a + 4t_m + t_b}{6} \quad \text{in days} \\ S_t = \sqrt{V_t} \approx \frac{t_b - t_a}{3.2} \quad \text{in days.} \end{array} \right.$$

where

t_e = Expected or mean time
 t_a = optimistic time
 t_m = most likely time
 t_b = pessimistic time
 S_t = Standard Deviation
 V_t = Variance
 P_t = Coefficient of Variation = $\frac{S_t}{t_e}$

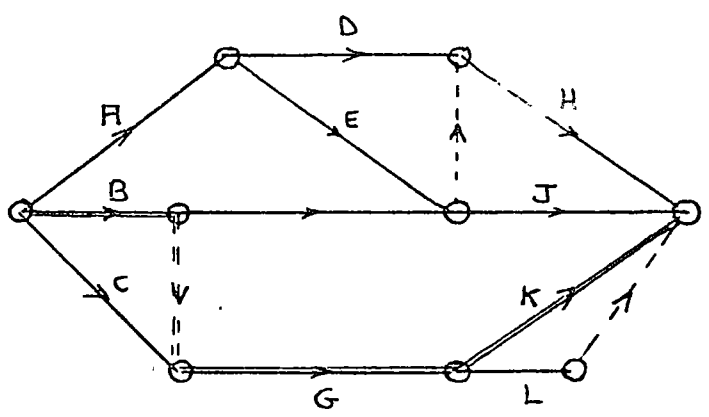
ACTIV. ↓	t_e	S_t	V_t	P_t
A	2	0.625	0.390	0.3125
B	5	0.625	0.390	0.125
C	3 1/3	1.25	1.5625	0.375
D	8	1.25	1.5625	0.1562
E	10 1/6	1.5625	2.4414	0.1537
F	7 1/6	1.5625	2.4414	0.218
G	10 1/6	1.5625	2.4414	0.1537
H	8 1/6	1.5625	2.4414	0.1913
J	5 1/6	0.9375	0.8789	0.1814
K	10 1/6	1.5625	2.4414	0.1537
L	4 1/6	0.9375	0.8789	0.225

6.1. MEAN and STANDARD DEVIATION OF TIME FOR THE VARIOUS PATHS and the CRITICAL PATH.

The following notation is used:

- $(M)_i =$ expected (mean) time of path i in days
- $(\sigma)_i =$ standard deviation of path $i = \sqrt{V}_i$
- $(V)_i =$ Variance of path i

It is assumed that the mean time for a path is equal to the sum of the mean times of the activities along that path, and the Variance to the sum of the variances. (CENTRAL LIMIT THEOREM)



PATH ↓	M days	σ days	V
B - G - K	25 1/3	2.296	5.293
C - G - K	23 2/3	2.539	6.445
A - E - H	20 1/3	2.296	5.293
A - D - H	18 1/6	2.096	4.39
B - F - J	17 1/3	2.296	5.293

6.2.

MEAN AND STANDARD DEVIATION OF Direct Cost

Using same method as for the time calculations:

	MEAN VALUE. \$	STANDARD DEVIATION	VARIANCE	Coefficient of VARIATION
A	508.33	78.12	6103.	0.153
B	1750.	156.25	24414.	0.089
C	616.67	93.75	8789.	0.152
D	2033.33	187.5	35156.	0.092
E	6166.67	625.	390625.	0.101
F	2450.	218.75	47851.	0.089
G	2016.67	156.25	24414	0.077
H	2816.67	218.75	47851.	0.077
J	2266.67	187.5	35156.	0.082
K	4016.67	218.75	47851	0.054
L	1416.67	93.75	8789	0.066

Using the CENTRAL LIMIT THEOREM Given the following values for the total direct cost of the Project:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_c = 26058. \text{ \$} \\ \sigma_c = 823. \text{ \$} \\ P_c = 0.0315 \\ V_c = 677000. \text{ \$} \end{array} \right.$$

6.3. PROBABILITY that Total Direct Cost is > 25750. \$

Assuming that the total direct cost of the project is normally distributed:

$$P(DC > 25750) = 1 - P(DC \leq 25750)$$

Using normalized variable Z

$$P(DC \leq (DC)_0) \equiv P(Z \leq Z_0)$$

$$Z_0 = \frac{(DC)_0 - \mu_c}{\sigma_c} = \frac{25750 - 26058}{823}$$

$$Z_0 = -0.374$$

$$\text{From Tables: } P(Z \leq Z_0) = 0.354$$

$$\text{So } P(Z > Z_0) = 1 - 0.354 = 0.646$$

Thus

$Prob(\text{Direct Cost} > 25750. \$) \approx 65\%$

6.4. Probability that the second Longest PATH becomes CRITICAL.

It is very likely that the other paths will not become critical. (Their expected duration is more than 2 standard deviation away from the expected duration of the critical path)

CALL $\left\{ \begin{array}{l} T_1 : \text{Duration of the critical path B-G-K} \\ T_2 : \text{ " " the second longest path C-G-K} \end{array} \right.$

For the second path to become critical it is necessary

$$\text{that } T_2 > T_1 \quad \text{or} \quad T_1 - T_2 \leq 0$$

Let us assume that variable $m = T_1 - T_2$ is normally distributed.

$$\text{Thus } Prob(T_2 > T_1) \equiv Prob(T_1 - T_2 \leq 0) \equiv Prob(m \leq 0)$$

So it is necessary to compute :

$$\text{Prob} (m \leq 0)$$

$$\text{The mean value of } m \text{ is } \begin{cases} \mu_m = (\mu_1) - (\mu_2) = 25\frac{1}{3} - 23\frac{2}{3} \\ \mu_m = 1\frac{2}{3} = 1.67 \end{cases}$$

$$\text{VARIANCE OF } m \text{ is } : \begin{cases} V_m = (V_1) + (V_2) = 5.273 + 6.4453 \\ V_m = 11.72 \end{cases}$$

$$\text{STANDARD DEVIATION } \sigma_m = \sqrt{V_m} = 3.42$$

Using standardized variable Z :

$$\text{Prob} (m \leq 0) \equiv \text{Prob} (Z \leq z_0)$$

$$z_0 = \frac{m_0 - \mu_m}{\sigma_m} = \frac{0 - 1.67}{3.42} = -0.47$$

From normal distribution table :

$$F(z_0) = F(-0.47) = \text{Prob} (Z \leq z_0) = 0.32$$

Thus

The Probability that the second longest PATH BECOMES CRITICAL is 32%.

Note : It can be shown that the probability of the other paths becoming critical, is very small.

Q.5. Probability that the Project will be Completed in 25 days.

It will be assumed that the project duration is controlled by the critical path only.

$$\text{Thus : } P(T \leq 25) \quad P(T_1 \leq 25)$$

As T_1 is assumed normally distributed we can convert to

the standardized variable Z :

$$P(T_1 \leq 25) \equiv P(Z \leq Z_0)$$

$$Z_0 = \frac{T_1 - (M)_1}{(\sigma)_1} = \frac{25 - 25.33}{2.296} = -0.145$$

From table : $F(Z_0) = F(-0.145) = 0.442$

Thus

The probability that the project will be completed in 25 days is $\approx 44\%$

Note : In fact, for the project to be completed in 25 days all paths must have less than (or equal) 25 days in length. As these paths often have some identical activities, they are not independent. Therefore the probability can be quite lengthy to obtain exactly.

6.6.

CUMULATIVE DISTRIBUTION OF COST AND COMPLETION TIME (CRITICAL PATH ONLY) FOR THE PROJECT.

Assuming that both Cost (Direct Cost) and Completion Time a random variables that are normally distributed, we can use normal probability table to describe their cumulative distribution.

For this we convert to the normalized variable Z :

$$Z = \frac{X - M}{\sigma} \quad \Rightarrow \quad X = Z\sigma + M$$

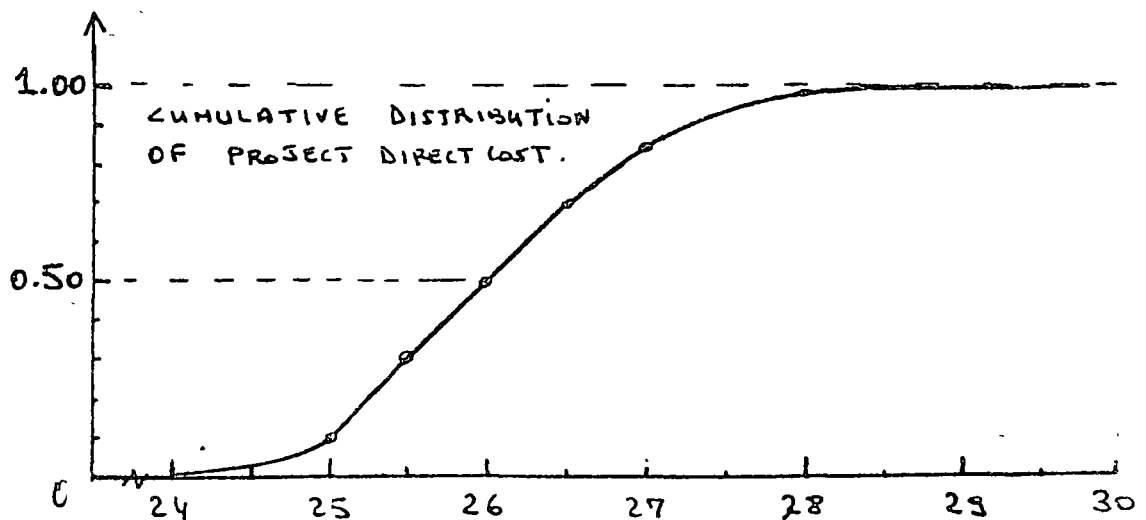
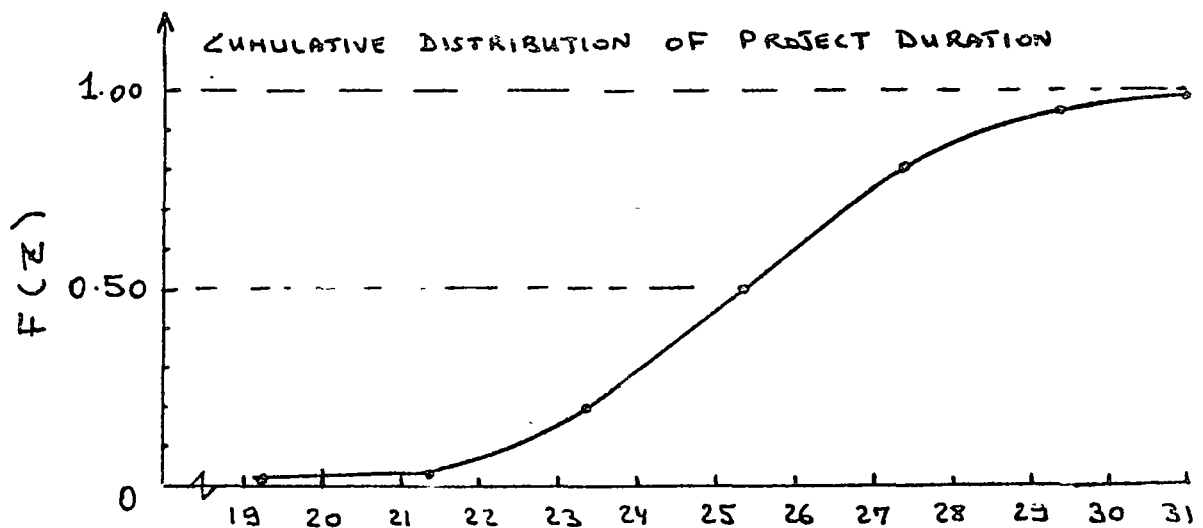
where X represents Cost or Time.

A table for different variations of X is given next:

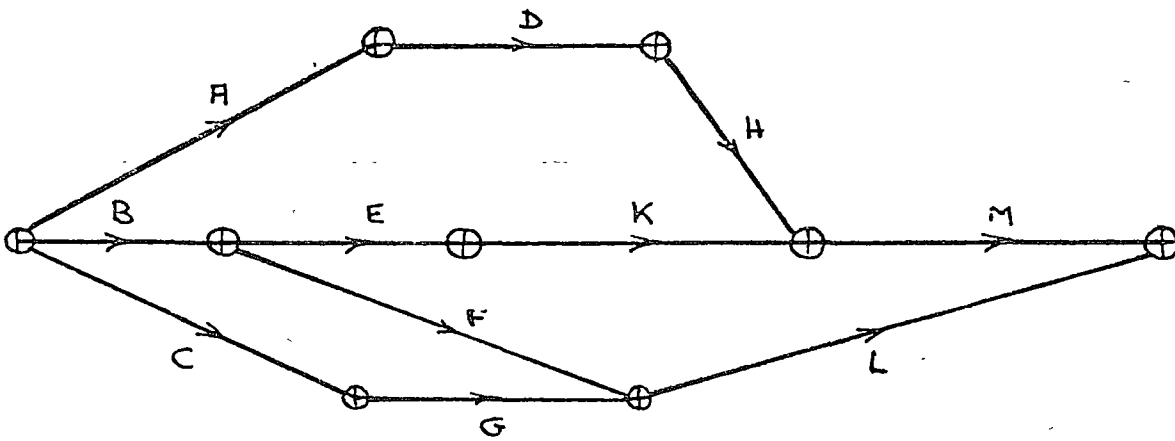
Note $F(X_0) \equiv F(Z_0) \equiv \text{Prob}(X \leq X_0)$

and $\text{Prob}(X \leq X_0) = \text{CUMULATIVE DISTRIBUTION FUNCTION.}$

X=TIME	Z_0	$F(Z_0)$	X=COST	Z_0	$F(Z_0)$
19 1/3	-2.61	0.0045	24000.	-2.5	0.006
21 1/3	-1.74	0.041	25000.	-1.28	0.100
23 1/3	-0.87	0.192	25500.	-0.678	0.249
25 1/3	0.	0.50	26058.	0.	0.50
27 1/3	0.87	0.807	26500.	0.537	0.704
29 1/3	1.74	0.959	27000.	1.145	0.852
31 1/3	2.61	0.995	28000.	2.36	0.991

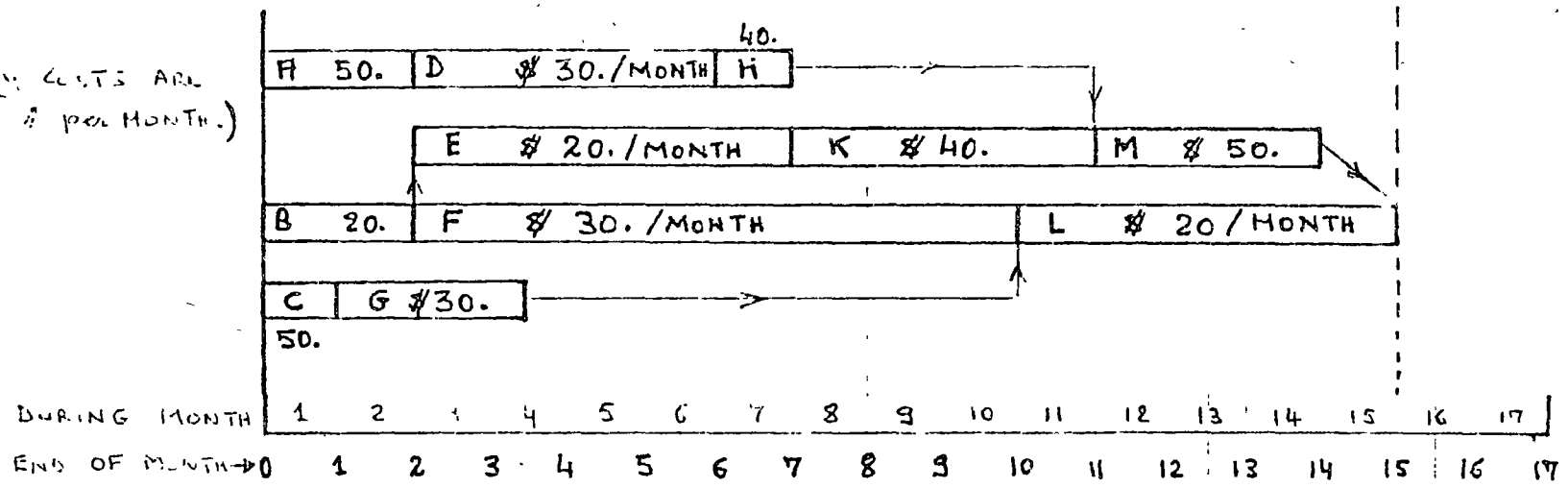


NETWORK FOR PROBLEM 7:



7.1 PROJECT CASH FLOW PLOTTED ON EST (EARLIEST-START-TIMES)

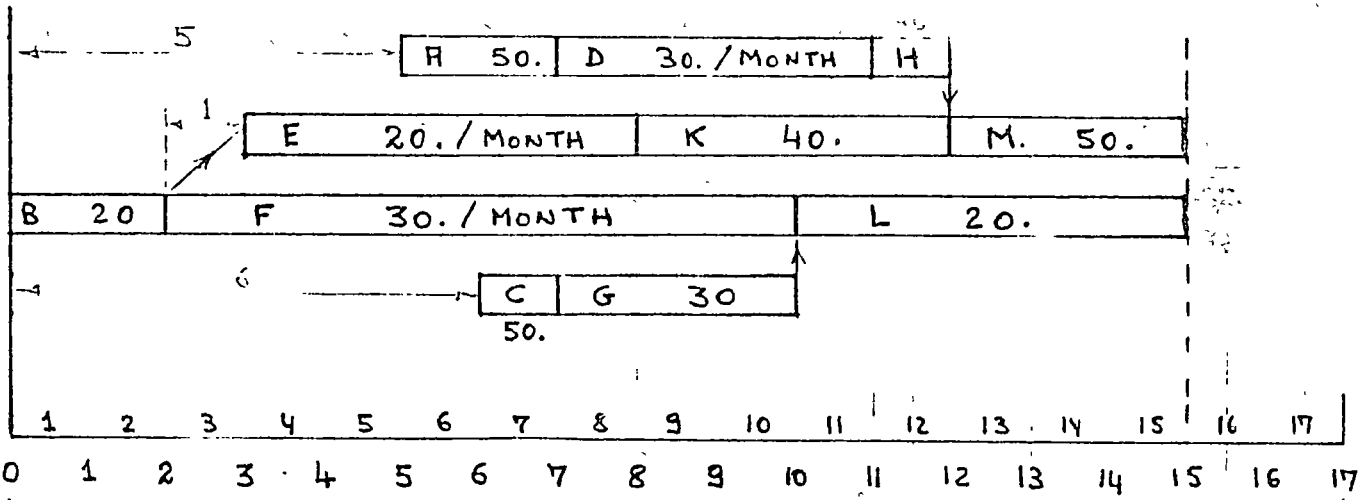
(ACTIVITY COSTS ARE IN 10³ \$ PER MONTH.)



		DURING MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
		END OF MONTH →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
\$ x 10 ³ PER MONTH	①	BID VALUE OF WORK DONE	120.	100.	110.	110.	20.	80.	90.	70.	70.	70.	60.	70.	70.	70.	20.	-	-	
	②	CONTRACTOR'S COST	114.	95.	104.5	104.5	76.	76.	85.5	66.5	66.5	66.7	57.	66.5	66.5	66.5	19.	-	-	
	③	CONTRACTOR'S CLAIM	-	120.	100.	110.	110.	80.	80.	90.	70.	70.	70.	60.	70.	70.	70.	20.	-	
	④	PAYMENT by Owner	-	-	108.	90.	99.	99.	72.	72.	81.	63.	63.	63.	54.	63.	63	63	63.	18.
	⑤	RETAINAGE	-	-	12.	10.	11.	11.	8.	8.	9.	7.	7.	7.	6.	7.	7.	7.	7.	2.
\$ x 10 ³ CUMULATIVE	⑥	BID VALUE	120.	220.	330.	440.	520.	600.	690.	760.	830.	900.	960.	1030.	1100.	1170.	1190.	-	-	
	⑦	CONTRACTOR'S COST	114.	209.	313.5	418.	494.	570.	655.5	722.	788.5	855.	912.	978.5	1045.	1111.5	1130.5	-	-	
	⑧	PAYMENT by Owner	-	-	108.	198.	297.	396.	468.	540.	621.	684.	747.	810.	864.	927.	990.	1053.	1190.	
	⑨	RETAINAGE	-	-	12	22.	33.	44.	52.	60.	69.	76.	83.	90.	96.	103.	110.	117.	119.	
10 ³ \$/MONTH	⑩	FINANCING REQ.	114.	209.	205.5	220.	197	174	187.5	182.	167.5	171.	165.	168.5	181.	184.5	140.5	-	-	
	⑪	INTEREST PAID	1.14	2.09	2.055	2.20	1.97	1.74	1.875	1.82	1.675	1.71	1.65	1.685	1.81	1.845	1.405	-	-	

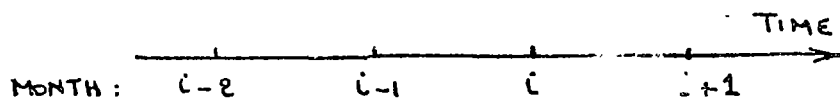
7.2 PROJECT CASH FLOW BASED ON LST (LATEST-START-TIMES)

(ACTIVITY COSTS ARE IN 10³ \$ PER MONTH)



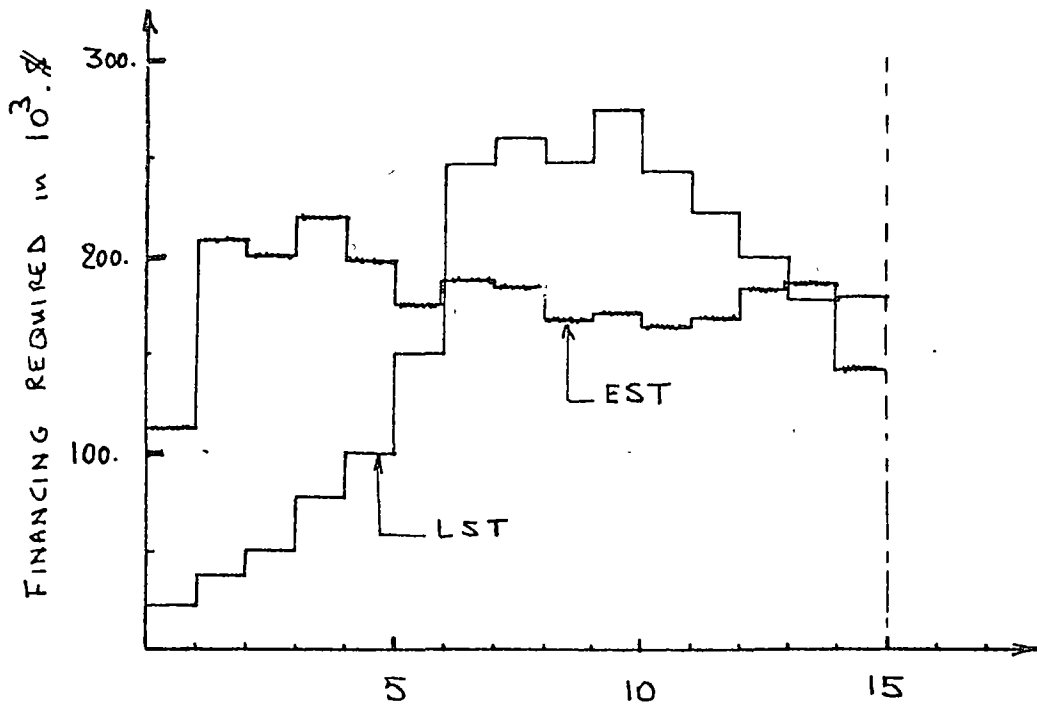
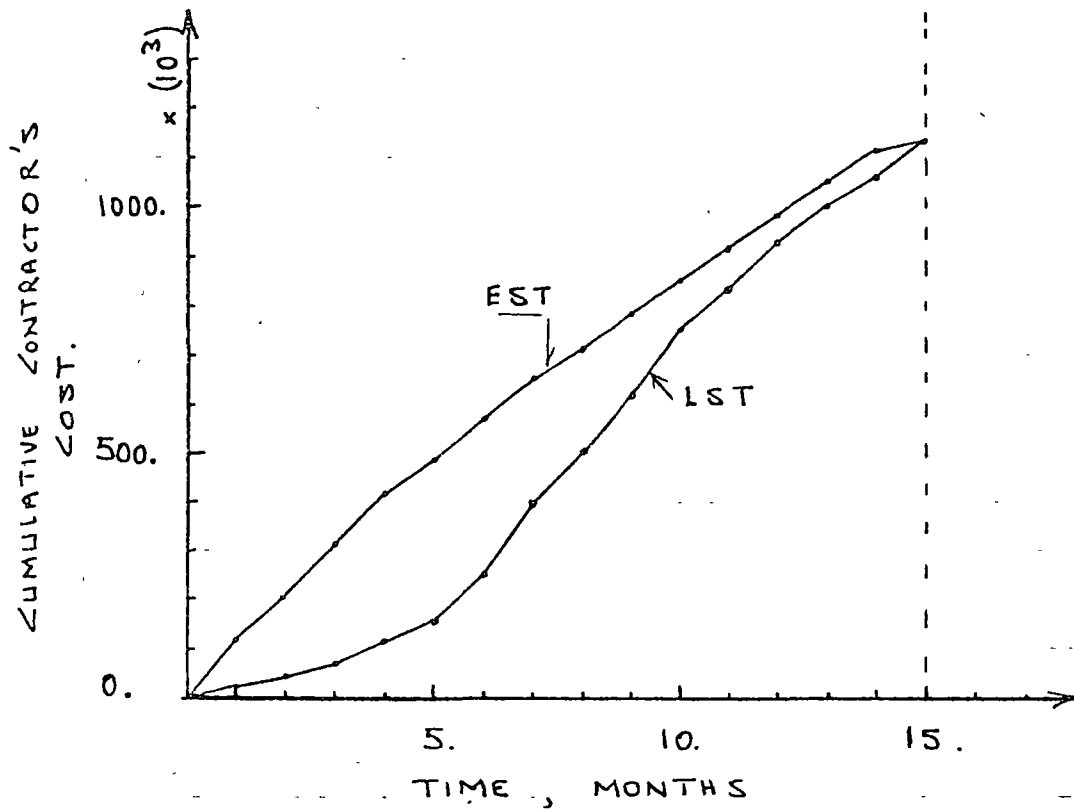
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
# 10 ³ per MONTH	① BID VALUE OF WORK DONE	20.	20.	30.	50.	50.	100.	150.	110.	130.	130.	90.	100.	70.	70.	70.	—	—	
	② CONTRACTOR'S COST	19.	19.	28.5	47.5	47.5	95.	142.5	104.5	123.5	123.5	85.5	95.	66.5	66.5	66.7	—	—	
	③ CONTRACTOR'S CLAIM	—	20.	20.	30.	50.	50.	100.	150.	110.	130.	130.	90.	100.	70.	70.	70.	—	
	④ PAYMENT BY OWNER	—	—	18.	18.	27.	45.	45.	90.	135.	99.	117.	117.	81.	90.	63.	63.	63.	
	⑤ RETAINAGE	—	—	2.	2.	3.	5.	5.	10.	15.	11.	13.	13.	9.	10.	7.	7.	7.	
# 10 ³ CUMULATIVE	⑥ BID VALUE	20.	40.	70.	120.	170.	270.	420.	530.	660.	790.	880.	980.	1050.	1120.	1190.	—	—	
	⑦ CONTRACTOR'S COST	19.	38.	66.5	114.	161.5	256.5	399.	503.5	627.	750.5	836.	931.	997.5	1064.	1130.5	—	—	
	⑧ PAYMENT BY OWNER	—	—	18.	36.	63.	108.	153.	243.	378.	477.	594.	711.	792.	882.	945.	1008.	1071.	
	⑨ RETAINAGE	—	—	2.	4.	7.	12.	17.	27.	42.	53.	66.	79.	88.	98.	105.	112.	119.	
# 10 ³ /month	⑩ FINANCING REQ.	19.	38.	48.5	78.	98.5	148.5	246.	260.5	249.	273.5	242.	220.	205.5	182.	185.5	—	—	
	⑪ INTEREST PAID	0.19	0.38	0.485	0.78	0.985	1.485	2.46	2.605	2.49	2.735	2.42	2.20	2.055	1.82	1.855	—	—	

7.1 & 2 GENERAL RELATIONSHIPS USED IN CASH FLOW CALCULATIONS:



- ② (CONTRACTOR'S COST)_i = 0.95 x (Bid VALUE)_i = 0.9 x ①_i
- ③ (CONTRACTOR'S CLAIM)_i = (Bid VALUE)_{i-1} = ①_{i-1}
- ④ (PAYMENT BY OWNER)_i = 0.9 x (CONTRACTOR'S CLAIM)_{i-2} = 0.9 x ③_{i-2}
- ⑤ (RETAINAGE)_i = 0.1 x (CONTRACTOR'S CLAIM)_{i-2} = 0.1 x ③_{i-2}
- ⑩ (FINANCING REQUIRED)_i = (CUMULATIVE CONTRACTOR'S COST)_i - (CUMULATIVE PAYMENT BY OWNER)_i = ⑦_i - ⑧_i
- ⑪ (INTEREST PAID)_i = 0.01 x (FINANCING REP.)_i = 0.01 x ⑩_i

7.1 and 7.2 CONT...



Thus

$$(PV)_{EST} = 10^3 \times \left[\frac{1.14}{(1.01)^1} + \frac{2.09}{(1.01)^2} + \frac{2.055}{(1.01)^3} + \dots + \frac{1.405}{(1.01)^5} \right]$$
$$(PV)_{LST} = 10^3 \times \left[\frac{0.19}{(1.01)^1} + \frac{0.38}{(1.01)^2} + \frac{0.485}{(1.01)^3} + \dots + \frac{1.855}{(1.01)^5} \right]$$

It can be shown that :

$$(PV)_{EST} = 24.68 \times 10^3 \text{ ₹}$$

$$(PV)_{LST} = 22.67 \times 10^3 \text{ ₹}$$

$$\Delta = 2.01 \times 10^3 \text{ ₹}$$

7.4.

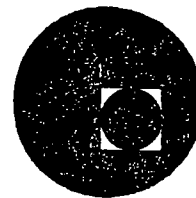
The difference Δ between the finance charges of a project based on EST instead of LST can be considered as the opportunity cost for the contractor to buy "SLACK" or "FLOAT" times for the various activities of his project.

REMARKS : 1) IN FOLLOWING LST instead of EST the CONTRACTOR, NOT ONLY FORFEITS the "FLOAT" TIMES as mentioned above, but also his flexibility (and possible savings) in levelling resources. He also ends up with irregular monthly finance charges.

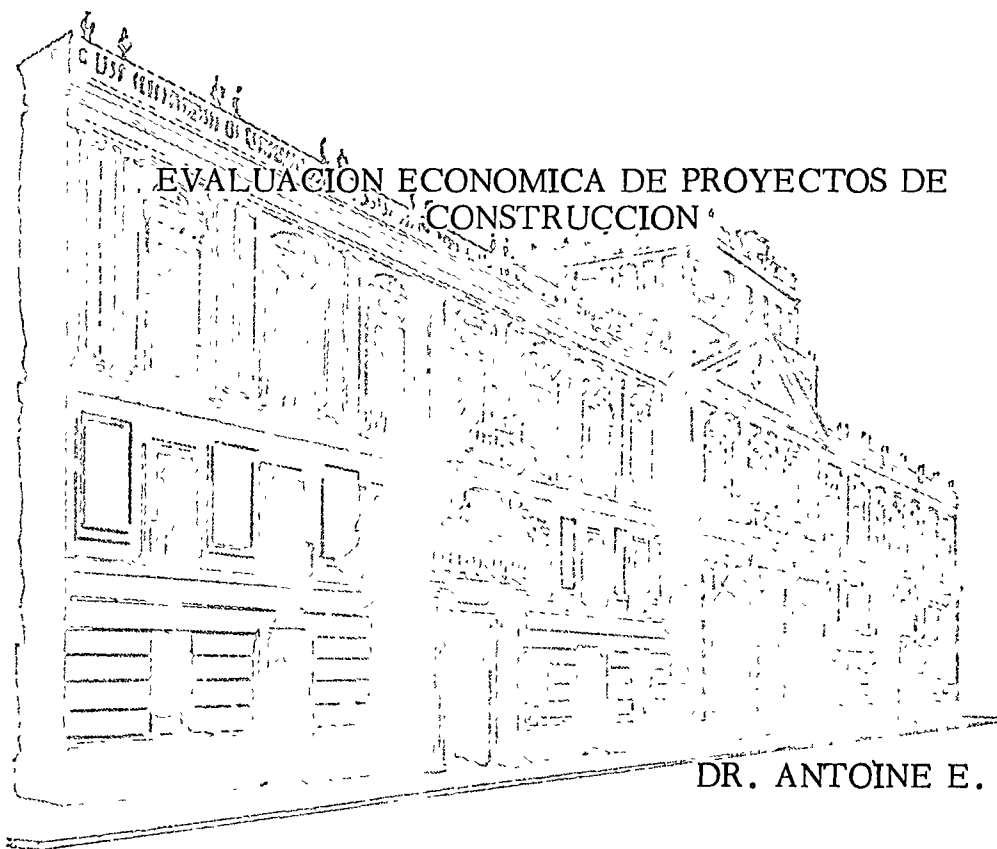
2) In a more exact analysis the cost of "ESCALATION" (i.e. inflation etc...) must be accounted for. This will reduce the difference Δ between EST and LST



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



PROGRAMACION, CONTROL DE AVANCE Y EVALUACION DE
PROYECTOS DE CONSTRUCCION



DR. ANTOINE E. NAAMAN

Agosti, 1977.

Handwritten text at the bottom of the page, possibly bleed-through from the reverse side. The text is faint and difficult to decipher but appears to contain several lines of cursive script.

ECONOMIC EVALUATION OF CONSTRUCTION PROJECTS

by

Antoine E. Naaman, Ph.D.
Associate Professor of Structural Design
Department of Materials Engineering
University of Illinois at Chicago Circle
Chicago, Illinois 60680
U.S.A.

Notes prepared for a short course on CPM and PERT held at the Continuing Education Center of the National University of Mexico in cooperation with Universidad Autonoma Metropolitana, Azcapotzalco, Mexico, and the University of Illinois, U.S.A.

August 8-19, 1977

SOME DEFINITIONS AND NOTATIONS

i = Nominal annual interest rate or annual rate of return. It is the annual interest rate without considering the effect of any compounding.

n = Number of years

p = Number of periods of compounding per year

i_e = Effective interest rate or effective rate of return. It is the effective interest rate taking into account the effect of compounding during the year. It can be calculated from:

$$i_e = \left(1 + \frac{i}{p}\right)^p - 1$$

when the value of p tends to infinity (i.e., continuous compounding) the limiting value of i_e becomes:

$$(i_e)_{\text{cont.}} = e^i - 1$$

i_{rr} = Internal rate of return. It is the interest rate at which the benefits are equivalent to the costs.

r = Rate of return after taxes. If the tax rate is t then:

$$r = i(1 - t)$$

P = Present sum of money or present worth

S = Future sum of money or future worth

R = Uniform end-of-period amount of money or case flow or UNACOST.

B = Benefit in general

C = Cost in general

K = Capitalized cost; it is the present worth based on an infinite duration

METHODS FOR CALCULATING AMOUNT OF INTEREST:

1) SIMPLE INTEREST

2) COMPOUND INTEREST { a) DISCRETE COMPOUNDING SUCH AS PER YEAR,
PER QUARTER OR PER MONTH
b) CONTINUOUS COMPOUNDING

REMARKS:

- 1) A CASH FLOW DIAGRAM IS RECOMMENDED FOR EVERY PROJECT IN ORDER TO BETTER VISUALIZE THE PROBLEM AT HAND AND MINIMIZE ERRORS; THE DIAGRAM IS OBTAINED BY PLOTTING TIME ON THE HORIZONTAL AXIS AND VARIOUS AMOUNTS OF MONEY ON THE VERTICAL AXIS.
- 2) SUPERPOSITION AND DECOMPOSITION OF CASH FLOW DIAGRAMS ARE ACCEPTABLE WHEN COMPUTING EQUIVALENT VALUES.
- 3) EQUIVALENCE BETWEEN TWO ALTERNATIVES MUST BE BASED ON COMPARABLE OUTCOMES.

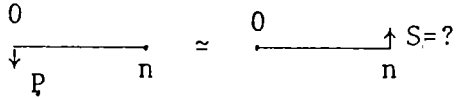
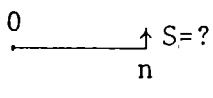
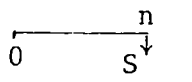
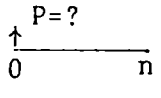
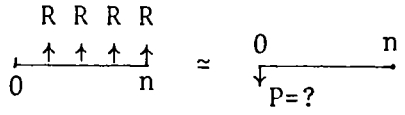
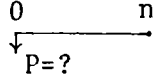
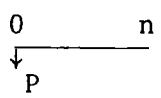
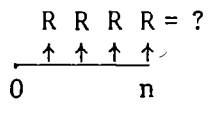
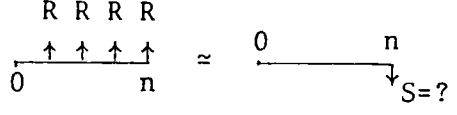
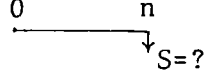
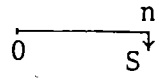
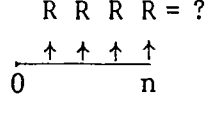
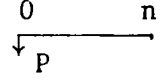
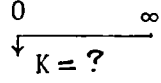
CONVERSION	CASH FLOW DIAGRAM		RELATIONSHIP BY FACTOR		NAME OF FACTOR
	GIVEN ↓	WHAT IS ↓	DISCRETE	CONTINUOUS	
P TO S			$S = PF_{PS,i,n}$	$S = PF_{PS,i,n}$	COMPOUND INTEREST FACTOR
S TO P			$P = SF_{SP,i,n}$	$P = SF_{SP,i,n}$	PRESENT-WORTH FACTOR
R TO P			$P = RF_{RP,i,n}$	$P = nRF_{RP,i,n}$	UNA-COST PRESENT WORTH FACTOR (OR SERIES PRESENT WORTH)
P TO R			$R = PF_{PR,i,n}$	$R = \frac{P}{n} F_{PR,i,n}$	CAPITAL-RECOVERY FACTOR
R TO S			$S = RF_{RS,i,n}$	$S = nRF_{RS,i,n}$	EQUAL-PAYMENTS-SERIES FUTURE WORTH FACTOR
S TO R			$R = SF_{SR,i,n}$	$R = \frac{S}{n} F_{SR,i,n}$	SINKING-FUND FACTOR
P TO K			$K = PF_{PK,i,n}$	$K = PF_{PK,i,n}$	CAPITALIZED COST FACTOR

TABLE 1 SUMMARY OF CASH FLOW EQUIVALENCE RELATIONSHIPS

		ALGEBRAIC RELATIONSHIP	
CONVERSION	FACTOR	DISCRETE	CONTINUOUS
P TO S	$F_{PS,i,n}$	$(1+i)^n$	e^{in}
S TO P	$F_{SP,i,n}$	$\frac{1}{(1+i)^n}$	e^{-in}
R TO P	$F_{RP,i,n}$	$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$	$\frac{1 - e^{-in}}{in}$
P TO R	$F_{PR,i,n}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	$\frac{in}{1 - e^{-in}}$
R TO S	$F_{RS,i,n}$	$\frac{(1+i)^n - 1}{i}$	$\frac{e^{in} - 1}{in}$
S TO R	$F_{SR,i,n}$	$\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	$\frac{in}{e^{in} - 1}$
P TO K	$F_{PK,i,n}$	$\frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	$\frac{e^{in}}{e^{in} - 1}$

TABLE 2 ALGEBRAIC RELATIONSHIPS OF EQUIVALENCE FACTORS

CRITERIA FOR OPTIMIZING THE ECONOMICS OF PROJECTS

The economic analysis of construction projects falls into one of three categories:

1. FIXED INPUT:

The amount of money or other input resources are fixed. The objective is to effectively utilize them. The criterion is to MAXIMIZE BENEFITS or other outputs.

Example: Ten million dollars are available to expand an irrigation project. How to spend it to maximize benefits?

Example: You have \$5000. Where and how to place it to maximize returns.

2. FIXED OUTPUT:

There is a fixed task or other output to be accomplished. The criterion is to MINIMIZE THE COSTS or to minimize other inputs.

Example: A six-lane bridge is to be built over the Chicago River. Select the minimum cost alternative that satisfies all constraints and specifications.

3. NEITHER INPUT NOR OUTPUT FIXED:

This is a general situation. The criterion is to MAXIMIZE PROFIT that is benefits minus costs.

Example: Build an office building for rent to businesses in the downtown area.

Note that in evaluating several alternatives for the same project, one must obtain comparable outcomes in order to select the best alternative. Comparisons can be made on the basis of equivalent present values, uniform annual cash flows, internal rates of return and benefit-cost ratios.

METHOD OF ANALYSIS	FIXED INPUT	FIXED OUTPUT	NEITHER INPUT NOR OUTPUT FIXED
PRESENT VALUE (PV)	MAXIMIZE PV OF BENEFITS	MINIMIZE PV OF COSTS	MAXIMIZE (PV OF BENEFITS - PV OF COSTS), i.e., MAXIMIZE NET PRESENT VALUE NPV
UNIFORM ANNUAL CASH FLOW	MAXIMIZE EQUIVALENT UNIFORM ANNUAL BENEFITS	MINIMIZE EQUIVALENT UNIFORM ANNUAL COSTS	MAXIMIZE (EUAB - EUAC) OR NET UNIFORM ANNUAL RETURN
INTERNAL RATE OF RETURN i_{rr}	MAXIMIZE INTERNAL RATE OF RETURN	MAXIMIZE INTERNAL RATE OF RETURN	<p><u>TWO ALTERNATIVES</u>: Compute incremental rate of return Δi_{rr} on difference between alternatives. If $\Delta i_{rr} \geq$ minimum desired rate of return, choose higher cost alternative; if not, choose lower cost alternative.</p> <p><u>MORE THAN TWO ALTERNATIVES</u>: Incremental analysis is required.</p>
BENEFIT-COST RATIO B/C	MAXIMIZE B/C RATIO	MAXIMIZE B/C RATIO	<p><u>TWO ALTERNATIVES</u>: Compute incremental benefit-cost ratio $\Delta B/\Delta C$ on difference between alternatives. If $\Delta B/\Delta C \geq 1$, choose higher cost alternative; if not, choose lower cost alternative.</p> <p><u>MORE THAN TWO ALTERNATIVES</u>: Incremental analysis is required.</p>

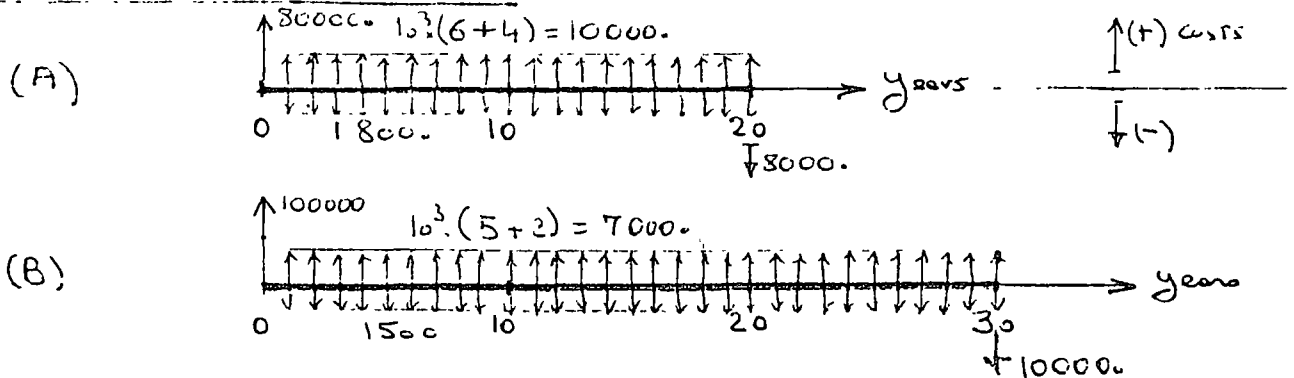
TABLE 3 ECONOMIC CRITERIA FOR JUDGING ALTERNATIVES

Ex. ECONOMIC EVALUATION OF TWO ALTERNATIVES FOR SAME BUILDING.

		ALT. A	ALT. B
	USEFUL LIFE	20. years	30. years
COSTS	FIRST COST	80000.	100000.
	OPERATION + MAINTENANCE / per year	6000.	2000.
	PROPERTY TAXES + INSURANCE (5% first cost) per year	4000.	5000.
	INCOME TAX DEPRECIATION ALLOWANCE / per year	-1800.	-1500.
	SALVAGE VALUE	-8000.	-10000.
BENEFITS	RENT / per year	15000.	15000.

Note : One cannot use first cost as a basis of comparison

C. 3. FLOW DIAGRAMS OF COSTS:



One can also use the direct cash flow over 60 years:

$$\bullet (P_A)_{60} = 80000 + 8200 \cdot F_{PR,6,60}^{16.161} + 72000 F_{SR,6,20}^{0.3118} + 72000 F_{SR,6,40}^{0.0972} - 8000 F_{SR,6,60}^{0.0303}$$

$$(P_A)_{60} = 241727.$$

$$\bullet (P_B)_{60} = 100000 + 5500 \cdot F_{PR,6,60}^{16.161} + 90000 \cdot F_{SR,6,30}^{0.1741} - 10000 \cdot F_{SR,6,60}^{0.0303}$$

$$(P_B)_{60} = 204251$$

⇒ BASED ON EQUIVALENT PRESENT VALUE OF COSTS (ASSUMING SAME BENEFITS) B is better than A.

$$\text{COST RATIO } B/A = 0.845$$

b) EQUIVALENT UNIFORM ANNUAL COSTS

$$\bullet R_A = 8200 + 80000 \cdot F_{PR,6,20}^{0.08718} - 8000 F_{SR,6,20}^{0.02718}$$

$$R_A = 14957 \text{ \$}$$

SIMILARLY for R_B

$$\bullet R_B = 5500 + 100000 \cdot F_{PR,6,30}^{0.07265} - 10000 \cdot F_{SR,6,30}^{0.01265}$$

$$R_B = 12639 \text{ \$} \quad \text{better than A}$$

One can also get same answer from:

$$R_B = (P_{30})_B \cdot F_{PR,6,30} = 173966 \cdot 0.07265 = 12639.$$

c) CAPITALIZED COST MODEL:

$$\left\{ \begin{aligned} K_A &= (P_A)_{20} * F_{PK,6,20} = 171559 * 1.452 \approx 249100. \\ K_B &= (P_B)_{30} * F_{PK,6,30} = 173966 * 1.212 \approx 210846. \end{aligned} \right.$$

↑ $\frac{F_{PR}}{i}$

B is better than A Ratio 0.845.

d) INTERNAL RATE OF RETURN

We have to find for each alternative the i for which

$$\text{COSTS} = \text{BENEFITS}$$

↑
(RENT)

Let us use UNACOST for COMPARISON

• A at $i = 6\%$

$$\left\{ \begin{aligned} R_{\text{cost}} &= 14957 \\ R_{\text{benefits}} &= 15000. \end{aligned} \right.$$

So $R_{\text{cost}} \approx R_{\text{benefits}} \Rightarrow i_{IRR} \approx 6\%$

• B Let us write $R_{\text{cost}} - R_{\text{benefits}} \approx 0$
Find i such that:

$$100000 * F_{PR,i,30} + 5500. - 10000 F_{SR,i,30} - 15000 = 0$$

For $i = 8\%$

$$\left. \begin{aligned} F_{PR,i,30} &= 0.08883 \\ F_{SR,i,30} &= 0.00883 \end{aligned} \right\} \text{Equ.} = -705$$

For $i = 10\%$

$$\left. \begin{aligned} F_{PR,i,30} &= 0.10608 \\ F_{SR,i,30} &= 0.00608 \end{aligned} \right\} \text{Equ.} = 1049$$

By interpolation $i_{IRR} \approx 8.8\%$ better than A.

e) BENEFIT COST RATIO ANALYSIS

Both alternatives have the same "Benefits" (output).

For $i = 6\%$

$$\left\{ \begin{array}{l} (B/C) \text{ ratio for A} = \frac{15000}{14957} \approx 1. \\ (B/C) \text{ ratio for B} = \frac{15000}{12639} \approx 1.19 \end{array} \right.$$

assuming a fixed output B is better than A based on (B/C) ratio.

f) What is i for which both alternatives would be equivalent.

As benefits are the same one must write that costs are same.

Using Equivalent Uniform Cost:

$$8200 + 80000 F_{PR,i,20} - 8000 F_{SR,i,20} = 5500 + 100000 F_{PR,i,30} - 10000 F_{SR,i,30}$$

$$8200 + 80 F_{PR,i,20} - 8 F_{SR,i,20} * F_{PR,i,20} = 5500 + 100 F_{PR,i,30} - 10 F_{SR,i,30} F_{PR,i,30}$$

Try $i = 15\%$

$$100 F_{PR,i,30} - 80 F_{PR,i,20} - 10 \underbrace{F_{SR,i,30} F_{PR,i,30}}_{0.0023} + 8 \underbrace{F_{SR,i,20} F_{PR,i,20}}_{0.0038} = 2.70$$

$$2.50 \neq 2.70$$

Try $i = 16\%$

$$100 F_{PR,i,30} - 80 F_{PR,i,20} - 10 \underbrace{F_{SR,i,30} F_{PR,i,30}}_{0.00189} + 8 \underbrace{F_{SR,i,20} F_{PR,i,20}}_{0.00867} = 2.70$$

$$2.745 \neq 2.70$$

By direct interpolation it can be shown that

$i = 15.8\%$ is the interest rate for which both alternatives are equivalent.

FOR $i < 15.8\%$ B is better than A

$i > 15.8\%$ A is better than B.

g.)

INCREMENTAL ANALYSIS ON (B/C) ratio

Let us hypothetically assume that:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Equivalent } R_A = 14957. \quad \text{and } R_{B/C} = 17750. \$ \\ \text{Equivalent } R_B = 12639. \quad \text{and } R_{B/C} = 15000. \$ \end{array} \right.$$

Both lead to a Benefit/Cost ratio ≈ 1.187

which alternative to choose?

→ Check $\left(\frac{\Delta B}{\Delta C}\right)$ ratio and if $\left(\frac{\Delta B}{\Delta C}\right) \geq 1$ choose higher cost alternative

$$\begin{array}{l} \Delta B = 17750 - 15000 = 2750 \\ \Delta C = 14957 - 12639 = 2318 \end{array} > \frac{\Delta B}{\Delta C} = 1.187$$

↑ Choose A

NOTE

here

(A) $P_{\text{cost}(2)} = 171559.$

NPV = 32033... \$

$P_{\text{benefit}} = 17750 * F_{R,6,20}$
= 203522.

(B) $P_{\text{cost}(3)} = 173566.$

NPV = 32509. \$

$P_{\text{benefit}} = 15000 * F_{R,6,30}$
= 206475.

Note that for this question the internal rate of return on A is different from before
? i such as: Cost = Benefits

$$80000 * F_{PR, i, 20} + 8200 - 8000 F_{SR, i, 20} - 17750 = 0$$

$$80000 * F_{PR, i, 20} - 8000 * F_{SR, i, 20} - 9550 = 0$$

Try:

$$i = 8\% \quad 80000 * 0.1019 - 8000 * 0.0219 - 9550 = -1573.$$

$$i = 10\% \quad 80000 * 0.1175 - 8000 * 0.0175 - 9550 = -290$$

$$i = 12\% \quad 80000 * 0.1339 - 8000 * 0.0139 - 9550 = 1050.$$

$$(i_{IRR})_A = 10.4\%$$

Conclusions for g:

- 1) same B/C ratio
- 2) Based on NPV \Rightarrow B is better than A
- 3) Based on incremental (B/C) analysis $A \gg B$
- 4) Based on i_{IRR} , $A \gg B$

PROBLEM ANSWERS FOR $i = 10\%$

$$\left\{ \begin{array}{ll} (P_A)_{20} = 148620. & (P_A)_{60} = 173998. \\ (P_B)_{30} = 151275. & (P_B)_{60} = 159994. \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} R_A = 17457. & \\ R_B = 16047. & \end{array} \right.$$

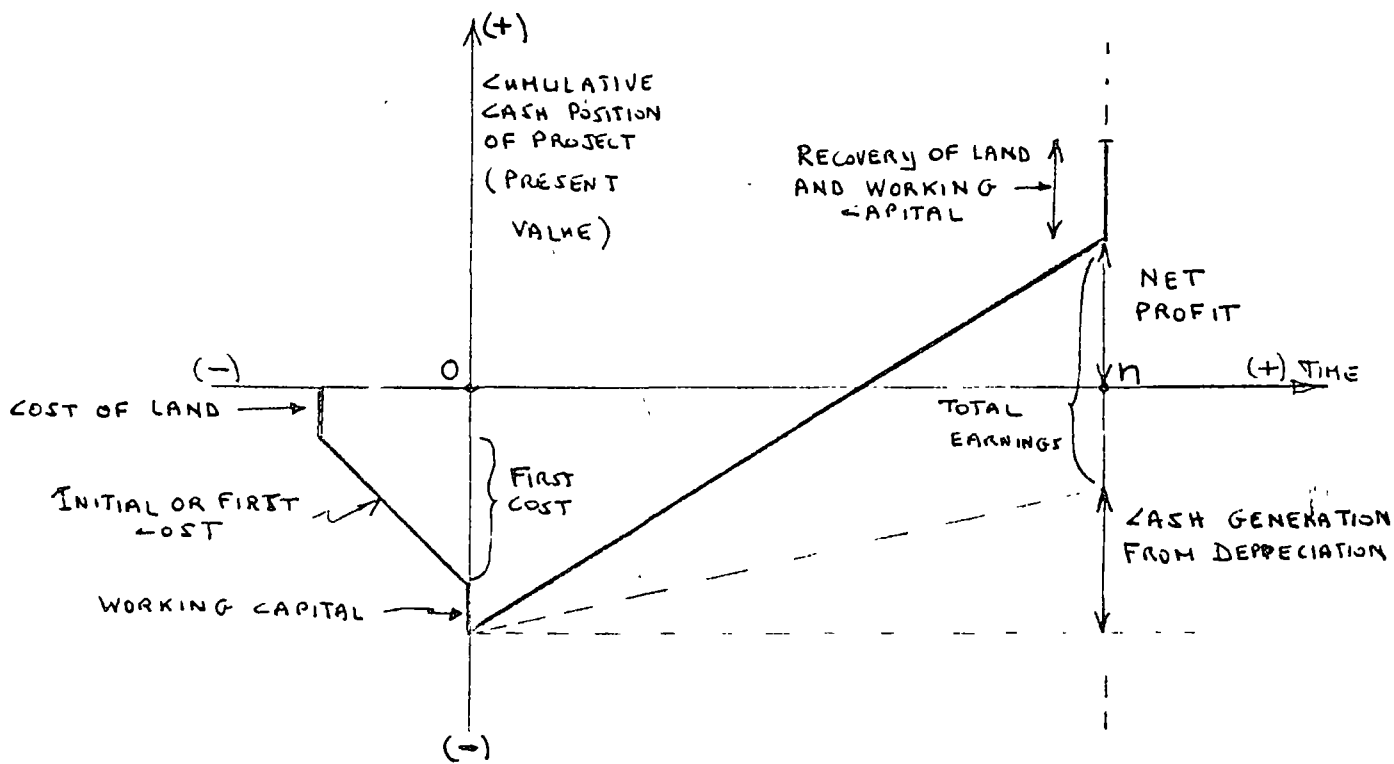
$$\left\{ \begin{array}{ll} K_A = 174573. & \\ K_B = 160473. & \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} (i_{rr})_A \approx 6\% & \\ (i_{rr})_B \approx 8.8\% & \end{array} \right\} \text{ same.}$$

$i = 20\%$

for $i = 20\%$ A would be better than B

CUMULATIVE CASH FLOW CHART FOR A PROJECT.



EXAMPLE: Applied to B

Assume we select building B. which rents for 23000. \$

Per year instead of 15000. \$ as before.

Assume B is a commercial building which instead of buying we intend to build. Two years are necessary for this operation. Consider -2 the time at which construction starts and 0 the time at which the building enters into operation.

DEPRECIATION : Assume STRAIGHT LINE DEPRECIATION OVER 30 years.

$$\text{Thus } C_d = \text{depreciable cost} = C_i - C_s = 90000. \$$$

\uparrow FIRST COST \uparrow salvage

$$t = \text{tax rate} = 50\%$$

$$i = 12\% \quad \text{before taxes}$$

$$r = i(1-t) = 6\% \quad \text{rate of return after taxes.}$$

The amount of depreciation per year is equal to:

$$D_m = \frac{C_d}{n} = \frac{90000}{30} = 3000. \$/\text{year.}$$

As D_m is entered as a cost the taxes are reduced by $t D_m$ thus there is a saving on taxes of:

$$t D_m = 0.50 * 3000 = 1500. \$ / \text{year}$$

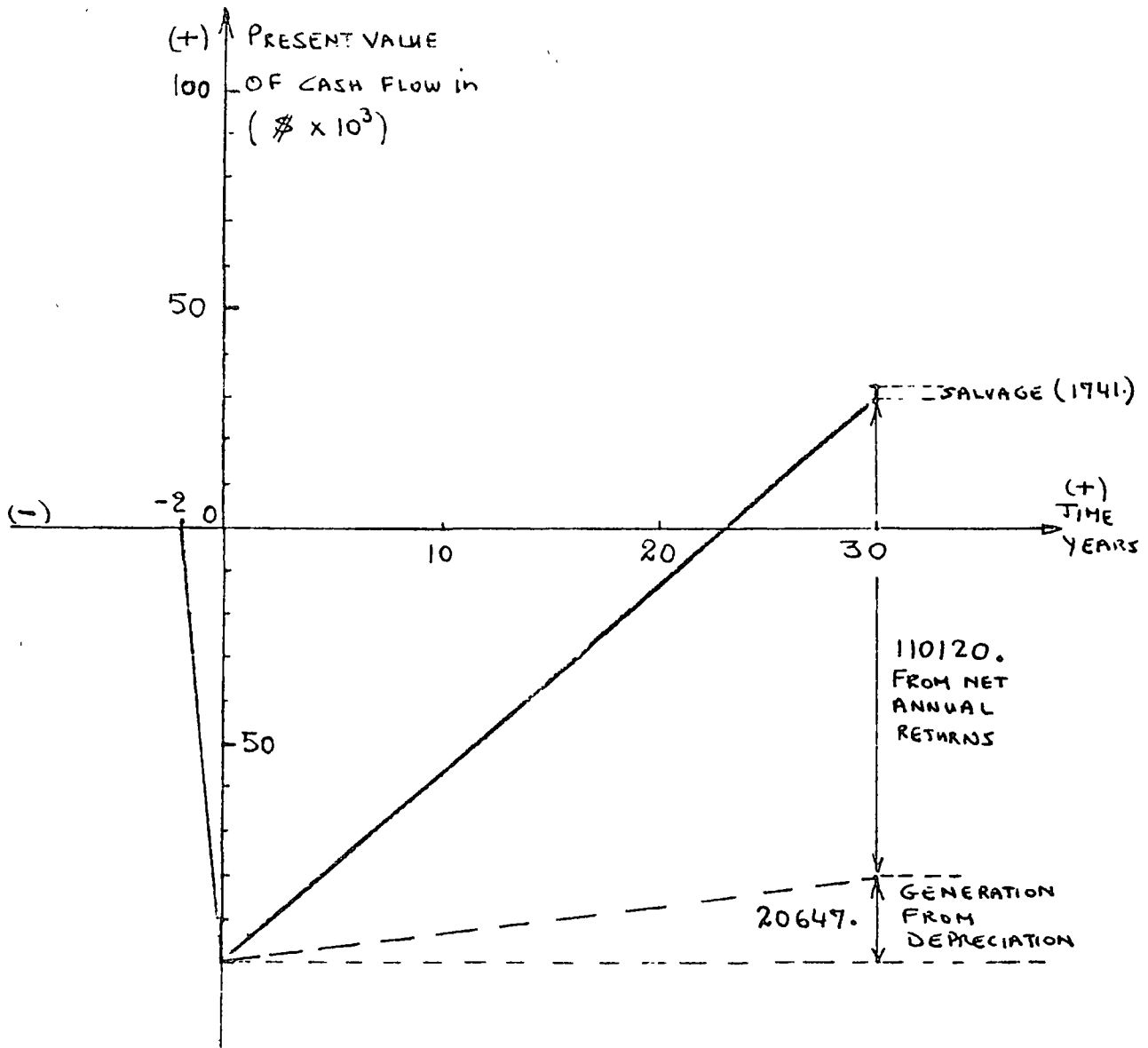
$$\text{Present value of savings : } P = 1500 * F_{RP, 12, 30} = \underline{\underline{20647. \$}}$$

Present Value of (Rents - MAINT. - Taxes on property) \pm Tax

$$(23000. - 2000. - 5000.) = 16000. \$/\text{year.}$$

$$\text{with } r = 6\% \text{ after taxes} \quad P = R F_{RP, 6, 30} * (1-t)$$

$$P = 8000. * 13.765 = \underline{\underline{110120. \$}}$$



$$\text{NET PRESENT VALUE} = 20647. + 110120 + 1741 - 100000.$$

$$\text{PROFIT} = \text{NPV} = 32508. \# \quad \text{After a 50\% tax rate.}$$

Table I. (continued)

Discrete compound interest = 6%

n	Single payment		Uniform annual series			Uniform gradient series	Depreciation series	
	Compound interest factor	Present worth factor	Unacost present worth factor	Capital recovery factor	Capitalized cost factor	Present worth factor	Sum of digits present worth factor	Straight line present worth factor
	$(1+i)^n$	$\frac{1}{(1+i)^n}$	$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	$\frac{(1+i)^n}{i(1+i)^n - 1}$	$\frac{F_{SP} - nF_{GP}}{i}$	$\frac{n - F_{SP}}{0.5n(n+1)}$	$\frac{1}{niF_{SP}}$
	P to S	S to P	R to P	P to R	P to K	G to P	SD to P	SL to P
F_{PS}	F_{SP}	F_{RP}	F_{PR}	F_{PK}	F_{GP}	F_{SP}	F_{SD}	F_{SL}
1	1.0600E 00	9.4340E-01	9.4340E-01	1.0600E 00	1.7667E 01	1.0000E 00	9.4340E-01	9.4340E-01
2	1.1236E 00	8.9000E-01	1.8334E 00	5.4544E-01	9.0906E 00	8.9000E-01	9.2580E-01	9.1670E-01
3	1.1910E 00	8.3962E-01	2.6730E 00	3.7411E-01	6.2352E 00	2.5692E 00	9.0810E-01	8.9100E-01
4	1.2625E 00	7.9209E-01	3.4651E 00	2.8859E-01	4.8099E 00	4.9455E 00	8.9149E-01	8.6628E-01
5	1.3382E 00	7.4726E-01	4.2124E 00	2.3740E-01	3.9566E 00	7.9345E 00	8.7515E-01	8.4247E-01
6	1.4185E 00	7.0496E-01	4.9173E 00	2.0336E-01	3.3894E 00	1.1459E 01	8.5927E-01	8.1555E-01
7	1.5036E 00	6.6506E-01	5.5824E 00	1.7914E-01	2.9856E 00	1.5450E 01	8.4382E-01	7.9748E-01
8	1.5938E 00	6.2741E-01	6.2098E 00	1.6104E-01	2.6839E 00	1.9842E 01	8.2880E-01	7.7622E-01
9	1.6895E 00	5.9190E-01	6.8017E 00	1.4702E-01	2.4504E 00	2.4577E 01	8.1419E-01	7.5574E-01
10	1.7908E 00	5.5834E-01	7.3601E 00	1.3587E-01	2.2645E 00	2.9602E 01	7.9997E-01	7.3601E-01
11	1.8983E 00	5.2679E-01	7.8864E 00	1.2679E-01	2.1132E 00	3.4870E 01	7.8614E-01	7.1694E-01
12	2.0122E 00	4.9697E-01	8.3838E 00	1.1928E-01	1.9880E 00	4.0337E 01	7.7268E-01	6.9865E-01
13	2.1329E 00	4.6884E-01	8.8527E 00	1.1296E-01	1.8827E 00	4.5963E 01	7.5958E-01	6.8098E-01
14	2.2606E 00	4.4230E-01	9.2950E 00	1.0758E-01	1.7931E 00	5.1713E 01	7.4683E-01	6.6393E-01
15	2.3966E 00	4.1727E-01	9.7122E 00	1.0296E-01	1.7160E 00	5.7555E 01	7.3441E-01	6.4748E-01
16	2.5404E 00	3.9365E-01	1.0106E 01	9.8952E-02	1.6492E 00	6.3459E 01	7.2232E-01	6.3162E-01
18	2.8543E 00	3.5034E-01	1.0820E 01	9.2357E-02	1.5357E 00	7.5357E 01	6.9906E-01	6.0153E-01
20	3.2071E 00	3.1180E-01	1.1470E 01	8.7165E-02	1.4531E 00	8.7230E 01	6.7649E-01	5.7350E-01
25	4.2919E 00	2.3300E-01	1.2783E 01	7.8227E-02	1.3038E 00	1.1597E 02	6.2649E-01	5.1133E-01
30	5.7437E 00	1.7411E-01	1.3767E 01	7.2649E-02	1.2108E 00	1.4236E 02	5.8191E-01	4.5883E-01
35	7.6061E 00	1.3011E-01	1.4498E 01	6.8974E-02	1.1496E 00	1.6574E 02	5.4237E-01	4.1424E-01
40	1.0286E 01	9.7222E-02	1.5046E 01	6.6462E-02	1.1077E 00	1.8596E 02	5.0719E-01	3.7618E-01
45	1.3765E 01	7.2650E-02	1.5456E 01	6.4700E-02	1.0783E 00	2.0311E 02	4.7575E-01	3.4346E-01
50	1.8420E 01	5.4288E-02	1.5762E 01	6.3444E-02	1.0574E 00	2.1746E 02	4.4756E-01	3.1524E-01

Discrete compound interest = 8%

n	Single payment		Uniform annual series			Uniform gradient series	Depreciation series	
	Compound interest factor	Present worth factor	Unacost present worth factor	Capital recovery factor	Capitalized cost factor	Present worth factor	Sum of digits present worth factor	Straight line present worth factor
	$(1+i)^n$	$\frac{1}{(1+i)^n}$	$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	$\frac{(1+i)^n}{i(1+i)^n - 1}$	$\frac{F_{SP} - nF_{GP}}{i}$	$\frac{n - F_{SP}}{0.5n(n+1)}$	$\frac{1}{niF_{SP}}$
	P to S	S to P	R to P	P to R	P to K	G to P	SD to P	SL to P
F_{PS}	F_{SP}	F_{RP}	F_{PR}	F_{PK}	F_{GP}	F_{SP}	F_{SD}	F_{SL}
1	1.0800E 00	9.2593E-01	9.2593E-01	1.0800E 00	1.3500E 01	1.0000E 00	9.2593E-01	9.2593E-01
2	1.1664E 00	8.5734E-01	1.7833E 00	5.6077E-01	7.0096E 00	8.5734E-01	9.0306E-01	8.9163E-01
3	1.2597E 00	7.9383E-01	2.5771E 00	3.8803E-01	4.8504E 00	2.4450E 00	8.8105E-01	8.5903E-01
4	1.3605E 00	7.3503E-01	3.3121E 00	3.0192E-01	3.7740E 00	4.6501E 00	8.5948E-01	8.2803E-01
5	1.4693E 00	6.8058E-01	3.9927E 00	2.5046E-01	3.1307E 00	7.3724E 00	8.3941E-01	7.9854E-01
6	1.5869E 00	6.3017E-01	4.6229E 00	2.1632E-01	2.7039E 00	1.0523E 01	8.1971E-01	7.7048E-01
7	1.7138E 00	5.8349E-01	5.2064E 00	1.9207E-01	2.4009E 00	1.4024E 01	8.0073E-01	7.4377E-01
8	1.8509E 00	5.4027E-01	5.7466E 00	1.7401E-01	2.1752E 00	1.7806E 01	7.8242E-01	7.1833E-01
9	1.9990E 00	5.0025E-01	6.2469E 00	1.6008E-01	2.0010E 00	2.1808E 01	7.6475E-01	6.9410E-01
10	2.1584E 00	4.6314E-01	6.7101E 00	1.4903E-01	1.8623E 00	2.5977E 01	7.4771E-01	6.7101E-01
11	2.3316E 00	4.2889E-01	7.1390E 00	1.4008E-01	1.7510E 00	3.0266E 01	7.3126E-01	6.4900E-01
12	2.5182E 00	3.9711E-01	7.5361E 00	1.3270E-01	1.6587E 00	3.4634E 01	7.1537E-01	6.2801E-01
13	2.7196E 00	3.6770E-01	7.9034E 00	1.2652E-01	1.5815E 00	3.9046E 01	7.0003E-01	6.0798E-01
14	2.9372E 00	3.4044E-01	8.2442E 00	1.2130E-01	1.5162E 00	4.3472E 01	6.8521E-01	5.8887E-01
15	3.1722E 00	3.1524E-01	8.5595E 00	1.1683E-01	1.4604E 00	4.7886E 01	6.7089E-01	5.7063E-01
16	3.4259E 00	2.9184E-01	8.8514E 00	1.1298E-01	1.4122E 00	5.2264E 01	6.5704E-01	5.5321E-01
18	3.9960E 00	2.5025E-01	9.3719E 00	1.0670E-01	1.3338E 00	6.0843E 01	6.3071E-01	5.2066E-01
20	4.6610E 00	2.1455E-01	9.8181E 00	1.0185E-01	1.2732E 00	6.9090E 01	6.0606E-01	4.9091E-01
25	6.8485E 00	1.4602E-01	1.0675E 01	9.3674E-02	1.1710E 00	8.7804E 01	5.5097E-01	4.2699E-01
30	1.0063E 01	9.4377E-02	1.1250E 01	8.8827E-02	1.1103E 00	1.0346E 02	5.0382E-01	3.7526E-01
35	1.4785E 01	6.7675E-02	1.1655E 01	8.5803E-02	1.0725E 00	1.1609E 02	4.6320E-01	3.3299E-01
40	2.1725E 01	4.6031E-02	1.1925E 01	8.3860E-02	1.0483E 00	1.2604E 02	4.2798E-01	2.9812E-01
45	3.1920E 01	3.1328E-02	1.2108E 01	8.2587E-02	1.0323E 00	1.3373E 02	3.9724E-01	2.6903E-01
50	4.6072E 01	2.1321E-02	1.2233E 01	8.1743E-02	1.0218E 00	1.3959E 02	3.7026E-01	2.4246E-01

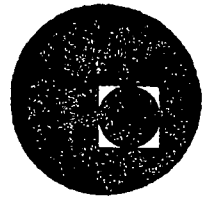
n	Single payment		Uniform annual series			Uniform gradient series	Depreciation series	
	Compound interest factor	Present worth factor	Unacost present worth factor	Capital recovery factor	Capitalized cost factor	Present worth factor	Sum of digits present worth factor	Straight line present worth factor
	$(1+i)^n$	$\frac{1}{(1+i)^n}$	$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	$\frac{(1+i)^n}{i(1+i)^n - 1}$	$\frac{F_{gr} - nF_{sp}}{i}$	$\frac{n - F_{sp}}{0.5n(n+1)}$	$\frac{1}{niF_{sp}}$
	P to S	S to P	R to P	P to R	P to A	G to P	SD to P	SL to P
	F_{sp}	F_{pr}	F_{pr}	F_{ra}	F_{ra}	F_{pr}	F_{sd}	F_{sl}
1	1.1000E 00	9.0909E-01	9.0909E-01	1.1000E 00	1.1000E 01	1.0000E 00	9.0909E-01	9.0909E-01
2	1.2100E 00	8.2645E-01	1.7355E 00	5.7619E-01	5.7619E 00	8.2645E-01	8.0154E-01	8.6777E-01
3	1.3310E 00	7.5131E-01	2.4869E 00	4.0211E-01	4.0211E 00	2.3291E 00	8.5525E-01	8.2895E-01
4	1.4641E 00	6.8101E-01	3.1699E 00	3.1547E-01	3.1547E 00	4.3781E 00	8.3013E-01	7.9247E-01
5	1.6105E 00	6.2042E-01	3.7908E 00	2.6380E-01	2.6380E 00	6.8618E 00	8.0614E-01	7.5816E-01
6	1.7716E 00	5.6447E-01	4.3553E 00	2.2961E-01	2.2961E 00	9.6842E 00	7.8321E-01	7.2588E-01
7	1.9487E 00	5.1316E-01	4.8684E 00	2.0541E-01	2.0541E 00	1.2763E 01	7.6128E-01	6.9549E-01
8	2.1430E 00	4.6651E-01	5.3349E 00	1.8744E-01	1.8744E 00	1.6029E 01	7.4030E-01	6.6687E-01
9	2.3579E 00	4.2410E-01	5.7540E 00	1.7364E-01	1.7364E 00	1.9421E 01	7.2022E-01	6.3989E-01
10	2.5937E 00	3.8554E-01	6.1446E 00	1.6275E-01	1.6275E 00	2.2891E 01	7.0099E-01	6.1446E-01
11	2.8511E 00	3.5049E-01	6.4951E 00	1.5396E-01	1.5396E 00	2.6396E 01	6.8257E-01	5.9046E-01
12	3.1304E 00	3.1863E-01	6.8157E 00	1.4676E-01	1.4676E 00	2.9901E 01	6.6491E-01	5.6781E-01
13	3.4322E 00	2.8966E-01	7.1034E 00	1.4078E-01	1.4078E 00	3.3377E 01	6.4798E-01	5.4641E-01
14	3.7575E 00	2.6333E-01	7.3667E 00	1.3575E-01	1.3575E 00	3.6800E 01	6.3174E-01	5.2619E-01
15	4.1172E 00	2.3939E-01	7.6061E 00	1.3147E-01	1.3147E 00	4.0152E 01	6.1616E-01	5.0707E-01
16	4.5035E 00	2.1763E-01	7.8237E 00	1.2782E-01	1.2782E 00	4.3416E 01	6.0120E-01	4.8898E-01
18	5.5549E 00	1.7988E-01	8.2014E 00	1.2193E-01	1.2193E 00	4.9640E 01	5.7302E-01	4.5563E-01
20	6.1275E 00	1.4966E-01	8.5136E 00	1.1746E-01	1.1746E 00	5.5407E 01	5.4677E-01	4.2568E-01
25	1.0835E 01	9.2296E-02	9.0770E 00	1.1017E-01	1.1017E 00	6.7696E 01	4.8994E-01	3.6308E-01
30	1.7449E 01	5.7309E-02	9.4264E 00	1.0608E 00	1.0608E 00	7.7077E 01	4.4243E-01	3.1423E-01
35	2.6102E 01	3.5584E-02	9.6442E 00	1.0369E-01	1.0369E 00	8.3987E 01	4.0247E-01	2.7555E-01
40	4.5259E 01	2.2044E-02	9.7791E 00	1.0220E-01	1.0220E 00	8.8953E 01	3.6855E-01	2.4444E-01
45	7.2690E 01	1.3714E-02	9.8628E 00	1.0139E-01	1.0139E 00	9.2654E 01	3.3949E-01	2.1917E-01
50	1.1735E 02	8.5184E-03	9.9149E 00	1.0086E-01	1.0086E 00	9.4889E 01	3.1439E-01	1.9830E-01

Discrete compound interest = 12%

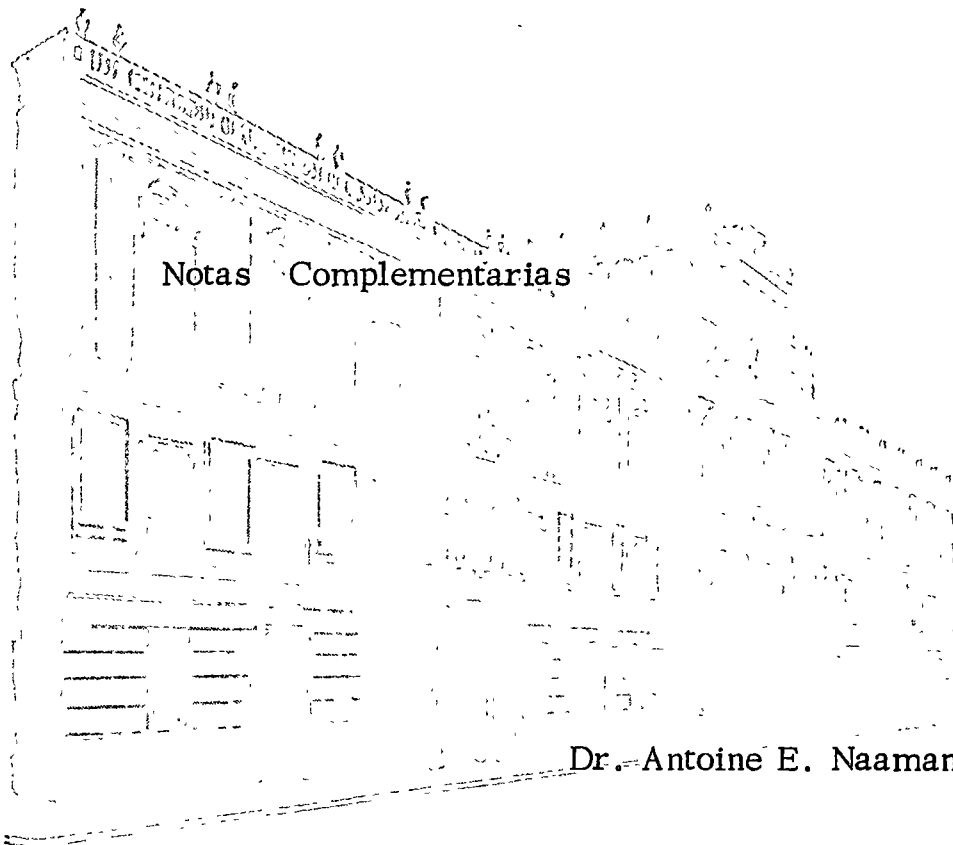
n	Single payment		Uniform annual series			Uniform gradient series	Depreciation series	
	Compound interest factor	Present worth factor	Unacost present worth factor	Capital recovery factor	Capitalized cost factor	Present worth factor	Sum of digits present worth factor	Straight line present worth factor
	$(1+i)^n$	$\frac{1}{(1+i)^n}$	$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	$\frac{(1+i)^n}{i(1+i)^n - 1}$	$\frac{F_{gr} - nF_{sp}}{i}$	$\frac{n - F_{sp}}{0.5n(n+1)}$	$\frac{1}{niF_{sp}}$
	P to S	S to P	R to P	P to R	P to A	G to P	SD to P	SL to P
	F_{sp}	F_{pr}	F_{pr}	F_{ra}	F_{ra}	F_{pr}	F_{sd}	F_{sl}
1	1.1200E 00	8.9286E-01	8.9286E-01	1.1200E 00	9.3333E 00	1.0000E 00	8.9286E-01	8.9286E-01
2	1.2544E 00	7.9719E-01	1.6401E 00	5.9170E-01	4.9308E 00	7.9719E-01	8.6097E-01	8.4503E-01
3	1.4049E 00	7.1178E-01	2.4018E 00	4.1635E-01	3.4676E 00	2.2208E 00	8.3079E-01	8.0061E-01
4	1.5735E 00	6.3552E-01	3.0373E 00	3.2923E-01	2.7436E 00	4.1273E 00	8.0221E-01	7.5934E-01
5	1.7623E 00	5.6743E-01	3.6048E 00	2.7741E-01	2.3117E 00	6.3970E 00	7.7512E-01	7.2096E-01
6	1.9738E 00	5.0663E-01	4.1114E 00	2.4323E-01	2.0269E 00	8.9302E 00	7.4944E-01	6.8523E-01
7	2.2107E 00	4.5235E-01	4.5638E 00	2.1912E-01	1.8260E 00	1.1644E 01	7.2507E-01	6.5197E-01
8	2.4760E 00	4.0384E-01	4.9676E 00	2.0130E-01	1.6775E 00	1.4471E 01	7.0194E-01	6.2095E-01
9	2.7731E 00	3.6061E-01	5.3282E 00	1.8768E-01	1.5640E 00	1.7356E 01	6.7995E-01	5.9203E-01
10	3.1058E 00	3.2197E-01	5.6502E 00	1.7698E-01	1.4749E 00	2.0254E 01	6.5906E-01	5.6502E-01
11	3.4785E 00	2.8748E-01	5.9377E 00	1.6842E-01	1.4035E 00	2.3129E 01	6.3918E-01	5.3979E-01
12	3.8960E 00	2.5668E-01	6.1944E 00	1.6144E-01	1.3453E 00	2.5952E 01	6.2026E-01	5.1620E-01
13	4.3635E 00	2.2917E-01	6.4235E 00	1.5568E-01	1.2973E 00	2.8702E 01	6.0224E-01	4.9412E-01
14	4.8871E 00	2.0462E-01	6.6282E 00	1.5087E-01	1.2573E 00	3.1362E 01	5.8507E-01	4.7344E-01
15	5.4736E 00	1.8270E-01	6.8109E 00	1.4682E-01	1.2235E 00	3.3920E 01	5.6869E-01	4.5406E-01
16	6.1304E 00	1.6312E-01	6.9740E 00	1.4339E-01	1.1949E 00	3.6367E 01	5.5306E-01	4.3587E-01
18	7.6900E 00	1.3004E-01	7.2497E 00	1.3794E-01	1.1495E 00	4.0908E 01	5.2390E-01	4.0276E-01
20	9.6463E 00	1.0367E-01	7.4644E 00	1.3388E-01	1.1157E 00	4.4968E 01	4.9724E-01	3.7347E-01
25	1.7000E 01	5.8823E-02	7.8431E 00	1.2750E-01	1.0625E 00	5.3105E 01	4.3992E-01	3.1373E-01
30	2.9460E 01	3.3378E-02	8.0542E 00	1.2414E-01	1.0345E 00	5.8782E 01	3.9328E-01	2.6851E-01
35	5.2800E 01	1.8940E-02	8.1755E 00	1.2232E-01	1.0193E 00	6.7605E 01	3.5482E-01	2.3359E-01
40	9.3051E 01	1.0747E-02	8.2438E 00	1.2130E-01	1.0109E 00	6.5116E 01	3.2273E-01	2.0609E-01
45	1.6399E 02	6.0980E-03	8.2825E 00	1.2074E-01	1.0061E 00	6.6734E 01	2.9563E-01	1.8406E-01
50	2.8900E 02	3.4602E-03	8.3045E 00	1.2042E-01	1.0035E 00	6.7762E 01	2.7252E-01	1.6609E-01



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

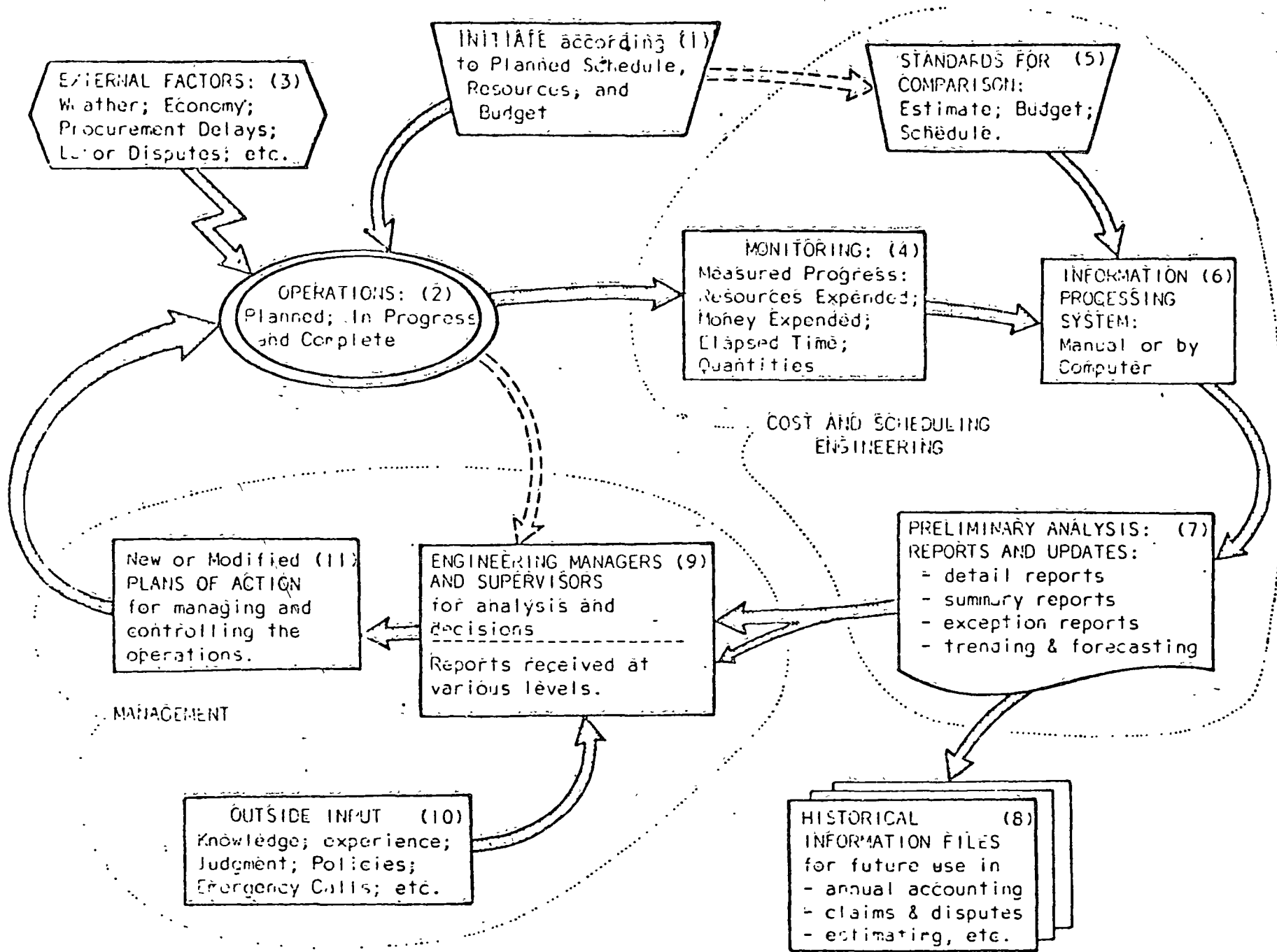


PROGRAMACION, CONTROL DE AVANCE Y EVALUACION DE PROYECTOS
DE CONSTRUCCION



Agosto, 1977.

'edcs.



REPORT CONCRETE FOREMAN

EXCEPTION REPORT BASED-ON COST VARIANCES

ACTIVITIES SHOWN HAVE VARIANCES GREATER THAN 10%

PROJECT NUMBER: 197501
 PROJECT TITLE: EXAMPLE CONCRETE BRIDGE
 PROJECT LOCATION: STANFORD, CALIFORNIA

ACTIVITIES ARE SORTED AS FOLLOWS:
 ES PRIMARY SORT
 DUR SECONDARY SORT

START DATE: 04/21/75
 DATA DATE: 07/11/75
 REPORT DATE: 07/14/75

ACTIVITY DESCRIPTION	UNIT	ESTI- MATED	ACTUAL TO DATE	EST. TO COMPL	EST TTL @ COMPL	PERCENT COMPL	FORECAST VARIANCE	PERCENT VARIANCE	TREND
F.0310 CONCRETE FORMWORK FOR FOUNDATION	SF								
EST START: 06/02/75		DURATION: 34	29	9	38	76%	4	11.8%	HIGH
ACT START: 06/02/75		COSTS: \$24900	\$23800	\$7450	\$31250	76%	\$6350	25.5%	HIGH
EST FINISH: 07/18/75		QUANTITIES: 15860	13600	4150	17750	77%	1890	11.9%	HIGH
ACT FINISH: / /		UNIT COSTS: \$1.57	\$1.75	\$1.80	\$1.76		\$0.19	12.1%	HIGH
F.0320 CONCRETE RE-STEEL FOR FOUNDATION	LB								
EST START: 06/09/75		DURATION: 29	21	9	30	70%	1	3.5%	
ACT START: 06/12/75		COSTS: \$19700	\$15850	\$6805	\$22655	70%	\$2955	15.0%	HIGH
EST FINISH: 07/18/75		QUANTITIES: 82400	74410	31890	106300	70%	\$23900	29.0%	HIGH
ACT FINISH: / /		UNIT COSTS: \$0.24	\$0.21	\$0.21	\$0.21		-\$0.03	-10.9%	LOW
F.0330 CONCRETE PLACING FOR FOUNDATION	CY								
EST START: 06/16/75		DURATION: 34	16	21	37	43%	3	8.8%	
ACT START: 06/19/75		COSTS: \$36700	\$17770	\$23330	\$41100	43%	\$4400	12.0%	HIGH
EST FINISH: 08/01/75		QUANTITIES: 1200	690	850	1540	45%	340	28.0%	HIGH
ACT FINISH: / /		UNIT COSTS: \$30.58	\$25.75	\$27.45	\$26.69		-\$3.89	-12.7%	LOW
F.W.0320 CONCRETE RE-STEEL FOR WALLS	LB								
EST START: 06/30/75		DURATION: 34	9	26	35	26%	1	2.9%	
ACT START: 06/30/75		COSTS: \$18900	\$4160	\$12470	\$16630	25%	-\$2270	-12.0%	LOW
EST FINISH: 08/15/75		QUANTITIES: 78750	19730	59170	78900	25%	150	0.2%	
ACT FINISH: / /		UNIT COSTS: \$0.24	\$0.21	\$0.21	\$0.21		-\$0.03	-12.2%	LOW

- - - END OF REPORT - - -

↑
10%

Activity	Earliest Starting Time	Latest Starting Time	Earliest Completion Time	Latest Completion Time	Maximum Available Time	Activity Start Time
1	0	0	20	20	20	0 ✓
2	0	10	25	25	25	10
3	0	15	20	20	20	15
4	0	10	20	20	20	10
5	20	20	20	20	20	0 ✓
6	20	25	25	25	25	10
7	20	20	20	20	20	10
8	20	20	20	20	20	0 ✓
9	20	20	20	20	20	0 ✓
10	20	25	25	25	25	20
11	20	25	25	25	25	15
12	20	25	25	25	25	25
13	20	20	20	20	20	15
14	20	20	20	20	20	20
15	20	20	20	20	20	20
16	20	20	20	20	20	20
17	20	20	20	20	20	0 ✓
18	25	20	20	20	20	15
19	25	25	20	20	20	0
20	20	25	25	20	20	20
21	20	20	25	20	20	20
22	20	20	20	20	20	10

C.P.M OUTPUT

Event number	Earliest time		Latest time		Slack	Original schedule	Probability of meeting schedule
	Expected value	Variance	Expected value	Variance			
11	23	23	23	0	0	20	0.20
10	20	20	20	0	0	23	0.20
9	23	10	23	9	3	21	0.31
8	21	10	21	15	0	20	0.31
7	7	14	23	10	10	10	0.70
6	15	11	18	10	3	13	0.27
5	16	11	16	22	0	15	0.23
4	5	10	21	14	10	0	0.57
3	10	0	10	27	0	0	0.21
2	0	0	4	24	4	—	—
1	0	0	0	23	0	—	—

PERT OUTPUT

UNL. PVELER)				NOV 18, 1970		CASE NO. ADM04		PAGE NO. 1			
REFINERY TEAR-DOWN				JOB		EARLIEST		LATEST		FLOAT	
DES. NO.	WPK	JOB NO.	SUB-PROJ.	DESCRIPTION	LOGIN	START	FINISH	START	FINISH	PDC	TOTL
1	48	1	PATH	LEAN TIME	2	0	2	0	2	0	0 **
48	00	2	CO-OP	INSTALL FUEL GAS BLINDS	1	2	3	2	3	0	0 **
00	2	6	CO-OP	PUMP OUT UNIT	3	3	4	3	4	0	0 **
48	70	6	CO-OP	PUMPS	1	3	3	3	3	0	0 **
70	2	4	CO-OP	TEMPORARY PUMP OUT COMM.	3	3	4	3	4	0	0 **
2	107	7	CO-OP	BLIND PRODUCT LINES	2	4	4	4	4	0	0 **
07	115	14	CO-OP	DEATHING AND STIFFING LINES	6	0	14	0	14	0	0 **
115	117	17	CO-OP	UNDEAN TOWER W.I.P.3	2	14	14	14	14	0	0 **
117	74	24	CO-OP	OPN BLIND D30-170-1	4	10	22	10	22	0	0 **
74	130	24	PATH	FINISH JOB	2	22	24	22	24	0	0 **
2	104	4	CO-OP	STIFF W.I.P.3	2	0	0	10	10	0	0 **
117	118	24	CO-OP	DUMMY	0	14	14	20	20	0	0 **
2	115	8	CO-OP	HOT BOLT TOWER W.I.P.3	4	0	10	10	14	4	4
104	115	15	CO-OP	REMOVE TOP HEADS W.I.P.3	2	0	10	12	14	4	4
110	74	24	CO-OP	OPN BLIND N10	2	14	10	20	22	4	4
2	104	18	CO-OP	DUMMY	0	0	4	12	12	0	0 **
104	74	20	CO-OP	HOT BOLT EACH 101-02-03-04	14	0	14	12	22	4	4
114	74	10	CO-OP	SEND RELIEF VALVES TO SHOP 174660-0	2	14	14	20	22	0	0 **
114	120	14	CO-OP	DUMMY	0	14	14	21	21	0	0 **
120	74	22	CO-OP	GAS TEST DELETED	1	14	14	21	22	7	7
2	111	13	CO-OP	DUMMY	0	0	4	14	14	0	0 **
111	74	23	CO-OP	SEND POT ELEMENTS TO SHOP 1104-143-147	0	0	14	14	22	0	0 **
2	104	11	CO-OP	DUMMY	0	0	4	10	10	0	0 **
104	24	21	CO-OP	SEND TO EXCHANGE 123-24	3	0	0	20	20	13	13
2	10	12	CO-OP	DUMMY	0	0	4	20	20	0	0 **
2	112	14	CO-OP	DUMMY	0	0	4	20	20	0	0 **
112	74	24	CO-OP	DISC TO MOTOR SEND TO SHOP	1	0	0	20	22	14	14
10	74	22	CO-OP	UNDEAN 17-3	2	0	0	20	22	14	14
2	74	10	CO-OP	OPN CO-OP N10 FINE BOX	1	0	7	21	22	15	15
50	74	3	PATH	REMOVE FLY HEADS EACH 101-02-03-04	4	2	0	10	22	16	16
0	0										

Figure 7-3. CPM Report for Complete Sample Problem

PMS/CPM
ACTIVITY REPORT

PAGE 1

ACTIVITY DESCRIPTION
PMS TEST NETWORK

REPORTING ORG.
JOB BLACKSMAN

CONTRACT NO.

TERM - MAY71-JUN72
CUT-OFF DATE 121MAY71
RUN DATE...101MAR72

1ST SORT KEY TOTAL FLOAT
2ND SORT KEY EARLY START (L.S.)
3RD SORT KEY PREDECESSOR EVENT
4TH SORT KEY SUCCESSOR EVENT

I	J	ACTIVITY DESCRIPTION	DURATION		START		FINISH		TARGET DATE	TOTAL FLOAT	FREE FLCA.
			FST.	FIN.	EARLY	LATE	EARLY	LATE			
1	2	MOVE IN	16	1	3MAY71	3MAY71	24MAY71	24MAY71	X-3MAY71	0	3
09	09	DUMMY COMPLETE	0	0	24MAY71	24MAY71	24MAY71	24MAY71	5-24MAY71	0	5
2	5	CLEARING (1)	5	0	25MAY71	25MAY71	1JUN71	1JUN71		0	3
9	7	ROADWAY EXCAVATION (1)	15	21	2JUN71	2JUN71	22JUN71	22JUN71		0	0
7	8	ROADWAY EXCAVATION (2)	20	41	23JUN71	23JUN71	20JUL71	20JUL71		0	0
0	12	ROADWAY EXCAVATION (3)	15	56	21JUL71	21JUL71	10AUG71	10AUG71		0	0
17	13	STRUCTURAL EXCAVATION (2)	24	70	11AUG71	11AUG71	05SEP71	05SEP71		0	0
13	14	FORMS (2)	11	72	05SEP71	05SEP71	25SEP71	25SEP71		3	0
14	15	REINF. BARS (2)	6	78	29SEP71	29SEP71	7OCT71	7OCT71		3	0
15	16	MIX AND PLACE CONCRETE (2)	8	185	08OCT71	08OCT71	20OCT71	20OCT71		0	6
16	19	STRIP FORMS AND CURE (2)	15	172	21OCT71	21OCT71	11NOV71	11NOV71		0	0
19	20	BACKFILL AND COMPACT (2)	3	123	12NOV71	12NOV71	16NOV71	16NOV71		0	0
20	21	ROADWAY EARTHFILL (2)	25	140	17NOV71	17NOV71	22DEC71	22DEC71		0	0
21	22	WATERING (1)	4	152	23DEC71	23DEC71	24DEC71	24DEC71		1	2
22	23	COMPACTION (1)	23	172	29DEC71	29DEC71	25JAN72	25JAN72		0	0
23	24	CONCRETING (1)	34	202	26JAN72	26JAN72	08MAR72	08MAR72		0	0
24	26	0	0	201			08MAR72	08MAR72	P	0	0
26	27	CONCRETING (2)	38	232	09MAR72	09MAR72	19APR72	19APR72		0	3
27	29	0	0	231			19APR72	19APR72	P	0	3
29	31	CONCRETING (3)	30	262	20APR72	20APR72	1JUN72	1JUN72		0	3
31	32	CLEAN UP	2	264	2JUN72	2JUN72	5JUN72	5JUN72	E	0	0
09	2	DUMMY COMPLETE	0	0					C	0	0
9	10	FORMS (1)	10	59	10AUG71	7SEP71	2SEP71	22SEP71		10	3
10	11	REINF. BARS (1)	5	64	7SEP71	23SEP71	14SEP71	30SEP71		10	0
9	9	STRUCTURAL EXCAVATION (1)	23	61	21JUL71	6AUG71	17AUG71	2SEP71		12	0
26	28	0	0	201			08MAR72	24MAR72	P	12	0
28	29	COMPACTION (3)	14	220	09MAR72	27MAR72	31APR72	19APR72		12	12
11	17	MIX AND PLACE CONCRETE (1)	8	84	15SEP71	4OCT71	24SEP71	14OCT71		13	0
17	18	STRIP FORMS AND CURE (1)	15	103	27SEP71	15OCT71	14OCT71	5NOV71		13	0
19	19	BACKFILL AND COMPACT (1)	4	147	19OCT71	0NOV71	22OCT71	11NOV71		13	13
11	15	0	2	82	15SEP71	6OCT71	16SEP71	7OCT71		13	13
23	25	0	0	171			25JAN72	15FEB72	P	15	0
25	26	COMPACTION (2)	15	187	26JAN72	10FEB72	15FEB72	08MAR72		15	15
9	0	CLEARING (2)	14	16	2JUN71	7JUL71	15JUN71	20JUL71	11JUN71	25	25
22	25	WATERING (2)	4	156	29DEC71	10FEB72	3JAN72	15FEB72		31	16
25	28	WATERING (3)	4	176	26JAN72	21MAR72	31JAN72	24MAR72		39	26
12	20	ROADWAY EARTHFILL (1)	23	76	11AUG71	19OCT71	05SEP71	16NOV71		47	47
2	6	ACC. PLANT	0	6	24MAY71	29SEP71	24MAY71	29SEP71		30	3

A-23

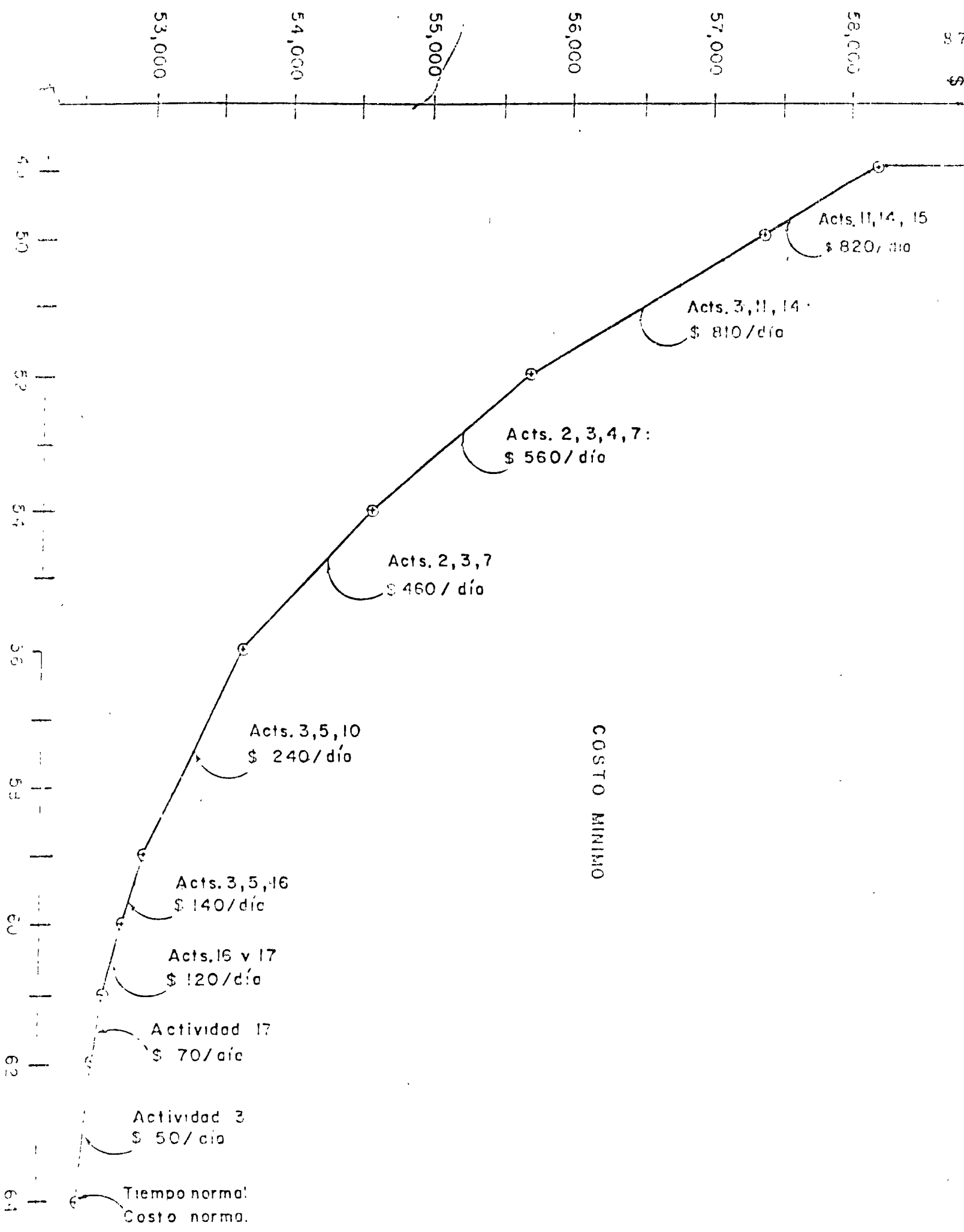
Table of Computer Programs

Computer configuration	Source	Program name	Application	Comments
Burroughs computers	Burroughs business machines	PROMIS	Network processing and analysis	Programmed in COBOL, consists of three modules—time, cost, and resources
CDC/6000 and CYBER 70	Cybernet services	PERT/TIME	Planning, monitoring, and evaluating the status of a project	It utilizes a time-oriented network structure. Handles up to 8000 activities and 6000 events
CDC/6600	Multiple Access General Computer Corporation	Project/Costing System	Time/cost analysis and employee performance reporting	Produces up-to-date information on the progress and cost of a project; manpower efficiency can be monitored
	Multiple Access General Computer Corporation	Project Management and Control Systems (PMCS)	Planning, scheduling, and controlling large, complex projects	Processes and reports both time and cost information; it handles up to 1500 activities and 1800 events
IBM/360/0s	McDonnell Douglas Automation Co.; 500 Jefferson Bldg.; Houston, Texas 77002	Management Scheduling and Control System (MSCS)	CPM, precedence, scheduling and resource leveling	A multiproject system for scheduling and resource leveling; specially tailored report formats possible
IBM/360, 370, OS	International Business Machines (IBM)	Project Management System (PMS) IV		A large scale project scheduling and control package designed for the IBM/370 computer system. The user selects the type of processing required from the first three processors and produces the relevant reports using the fourth processor
		a. PMS Network Processor	CPM/Precedence/PERT (without probability)	
		b. PMS Resource Allocation Processor	Resource allocation	
		c. PMS Cost Processor	Cost analysis	
		d. PMS Report Processor	Report generation	
IBM/370, 370, OS/VS IBM DOS/VS		Project Analysis and Control System (PROJACS)	CPM, Precedence resource allocation, cost control	It has a main processor which calls upon three other processors, Network Preparation, Resource Allocation and Cost Evaluation. It can store standard networks which can be

Computer configuration	Source	Program name	Application	Comments
				used for preparing a project network. It prints precedence diagrams. It can function in interactive mode.
IBM/1130 IBM/360, 370 OS, DOS	IBM	Project Control System (PCS)	Network processing resource allocation, cash flow	Similar to PMS; however somewhat simpler in concept
IBM—APL/360, OS OY DOS, T. S. O.	IBM	Mumpert	PERT (without probability), resource allocation.	Allows "hands-on" input/output via console teletype
IBM/370, OS	IBM	"Linear Programming System/370"	Linear programming (optimization)	Uses the simplex method of linear programming
IBM/370, OS	IBM	"General Purpose Simulation System"	Simulation	Problem-oriented language, based on queuing theory, generates statistics for queues and facilities
IBM/1130	U. S. Public Buildings Service	"Construction Management Control System"	CPM, cost analysis, material expediting, financial analysis	An integrated system for schedule reports, cost reports, financial reports, purchase order control, and progress billing
GE-200	General Electric	CPM/PROMOCOM	Network processing, cost analysis	Both "normal" and "crash" activity times and costs can be input, to obtain a time-cost tradeoff
GE-Mark II	General Electric	"Linear Programming"	Linear programming (optimization)	Uses the two-phase simplex method, also performs sensitivity analysis on the parameters
GE-Mark II	General Electric	General Purpose Systems Simulator	Simulation, modeling	Permits study of logical structure, flow of traffic and competition for resource in a system
GE-Mark II	General Electric	Inventory Control	Inventory control	Serves as generalized order processing and finished inventory control system

Table of Computer Programs—Continued

Computer configuration	Source	Program name	Application	Comments
IBM/370, DOS	IBM	PACIFIC/370		
		a. Estimating Module	Estimating	An integrated system for estimating and billing for progress payments on unit price contracts, and cost control
		b. Work Measurement and Billing Module	Work measurement and billing	
c. Cost Control Module	Cost control			
IBM/370, OS	Project Software and Development, Inc.	Project-II	CPM/Precedence, resource allocation, cash flow, time and cost control	Problem-oriented language for project managers Scheduling control, cost, and resource management problems
IBM/370, OS	Massachusetts Institute of Technology	ICES OPTECH-1	Optimization techniques	Time/cost trade-off problems using linear programming
IBM/1130	IBM	Construction Estimating Program	Estimating	Performs necessary extensions to the users take-off, specification and cost data, and estimates
GE-625/635	General Electric	PERT/Time	PERT (without probability)	Produces PERT schedule
GE-600	General Electric	PERT/Cost	Cost analysis	Produces cost control reports based on PERT time data
GE-Mark II	General Electric	Capital Equipment Investment Analysis	Analysis of alternatives to purchasing new equipment	Using Monte Carlo simulation, this program simulates the cash outflow resulting from different production alternatives
GE-Mark II	General Electric	Force Scheduling System	Manpower scheduling	A package of four programs capable of scheduling a work force that provides continuous, uninterrupted service
	Purdue University, Lafayette, Indiana	GERTS Simulation Programs	GERT analysis	The program is written in Fortran IV and is completely self-contained; therefore it can be run on any system that has a Fortran compiler
GE-400	General Electric	CPM/Project Monitor and Control	CPM analysis	Creates network schedules and allows



DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO PROGRAMACION, CONTROL
DE AVANCE Y EVALUACION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION.
(DEL 8 AL 19 DE AGOSTO DE 1977).

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
1. FCO. HORACIO ARCEO TENA Copilco # 162 Edif. 22-103 Col. Copilco México 21, D. F. Tel. 5-85-73-49	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO. Balderas # 55-5° Piso Col. Centro México 1, D. F. Tel. 585-50-66
2. JAIME DAVID BEREBIHEZ PENSKY Monte Cimborazo # 580-102 Col. Lomas México 10, D. F. Tel. 540-43-19	CONSTRUCCIONES BELTHER S.R.L. DE C.V. Paseo de la Reforma # 2625 Col. Lomas México 10, D. F. Tel. 570-21-44
3. RICARDO G. BRAVO CACHO Pericos # 5 Col. Las Aguilas México 20, D. F. Tel. 593-47-31	OBRAS MARITIMAS Insurgentes Sur # 465 Col. Condesa México 11, D. F. Tel. 564-80-76
4. ARQ. HUGO BRETON DIAZ Cascada # 730-301 Col. Banjidal México 13, D. F. Tel. 672-60-66	C.A.P.F.C.E. Vito Alesio Robles # 380 Col. Tecoyotitla México 20, D. F. Tel. 554-65-67
5. JOSE CALDERON LARA Baja California # 47-A Dpto. 2 Col. Roma Sur México 7, D. F.	
6. ING. GILBERTO CARAM KURI Av. Coyoacán # 339-602 Col. Del Valle México 12, D. F. Tel. 543-12-94	PYASA INGENIEROS CIVILES PROYECTOS Y ADMINISTRACIONES, S. A. Av. Insurgentes Sur # 1877-301 Col. Guadalupe Inn Tel. 548-95-20 al 29

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO PROGRAMACION, CONTROL
DE AVANCE Y EVALUACION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION.
(DEL 8 AL 19 DE AGOSTO DE 1977).

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | |
|--|---|
| 7. GABRIEL CASTILLO DUEÑAS
Benjamín Franklin # 233-5° Piso
Col. Escandón
México 18, D. F.
Tel. 516-30-20 al 22 | RUBIO, S. A.
Benjamín Franklin # 233-5° Piso
Col. Escandón
México 18, D. F.
Tel. 516-30-20 al 22 |
| 8. ING. FRANCISCO DE LA GARZA C. | SAHOP. DIR. GRAL. DE CAMINOS
RURALES. |
| 9. ING. JOSE ERNESTO DEL ANGEL DE L.
Barcelona 5C-2
Col. Juárez
México 6, D. F.
Tel. 585-50-66 Ext. 203 | COMISION DE AGUAS DEL VALLE
DE MEXICO SARH.
Balderas # 51-2° Piso
México 1, D. F.
Tel. 585-50-66 Ext. 203 |
| 10. ARQ. FRANCISCO FRANCO ARROYO
Tolsti # 23
Col. Anzúrez
México 5, D. F. | BUFETE INDUSTRIAL DISEÑOS
Y PROYECTOS
Tolsti # 22
Col. Anzúrez
México 5, D. F.
Tel. 533-15-00 |
| 11. A. SERGIO GARCIA HUERTA
Sur 8 No. 218
Col. Agrícola Oriental
México 9, D. F.
Tel. 763-05-09 | COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
Ródano # 14 Planta Baja
Col. Cuauhtémoc
México 5, D. F.
Tel. 553-66-12 |
| 12. LAURA GOMEZ MALAGON
Isla del Socorro # 12
Col. Prado Vallejo
Estado de México
Tel. 567-22-51 | AVON COSMETICS, S. A.
Av. Universidad # 1778
Col. Romero de Terreros
México, D. F.
Tel. 5-48-68-20 |

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO PROGRAMACION, CONTROL
DE AVANCE Y EVALUACION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION.
(DEL 8 AL 19 DE AGOSTO DE 1977.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
13. ERASMO GONZALEZ CAMACHO Av. Cuauhtémoc # 15 Col. San Gregorio Atlapulco México 23, D. F. Tel. 511-25-05	FONAFE Av. Alvaro Obregón # 223 Col. Roma México 7, D. F. Tel. 511-25-05
14. FEDERICO GONZALEZ S. Seva No. 523 Col. Portales México, D. F.	CONSTRUCTORA ATEXPA Chihuahua # 523 Col. Roma México 7, D. F.
15. ING. JOSE LUIS GUERRERO HEROTH Culiacán # 17-403 Col. Hipódromo México 7, D. F. Tel. 564-72-60	
16. HERNANDEZ GARCIA DAVID Bermudas # 414 Col. Cosmopolita México 15, D. F. Tel. 556-02-17	C.A.P.F.C.E. Vito Alessio Robles # 380 Col. Tecoyotitla México 20, D. F. Tel. 554- 65-67
17. JORGE E. HERNANDEZ PANIAGUA Etna # 42 Col. Los Alpes México 20, D. F. Tel. 593-54-38	INGENIEROS Y CONTRATISTAS, S. A. Darwin # 102-3° Piso Col. Anzúrez México 5, D. F. Tel. 533-18-00
18. CESAR A. ISLAS SAN JUAN Prol. Tonalá # 412 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel. 543-51-49	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Dr. Barragán # 779 Col. Narvarte México 12, D. F.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO PROGRAMACION, CONTROL
DE AVANCE Y EVALUACION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION.
(DEL 8 AL 19 DE AGOSTO DE 1977.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
19. ING. ENRIQUE JIMENEZ RODRIGUEZ Mantua # 59 Col. Residencial Acoxta México 22, D. F.	FACULTAD DE INGENIERIA UNAM Cd. Universitaria Col. Coyoacán México 20, D. F. Tel. 548-96-69
20. ARQ. MAX KESSEL ARAGON Av. Popocatepetl # 95 B-5° Piso Col. Portales México 13, D. F. Tel. 672-57-80	COCACOLA DIRECCION, S. A. Monte Pelvoux # 110 Col. Lomas de Virreyes México 10, D. F. Tel. 540-72-70
21. JOSE HUMBERTO LORIA ARCILA Guillermo Pérez Valenzuela # 42 Col. Coyoacán México 21, D. F. Tel. 554-77-94	FACULTAD DE INGENIERIA Calles 41x14 UNIVERSIDAD DE YUCATAN Mérida, Yuc. Tel. 2-10-33
22. ARTURO LERMA RUBIO Montealbán # 193 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel. 590-87-30	SAHOP. Xola y Av. Universidad Col. Narvarte México 12, D. F. Tel. 590-87-30
23. SALVADOR LOPEZ VALDELAMAR Colibrí # 25 Col. Arboledas Atizapán Zaragoza Tel. 379-37-24	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO Melchor Ocampo # 171 México 17, D. F. Tel. 518-00-80
24. FRANCISCO A. MACIAS FRAGOSO Valle de Solís # 16 Frac. el mirador, Naucalpan Edo. de México Tel. 3-73-28-25	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD Ródano # 14 México 5, D. F. Tel. 553-86-71

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO PROGRAMACION, CONTROL
DE AVANCE Y EVALUACION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION.
(DEL 8 AL 19 DE AGOSTO DE 1977).

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
25. VICTOR A. MARTINEZ AGUILAR Convento de Churubusco # 47 Col. Sta. Mónica Edo. de México Tel. 397-38-31	BUFETE INDUSTRIAL, S. A. Dante # 36-5° Piso Col. Anzúrez México 5, D. F. Tel. 228-67-39
26. GONZALO MARTINEZ CORBALA Zaragoza # 56 Col. Coyoacán México 21, D. F. Tel. 554-47-18	OMECSA. Insurgentes Sur # 1690-10° Piso Col. Florida México 20, D. F. Tel. 524-86-42
27. CESAR MARTINEZ ROJAS R. Altata # 19 Depto. 12 Col. Condesa México, D. F. Tel. 516-67-50	FERAAIC, S. A. DE C. V. Reforma # 300 Col. San Nicolás Tolentino Ixtapalapa Tel. 562-20-82
28. RAMON MONTIEL HERNANDEZ Edif. 39-A-104 Unidad Loma Hermosa Col. Irrigación México 10, D. F. Tel. 590-27-03	SAHOP. Dr. Barragán # 779-8° Piso Col. Narvarte México 12, D. F. Tel. 590-27-03
29. RUBEN MONTIEL PALACIOS Rio Amur # 9-8 Col. Cuauhtémoc México 5, D. F.	BUFETE INDUSTRIAL DISEÑO Y PROYECTOS Dante # 36-5° Piso Col. Anzúrez México 5, D. F. Tel. 528-67-39
30. MARCO ANTONIO MORALES ROJAS Linares # 642- Altos Col. Lindavista México 14, D. F. Tel. 566-98-85	INGENIEROS Y CONTRATISTAS, S. A. Darwin # 102-3er. Piso Col. Anzúrez México 5, D. F. Tel. 533-18-00

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO PROGRAMACION, CONTROL
DE AVANCE Y EVALUACION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION.
(DEL 8 AL 19 DE AGOSTO DE 1977).

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
31. RAFAEL MORALEZ Y MONROY Av. Universidad # 2042-703 Col. Copilco Universidad México 20, D. F. Tel. 548-98-69	FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM Cd. Universitaria Col. Coyoacán México 20, D. F. Tel. 548-96-69
32. JOSE ABELARDO NIEVES CEDENO Saltillo # 273 Fracc. Valle Ceylán Tlalnepantla, Edo. de Méx. Tel. 390-15-46	EMPRESA PROPIA Durango # 225 Fracc. Valle Ceylán Tlalnepantla, Edo. de Méx. Tel. 390-15-46
33. ING. MARIO OLGUIN AZPEITIA Morelos # 26-101 Col. Progreso México 20, D. F.	JUNTA LOCAL DE CAMINOS DEL ESTADO DE MEXICO. Lauro Aguirre # 13 Col. Vista Bella Tlalnepantla, Méx. Tel. 397-93-00
34. MANUEL PEREZ TORRES Río Amazonas # 43 Col. Cuauhtémoc México 5, D. F. Tel. 591-00-60	THE COCA-COLA EXPORT CORPORATION Río Amazonas # 43 Col. Cuauhtémoc México 5, D. F. Tel. 591-00-60
35. ARQ. ENRIQUE RAMIREZ PERALTA Bosque de Nayar # 6 Col. La Herradura México 10, D. F. Tel. 589-21-88	ESC. NAL. DE ARQUITECTURA UNAM CD. Universitaria México 20, D. F.
36. ING. BENJAMIN RETES HERNANDEZ Av. Norte del IPN. 523 Edif U-201 Col. Lindavista México 14, D. F.	CONSTRUCCIONES BELTHER, S. DE R. L. DE C. V. Reforma # 2625 Col. Lomas México 10, D. F. Tel. 570-21-44

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO PROGRAMACION, CONTROL
DE AVANCE Y EVALUACION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION.
(DEL 8 AL 19 DE AGOSTO DE 1977.

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | |
|---|---|
| 37. ALFREDO M. REYES VALVERDE
Unidad La Patera III Edif. 104
Dpto. 201
Col. Vallejo
México 14, D. F. | BUFETE INDUSTRIAL CONSTRUCCIONES, S. A.
Tolstoy # 22
Col. Anzúrez
México 5, D. F.
Tel. 533-15-00 |
| 38. ING. LUIS G. RIVERO CASTRO
Pennsylvania # 280 Dpto. 2-1-A
Col. Nápoles
México 18, D. F.
Tel. 523-60-20 | SCORPION, S. A.
Patriotismo # 334-5° Piso
Col. Sn. Pedro de los Pinos
México 18, D. F.
Tel. 277-58-44 |
| 39. ALEJANDRO RODRIGUEZ MAC NIECO
Fraternidad 79 Laurel A-1
Col. San Angel
México 20, D. F.
Tel. 548-39-38 | ORGANIZACION MEXICANA DE CONSTRUCCIONES, S. A.
Insurgentes Sur # 1650-10° Piso
Col. Florida
México 20, D. F.
Tel. 524-24-79 |
| 40. RAMON ROMANO PAZ
Lerdo # 304-504
Col. Tlatelolco
México 3, D. F.
Tel. 583-53-05 | I M S S .
Durango # 291-12° Piso
Col. Condesa
México, D. F.
Tel. 553-88-97 |
| 41. ING. CESAR ROMERO GARIBALDI
Hermenegildo Galeana # 73
Col. Concepción Contreras
México 21, D. F.
Tel. 568-37-44 | TERMIC, S. A. DE C. V.
Reforma # 300
Col. Sn. Nicolás Tolentino
Iztapalapa
Tel. 582-29-11 |
| 42. IGNACIO DE J. RUIZ DE CHAVEZ M.
División del Norte 24 # 33
Col. Villa Coapa
México 22, D. F.
Tel. 594-72-59 | FACULTAD DE INGENIERIA UNAM
Ciudad Universitaria
Col. Coyoacán
México 20, D. F.
Tel. 548-96-69 |

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO PROGRAMACION, CONTROL
DE AVANCE Y EVALUACION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION.
(DEL 8 AL 19 DE AGOSTO DE 1977.

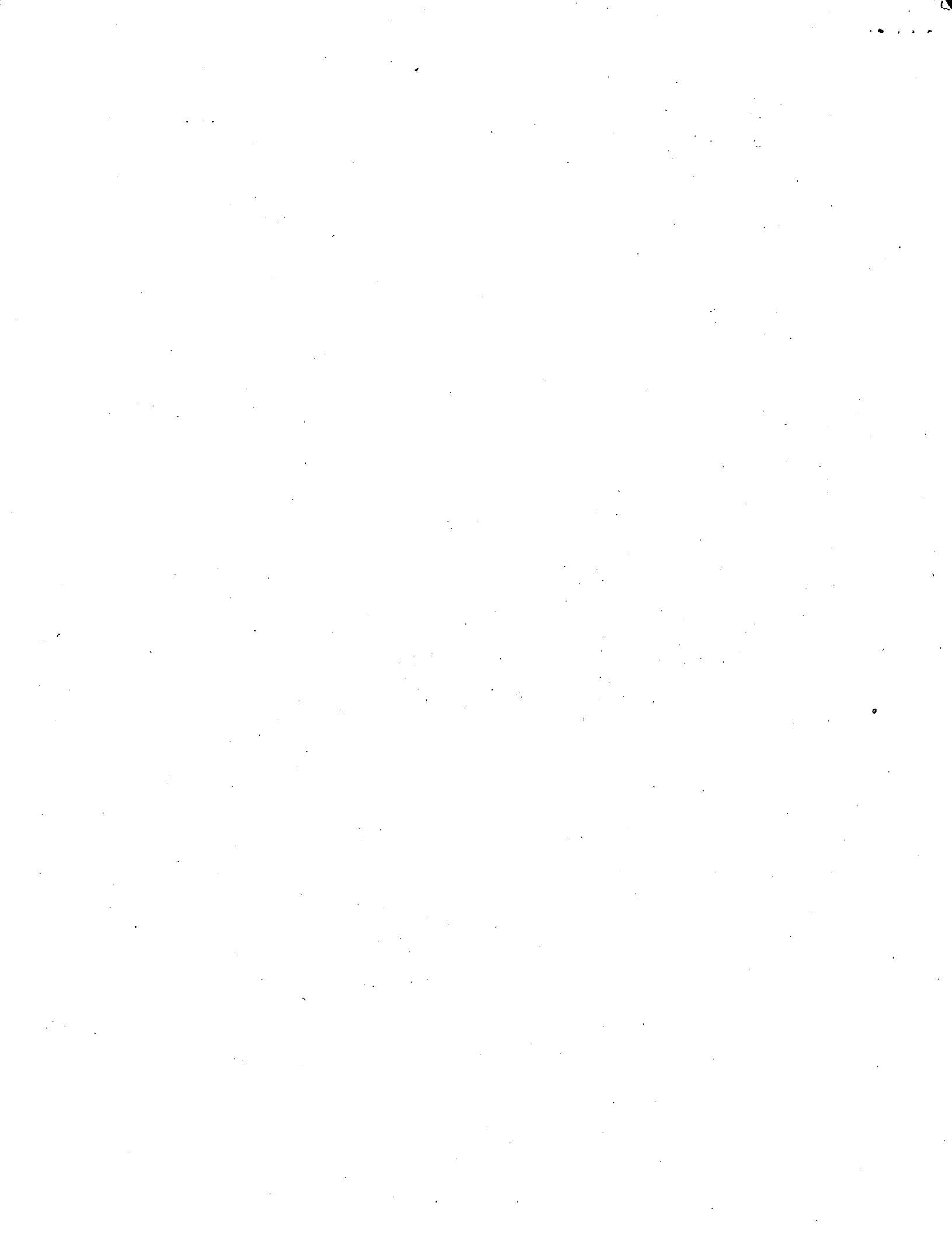
NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | |
|---|--|
| 43. ING. JUAN ABEL SANDOVAL G.
Lauro Aguirre # 13
Tlalnepantla, Edo. de Méx.
Tel. 397-93-00 | JUNTA LOCAL DE CAMINOS SAHOP
Independencia Ote. # 1329
Toluca, Edo. de Méx. |
| 44. JORGE SILVA M. DENCES
Bolívar # 745-104
Col. Alamos
México 13, D. F. | SAHOP
Dr. Barragán # 778-8° Piso
Col. Narvarte
México 13, D. F.
Tel. 590-44-01 |
| 45. ING. ENRIQUE SOSA CUELLAR
Av. Fernando # 268-5° Piso
Col. Alamos
México 12, D. F.
Tel. 590-82-85 | SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS
Y OBRAS PUBLICAS
Av. Fernando # 268-5° piso
Col. Alamos
Tel. 590-82-85 |
| 46. LUIS A. SOSA VILLASEÑOR
Apdo. Postal # 20-302
Col. Villa Alvaro Obregón
México 20, D. F.
Tel. 520-09-84 | COMISION TECNICA DE RECLUSORIOS
DEL DEPTO. DEL D. F.
Pedro Antonio de los Santos 73
Col. San Miguel Chapultepec
México 18, D. F.
Tel. 516-11-00 |
| 47. MIGUEL A. SUMARRAGA CERVERA
Calle 16 # 155
Col. García Gineres
Mérida, Yuc. | COMPANIA PARTICULAR
Calle 16 # 155
Col. García Gineres
Mérida, Yuc. |
| 48. JOSE TELLEZ SILVA
Av. Independencia # 1329
Toluca Edo. de México. | JUNTA LOCAL DE CAMINOS DEL
EDO. DE MEX. SAHOP
Av. Independencia # 1329
Toluca Edo. de México.
Tel. 4-03-99 |

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO PROGRAMACION, CONTROL
DE AVANCE Y EVALUACION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION.
(DEL 8 AL 19 DE AGOSTO DE 1977.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
49. RAMON UGALDE BURGOS Las Flores # 208 Col. Tlacopac San Angel México 20, D. F. Tel. 563-06-24	CONSTRUCTORA S.I.A., S.A. Empresa # 80 México 19, D. F. Tel. 563-00-11
50. ING. PEDRO VALENCIA RUIZ Lorenzo Boturini # 111 Col. Obrera México, D. F.	JUNTA LOCAL DE CAMINOS DEL ESTADO DE MEXICO Independencia Ote. # 1329 Toluca Edo. de Méx. Tel. 4-03-99
51. ING. HECTOR VARGAS CARRERA Lauro Aguirre # 13 Col. Vista Bella Tlalnepantla Edo. de Méx. Tel. 397-93-00	JUNTA LOCAL DE CAMINOS DEL ESTADO DE MEXICO Independencia Ote. # 1329 Toluca, México. Tel. 4-03-99
52. ING. FERNANDO VILLANUEVA A.	DIRECCION GENERAL DE CAMINOS RURALES, SAHOP
53. RAMON YOGUE CABRERA FERZAL Lerdo # 322 D-216 Col. Tlatelolco México 3, D. F.	SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS Dr. Barragán # 779-8° Piso Col. Narvarte México, D. F.



EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

CURSO: PROGRAMACION, CONTROL DE AVANCE Y EVALUACION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION.

FECHA: Del 8 al 19 de Agosto de 1977 .

CURSO: PROGRAMACION, CONTROL DE AVANCE Y EVALUACION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION. FECHA: Del 8 al 19 de Agosto de 1977 .	DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANT. DEL INTERES (AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION, COMUNICACION CON LOS ASISTENTES)	PUNTUALIDAD
El Sistema Constructivo				
Descripción y aplicación dinámica del método de la ruta crítica en la programación y control de obra.				
Técnicas de Ana. de Tiempos y Mov. en la Const.: Aplicación al aumento de la productividad en las obras y asignación de recursos.				
Programas Típicos de Computadora aplicando el Método de la ruta crítica.				
Juegos con computadora "Constructo" sobre administración en la const. (jugado entre los asistentes del curso, usando la computadora de la UAM)				
Valuación de Proyectos de Construcción.				
Equivalencia				
Comparación de costos				
Redituabilidad de inversión				
Criterios para Selección de Alternativa, tomade..				
<p>ESCALA DE EVALUACION DEL 1 AL 10</p> <p>24, VIII.77. 'edcs.</p>				

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
5800 S. UNIVERSITY AVENUE
CHICAGO, ILLINOIS 60637

RECEIVED

NOV 15 1964

11:30 AM

FROM: [Illegible]

TO: [Illegible]

SUBJECT: [Illegible]

[Illegible]

[Illegible]

[Illegible]

[Illegible]

[Illegible]

[Illegible]

[Illegible]

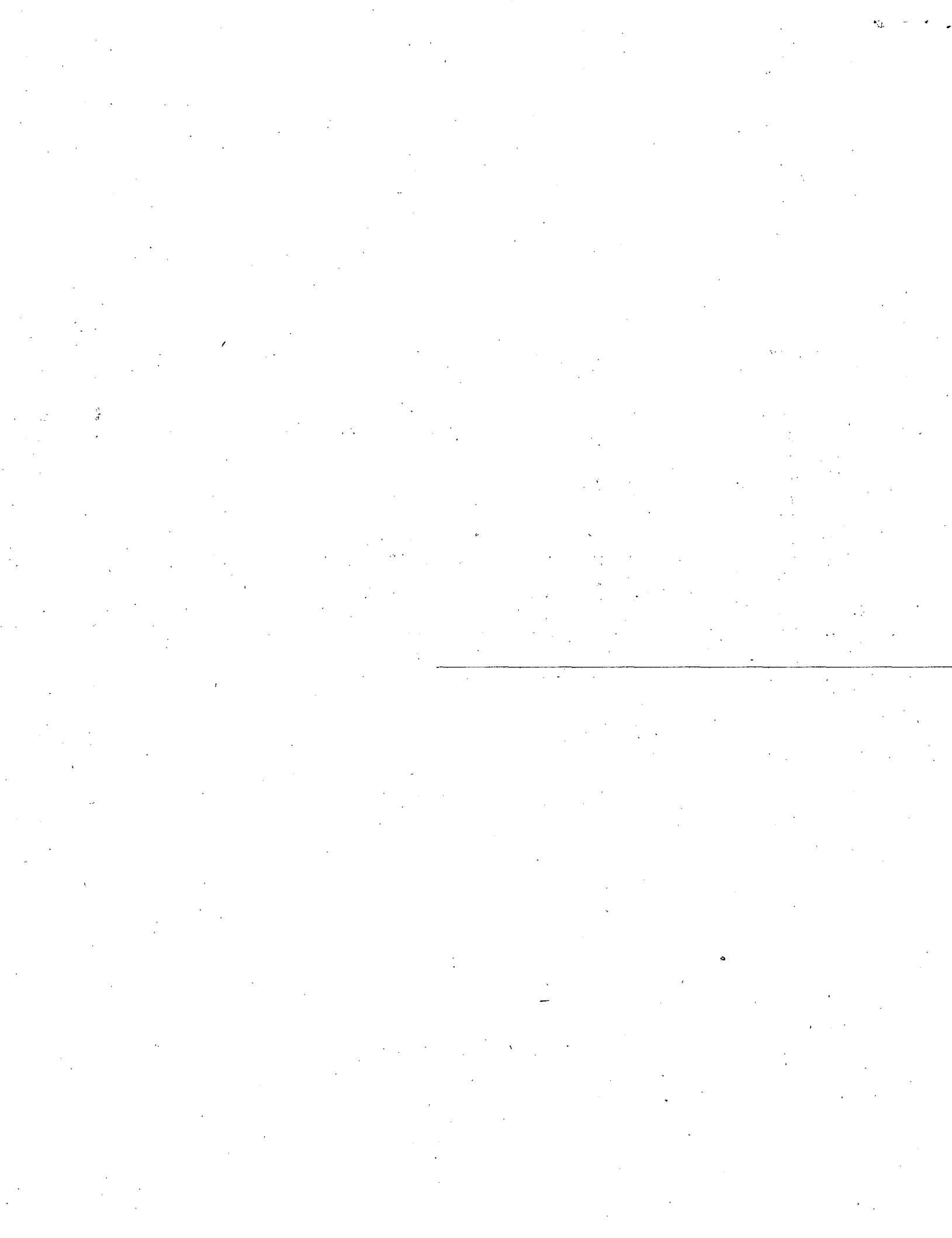
[Illegible]

[Illegible]

EVALUACION DEL CURSO

	CONCEPTO	EVALUACION
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO CON EL CURSO	
4.	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
5.	CONTINUIDAD EN LOS TEMAS DEL CURSO	
6.	CALIDAD DE LAS NOTAS DEL CURSO	
7.	GRADO DE MOTIVACION LOGRADO CON EL CURSO	

ESCALA DE EVALUACION DE 1 A 10



1. ¿Qué le pareció el ambiente del Centro de Educación Continua?

Muy agradable Agradable Desagradable

2. Medio de comunicación por el que se enteró del curso:

Periódico Periódico Folleto del
Excelsior Novedades Curso

Cartel Radio Comunicación
mensual Universidad carta, teléfono
no, verbal, etc.

3. Medio de transporte utilizado para venir al Palacio de Minería:

Automóvil Metro Otro medio
particular

4. ¿Qué cambios haría usted en el programa para tratar de perfeccionar el curso?

5. ¿Recomendaría el curso a otras personas? Si No

6. ¿Qué curso le gustaría que ofreciera el Centro de Educación Continua?

7. ¿Qué servicios desearía que tuviese el CEC para los asistentes a cursos?

8. Otras sugerencias:



*	22	100.00	2624.11	19199.99	65899.94	30.	30.	0.	0.901
*	23	100.00	1427.89	10524.00	21024.00	15.	15.	0.	0.989
*	24	100.00	2987.37	21527.98	42027.98	15.	15.	0.	0.813
*	25	100.00	199.66	1441.60	1441.60	2.	2.	0.	0.919
*	26	100.00	307.01	2244.00	22244.00	15.	15.	0.	0.821
*	27	100.00	1907.02	13331.99	43331.99	15.	15.	0.	0.997
*	28	100.00	2546.11	18180.00	22180.00	25.	25.	0.	0.890
*	29	100.00	210.16	1552.00	3552.00	5.	5.	0.	0.996
*	30	100.00	145.57	1082.40	4832.40	3.	3.	0.	0.998
*	31	100.00	294.70	2060.80	7560.80	8.	8.	0.	0.998
*	32	100.00	187.69	1411.20	2411.20	3.	3.	0.	0.987
*	33	100.00	438.43	3246.00	5746.00	5.	5.	0.	0.846
*	34	100.00	390.20	2779.20	4279.20	4.	4.	0.	0.998
*	35	100.00	1255.98	8975.99	24575.99	10.	10.	0.	0.796
*	36	100.00	62.57	432.80	932.80	2.	2.	0.	0.800
*	37	100.00	982.55	7272.00	22272.00	10.	10.	0.	0.893
*	38	100.00	185.01	1384.80	1584.80	3.	3.	0.	0.997
		100.00	30201.48	235938.12	654538.00				

PROJECTED EXPECTED PROFIT = 65453.94

PROJECTED PROJECT DURATION = 100.

