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

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS DEL CENTRO DE EDUCACION CONTINUA

La Facultad de Ingeniería, por conducto del Centro de Educación Continua, otorga 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 Día de Clases, en las oficinas del Centro, con la Señorita Barraza, 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 tésis, pero sobre todo para que coordinen las opiniones de todos los interesados constituyendo verdaderos seminarios.

Al finalizar el curso se hará una evaluación del mismo a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos por parte de los asistentes. 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, es importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción con los datos que se les solicitan al iniciarse el curso.

ATENTAMENTE

ING. SALVADOR MEDINA RIVERO
COORDINADOR DE CURSOS

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES
FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM.

CURSOS DE MAESTRIA Y DOCTORADO

La División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería, UNAM, ofrece las siguientes Maestrías y Doctorados:

Maestrías		Doctorados
Control	Mecánica	Estructuras
Electrónica	Mecánica de Suelos	Hidráulica
Estructuras	Petrolera	Mecánica de Suelos
Hidráulica	Potencia	Mecánica Teórica y Aplicada
Investigación de Operaciones	Planeación	Investigación de Operaciones
Mecánica teórica y Aplicada	Sanitaria	

Programa de actividades para el segundo semestre de 1976

Exámenes de admisión: 10, 11 y 12 de mayo

Inscripciones: 31 de mayo al 4 de junio

Iniciación de clases: 7 de junio

Requisitos de admisión

a) Cumplir con una de las siguientes condiciones:

1. Poseer título profesional en Ingeniería o en alguna disciplina afín a las maestrías que se ofrecen en la División, otorgado por la UNAM o por cualquier institución nacional o extranjera.

2. Ser pasante de la Facultad de Ingeniería, UNAM

b) Aprobar los exámenes de admisión que se efectuarán en las fechas señaladas arriba.

c) Presentar, dentro del período de inscripciones arriba mencionado, la documentación que se indica en el folleto de Actividades Académicas 1975 de la DESFI

Mayores informes: División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería, Apartado Postal 70-256, Ciudad Universitaria, México 20, D. F. Tel.: 548-58-77

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, febrero 3. 1976

EL DIRECTOR DE LA FACULTAD
M. en C. ENRIQUE DEL VALLE CALDERON

EL JEFE DE LA DIVISION
DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS

Fecha	Duración	Tema	Profesor
Julio 6	18 a 21 h	INTRODUCCION Visualización del proceso constructivo como sistema. Planeación de la obra, su importancia y las partes que la integran. Control, definición y tipos de control. Interacción: planeación-control	ING. JOSE CASTRO ORVAÑANOS
Julio 8,13,15,20	18 a 21 h c/día	PROGRAMACION Y CONTROL DE AVANCE DE OBRA El método de la ruta crítica como una herramienta del constructor en la programación y control de avance de las obras. El PERT, sus posibilidades como método probabilístico. Fase I. Construcción de redes de actividades, notaciones usadas, traslape de actividades. Fase II. Obtención de la información que proporciona el método y su representación gráfica: Programas colaterales de equipo, personal, materiales, ingresos-egresos, etc.	ING. CARLOS NAVES GONZALEZ
Julio 22 y 27	18 a 21 h c/día	Asignación de recursos. Traslape de actividades Fase III. Compresión de redes: relación tiempo-costo. Aplicación dinámica del método de ruta crítica en la obra.	ING. JOSE CASTRO ORVAÑANOS

pmc

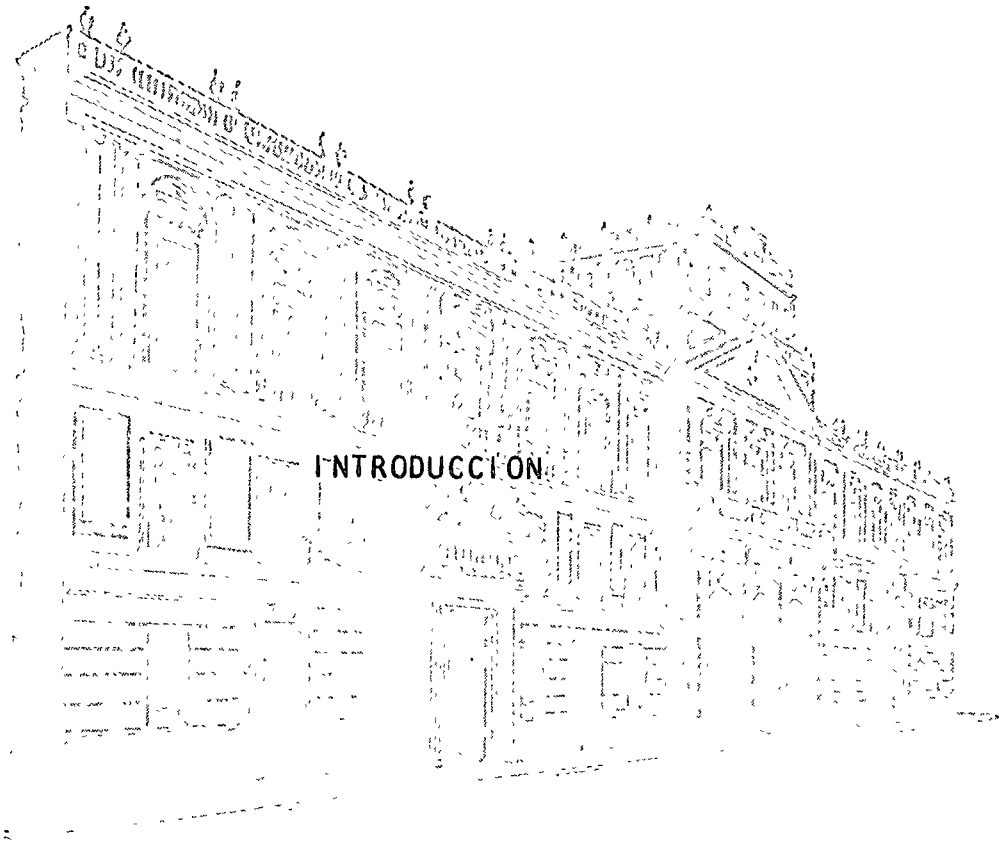
PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS

Fecha	Duración	Tema	Profesor
Julio 29, Ago.3, 5, 10	18 a 21 h c/día	ANALISIS DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS Introducción. Necesidades de asimilación de la metodología en la formación profesional del ingeniero. Descripción de las técnicas usadas para la obtención de datos de obra y de análisis de información, sus ventajas y sus limitaciones. El elemento humano como eje del éxito del uso de estos estudios. Técnicas complementarias para la obtención de Indices de utilización de recursos.	ING. JOSE CASTRO ORVAÑANOS ING. GABRIEL MOLINA
Agosto 12 y 17	18 a 21 h c/día	EJERCICIO Análisis de una situación real de una obra en un momento determinado	ING. JOSE CASTRO ORVAÑANOS

'pmc

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

PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS



INTRODUCCION

ING. JOSE CASTRO ORVAÑANOS

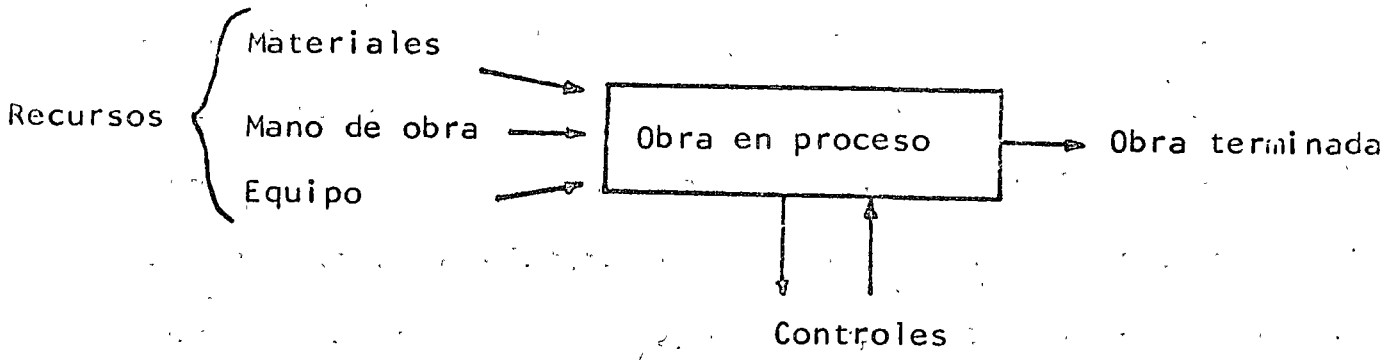
JULIO DE 1976.

Palacio de Minería Tacuba 5, primer piso. México 1, D F. Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

INTRODUCCION

Al considerar el tamaño, la complejidad de los proyectos que se construyen y la competencia que existe en la actualidad en el campo de la industria de la la construcción, es de definitiva importancia que la elaboración y ejecución, cuidadosa de la planeación, programación, presupuestos y control de obra, se realice en forma integral bajo una misma política general, considerando a dicha actividad como un verdadero sistema.

Fig. 1



No es posible pensar en la elaboración racional de un presupuesto, si éste no está basado en experiencias reales obtenidas con anterioridad, así como tampoco es posible hablar de un control efectivo de una obra si no se está trabajando con los elementos integrantes del presupuesto y programa respectivos; y ni siquiera poder contar con un presupuesto y programa si no se ha trabajado previamente en la planeación de la misma.

Trataremos pués de desarrollar los diversos temas, sin olvidar en ningún momento que todos están íntimamente ligados entre sí, y que el menospreciar u olvidar alguno de ellos, sólo conduce al fracaso en forma irremediable.

CONTROL

En virtud la complejidad intrínseca de la industria de la construcción, la cantidad de imponderables, el monto de dinero que se maneja, etc., se considera que la etapa de control es vital para este tipo de actividad, ya que no es posible esperar algún tiempo después del término de una obra, para saber si se lograron o no los objetivos previstos, sino que será indispensable revisar a todo lo largo del desarrollo de la obra si lo que inicialmente planeamos, programamos y presupuestamos fue correcto o se está cumpliendo, con el objeto de hacer oportunamente las correcciones, cambios de política, etc., que sean pertinentes. En otras palabras, el control no es más que un sistema de alarma que permita detectar cuando algo no funciona según lo previsto.

En general existen tres tipos de control:

1.- Administrativo (presupuesto)

2.- De avance de obra (programa)

3.- De calidad (especificaciones)

Los tres constituyen propiamente un sistema de retroalimentación, ya que los resultados que se van obteniendo en el proceso de la obra, se comparan con el "estándar" previsto. (Es obvio que la calidad del control serán función de los "estándares" de comparación que son presupuesto, programa y especificaciones).

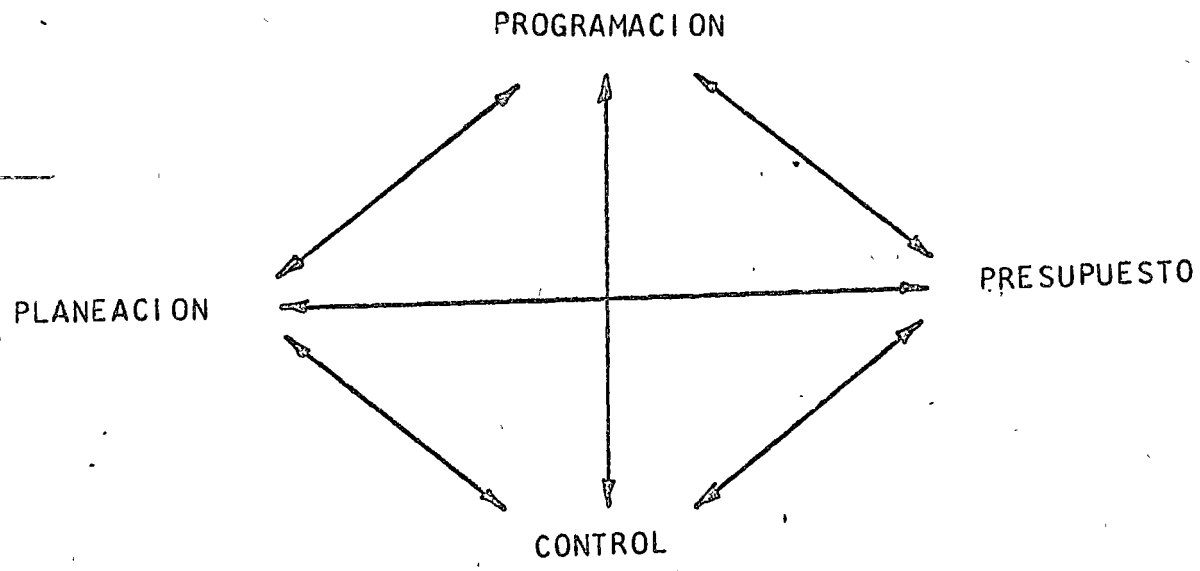


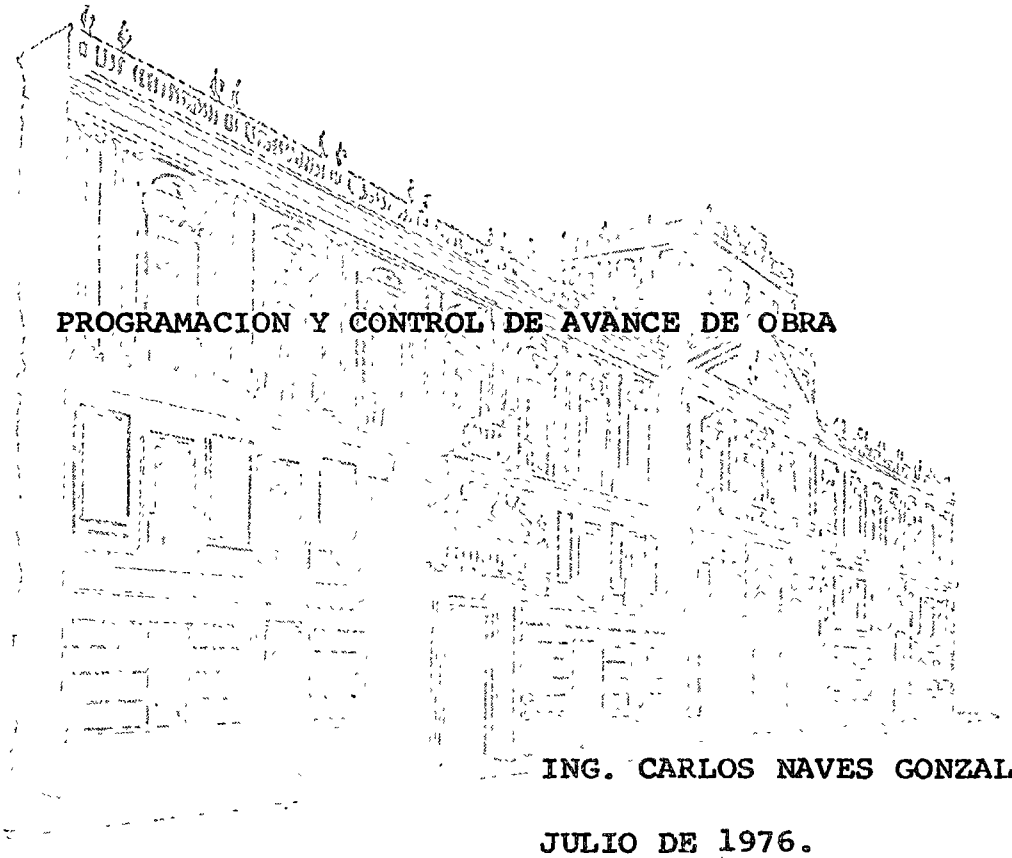
Fig. 2

Como fuente de información básica para los dos primeros controles será necesario contar con el avance de obra a determinada fecha y elaborar tanto presupuesto como programa de obra en términos comparables.

Es recomendable determinar con cuidado el grado de control que se quiera establecer para cada obra, ya que un control exageradamente detallado será innecesario y costoso, y viceversa, un control exageradamente superficial no cumplirá con los objetivos propios para los que se establecen los sistemas de control.

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

PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS



PROGRAMACION Y CONTROL DE AVANCE DE OBRA

ING. CARLOS NAVES GONZALEZ

JULIO DE 1976.

LA PROGRAMACION

¿ Qué es programa ?

- Anunciar por escrito
- Previa declaración de lo que se piensa hacer

Las versiones anteriores fueron obtenidas por enciclopedia.

Para el caso o aplicación de la construcción, programar podemos decir que es el ordenamiento secuencial o cronológico de las actividades de un proyecto.

¿ Que se requiere para programar un proyecto ?

1) Conocer el proyecto
2) Analizar como se va hacer
3) Analizar cuando se va hacer
4) Analizar con que elementos se va a hacer

ELEMENTOS
- Materiales
- Mano de Obra
- Equipo
- Personal Técnico
- Financiamiento

¿ Quienes deben programar una obra o proyecto ?

Existen diferentes niveles de programación en una obra

1) Programación General

2) Programación ejecutiva de obra ó Programación de obra

1) La programación General : es recomendable que la realicen los proyectistas de la obra junto con el constratista de la misma . El objeto de esta programación es el de determinar; sistemas constructivos, disponibilidad de materiales, disponibilidad de recursos, y en forma aproximada la duración de la obra; así mismo preveer o programar las necesidades de planos o detalles de la obra. Esta programación casi nunca se realiza, y con ello se ve afectada la obra, en tiempo y en costo.

2) La programación de obra: es la que normalmente conocemos y la realiza el contratista.

Para la programación de la obra, debemos tomar en cuenta que la deben realizar las personas que están en la obra. Las personas que están en la obra son las que van a hacer la obra, y conocen el proyecto, y saben como, cuando, y con que elementos lo van a hacer.

¿ Qué sistemas existen para programar obras? ¿ Y cual es el mejor?

I.- SISTEMA DE BARRAS

II.- SISTEMA C.P.M. { Flechas / Nodos

el mejor sistema, será aquel que nos sea útil, nos de más información y nos sea fácil de Interpretar y Modificar.

¿ Qué se debe programar de una obra?

1.- Avance (Producción)
2.- Materiales
3.- Equipo
4.- Mano de Obra
5.- Personal Técnico
6.- Financiamiento

¿ Con que grado de aproximación deben hacerse los programas?

Los programas deben realizarse con el objetivo de que sean útiles y de fácil interpretación. Debemos desglosar en los programas todo aquello que nos interese conocer a detalle o sea importante en el desarrollo del proyecto.

¿ Con qué periodicidad deben revisarse y actualizarse los programas?

La periodicidad de revisión de programas, es variable, según el tipo de obra ; su velocidad de producción; según los cambios existentes; según los atrasos. Es recomendable que cuando menos una vez al mes se revise la programación.

Debe considerarse que el costo de una obra va ligado a un sistema de construcción y un programa de obra.

Costo obra = Sistema + Programa

Debe considerarse que la programación y C.P.M. son una herramienta del constructor. Son armas que tenemos para analizar y preveer nuestros problemas . Si alimentamos nuestra programación con datos erróneos, el resultado será un programa erróneo.

PROGRAMACION Y CONTROL DE AVANCE DE OBRA

La planeación y control de actividades, son funciones que se requieren en la mayoría de las Industrias. Una técnica para desarrollar esas funciones es la ruta crítica (C.P.M.).

La que analizaremos nosotros es lo concerniente a la aplicación de la ruta crítica (C.P.M.) a la planeación, programación y control de proyecto de construcción.

Un proyecto de construcción se puede subdividir en un número separado de etapas u operaciones necesarias para terminar el trabajo. Cada una de estas etapas se puede hacer en varias combinaciones de métodos o formas (habilidad de la mano de obra, tamaño de la cuadrilla, equipo y horas de trabajo). Hay que escoger la mejor combinación en cada etapa del trabajo, la más barata para que la suma de todas las etapas de el trabajo más económico.

El tiempo es una variable escencial, ya que todos los costos varian con el tiempo. Tenemos que el costo directo tiende a disminuir entre más tiempo se tenga para hacer el trabajo, mientras que los costos indirectos tienden a subir mientras más tiempo se emplee para hacer el proyecto. Esto nos indica que hay una combinación entre el costo directo y el indirecto que nos da el menor costo.

El problema no es sencillo, cada actividad en un proyecto se puede hacer de diferente manera, a diferentes costos y en tiempos distintos. El problema sería sencillo si el tiempo total de construcción del proyecto no importara, en ese caso, cada actividad se haría de tal manera que arrojara el mínimo costo directo; pero esto no es real. Lo que normalmente nos importa es el tiempo total y el costo total.

Acelerar cualquier actividad normalmente resulta en aumentos del costo directo. Acortar el tiempo de una actividad puede solamente incrementar el costo directo sin disminuir el tiempo total de duración de la obra.

El método de la ruta crítica es usado en diversas industrias, dentro de la Industria de la construcción es bueno tanto para obra de Edificación como para la obra de tipo pesado (terracerías, presas, caminos, etc. etc.).

HISTORIA

Los conceptos básicos de la ruta crítica (C.P.M.) han sido desarrollados desde 1956. Hubo dos trabajos iniciales en paralelo, pero diferentes entre sí, uno es un método probabilístico y otro es un método determinístico.

El método probabilístico es conocido como PERT (Program Evaluation Research Task), fue desarrollado por encargo de la Marina de los EE UU para usarlo en el programa Polaris.

Considera tres tiempos : uno optimista, uno pesimista y otro medio.

El PERT no considera costos.

El método determinístico es mejor conocido como C.P.M. o ruta crítica (Critical Path Method). La Dupont encargó un programa a la Sperry Pard Corporation; y el método fue llamado -- Proyect Planing and Scheduliy Sistem y fue un éxito. Este trabajo fue hecho para llevar el control y programa de diversas plantas de la Dupont ; así como su operación o mantenimiento.

EL METODO DE LA RUTA CRITICA (C.P.M.)

El método de la ruta crítica esta dividido en tres diferentes fases: a continuación describiremos brevemente cada fase antes de pasar a analizar cada una.

FASE I .- Es la construcción o representación del diagrama o red de actividades, sin esta primera fase no es posible hacer la segunda y la tercera fase. Esta fase inicial es muy útil aunque no se realicen las fases posteriores, ya que se visualizan todas las actividades por hacer, así como sus secuencias.

FASE II .- Es el cálculo de la información necesaria para el control del programa. En esta fase es donde se localizan las actividades que son críticas, así mismo es la fase donde se conoce la duración total del proyecto, con las holguras de las actividades. Toda la información que se obtiene en esta fase es útil, tanto para el control de la obra como para la planeación de la misma. El conocimiento de las holguras de las actividades nos permite balancear en una obra nuestras necesidades de personal y equipo.

FASE III .- En esta fase se introduce la variable tiempo-costo por lo tanto se alimenta esta fase con datos de costo directo de obra. El objetivo de esta fase es determinar el programa de obra o duración de la misma que nos de el mínimo costo total de la obra.

F A S E I

Para hacer el diagrama o red de actividades de cualquier obra, el proyecto tiene que ser analizado y dividido en todas las partes que lo componen.

En el diagrama o red de actividades debemos de indicar las secuencias de la obra, es decir, indicar que actividades tienen que estar terminadas para empezar otra.

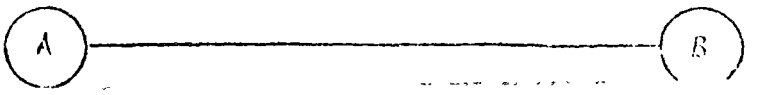
La elaboración y análisis de esta fase, es el trabajo más importante y probablemente el más difícil.

El grado de detalle para descomponer el proyecto en actividades, dependerá de las necesidades nuestras, tomando en cuenta el control que necesitemos y el volúmen de obra que se tenga.

Para descomponer el proyecto en sus actividades, se necesita definir cuidadosamente las secuencias de las actividades. Algunas actividades deben hacerse antes que otras, otras deben hacerse después, y algunas se pueden realizar simultáneamente sin ninguna dependencia. Cada actividad debe tener un comienzo definido, puede ser el comienzo de la obra o la terminación de una o varias actividades. Considerando que la terminación de una actividad puede ser el inicio de otra, no es posible la interpolación, cuando sea necesario hacer la interpolación deberá dividirse en porcentajes.

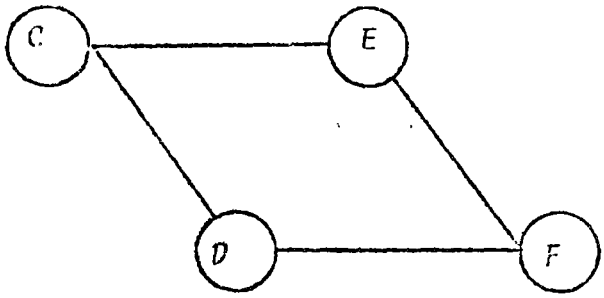
Como ejemplo de lo anterior :

Supongamos que para hacer una barda debemos terminar la cimentación de la misma.



A Nos representa la cimentación de la barda y B la hechura de la barda.

Pero si consideramos que la barda es muy grande y que para hacer el trabajo lo dividiremos en dos partes, tendrémos que introducir C, D y E, F.



C.- Cimentación 50 %
D.- Cimentación 100 %

E.- Barda 50 %
F.- Barda 100 %

Lo anterior lo representamos con la notación de nodos o circulos con líneas de conección. Existe otra notación, que es la de las flechas.

Para hacer la red de actividades, hay dos preguntas que ayudan a hacerla :

a) ¿ Qué actividades deben estar terminadas para poder empezar esta actividad ?.

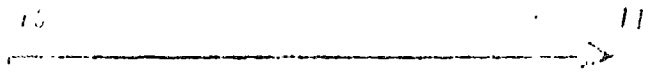
b) ¿ Podría iniciarse la actividad antes de terminar las actividades que le preceden ?

TIPOS DE NOTACIONES O DIAGRAMAS

Las dos notaciones más comunes son las de flechas y la de nodos.

Notación de Flechas :

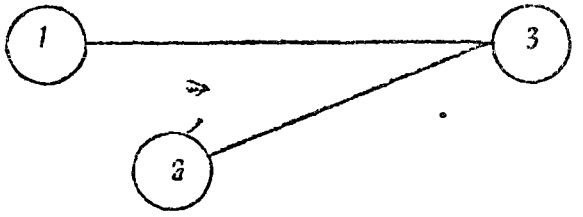
En la notación de flechas, cada actividad está representada por una flecha, en la que la punta quiere decir la terminación de la actividad, y el principio o cola de la flecha indica el inicio de la actividad.

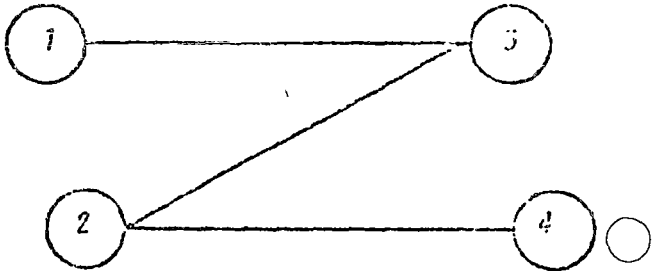


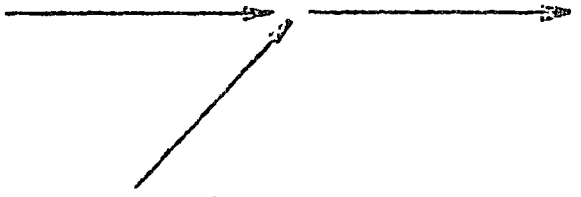
En esta notación es necesario el uso de actividades ficticias. Una actividad ficticia tiene duración de cero, y se necesita emplear para indicar las procedencias correctas.

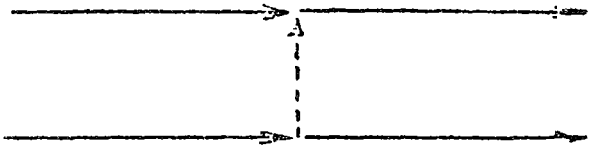
Su forma de indicarla es la siguiente : 

Analicemos un ejemplo gráfico :



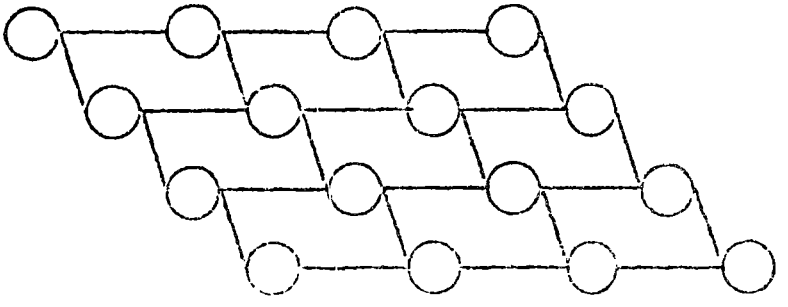


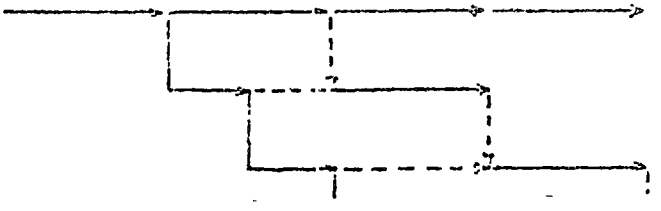




Veamos otro ejemplo :

Si tenemos una vía rápida elevada con cuatro claros y vamos a ir haciendo cada uno de los claros por partes, tendrémos lo siguiente :





Debemos considerar que en el diagrama de flechas, tan malo o incorrecto es poner menos como poner más actividades ficticias de las que se necesitan.

El diagrama de nodos es más fácil revisarlo que el de flechas. Esto es fácil determinarlo por varias razones : si una nueva actividad es detectada y se desea introducir, se puede hacer sin ningún problema, no así en la notación de flechas. Así mismo para quitar una actividad es más sencillo en el diagrama de nodos que en el de flechas.

Factores que se deben tomar en cuenta en la elección del diagrama o red de actividades :

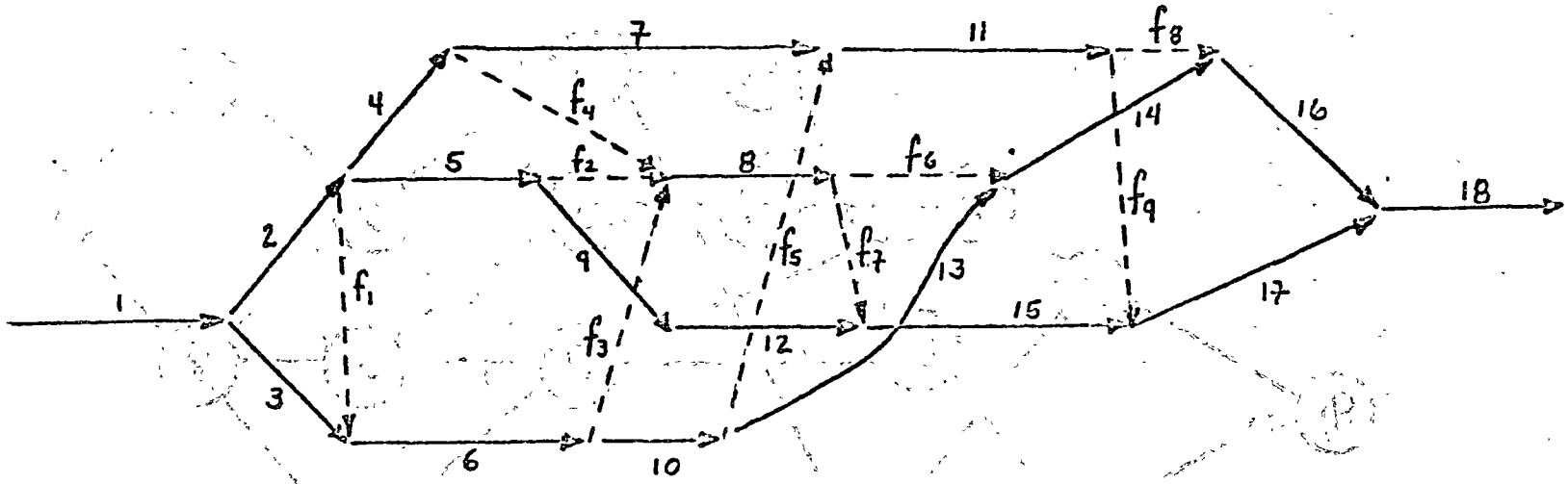
1) Simplicidad
2) Fácil revisión
3) Identificación de actividades
4) Adaptabilidad a computadoras
5) Diagrama con escala tiempo
6) Que sea comunmente usado

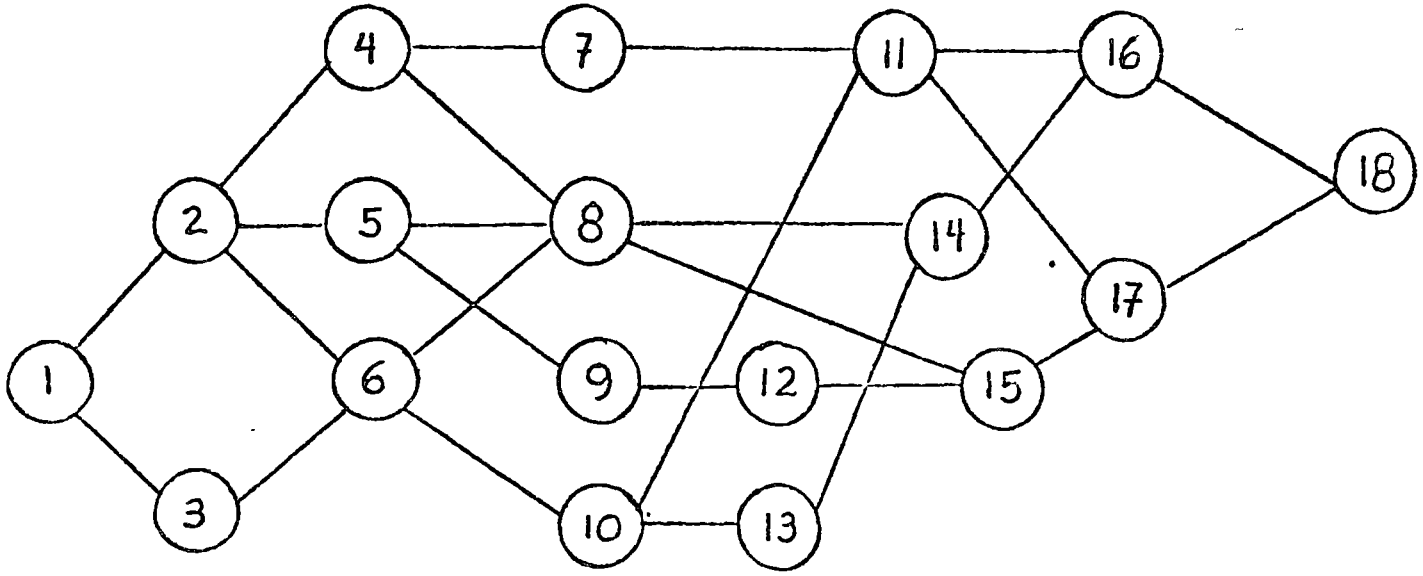
CONSTRUCCION DEL DIAGRAMA

El diagrama debe ser hecho o dibujado en la planeación original del trabajo. Es una ayuda o guía para revisar el plan de trabajo, revisar los sistemas a emplear; las duraciones; las secuencias, balancear nuestros recursos, etc.

Ejemplos o ejercicios :

ACTIVIDAD No.	ACTIVIDADES PRECEDENTES
1	0
2	1
3	1
4	2
5	2
6	2.3
7	4
8	4.5.6
9	5
10	6
11	7.10
12	9
13	10
14	8.13
15	8.12
16	11.14
17	11.15
18	16.17


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
f1
f2
f3
f4
f5
f6
f7
f8
f9


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18

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

PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS

CONTINUACION DE LA FASE I

JULIO DE 1976.

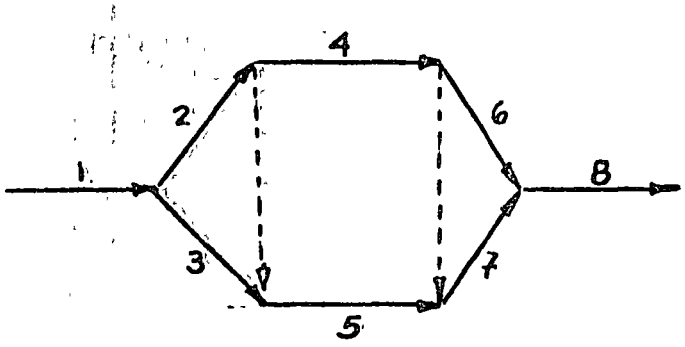
Palacio de Minería Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F. Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

CONTINUACION DE LA FASE I

Recordemos o repasemos los tipos de diagrama que hay :

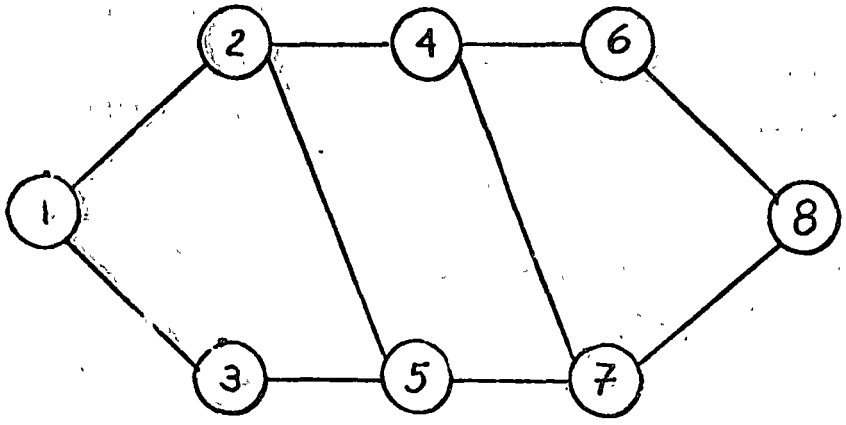
Flechas y Nodos

SISTEMA DE FLECHAS:



ACTIVIDAD	PRECEDENCIA
1	-
2	1
3	1
4	2
5	2.3
6	4
7	4.5
8	6.7

SISTEMA DE NODOS



Notese la necesidad de las actividades ficticias en el sistema de flechas.

Recomendaciones para hacer la red de actividades :

1) Enumerar los conceptos o actividades que desean controlar en una lista progresiva, sin importar su secuencia en la obra.

Ejemplo :

1) Trazo y Nivelación
2) Excavaciones
3) Cimentación
4) Columna P.B. - 1°
5) Losa 1° Piso
6) Columna 1° 2°
7) Losa 2° Piso
8) Columna 2° 3°
9) Losa 3° Piso
10) Columna 3° - Azotea
11) Losa azotea
12) Muros de P.B.
13) Instalación Hidráulica y Sanitaria P.B.
14) Instalación Eléctrica P.B.
15) Acabados P.B.
16) Muros 1°
17) Inst. Hidráulica y Sanitaria 1°
18) Inst. eléctrica 1°
19) Acabados 1°
20) Muros 2°
21) Instalación Hidráulica y Sanitaria 2°
22) Instalación eléctrica 2°
23) Acabados 2°
24) Muros 3°
25) Instalación Hidráulica y Sanitaria 3°
26) Instalación eléctrica 3°
27) Acabados 3°
28) Impermeabilización Azotea.

2) Se debe analizar la secuencia de las actividades, es decir, revisar las precedencias. Que actividades deben estar terminadas para poder empezar la nueva actividad.

ACTIVIDAD	PRECEDENTES
1	0
2	1
3	2
4	3
5	4
6	5
7	6
8	7
9	8
10	9
11	10
12	5,9
13	12
14	12
15	12,13,14
16	7,11
17	16
18	16
19	16,17,18
20	↓
21	↓
22	↓
23	↓
24	
25	
26	
27	
28	

3) Es conveniente después de indicar las precedencias, revisar si no se haya formado un <u>loop</u>, y que todas las actividades estén ligadas, es decir, que no quede ninguna actividad abierta. Para fines de aplicación a computadora no debe haber más que una actividad inicial y una final.

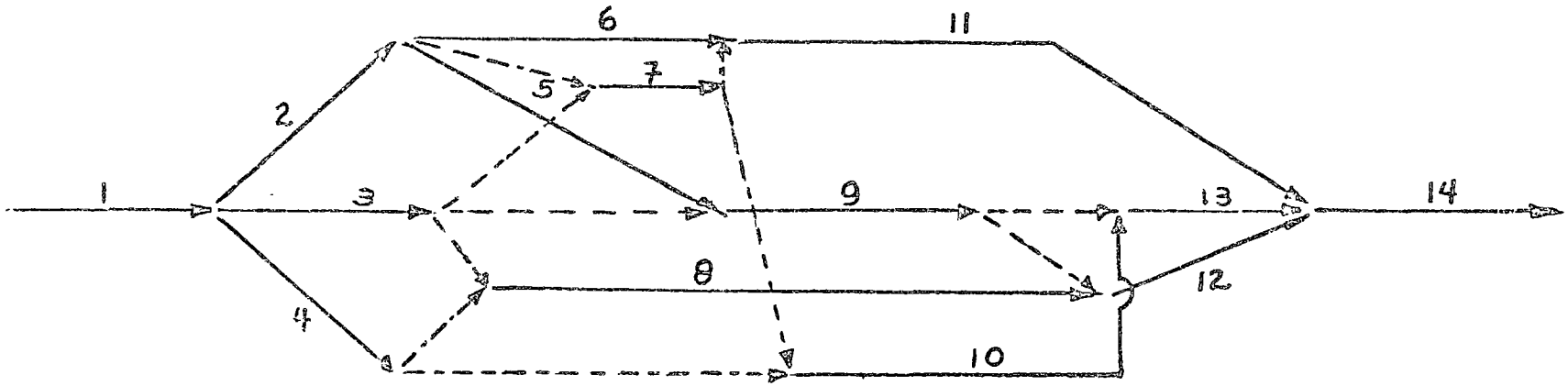
4) Para empezar a dibujar la red de actividades, se recomienda hacerla primero en borrador, y comenzar de Izquierda a Derecha (——————▶)

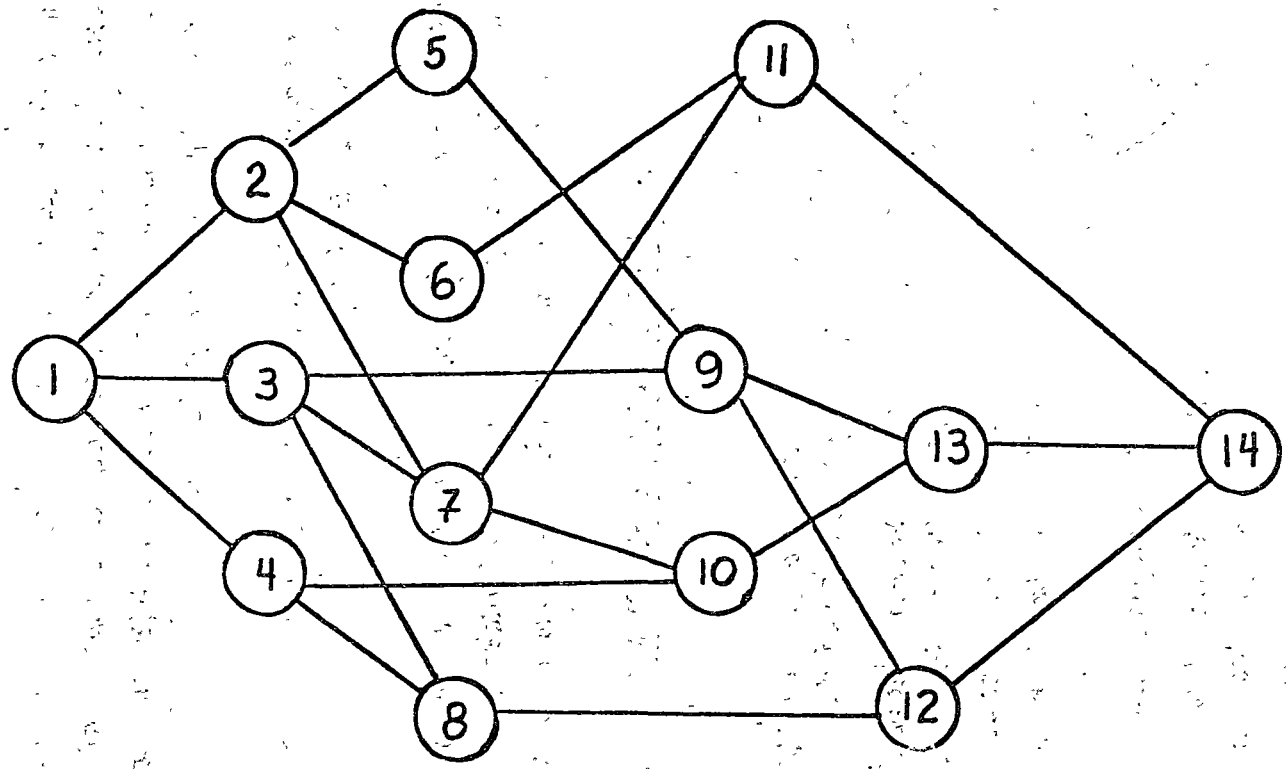
5) Una vez hecha la red de actividades, conviene revisarla con la tabla de secuencias, para checar el trabajo realizado.

6) Pasar en limpio la red de actividades.

- Ejercicio :

ACTIVIDAD No.	ACTIVIDADES PRECEDENTES
1	0
2	1
3	1
4	1
5	2
6	2
7	2.3
8	3.4
9	5.3
10	4.7
11	6.7
12	8.9
13	9.10
14	11,12,13


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14

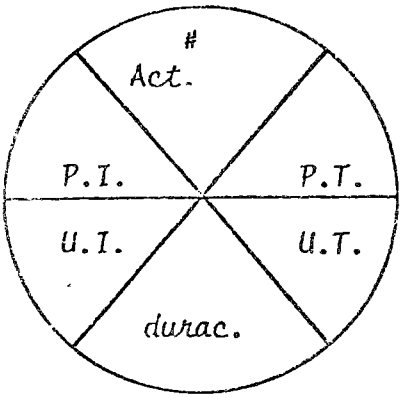
F A S E II

En esta fase de la ruta crítica, se realizan todas las mecanizaciones necesarias, para poder conocer el tiempo total de duración del proyecto, así como la ruta crítica. También en esta fase se calculan las holguras de las actividades.

Como dato adicional a la fase I, es necesario conocer la duración en días de cada actividad.

Para realizar todos los cálculos y tabulaciones necesarias lo haremos considerando un diagrama o red de actividades por nodos, ya que en la fase I, analizamos que era el diagrama más sencillo.

NOMENCLATURA Y DEFINICIONES



Actividad .-Identificación numérica de la actividad.

P.I. - Primera fecha de inicio
U.I. - Ultima fecha de inicio
P.T. - Primera fecha de terminación
U.T. - Ultima fecha de terminación.

H.T. - Holgura total
H.L. - Holgura libre
H.I. - Holgura con interferencia
H.P. - Holgura particular (lag).

Holgura Total $(H.T.)_A$. La holgura total de la actividad A es el tiempo que puede ser pospuesta la terminación de la actividad A, sin que se modifique la fecha de terminación de la obra.

Holgura libre (HL) $_A$.- La holgura libre de la actividad A, es el tiempo que puede ser pospuesta la terminación de la actividad A, sin que se modifique la fecha de inicio de ninguna de las actividades subsecuentes.

Holgura con interferencia (H.I.)$_A$.- La holgura con interferencia de la actividad A, es el lapso de tiempo que puede ser pospuesta la terminación de la actividad A, sin que se modifique la fecha de terminación de la obra, aunque modificando por lo menos el inicio de una de las actividades subsecuentes.

Holgura particular (H.P.)$_{A-B}$.- La holgura particular de las actividades A y B , es el lapso de tiempo que puede ser pospuesta la terminación de la actividad A, sin afectar la fecha de inicio de la actividad B.

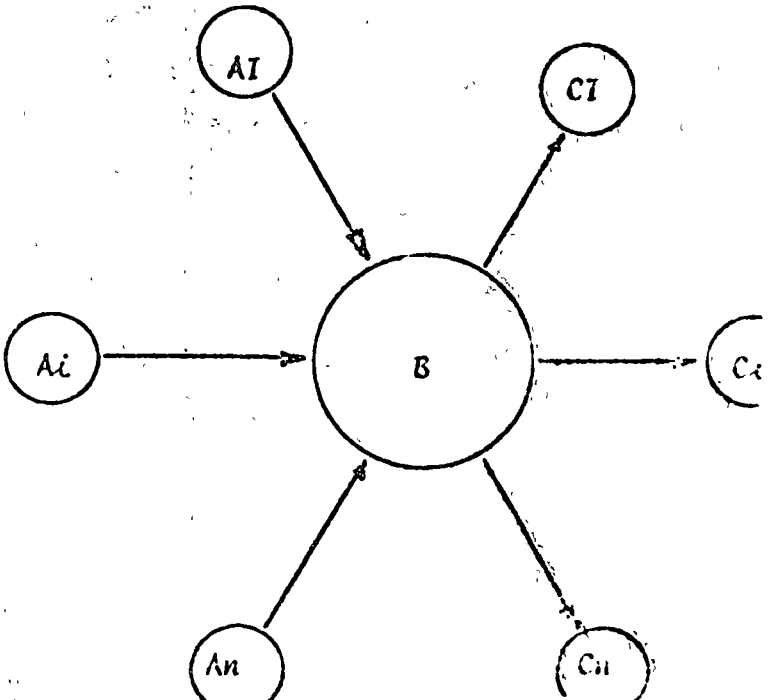
Una actividad crítica, es aquella cuya holgura total es cero.

Ruta crítica, es el conjunto de actividades críticas que determinan la duración de la obra.

FORMULAS :

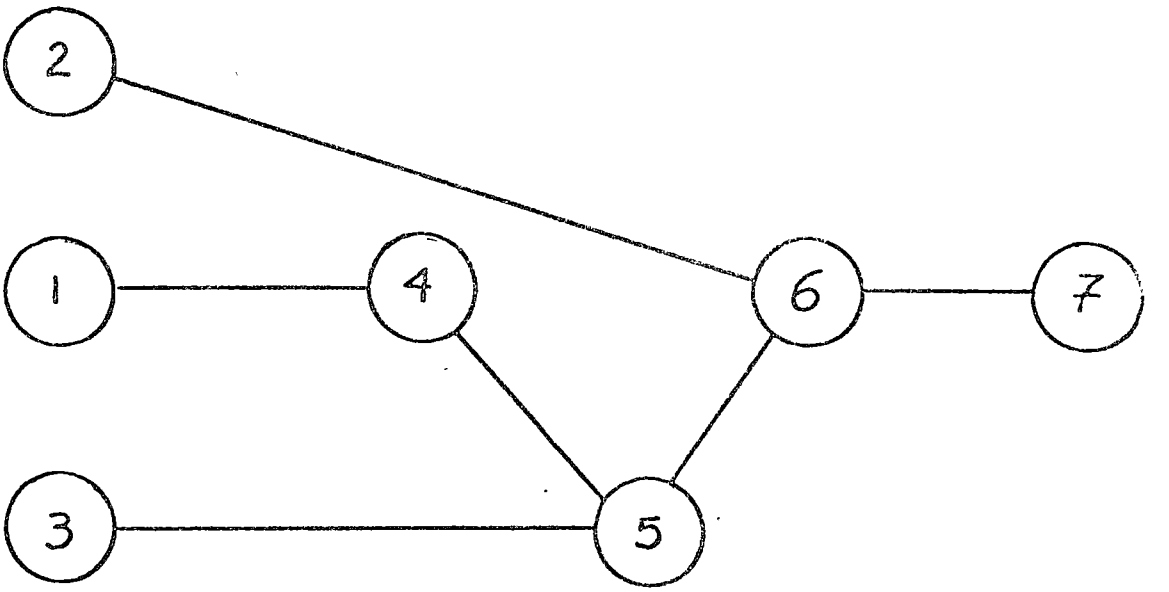
(P.I.) B = Mayor (PT) Ai
(P.T.) B = (P.I.)B + (duración) B
(U.T.) B = (U.T.)B - (duración) B
(U.T.) B = Menor (U.I.) CI
(H.T.) = (H.L.)B + (H.I.)B
= (U.T.)B - (P.T.)
= (U.I.)B - (P.I.)B
(H.P.)B-Ci = (P.I.)Ci-(P.T.)B
(H.L.)B = Menor (H.P.)B-Ci

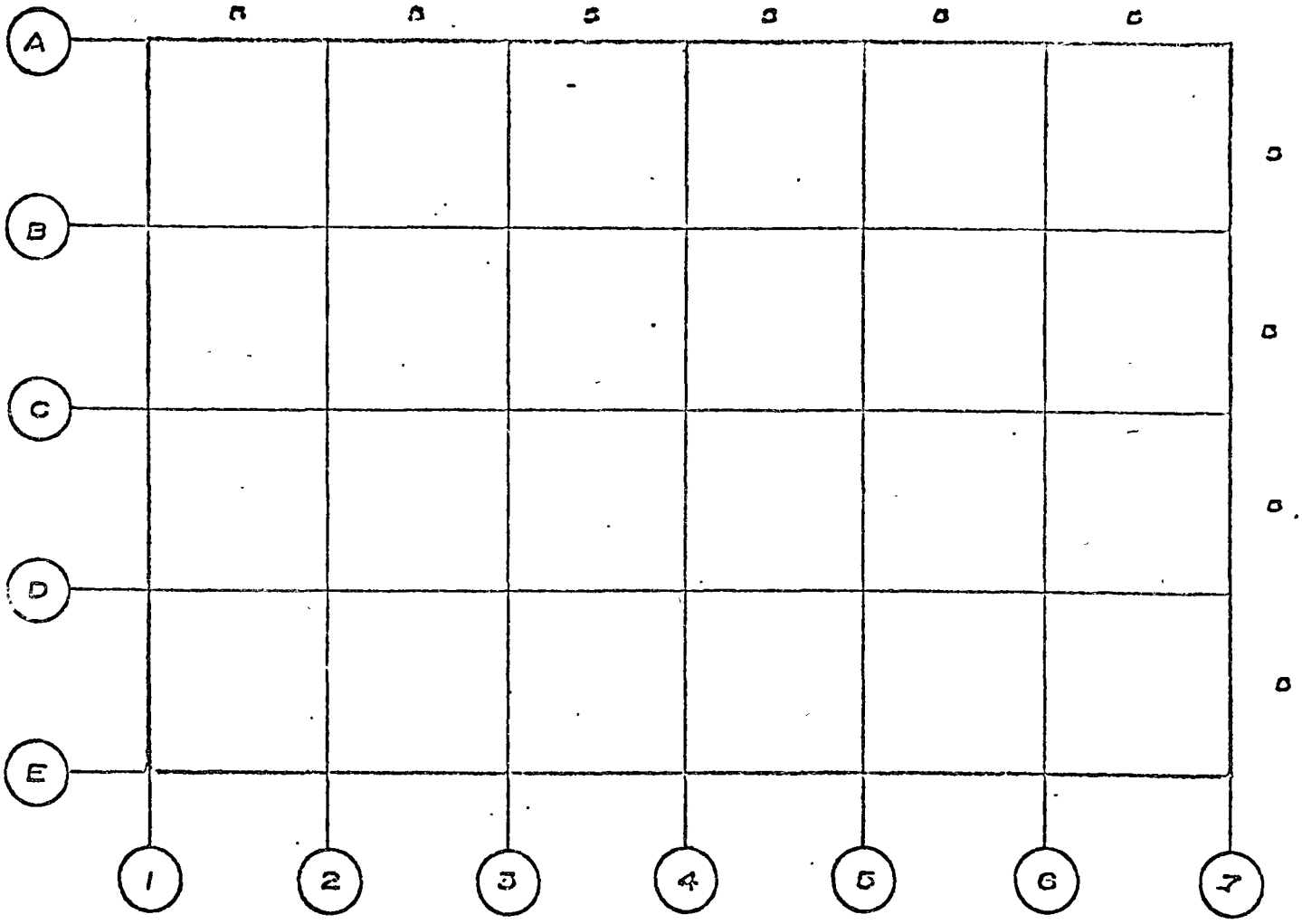
Ejercicios y ejemplos .



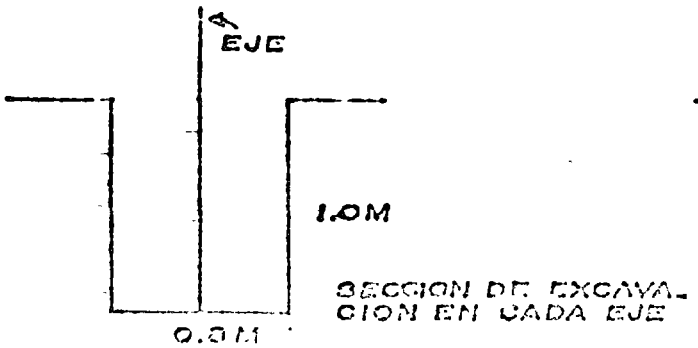
EJERCICIO DE LA FASE II :

	ACTIVIDADES	PRECEDENCIAS
1	Excavación	-
2	Habilitado de cimbra	-
3	Habilitado de fierro	-
4	Plantillas	1
5	Colocación de armado	3,4
6	Colocación de cimbra	2,5
7	Colado de cimentación	6



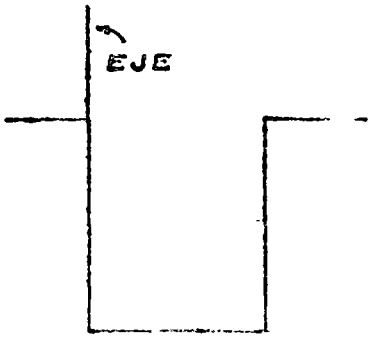


PLANTA DE CIMENTACION



SECCION DE EXCAVACION EN CADA EJE

ZANJAS CENTRALES



ZANJAS COLINDANTES

Actividad 1 : EXCAVACION :

Volúmen : 210 M3.

Rendimiento excavación a mano : 4 M3/día

Considerando 14 peones = 14 peones x 4 m3/día - peón,

+ 4 peones con carretilla.

Duración = $\frac{210\ M3}{56\ m3/día}$ = 2.75 días = 4días

Duración de la excavación = 4 días

Mano de Obra = 18 peones y 2 cabos

Equipo = 14 palas, 14 picos y 4 carretilla

P.U. EXCAVACION : $20.51/m3

Monto total avance excavación a ejecutar ($20.51/m3) (210 -- M3)

= $4,307.00

Como la excavación se hará en cuatro días, el monto del avance diario sera :

$\frac{\$4,307.00}{4\ días}$ = $1,077.00

Actividad 2 : HABILITADO DE CIMBRA :

Cantidad a habilitar : 432 ml.

No. hojas = $\frac{432\ ml}{2.44\ ml}$ = 177 hojas de triplay

Compra : $273.00/hoja x 177 hojas = $48,321.00 x 1.3=62,8[illegible]

Habilitado $12.00/m2 x $527. M2 = $6,324.00

Rendimiento : 15 hojas/día

Consideremos 2 carpinteros y 2 ayudantes

Duración = $\frac{177\ hojas}{30\ hojas/día}$ = 6 días

Costo diario del habilitado : $6,324.00/6 días = $1,054.00/[illegible]

Actividad 3 : HABILITADO DEL FIERRO :

Cantidad por habilitar : 7 toneladas

Compra :$5,500.00/ton x 7 toneladas = $38,500.00 x 1.3 = 50,0[illegible]

Habilitado :$ 600.00/ton x 7 tonedas = $4,200.00

Rendimiento habilitado varilla :

a) 3/8" 375 kg/día (1 fierrero y 2 ayudantes)

b) 1/2" 400 kg/día (1 fierrero y 2 ayudantes)

c) 3/4" 700kg /día (1 fierrero y 2 ayudantes)

Como tenemos :

a) Varilla 3/8 " = 2 toneladas

2 cuadrillas (2 fierreros y 4 ayudantes) = 750Kg/día

Duración (3/8") $= \frac{2000 \text{ kg}}{750 \text{ kg/día}} = 3$ días

b) Varilla 1/2" 3 toneladas

2 cuadrillas (2 fierreros y 4 ayudantes) = 800 kg/día

Duración (1/2") $= \frac{3000 \text{ kg}}{800 \text{ kg/día}} = 4$ días

c) Varilla 3/4" = 1 tonelada

1 cuadrilla (1 fierrero y 2 ayudantes) = 700 kg/día

Duración (3/4") $= \frac{1000 \text{ kg}}{700 \text{ kg./día}} = 2$ días

Consideremos la duración mayor, en este caso es de 4 días. Como habilitaremos toda la varilla en 4 días, veamos cual es nuestro gasto por día :

$\frac{4,200.00}{4 \text{ días}} = \$1,050/\text{día}$

Actividad 4 : COLOCACION PLANTILLAS

Plantillas para colado de trabes.

Cantidad = 210 m2.

Rendimiento = 10m2/día - peón

2 cabos y 10 peones = 100 m2/día

Duración : $\frac{210 \text{m2}}{100 \text{ m2/día}} = 2$ días

P.U. colocación de plantilla $23.63/m2.

Monto colocación plantilla : 210 M2 (23.63/m2) = $4,962.00

Monto del avance por día : $4,962.00/2 días = $ 2,481.00/día

Duración colocación plantilla : 2 días

Mano de Obra : 10 peones y 2 cabos.

Actividad 5 : COLOCACION ARMADO

Cantidad 7 toneladas

P.U. $400.00/tonelada

Monto total por colocación = $400.00 /ton x 7 ton.
= $2,800.00

2 cuadrillas (2 fierreros y 6 ayudantes) 40 ml/día

Duración = $\frac{290 \text{ ml}}{40 \text{ ml/día}}$ = 8 días

Monto por día = $\frac{\$2,800.00}{8 \text{ días}}$ = $350.00

Duración armado = 8 días

Mano de obra = 2 fierreros y 6 ayudantes

Monto/día = $350.00

Actividad 6 : COLOCACION CIMBRA

Cantidad a colocar : 432 ml.

$\frac{432 \text{ ml}}{2.44 \text{ ml/hoja}}$ = 177 hojas

177 hojas x 2.44 m x 1.22 m = 527 m2

P.U. colocado = $18.00/m2

Monto del colocado de cimbra = 527m2x$18/m2= $9,486.00

3 cuadrillas (3 carpinteros y 6 ayudantes)

Duración = $\frac{527 \text{ m2}}{105 \text{ m2/día}}$ = 5 días

Monto de colocación cimbra/día = $9,486.00/5 días
=$1,897/día

Duración = 5días

Mano de Obra = 3 carpinteros y 6 ayudantes

Monto/día = $1,897.00/día

Actividad 7 : COLADO DE CONTRATRABES

Cantidad a colar = 210 m3 de concreto

P.U. colocación = $750.00/m3

Rendimiento = 100 m3/día

Duración = $\frac{210\text{m3}}{100 \text{ m3/día}}$ = 2 días

monto de colocación total : $750.00/m3 x 210M3 = $157,500

Monto de colocación/día = $157,500/2días = $78,750.00/día

Mano de Obra : 25 peones , 4 cabos

Equipo : 3 vibradores, 2 revolvedoras de 2 sacos..

Duración : 2 días
Monto por día = $78.750/día

Una vez obtenidos los recursos procedemos a programar aplicando las reglas de programación, aplicados anteriormente.

Volviendo al ejemplo de la cimentación trazaremos ahora el diagrama de círculos y realizarémos las sumas hacia adelante y hacia atrás para obtener la ruta crítica. Las duraciones de cada actividad en este caso son hipotéticas. Nos referimos a la figura No. 1

Consideremos la actividad Excavación. Como excavación es la actividad inicial de la red, al igual que habilitado de la cimbra y habilitado del fierro :

IC1=0 días, entonces marcamos en el casillero correspondiente "0"

Obtengamos la terminación cercana :

TC1=IC1= Duración 1

TC1 = 0 + 4 = 4

TC1 = 4 días.

Hacemos lo mismo con las actividades Números 2 y 3 respectivamente.

Siguiendo el diagrama hacia la derecha, nos encontramos con la actividad No. 4 como esta actividad depende de la actividad No. 1 para su ejecución entonces

IC4 = TC1

IC4 = 4

TC4 = IC4 + Duración 4

TC4 = 4 + 2 = 6

TC4 = 6

Colocamos estas cantidades sobre los casilleros de la actividad No. 4 con cierta práctica, se pueden ejecutar las sumas sobre los mismos casilleros.

...

DIAGRAMA DE CIRCULO

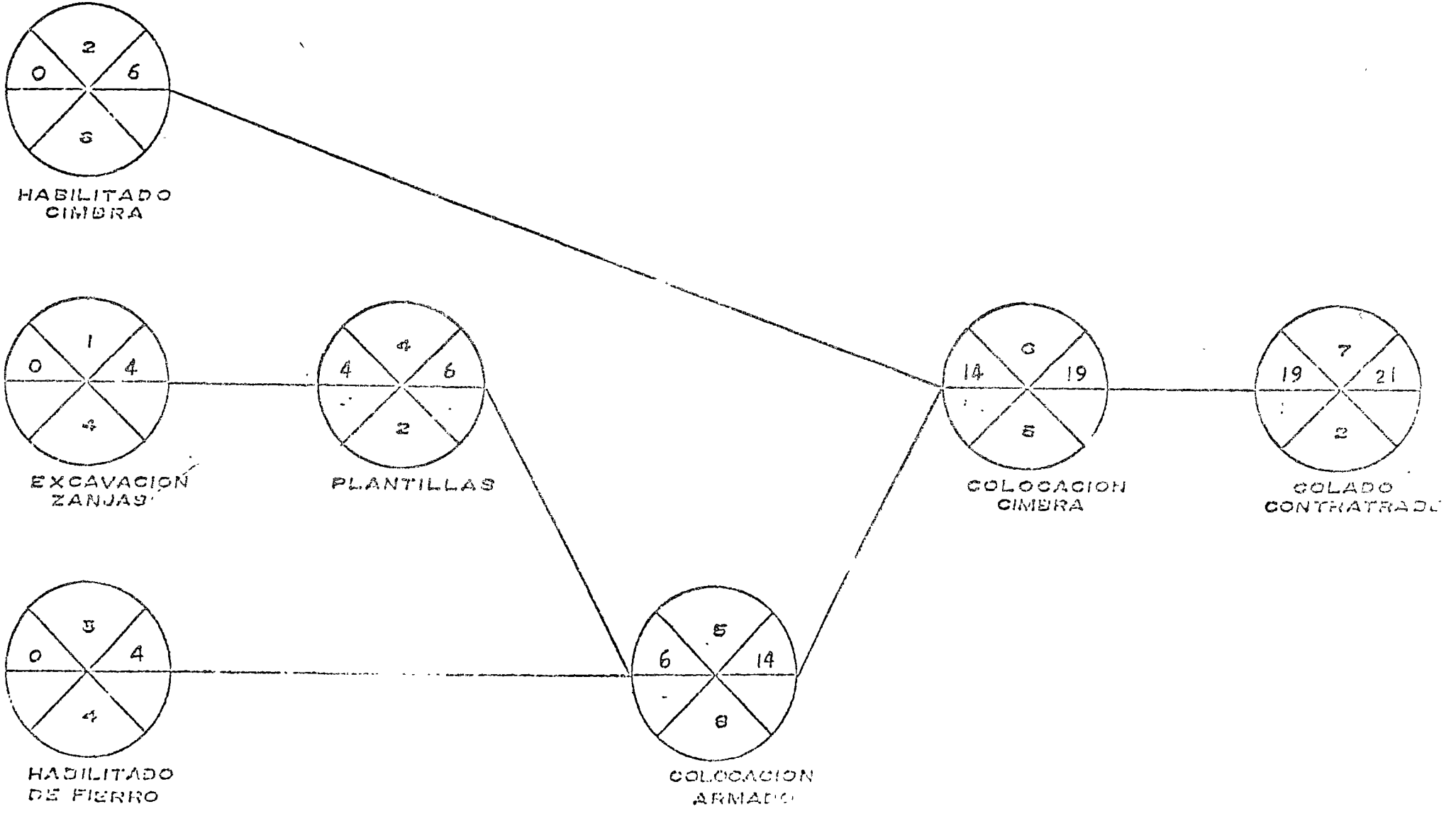


FIGURA No. 1

Estudiaremos ahora la actividad No. 5; del diagrama vemos que la actividad No. 5 depende de las actividades No. 4 y No. 3 respectivamente.

Obtengamos la IC5

IC5 = Mayor de los TC de las actividades 3 y 4

IC5= TC4

IC5=6

TC5=IC5+ Duración 5 = 6+8

TC5 = 14

Así continuemos hasta obtener los elementos IC7 y TC7. Ahora procedamos a obtener las holguras particulares o sea las holguras entre actividades.

Para obtener la holgura particular HP procedemos de la siguiente forma :

$$HP_A = IC_B - TC_A$$

Donde HP_A= holgura particular de la actividad A.

IC_B= Inicio cercano de B

TC_A= Terminación cercana de A

La holgura particular puede ser mayor o igual a cero.

$$HP \geq 0$$

En la figura No. 2 se marca la holgura particular sobre las líneas que unen a las actividades. Cuando la HP > 0, se marca con número sobre la linea que las une y cuando HP=0 se coloca doble raya =uniendo las actividades

...

DIAGRAMA DE CIRCULOS

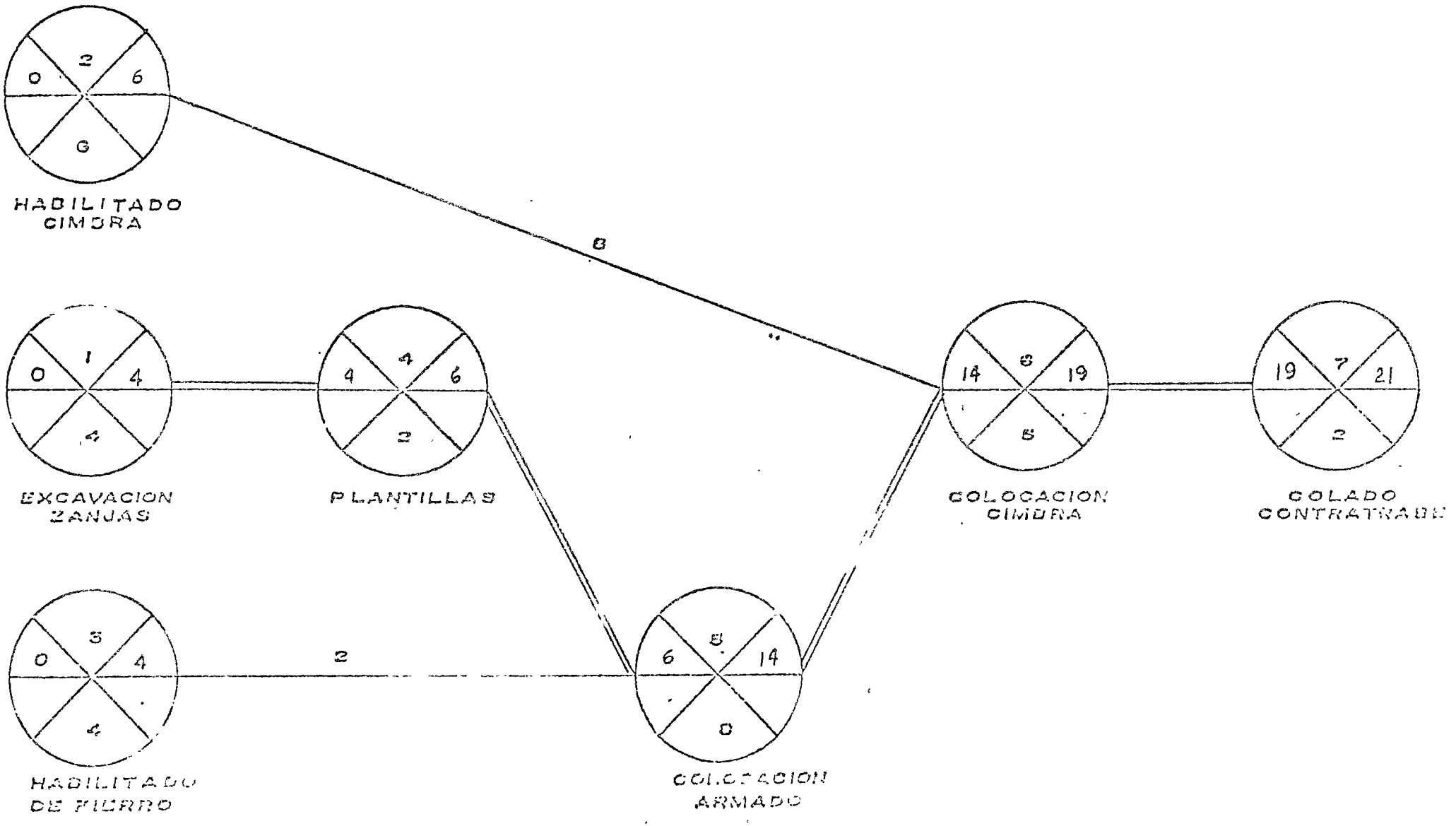


FIGURA No 2

DIAGRAMA DE CIRCULOS
(PRECEDENCIAS)

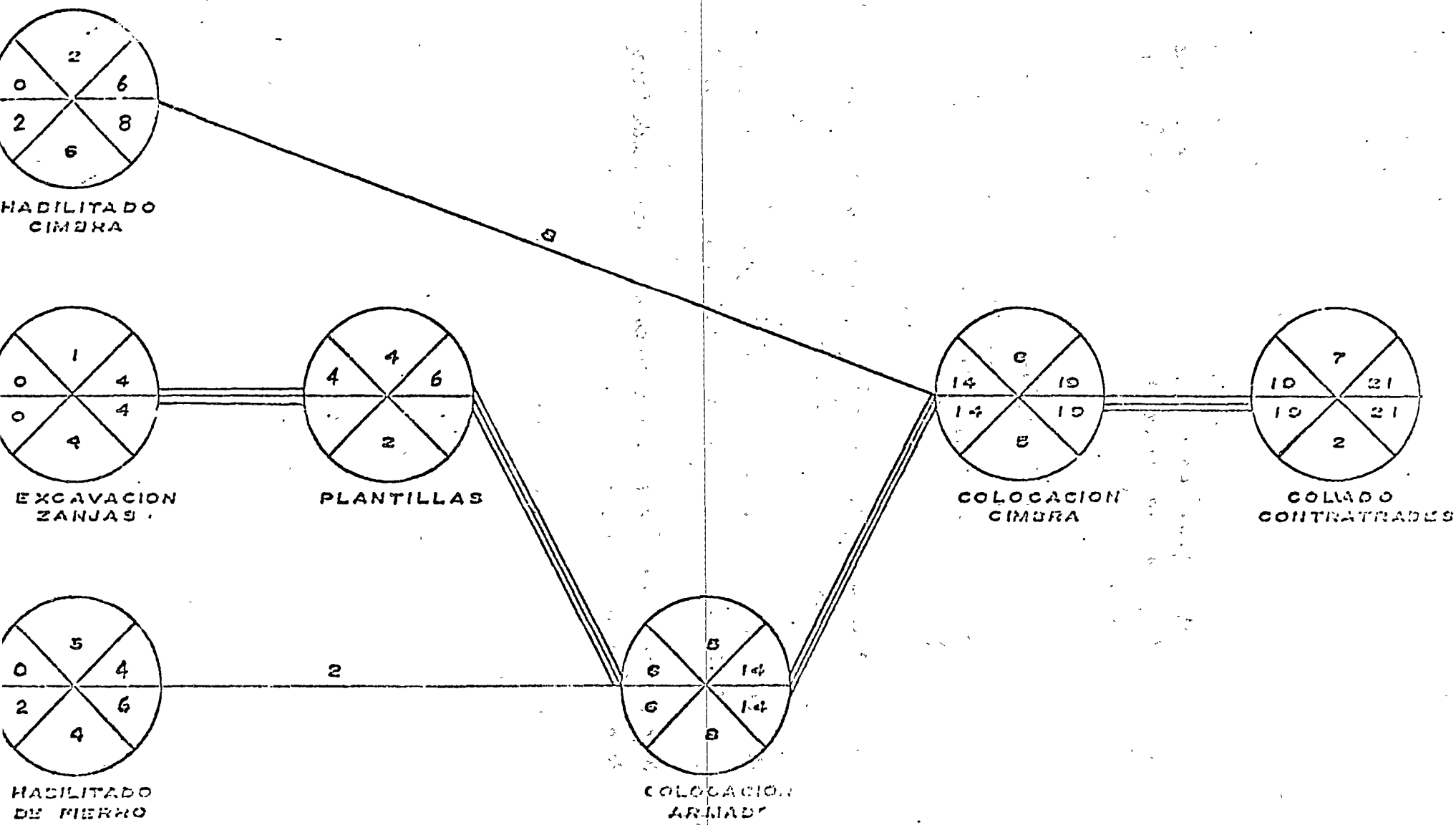


FIGURA No. 4

Como se pudo apreciar con el ejemplo anterior, en la Fase II se hacen los cálculos numéricos. En esta fase es donde conocemos la duración total de la obra, así como las holguras de las actividades.

Con los datos obtenidos en esta fase (duración total y holguras) es conveniente revisar la programación de la obra, para balancear los recursos (materiales, Mano de obra, equipo, financiamiento, etc.)

Para poder balancear los recursos, es necesario hacer programas colaterales de los recursos a emplear.

Para control de obra y para realizar los programas colaterales, es conveniente pasar la ruta crítica a programa de barras.

Para control visual de avances y atrasos, se recomienda hacerlo en un programa de barras.

Analicemos los programas de obra y colaterales en barras del ejemplo anterior.

DIAGRAMA DE BARRAS

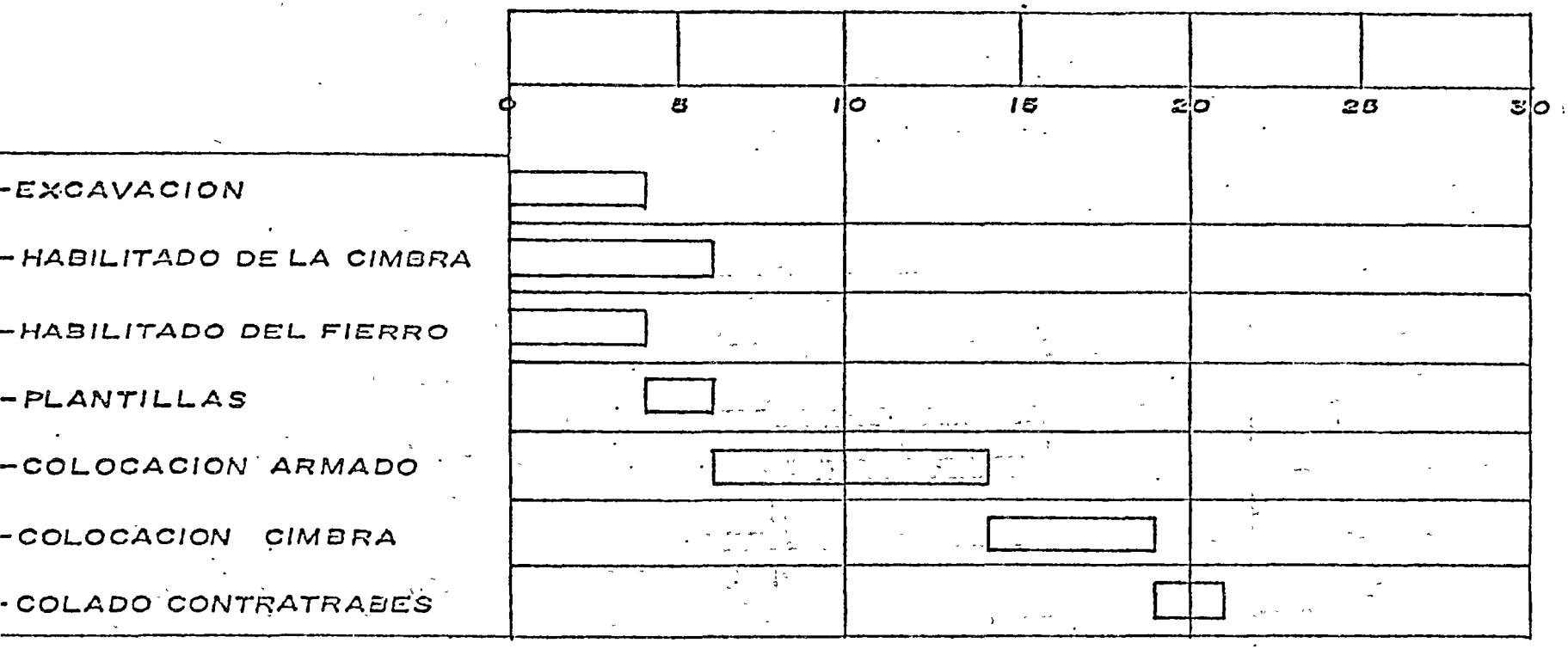


FIGURA No 3

OBSERVACIONES :

DIAGRAMA DE BARRAS

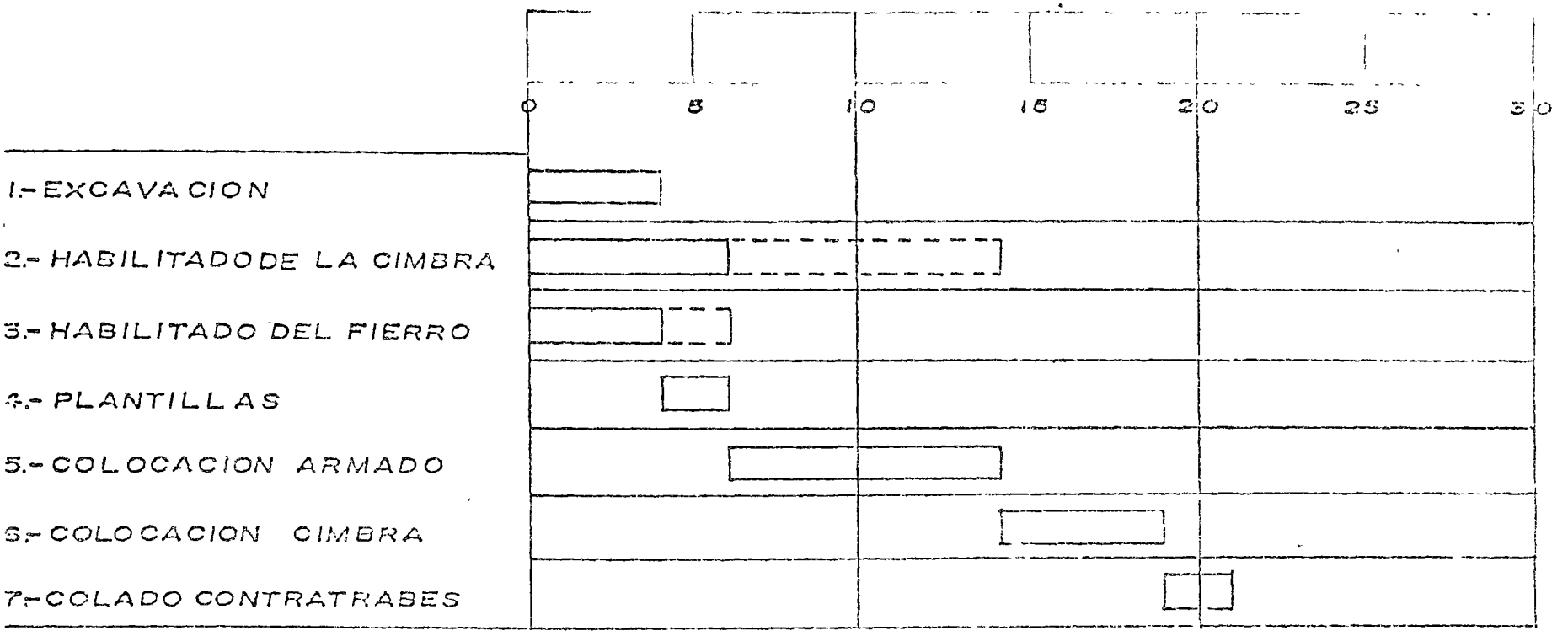


FIGURA No. 5

PROGRAMA DE MATERIALES

CONCEPTO	UNIDAD	SEPTIEMBRE							OCTUBRE																
		20	23	24	25	26	27	30	1	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	17	18	21	22	23
		-1	0	1	2	3	4	6	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
HOJAS DE TRIPLAY DE 1.22 x 2.44 DE 5/8" DE ESPESOR	PZAS.	177																							
ACERO DE REFUERZO DE																									
Ø 3/8"	TON.	2																							
Ø 1/2"	TON	3																							
Ø 3/4"	TON	1																							
ALAMBRON Ø 1/4"	TON	1																							
CEMENTO	TON.																	93							
ARENA	M^3																	115							

OBSERVACIONES :

FIGURA Nº 6

PROGRAMA DE EQUIPO

DESCRIPCION DE LA MAQUINA					TIEMPO DE UTILIZACION
NUMERO ECONOMICO	FECHAS DE INICIACION DE LA UTILIZACION EN OBRA	FECHAS DE TERMINACION DE LA UTILIZACION EN OBRA	MAQUINA EXISTENTE O POR UTILIZAR	CAPACIDAD	SEPT. 1 — OCTUBRE (24 25 26 27 30 1 2 3 4 7 8 9 10 11 14 15 16 17 18 21 22)
					1 — 6 — 10 — 15 — 20
	7 OCTUBRE '74	8 OCTUBRE '74	REVOLVEDORA	2 SACOS	
	7 OCTUBRE '74	8 OCTUBRE '74	REVOLVEDORA	2 SACOS	

OBSERVACIONES :

PROGRAMA DE PERSONAL DE OBRA

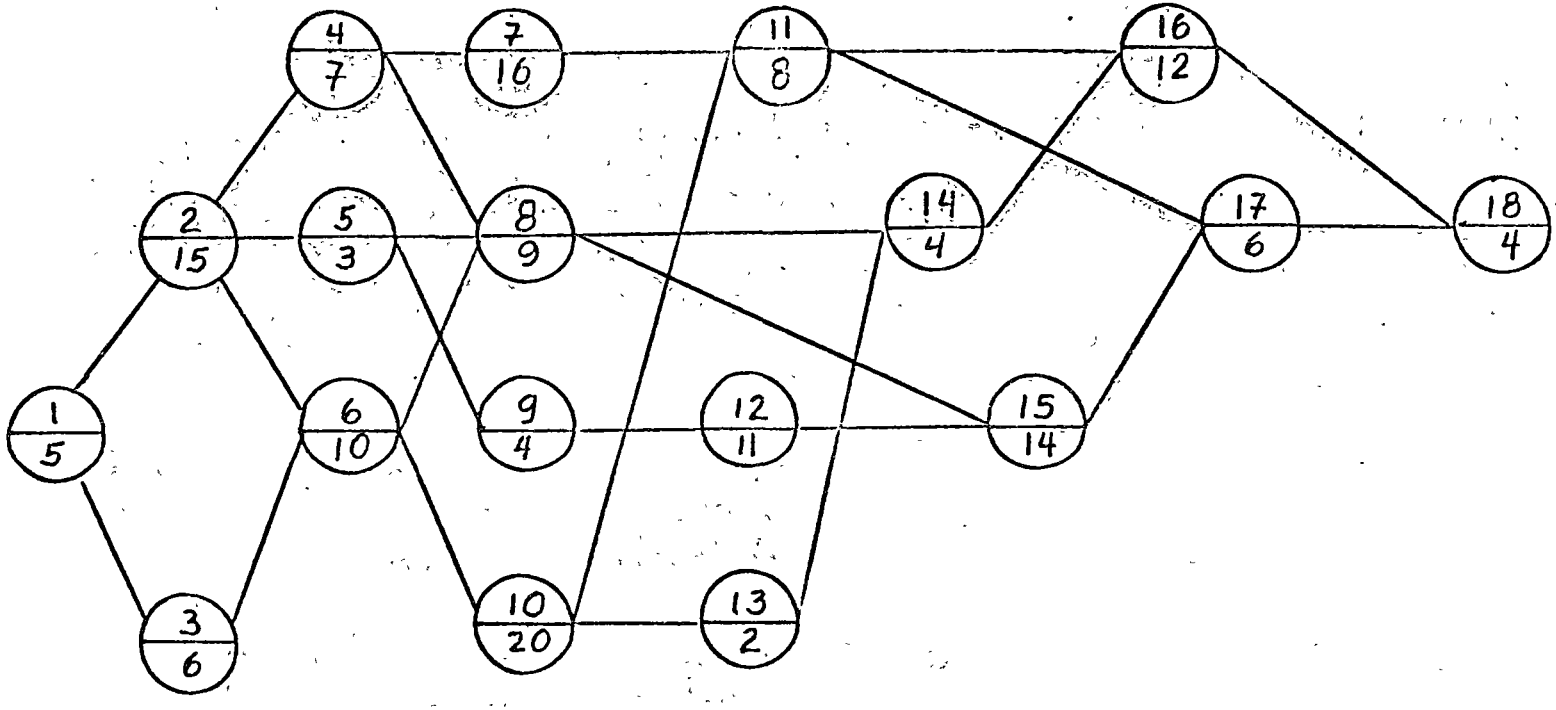
	SEPTIEMBRE					OCTUBRE															
	24	25	26	27	30	1	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	17	18	21	22
CATEGORIAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1.- CARPINTERO (OFICIAL)	2	2	2	2	2	2									3	3	3	3	3		
2.- CARPINTERO (AYUD.)	2	2	2	2	2	2									6	6	6	6	6		
3.- FIERRERO (OFICIAL)	5	5	4	2			2	2	2	2	2	2	2	2							
4.- FIERRERO (AYUD)	10	10	8	4			6	6	6	6	6	6	6	6							
5.- CABO	2	2	2	2	2	2														4	4
6.- PEON	18	18	18	18	10	10														25	25
TOTAL HOMBRES	39	39	36	30	16	16	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	29	29

FIGURA N° 8

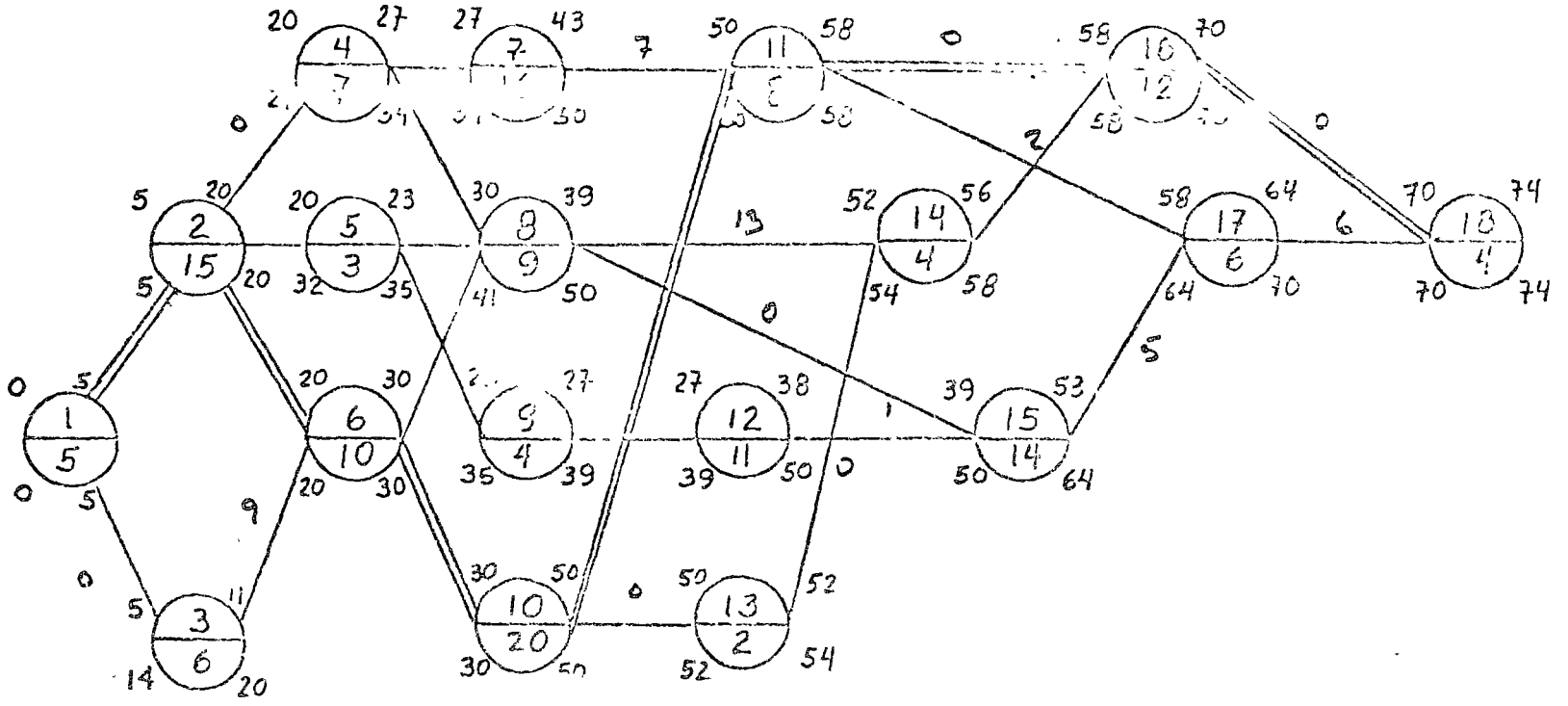
PROGRAMA DE AVANCE

	SEPTIEMBRE					OCTUBRE														
	24	25	26	27	30	1	2	3	4	7	8	9	10	11	14	15	16	17	18	21	22
ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1.- EXCAVACION	1077	1077	1077	1077																	
2.-HABIL.DE CIMBRA	62317 1054	1054	1054	1054	1054	1054															
3.-HABIL.DE FIERRO	50,000 1050	1050	1050	1050																	
4.-PLANTILLAS					1251	1251															
5.-COLOC ARMADO							350	350	350	350	350	350	350	350							
6.-COLOC.CIMBRA															1897	1897	1897	1897	1898		
7.- COLADO CONTRATRABES																				78750	78750
AVANCE DIARIO	116043	3181	3181	3181	2305	2305	350	350	350	350	350	350	350	350	1897	1897	1897	1897	1898	78750	78750
AVANCE SEMANAL	125 591				9 660					1 750					9 486					157 500	
AVANCE ACUM.	125 591				135 251					137 001					146 487					303 987	

OBSERVACIONES.



¿ Cuál es la duración total del proyecto ?
¿ Cuál es la terminación más próxima de la actividad 12 ?
¿ Cuál es la terminación más tardía de la actividad 9 ?
¿ Cuál es la holgura total de la actividad 8 ?
¿ Cuál es la holgura con interferencia de la actividad 15?
¿ Cuál es la holgura libre de la actividad 7 ?
¿ Cuál es la duración del proyecto si la actividad 13 requiere 5 días más ?

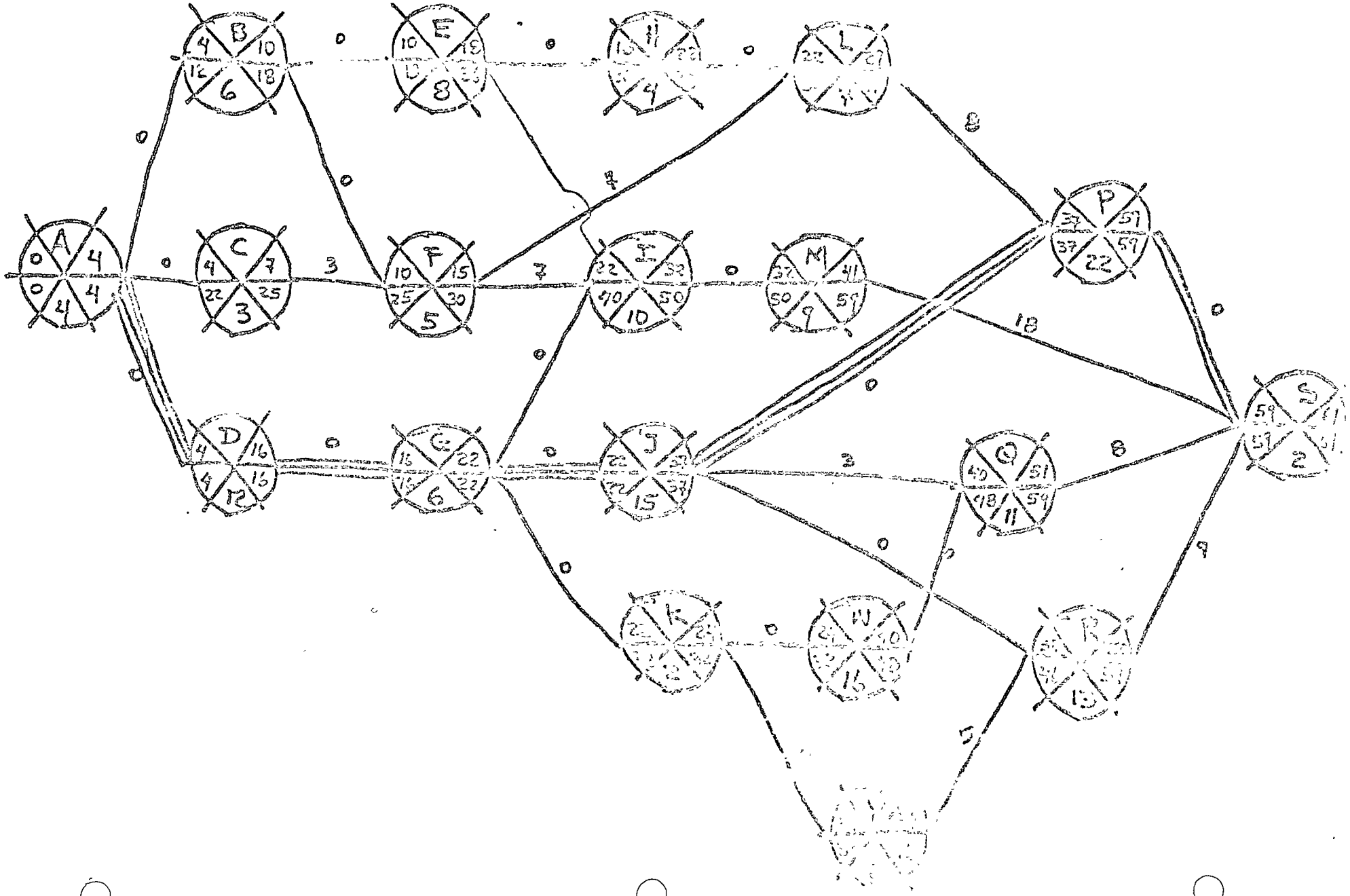


¿ Cuál es la duración total del proyecto ?	74
¿ Cuál es la terminación más próxima de la actividad 12 ?	38
¿ Cuál es la terminación más tardía de la actividad 9 ?	Fin del 39 día
¿ Cuál es la holgura total de la actividad 3 ?	11 días
¿ Cuál es la holgura con interferencia de la actividad 15?	6 días
¿ Cuál es la holgura libre de la actividad 7 ?	7 días
¿ Cuál es la duración del proyecto si la actividad 13 requiere 5 días más ?	77 días.

EJERCICIO COMPLETO DE FASE I Y FASE II : Hacer el diagrama por el sistema de nodos , calcular la ruta crítica así como todas las holguras .

DURACION (DIAS)	ACTIVIDAD	PRECEDENTES
4	A	-
6	B	A
3	C	A
12	D	A
8	E	B
5	F	B,C
6	G	D
4	H	E
10	I	E,F,G.
15	J	G
2	K	G
7	L	H.F
9	M	I
16	N	K
8	Ø	K
22	P	L,J
11	Q	J,N
13	R	J,Ø
2	S	P,M,Q,R

¿Cuál sería la duración del proyecto, si la duración de la actividad la reducimos un 50 % ?

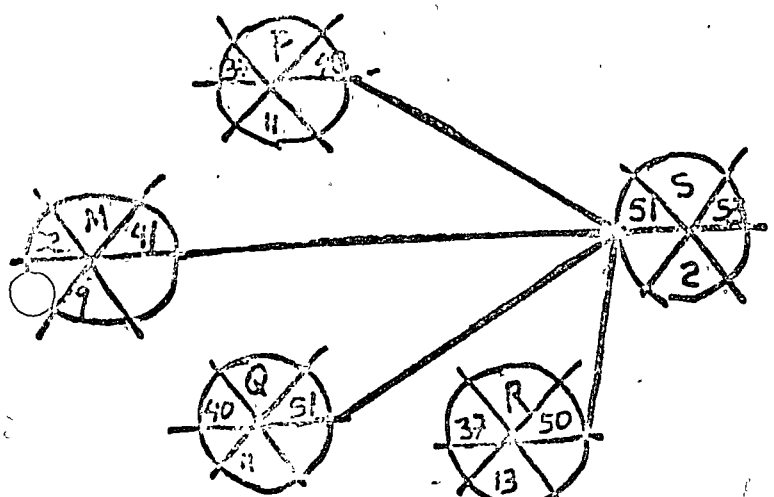

A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
L
M
P
Q
R
S

Duración total del proyecto 61 días

HT=HL+ H.I

ACTIVIDADES	H.T.	H.L	H.J	H.P.
A	0	0	0	
B	8	0	8	
C	18	3	15	
D	0	0	0	
E	8	0	8	
F	15	7	8	
G	0	0	0	
H	8	0	8	
I	18	0	18	
J	0	0	0	
K	8	0	8	
L	8	8	0	
M	18	18	0	
N	8	0	8	
Ø	14	5	9	
P	0	0	0	
Q	18	8	10	
R	9	9	0	
S	0	0	0	

Si la actividad P la reducimos 50 % (de 22 días 11 días)



53 días de duración de proyecto

Una vez obtenida la ruta crítica, es útil pasarla a Diagrama de Barras, por las siguientes razones :

1) Poder entregar a nivel Frente de obra, sus programas de barras necesarios.

2) Poder mostrar dentro del control de programa , el estado de la obra en una forma visual.

3) Poder realizar o hacer los programas colaterales necesarios para llevar a cabo la obra.

a) Programa avance valorizado
b) Programa de materiales
c) Programa de equipo
d) Programa de personal
e) Programa de personal técnico
f) Programa financiero

1) Programas de Barras a nivel Frente de obra :

Como es sabido, la mayoría de los Ingenieros y maestros de obra se guian por la programación de barras. Es necesario considerar que la información obtenida en la ruta crítica sea pasada en forma correcta a la obra.

Para revisar los trabajos de la obra semanalmente o quincenalmente, es útil ponerlos en barras; indicandoles las fechas de inicio y de terminación.

2) Control de programa en forma visual

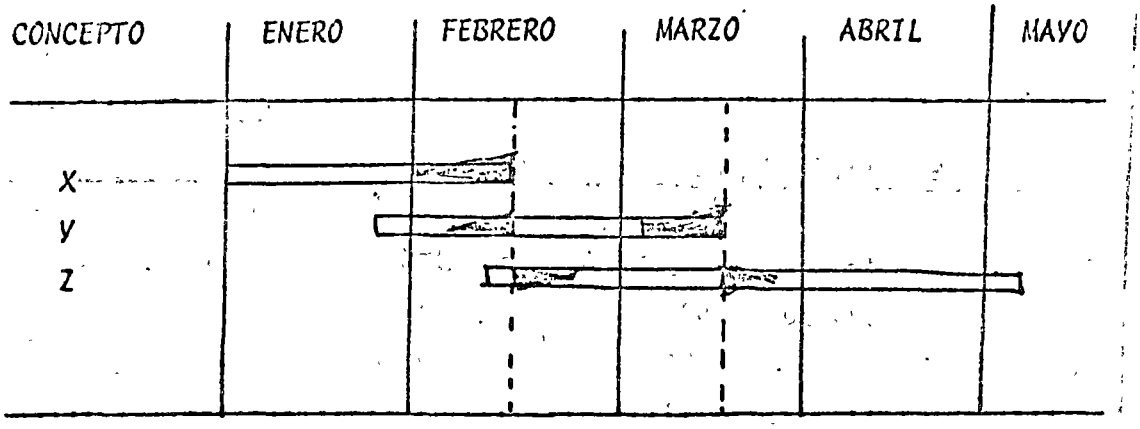


Fig. 1

En la figura 1, se muestra tanto un diagrama de barras basado en una ruta crítica, como un control de avance de programa.

3) Programas Colaterales :

Es de suma importancia ver y analizar que recursos son necesarios para poder cumplir con un programa.

Cuantas obras no se retrasan por la escases de materiales ó por el mal suministro de estos . Así mismo en cuantas obras a escaseado la mano de obra y no han salido los proyectos a tiempo.

Un programa de materiales debe hacerse para toda la obra, y éste debe actualizarse cada mes.

La forma de hacer un programa de materiales, es similar a un programa de barras :

MATERIALES	MARZO 1a.	2a.	3a.	4a.	ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO	TOTALES
Triplay (Pza.)	100	200	100				100					500 Pza.
Barrote (Pza.)	500	1000	500				500					2500 Pza.
Varilla 3/8"	40	20	30		20	10	20	10	20	10		180 Ton.
Varilla 1"	60	20	20		30	10	30	10	30	10		220 Ton.

Como recomendación; se sugiere que aparte del programa de materiales para toda la obra, y su revisión mensual se soliciten o pidan los materiales a través de un pedido o de una requisición de compra.

Programa colateral de equipo : Al hacer un programa de equipo se deben considerar los tiempos de traslado del equipo de origen a su destino.

EQUIPO	MARZO 1a.	2a.	3a.	4a.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
Draga 3/4"	———							
Traxcavo	———	———						
Vibrador (s)			———	———	———	———	———	

Se puede enlistar el equipo por unidad o se pueden formar paquetes de equipo.

El programa colateral de Mano de Obra y Personal Técnico es similar al de materiales y equipo que ya analizamos.

- Programa Financiero : Para poder tener un programa financiero de una obra, es necesario tener un programa con avances valorizados de la misma.

Datos necesarios para hacer un programa financiero:

1) Avance valorizado de la obra
2) Conocer el % de operación de la obra para transformar el avance en costo de obra.
3) Conocer el flujo de estimaciones del cliente, cada cuando se hacen.
4) Conocer como paga las estimaciones el cliente.
5) Conocer si hay anticipos, o entrega de materiales el cliente, así como conocer como se va a amortizar el anticipo y los materiales entregados.

Ejemplo :

Supongamos una obra de 13 millones de pesos que se piensa realizar en 8 meses. El cliente da el 25 % de anticipo amortizable en cada estimación, no dará materiales, y la utilidad esperada es del 10 %. El cliente es gobierno y cobra a la hora de pagar los impuestos (3%) asímismo retiene un fondo de garantía de 5 % el cual lo entrega en un 95% a los 30 días del acta de entrega y el 5 % restante a un año. Hace una estimación mensual y la paga al mes siguiente .

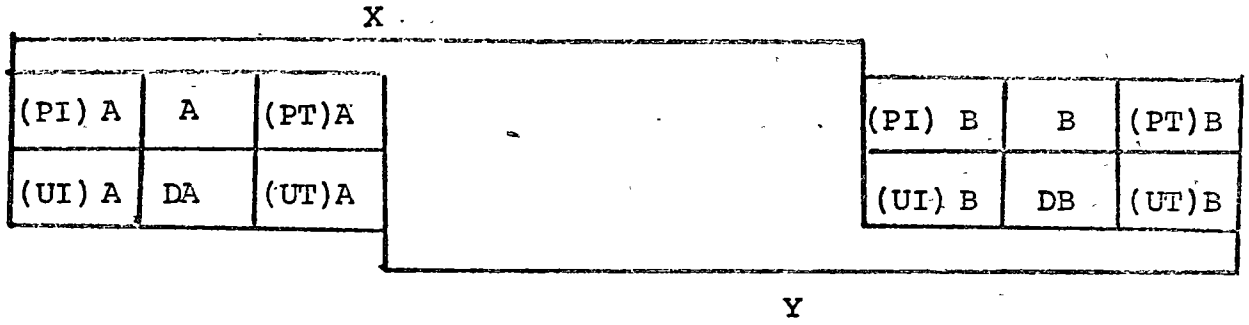
cifras en Millones

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Avance	1	1	1.5	1.5	2.5	2.5	2	1				
A. Acum	1	2	3.5	5.0	7.5	10	12	13				
Costo 90% A	0.9	0.9	1.35	1.35	2.25	2.25	1.8	0.9				
Costo Acum.	0.9	1.8	3.15	4.50	6.75	9.0	10.8	11.70				
Estimación 90% A.	0.9	0.9	1.35	1.35	2.25	2.25	1.8	0.9	0.3	0.5	0.5	
Estim. Acum.	0.9	1.8	3.15	4.50	6.75	9.0	10.8	11.70	12.0	12.5	13.0	
Ing.	[illegible]											
Ingreso	3.152	0.603	0.603	0.904	0.904	1.507	1.507	1.206	0.603	0.201	0.335	0.335
Ing Acum.	3.152	3,755	4,358	5,262	6,166	7,673	9,180	10,386	10,989	11,190	11,525	11,860
Ingreso	3.152	0.603	0.603	0.904	0.904	1.507	1.507	1.206	0.603	0.201	0.335	0.335
Costo	0.9	0.9	1.35	1.35	2.25	2.25	1.8	0.9				
Ingreso Neto												
Financiamiento	+2.252	(.303)	(.747)	(.401)	(1.346)	(.743)	(.307)	.306	.603	.201	.335	.335
Fin. Acum.	+2.252	1.949	1.202	0.801	(.545)	(1.288)	(1.595)	(1.289)	(.686)	(.485)	(.150)	.185

25% - 13 A. = 3.25%

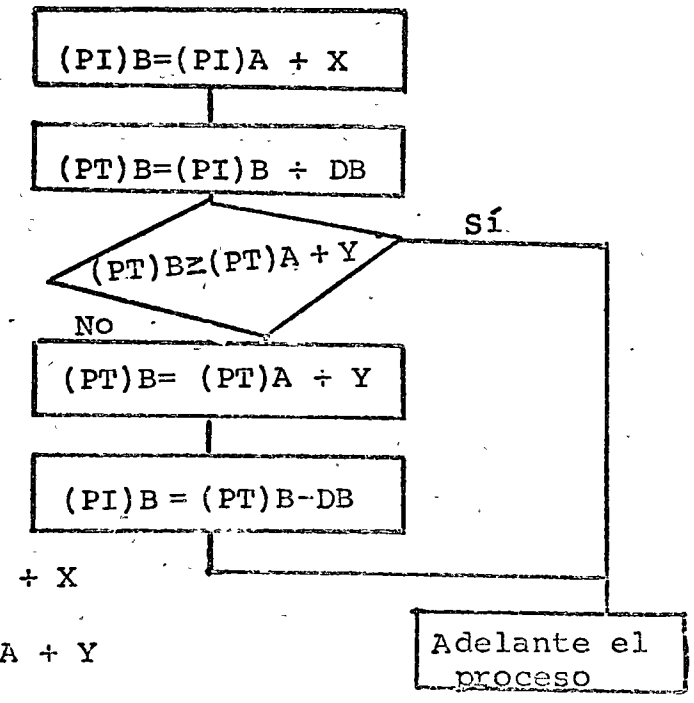
Est
- 25% A. Ant
- 5% F. L. S
- 3% Imp.
- 33% Fa[illegible]

RELACION PRINCIPIO-PRINCIPIO, FIN-FIN



Nomenclatura

(P I) A	Primera fecha inicio actividad A
(P T) A	Primera fecha terminación actividad A
A	Actividad A
DA	Duración actividad A
(U I) A	Ultima fecha inico actividad A
(U T) A	Ultima fecha terminación actividad A
(P I) B	Primera fecha inicio actividad B
B	Actividad B
(U I) B	Ultima fecha inicio actividad B
(U T) B	Ultima fecha terminación actividad B



Significado

B no puede empezar antes que $(PI)A + X \therefore (PI)B \geq (PI)A + X$

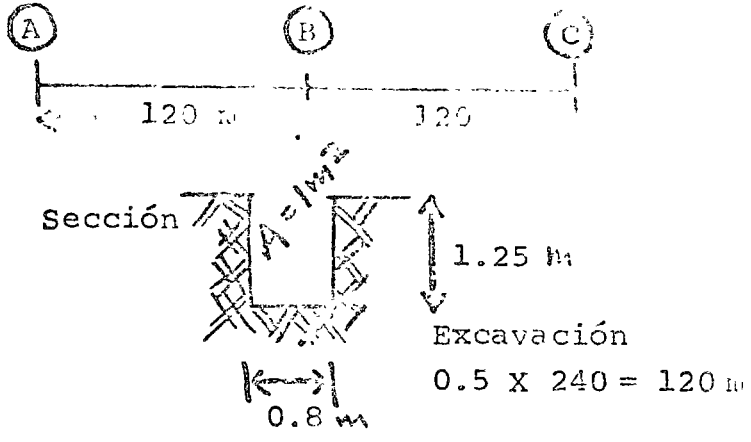
B no puede terminar antes que $(PT)A + Y \therefore (PT)B \geq (PT)A + Y$

EJEMPLO:

EXCAVACION Y TENDIDO DE TUBERIA:

ASIGNACION DE RECURSOS

TIEMPOS DE CADA ACTIVIDAD



ACTS.

1 y 3 <u>Excavación por tramo de 120 m</u>
(A-B o B-C)

RECURSO: 1 oficial + 4 peones = 1 cuadrilla

4 peon X $5m^3$/día X peón = 20 m^3/día

120 m^3/20 m^3/día = 6 días

4 y 5 <u>Colocación tubería por tramo de 120 m</u>
(A-B ó B-C)

RECURSO: 1 oficial + 1 peón = 1 pareja

120 ml/40ml/día = 3 días

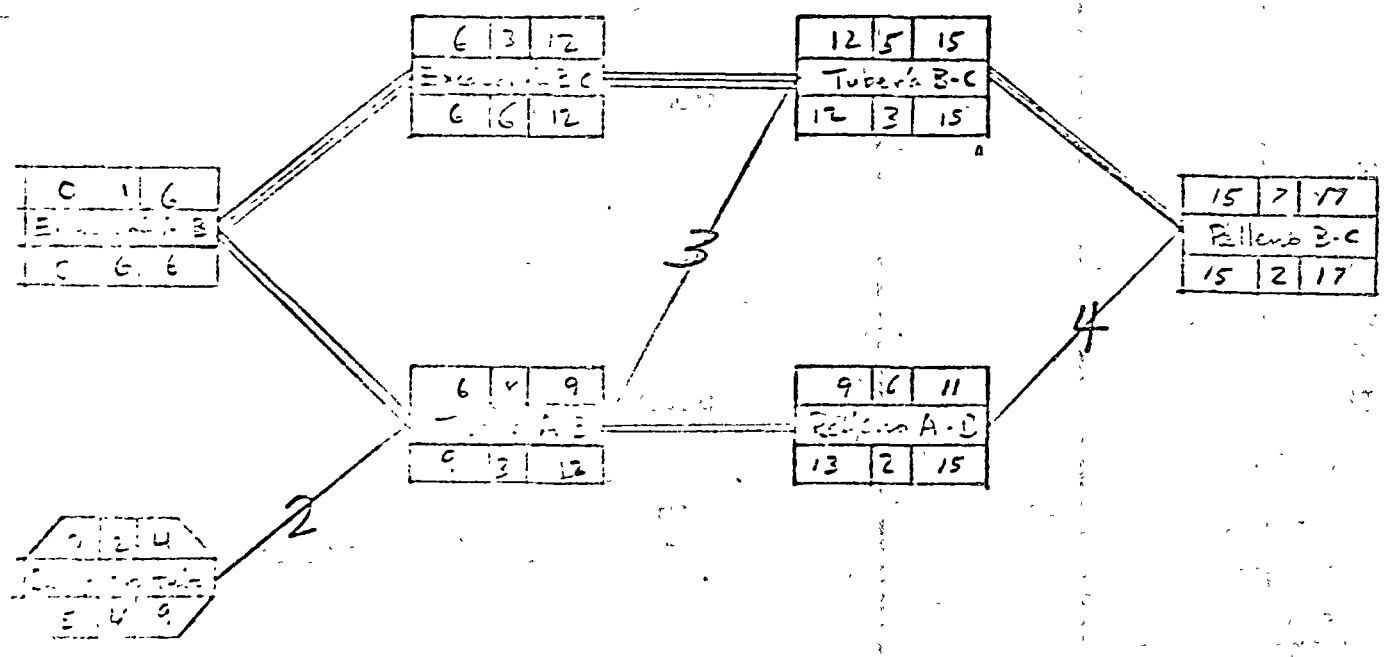
6 y 7 <u>Relleno por tramo de 120 m</u>

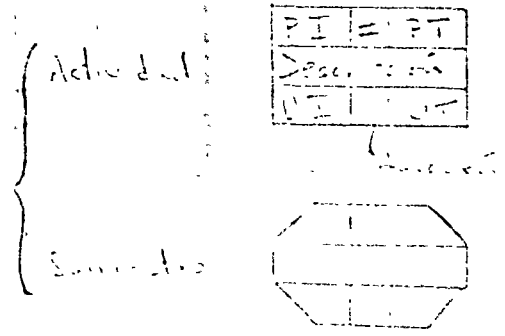
RECURSO: 1 oficial + 4 peones = cuadrilla

4 peon X 15 m^3/día X peón = 60 m^3/día

120 m^3/60 m^3/día = 2 días

DIAGRAMA DE SECUENCIA DE ACTIVIDADES





PROGRAMA DE PERSONAL

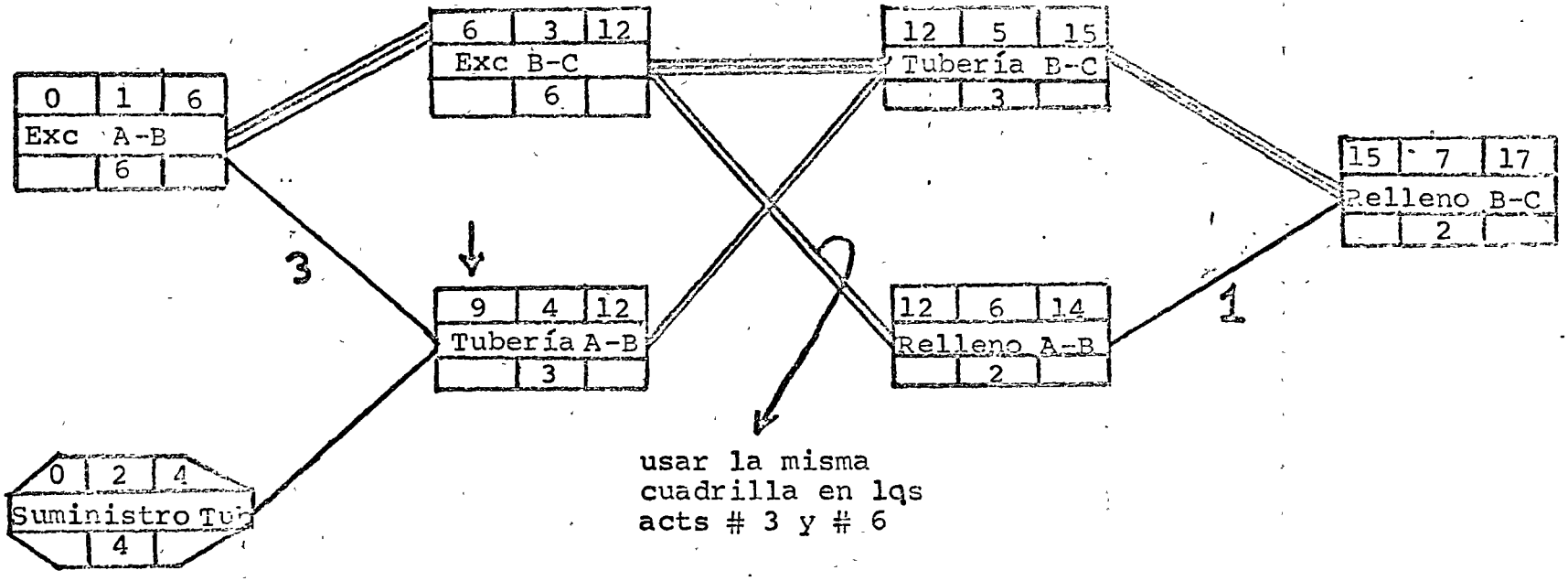
CLAVE			Días habiles	5	10	15
1	Excavación	A-B	Peón of.	4 4 4 4 4 4 1 1 1 1 1 1 x x x x x x		
3	Excavación	B-C	Peón of.		4 4 4 4 4 4 1 1 1 1 1 1 x x x x x x	
4	Tubería	A-B	Peón of.		1 1 1 1 1 1 x x x	
5	Tubería	B-C	Peón of			1 1 1 1 1 1 x x x
6	Relleno	A-B	Peón of.		4 4 1 1 x x	
7	Relleno	B-C	Peón of.			4 4 1 1 x x
	TOTALES		Peón of.	4 4 4 4 4 4 5 5 5 8 8 4 1 1 1 4 4 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1		

xxx Programa definitivo

Nuevo Programa: a) Darle continuidad a la cuadrilla de tubos. posponer el inicio de act. # 4 tres días

b) Posponer 3 días el inico de la act. # 6 para usar en relleno la misa cuadrilla que la usada en excavación.

NUEVO PROGRAMA



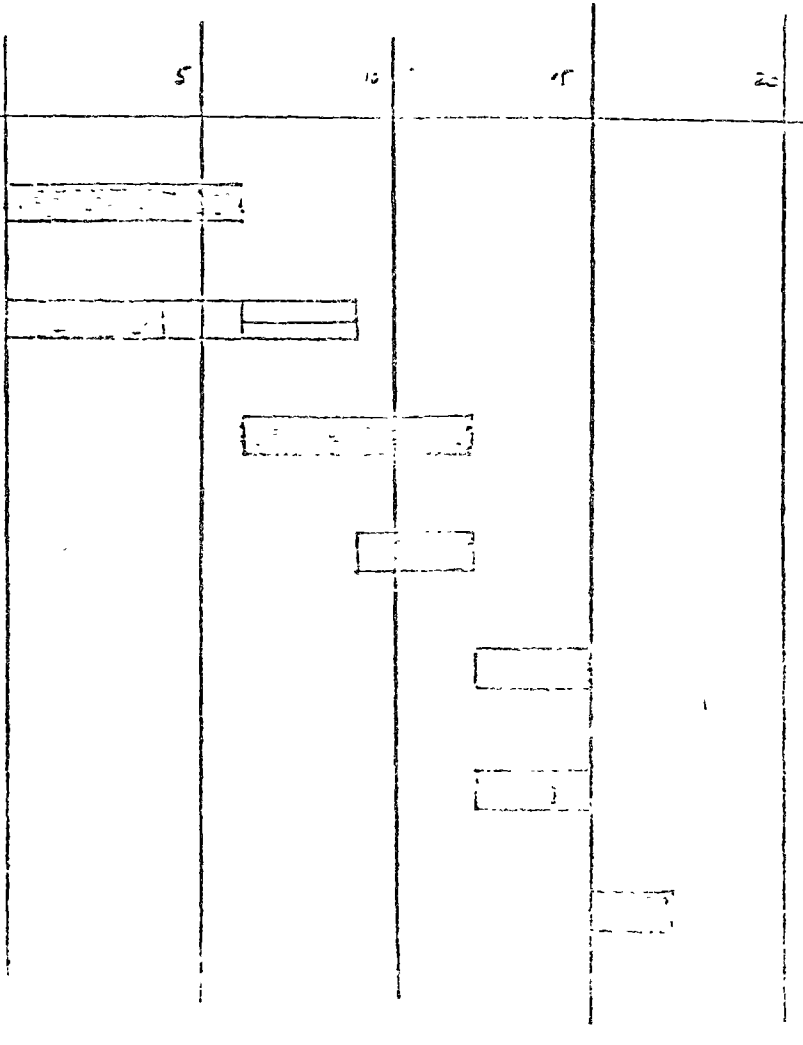
Si hubiera problemas en conseguir a la pareja de colocación de tubo un viernes + una semana, se podría contratar a esa pareja por una semana trabajando 2 horas extras. (Con el mismo rendimiento bastarían 4 días, pero como el rendimiento del tiempo extra es menos, se necesitará el tiempo extra toda la semana).

PROGRAMA DE OBRA

FECHA

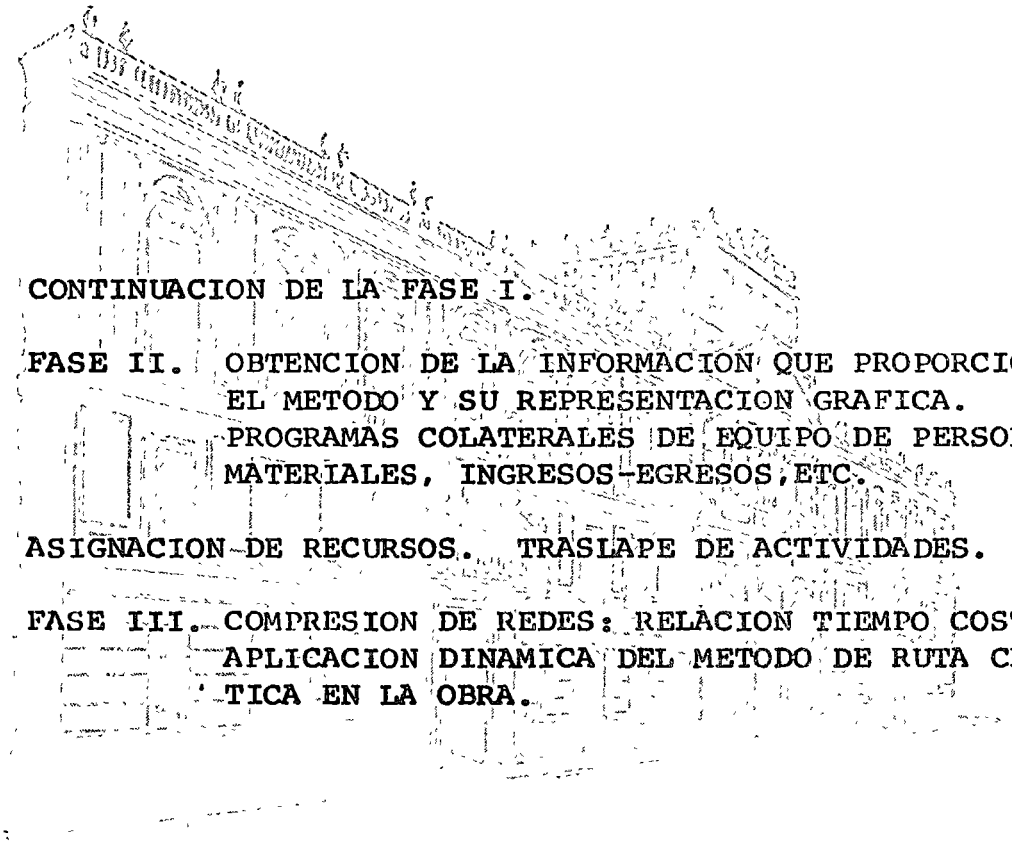
HOJA 25

No.	Actividad	Número	Unidad
1	Excavación A-B	120	M^3
2	Suministro tubería	400	ML
3	Excavación B-C	120	M^3
4	Tubería A-B	200	ML
5	Tubería B-C	200	ML
6	[illegible] A-B	[illegible]	M^3
7	[illegible] B-C	[illegible]	M^3



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

PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS



CONTINUACION DE LA FASE I.

FASE II. OBTENCION DE LA INFORMACION QUE PROPORCIONA EL METODO Y SU REPRESENTACION GRAFICA. PROGRAMAS COLATERALES DE EQUIPO DE PERSONAL, MATERIALES, INGRESOS-EGRESOS, ETC.

ASIGNACION DE RECURSOS. TRASLAPE DE ACTIVIDADES.

FASE III. COMPRESION DE REDES: RELACION TIEMPO COSTO. APLICACION DINAMICA DEL METODO DE RUTA CRITICA EN LA OBRA.

ING. JOSE CASTRO ORVAÑANOS

JULIO DE 1976.

Si observamos los indirectos normales de una obra, tenemos que se consideran los siguientes conceptos :

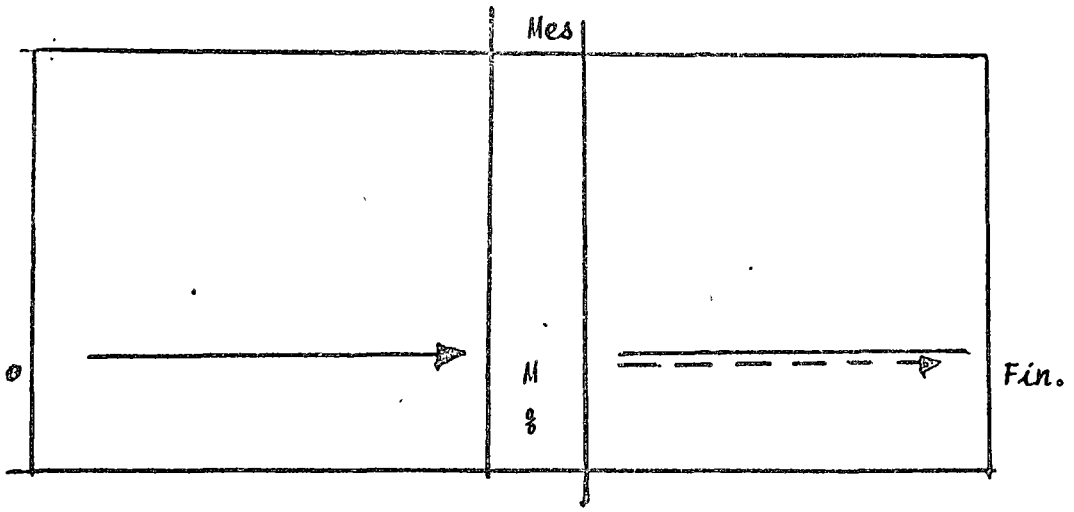
Administración de Campo ----------	V
Administración Central ----------	F
Fianzas y Seguros ----------	F
Intereses ----------	V
Impuestos ----------	F
Imprevisto ----------	F ?
Utilidad ----------	

Podemos observar que tanto la Administración de campo como los intereses son factores que pueden variar grandemente. Por lo que son los costos indirectos que hay que controlar.

Para poder controlar los costos indirectos arriba mencionados, se requiere programarlos y controlarlos.

En pláticas anteriores hemos mencionado lo que afecta el tiempo de liquidación de una obra.
Para poder controlar el Indirecto de campo hay que programar las necesidades así como también hay que programar las salidas de personal.

Revisión de Indirecto de Campo :



Para revisar el Indirecto de campo; hay que revisarlo mensualmente; considerar el acumulado ; y proyectar lo faltante por ejercer.

Para vigilar el gasto indirecto de intereses, es necesario apoyarse en la planeación financiera de la obra. Ver si está cumpliendo, y si está fuera de programa, analizar las causas para tratar de corregirlo cuanto antes.

Una forma conveniente para el control de programas y de la obra en - sí , lo podemos obtener si llevamos objetivos en la obra.

Un objetivo es un programa que nos fijamos para alcanzarlo o lograr - lo.

Los objetivos que se sugieren para llevar en las obras son los sí -- guientes :

1). Objetivo avance
2) Objetivo Costo
3) Objetivo Estimación
4) Objetivo Ingreso
5) Objetivo Remesas
6) Objetivo Financiamiento

Forma de llevar los objetivos : Se realizarán al iniciarse la obra - o proyecto y cada mes deben ser revisados y actualizados.

Supongamos como ejemplo : Una obra de 25 millones a realizar en - 10 meses; sin anticipo ; estimaciones mensuales y el pago de las mis- mas 2 meses después de hecha la estimación se supone una utilidad - del 10 % .

GERENCIA

TABLA DE OBJETIVOS MENSUALES

OBRA

CEPTO AVANCE

PARA EL AÑO

	Acum. Dic.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Acumulado ANUAL
. PR	P		1,000	1,000	2,000	2,000	2,000	3,000	4,000	4,000	4,000	2,000		
m. R	A		1,000	2,000	4,000	6,000	8,000	11,000	15,000	19,000	23,000	25,000		
nero	P													
	A													
brero	P													
	A													
larzo	P													
	A													
Abril	P													
	A													
Mayo	P													
	A													
Junio	P													
	A													
Julio	P													
	A													
gosto	P													
	A													
Sept.	P													
	A													
ctubre	P													
	A													
Nov.	P													
	A													
Dic.	P													
	A													

PR — Programa
R — Real

P — Parcial
A — Acumulado

GERENCIA _____

TABLA DE OBJETIVOS MENSUALES

CUENTA _____

INCEPTO Costo

PARA EL AÑO _____

	Acum. Dic.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Acumul. ANUAL
Ac. PR.	P		.900	.900	1.600	1.600	1.600	2.300	2.600	2.600	2.600	1.000		
Acum. R	A		.900	1.000	2.600	2.600	2.300	9.900	12.500	12.500	20.300	20.300		
Enero	P													
	A													
Febrero	P													
	A													
Marzo	P													
	A													
Abril	P													
	A													
Mayo	P													
	A													
Junio	P													
	A													
Julio	P													
	A													
Agosto	P													
	A													
Sept.	P													
	A													
Octubre	P													
	A													
Nov.	P													
	A													
Dic.	P													
	A													

PR — Programa P — Parcial
R — Real A — Acumulado

GERENCIA _____

TABLA DE OBJETIVOS MENSUALES

OBRA _____

EPTO Estimacion.

PARA EL AÑO _____

		Acum. Dic.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Acumulad ANUAL	T
PR	P				.900	.900	1.800	1.800	1.800	2.700	2.600	2.600	2.600	1.800		
R	A				.900	1.800	3.600	5.400	7.200	9.900	12.500	15.100	17.700	19.500		
re	P															
	A															
ero	P															
	A															
rzo	P															
	A															
ril	P															
	A															
yo	P															
	A															
io	P															
	A															
io	P															
	A															
sto	P															
	A															
pt.	P															
	A															
ubre	P															
	A															
ov.	P															
	A															
ic.	P															
	A															

PR — Programa P — Parcial
R — Real A — Acumulado

GERENCIA _____

TABLA DE OBJETIVOS MENSUALES

OBRA _____

CEPTO Ingreso.

PARA EL AÑO _____

	Acum. Dic.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Acumulado ANUAL	Acumulado TO
PR.	P					.900	.900	1.800	1.800	1.800	2.700	3,600	3,600		
m. R.	A					.900	1.800	3,600	5,400	7,200	9,900	13,500	17,100		
nero	P														
	A														
brero	P														
	A														
Marzo	P														
	A														
Abril	P														
	A														
Mayo	P														
	A														
unio	P														
	A														
Julio	P														
	A														
gosto	P														
	A														
Sept.	P														
	A														
ctubre	P														
	A														
Nov.	P														
	A														
Dic.	P														
	A														

PR — Programa
R — Real
P — Parcial
A — Acumulado

GERENCIA _____

OBRA _____

PARA EL AÑO _____

TABLA DE OBJETIVOS MENSUALES

'TO Reengreso o Costos de Dinero.

		Acum. Dic.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Acumulado ANUAL	Acumulado TOT
'R	P			.450	.450	0.900	.900	.900	1,350	1,800	1,800	1,800	.900			
R	A			.450	.900	1.800	2.700	3,600	4,950	6,750	8,550	10,350	11,250			
	P															
	A															
o	P															
	A															
	P															
	A															
	P															
	A															
	P															
	A															
	P															
	A															
	P															
	A															
	P															
	A															
o	P															
	A															
	P															
	A															
re	P															
	A															
	P															
	A															
	P															
	A															

PR — Programa P — Parcial

R — Real A — Acumulado

GERENCIA

TABLA DE OBJETIVOS MENSUALES

OBRA.

TO Financiamiento (Costo vs Ingreso.)

PARA EL AÑO

	Acum. Dic.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Acumulado	
														ANUAL	TO
R	P		(.900)	(.900)	(1.800)	(.900)	(.900)	(.900)	(1.800)	(1.800)	(.900)	1,900	3,600		
R	A		(.900)	(1,800)	(3.600)	(4.500)	(5.400)	(6,300)	(8,100)	(9.900)	(10,800)	(9,000)	(5,400)		
	P														
	A														
		P													
		A													
			P												
			A												
				P											
				A											
					P										
					A										
						P									
						A									
							P								
							A								
								P							
								A							
									P						
									A						
										P					
										A					
											P				
											A				
												P			
												A			

PR — Programa
R — Real

P — Parcial
A — Acumulado

BALANCEO DE RECURSOS

Después de ejecutar la fase II, es conveniente revisar los resultados obtenidos y ver la congruencia de estos.

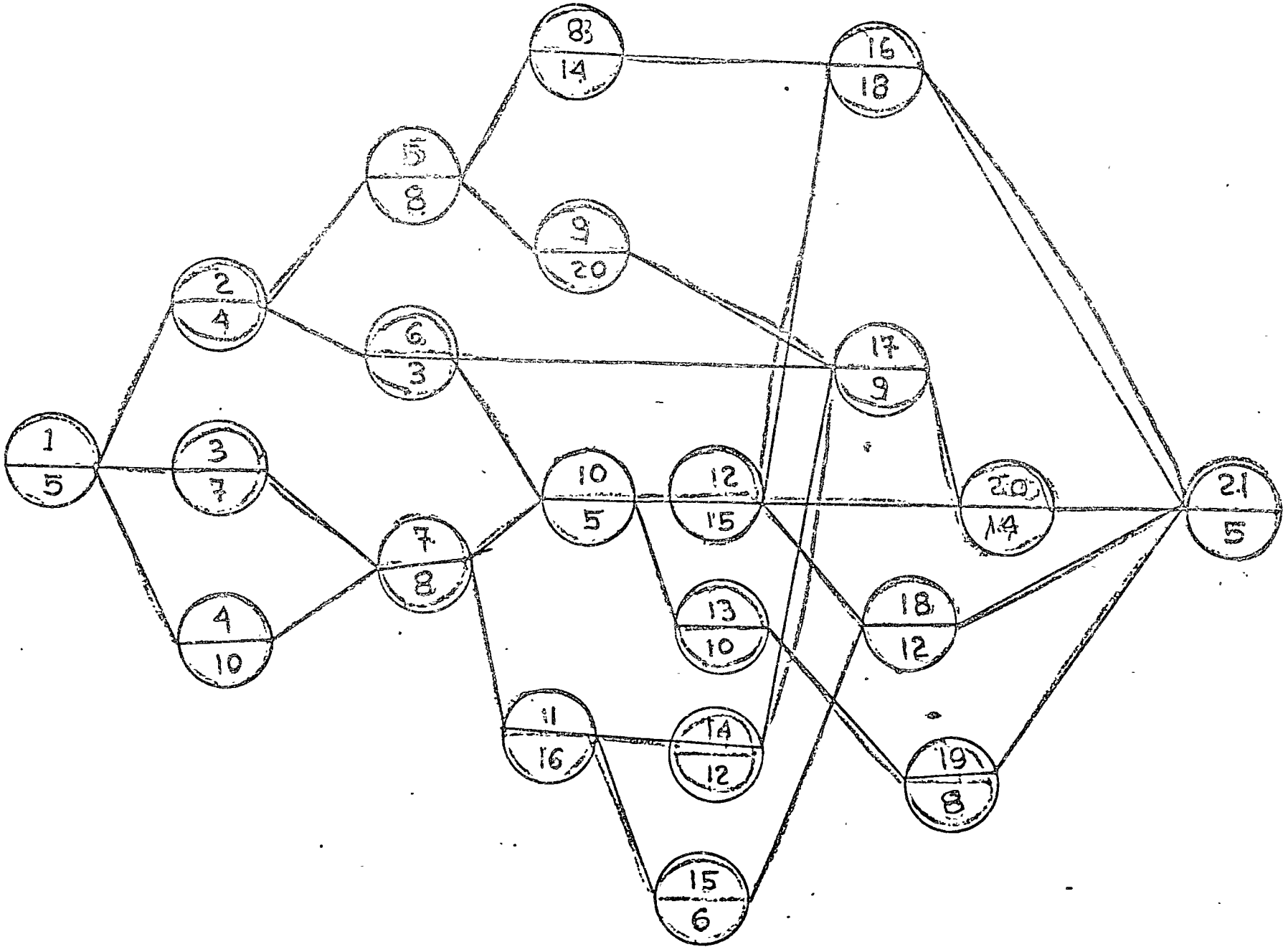
Para el balanceo apropiado de recursos se debe revisar lo siguiente :

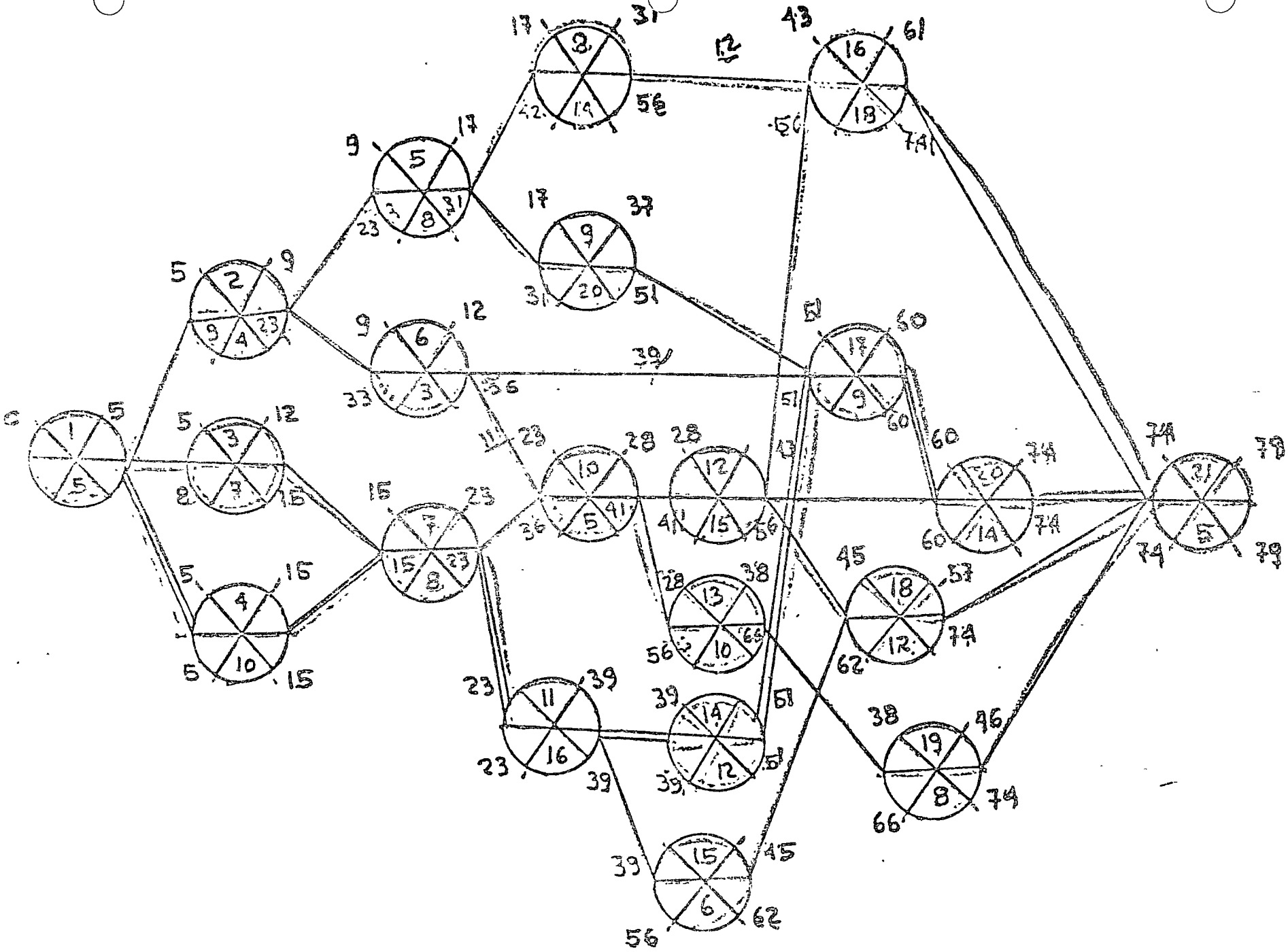
1) Tiempo total de proyecto
2) Disponibilidad del material requerido y existencia.
3) Disponibilidad de M. de Obra y revisar los puntos en donde se requiere más, para analizar si se pueden disminuir.
4) Disponibilidad y existencia del equipo programado, analizar los puntos donde se concentre mayor requerimiento de equipo para tratar de disminuir esa necesidad.
5) Disponibilidad del dinero necesario para hacer la obra en el tiempo proyectado.

Una vez analizado los recursos con los que se cuenta para hacer la obra, con estos datos se retroalimenta la fase I, y Fase II.

En algunos casos habrá necesidad de cambiar las secuencias, en cuyo caso se verá afectada la Fase I, en otros casos solo los tiempos de duración de las actividades, en este caso solo afectarían la fase II.

ACTIVIDAD	DURACION	PRECEDENTES
1	5	-
2	4	1
3	7	1
4	10	1
5	8	2
6	3	2
7	8	3.4
8	14	5
9	20	5
10	5	6.7
11	16	7
12	15	10
13	10	10
14	12	11
15	6	11
16	18	8.12
17	9	9,6,14
18	12	12,15
19	8	13
20	14	17,12
21	5	16,20,18,19


1
5
2
4
3
7
4
10
5
8
6
3
7
8
8
14
9
20
10
5
11
16
12
15
13
10
14
12
15
6
16
18
17
9
18
12
19
8
20
14
21
5



Duración total del proyecto 79 días

Camino crítico = 1-4-7-11-14-17-20-21

ACT.	H.T.	H.L.	H.I.
1	-	-	-
2	14	0	14
3	3	3	0
4	0	0	0
5	14	0	14
6	24	11	13
7	0	0	0
8	25	12	13
9	14	14	0
10	13	0	13
11	0	0	0
12	13	2	11
13	28	0	28
14	0	0	0
15	17	0	17
16	13	13	0
17	0	0	0
18	17	17	0
19	28	28	0
20	0	0	0
21	0	0	0

FASE III

Tiempo costo y Compresión de redes.

En la fase III introducimos la variable costo, y con ello - trataremos de obtener el tiempo de ejecución de la obra que- nos de el menor costo total.

En esta fase, se calcula la curva costo directo contra tiem- pos de ejecución del proyecto.

La compresión de redes consiste en reducir su duración total- por medio de la reducción de las duraciones de las activida - des que constituyen la red. La compresión de redes puede re- sultar de gran utilidad cuando se presenten los siguientes ca sos :

a) Cuando se pretenda reducir la duración total de la obra, - porque el cliente desea una fecha más cercana.

b) Cuando sea conveniente reducir la duración total de la obra hasta encontrar la combinación de costos totales (costo di recto + costo indirecto) óptima. Como sabemos el costo in- directo acumulado está en función del tiempo es decir a ma- yor duración del proyecto, mayor será el costo indirecto.

c) Cuando requerimos acelerar algunas actividades contenidas en la ruta crítica , para absorver algún retraso imputable a o- tra actividad también crítica.

Analizaremos ahora como se lleva a cabo la compresión de una ac- tividad. Toda actividad al realizarse cuenta con varios factores que determinan su costo, entre ellos podemos mencionar el volúmen a realizar, el equipo humano ó mecánico para realizarlo, el tiem po necesario para realizarlo y el espacio permisible para reali- zar esa actividad.

La representación gráfica de esta aceleración está dada por la figura No. 1

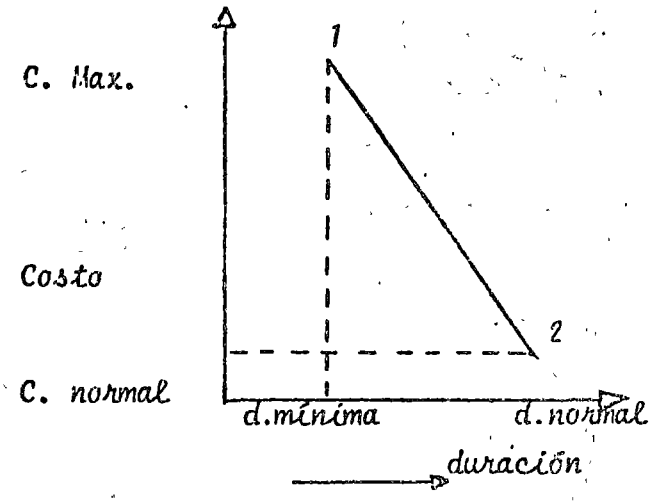


Fig. No. 1

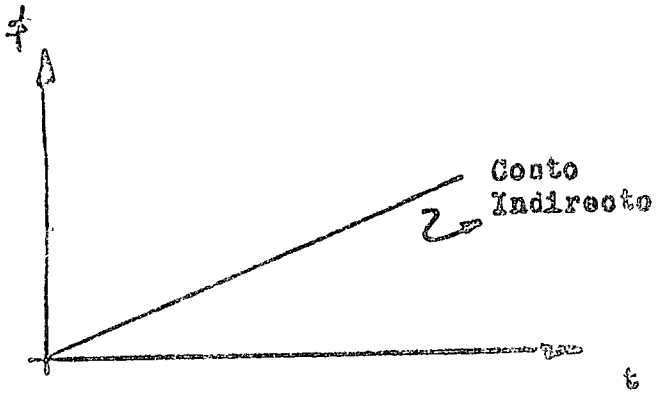
Obtengamos ahora el valor del incremento de costo (AC) por unidad de tiempo (AD)

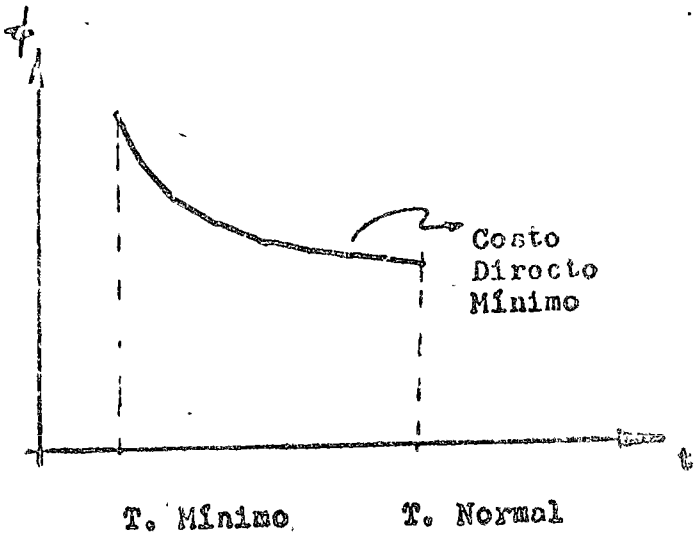
$$\frac{AC}{AD} = \frac{C\ Maximo - C.\ normal}{d\ normal - d.\ mínimo} \qquad (1)$$

La recta representada en la figura 1, es una aproximación del incremento de costo en función de la reducción de tiempo y debe tomarse como tal, ya que en la práctica muchas veces el incremento de costo sigue un comportamiento no lineal o se reduce a puntos aislados, en donde la ecuación (1) no es aplicable.

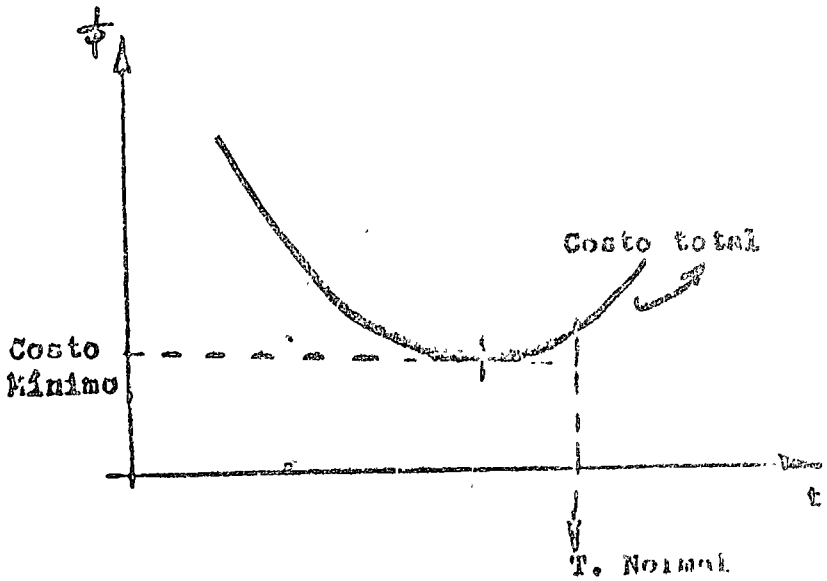
Para comprimir la red de actividades, debemos reducir la duración de las actividades que están en la ruta crítica.

Para hacer la compresión se deberá escoger dentro del grupo de actividades críticas aquellas cuyo gradiente AC/AD sea el menor, hasta agotar su reducción.





(Fase III ruta crítica)



Debemos también cuidar al reducir las duraciones de las actividades de la ruta crítica, que otras actividades (antes no-críticas) se tornen críticas.

~~Ejemplos y ejercicios~~.

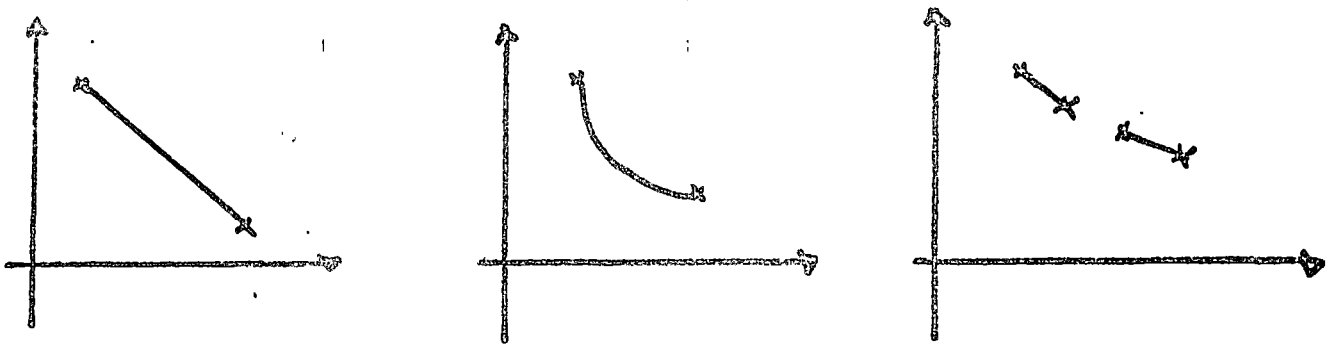
FASE III (CONTINUACION)

Es conveniente recordar que toda actividad para ser comprimida debe tomarse en cuenta :

1) Su límite físico de reducción
2) Su costo en la reducción.

En Muchas ocasiones se introduce personal a las obras para poder acortar los tiempos, sin considerar los límites físicos de reducción.

El costo en la reducción ; no es una función lineal normalmente, varía dependiendo de diversos factores; tipo de actividad ; equipo usado ; dobles turnos ; etc. Sin embargo para trabajar dentro de la Fase III suponemos una variación Lineal.



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

PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS

ANALISIS DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS

ING. JOSE CASTRO ORVAÑANOS

JULIO DE 1976.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F. Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

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

Objetivos: hacer análisis de todas las facetas de un proyecto o tarea, con objeto de hacer las cosas más baratas, fáciles, rápidas y seguras.

Trata de optimizar la efectividad de cada esfuerzo que se lleva a cabo.

Toma como premisas 1. " cada peso ahorrado: incrementa la ganancia o disminuye la pérdida"

2. "siempre hay una mejor manera de hacer las cosas, una óptima solución que no la estamos aplicando"

Ventajas:
1. Menor oportunidad de ignorar puntos importantes
2. Al analizar cada actividad en forma independiente de los problemas cotidianos, es posible descubrir mejorar la forma de realizarla.
(Esto definitivamente no quiere decir que no sea necesario considerar en conjunto: el lugar de la obra, herramienta, mano de obra, equipo, etc.; en resumen las condiciones en que se está trabajando).

No se han usado en la construcción, a pesar la competencia inherente de esta actividad porque:

a) "cada obra es diferente"
b) "el personal no es de planta"
c) "las actividades no son repetitivas"
d) "Las actividades duran poco"
e) "La tendencia del constructor de responsabilizar al "maestro de obra" de la ejecución, dirección y selección de procedimientos, atribuyéndole una "genial habilidad" organizadora y planificadora.

(en comparación con la industria en general)

Podría decirse que estas técnicas son indispensables de aplicar en la construcción, ya que en general un 75% a 85% de todas las actividades de una obra son de manejo y movimientos de materiales.

Su éxito depende en gran parte de la colaboración que para ello 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 su interés; por eso es de sumo cuidado no desanimarlo, ni que pierda su iniciativa e imaginación

en suma no menospreciar el "buen trato humano".

De hecho, la implantación de estas técnicas son, una verdadera "política de personal".

Se recomienda como un medio muy exitoso de involucrar al personal en la aplicación de estas técnicas, las reuniones informales de grupo, dirigidas por el encargado de estos estudios y con exhibición de material fotográfico, procurando la participación espontánea y sincera de los asistentes y explotando la máxima: "hágalo usted mismo". Los principales beneficios que se derivan de reuniones de este tipo son:

1) La creatividad e inventiva que generalmente se genera a través de la estimulación mutua, la aportación de la experiencia de los participantes y la crítica constructiva.

2) La "psicología de la participación": la gente se considera como autora del nuevo método desarrollado y conduce a la mayor cooperación y entusiasmo de los que intervendrán en la aplicación del nuevo plano.

Es común el uso ineficiente de la mano de obra. Fundamentalmente es debido a la mala o nula comunicación que se tiene con los obreros: las órdenes no son claras, específicas ni tampoco se indica la mejor manera de hacer las cosas.

Es necesario aplicar contínuamente métodos de análisis para el mejoramiento de forma de realización de actividades, teniendo presentes las metas de: ahorro de dinero, tiempo y esfuerzo, tal como se hace en cualquier otro tipo de industria.

Para poder tratar de descubrir una mejor manera de realizar las cosas se necesita además de tener una mente abierta al cambio, un espíritu de creatividad y una posición contraria al conformismo, al tradicionalismo, a la timidez y a la suficiencia.

No se deben cambiar las formas de realización, sólo por cambiar sino por mejorar.

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, al futuro, etc.). La mejor forma de superarlo es el buen conocimiento y entendimiento de las cosas.

Observadores de la implantación de estas técnicas sostienen que los ahorros derivados de estos estudios suman conservadoramente de 4 a 8 veces el costo de su aplicación.

Es aconsejable que este tipo de estudios sean aplicados directamente por ingenieros jóvenes porque:

1. Aunque generalmente tienen poca experiencia, tienen la mente abierta al cambio y deseos de considerar y poder valorar las ideas y sugestiones nuevas.

2. Como los estudios son siempre supervisados por superintendente de obra y departamento de costos, es una excelente oportunidad para el ingeniero joven de tener a la mano un acervo de experiencia de problemas de obra y de costos.

Pasos para poder desarrollar estas técnicas.

1. Tener un récord de cómo se lleva a cabo el punto que se está estudiando, enmarcado en el marco general de la obra, a través de:

   a) Observación visual
   b) Estudios con cronómetro
   c) Película con tomas a intervalos iguales (time-lapse photography)
   d) Tomas con televisión (video tape)

2. Analizar cada detalle del presente método, usando:

   a) Deliberación analítica
   b) Diagrama de flujo de proceso (flow process chart)
   c) Estudios de balance de cuadrillas (crew balance studies)
   d) Carta de procesamiento

3. "Descubrimiento" de nuevos métodos, a través de:

   a) Hacer las seis preguntas básicas para cada detalle:

      QUE se propone (objetivo)
      PORQUE se hace de esa manera
      CUANDO es el mejor momento de realizarla
      DONDE es el mejor lugar de 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, la herramienta, equipo y materiales usados, el flujo de los materiales y las condiciones de seguridad.
   c) Sostener discusiones en mesas redondas con gente que par-

ticipa directamente en la ejecución de la obra.

d) Solicitar ideas de gerentes, superintendentes, maestros de obra, etc.

4. Desarrollar el mejor método

a) Con un claro entendimiento del objetivo deseado, eliminando detalles no necesarios, reacomodando recursos para mejorar secuencias, simplificando procedimientos para hacer las cosas más fáciles y rápidas, consultando con quienes ejecutan el trabajo o les afecten los cambios que se proponen, usando mejores herramientas, equipo, instrumentos, materiales, etc.

b) Escribir una versión detallada del nuevo método propuesto

c) Llevar a cabo el nuevo método:

1. Vender el nuevo método al patrón, superintendente,...., maestro y trabajadores.
2. Una vez aceptado, ponerlo en práctica de inmediato.
3. No dejar de poner atención en la ejecución del nuevo método, hasta que se aprendan todos los pequeños detalles.
4. Dar crédito y reconocimiento a quien se lo merezca.

<u>Estudios con cronómetro</u> (las conclusiones de los estudios deben hacerse basados en los hechos observados y no en los "deducidos")

<u>Ventajas</u>. Los más baratos y más rápidos de realizar en el campo. Bueno cuando es uno o muy pocos los elementos observados.

<u>Limitaciones</u>.

a) Siempre existe un error acumulativo cada vez que el cronómetro se para, se lee y se vuelve a echar a andar (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 que instante separa dos actividades o ciclos. Esto puede ser grave cuando el estudio lo realiza más de un observador, cosa que es necesario en obras grandes. En este caso se incluye el problema de definir con precisión las variables interrelaciones entre las actividades en observación durante los diferentes ciclos. Para anotar cada componente de una actividad

compuesta de 10 ciclos: hombres, máquinas, etc., se requerirá observar por lo menos 10 ciclos para determinar el ciclo completo; para tener validez los datos se necesitan de por lo menos 5 lecturas para cada componente por lo que deberán observarse 50 ciclos de trabajo y lo más probable es que el 50° ciclo sea francamente distinto al ciclo 1°, porque ya variaron las circunstancias.

c) El estudio se limita a lo estrictamente observado y éste en general es incompleto, especialmente lo relacionado a la interdependencia de todas las actividades. Ejemplo: de los tiempos registrados para la carga de una escrepa se vió que había mucha variación en las observaciones por lo que surgieron las siguientes posibilidades:
   1) El empujador estaba en malas condiciones mecánicas, 2) a veces se sobre-cargaba la encrepa, 3) a veces se cargaba en condiciones desfavorables (con pendiente negativa), 4) Se estaba en un estrato de material duro y 5) la carga en ocasiones se hacía en la orilla de un corte o en una sección mojada, etc.

d) Limitaciones del observador: debido al volumen de información que se debe ir anotando en poco tiempo, es usual que el observador descuide su objetivo y precisión en los datos tomados. Para contrarrestar esto, es necesario 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 la situación que realmente se está llevando a cabo.

e) Al darse cuenta los obreros de la realización de este estudio, adoptan una posición negativa. Esto es debido a que los trabajadores sienten ser considerados como simples máquinas a quienes se trata de explotar al máximo, o puede ser con el objeto de bajar el monto de los destajos que se les están pagando.

ESTUDIOS CON FOTOGRAFIAS TOMADAS A INTERVALOS CONSTANTES DE TIEMPO (TIME - LAPSE PHOTOGRAPHY).

Ventajas

a) Relativamente barato: un rollo de 100 fts bueno para 3h 10 min con fotos cada 3 seg. (40 fotos/ft)
b) Capaz de tomar nota de varias actividades de un gran número de componentes a la vez.
c) Capaz de tomar nota de las inter-relaciones 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 de la sola visualización de la película.
f) Las fotografías pueden servir también 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 no se les da la importancia que realmente tienen.
h) Los datos observados son irrefutables: la Gente en ocasiones no quiere cambiar sus procedimientos usuales, 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 mismo mejoras importantes y con ello se vuelven colaboradores del sistema.
i) Ayuda a usar la experiencia obtenida en distintas obras, en cualquier lugar que se presente algún problema.

Equipo: cámara de cine con selenoide, dispositivo para fijar la frecuencia de las fotografías (timer), fuente de energía y trípié.

Cuando las condiciones de luz son malas para la toma de fotografía, se deduce que las condiciones de seguridad y efectividad del trabajo son también malas.

Las fotografías deben tomarse en cuenta "lo más alto posible" para ampliar el campo visual y para no obtener muchas interferencias por cruces de personal.

Puede incluírse alguna información adicional en la fotografía como letreros, un reloj (para saber en qué parte del día se llevo el estudio, etc.)

Se aconseja abrir un poco más la lente de lo que marca el exposímetro con el objeto de no perder información de los trabajos que se efectúan en partes más oscuras o sombreadas.

Para hacer más completo el estudio es recomendable tomar fotografías de los lugares aledaños al lugar donde se hace el estudio específico.

Es recomendable también que se ponga una marca visible especial (por ejemplo en los sombreros) para los elementos de cada cuadrilla. Sirve incluso para mejor supervisión de la obra.

Proyeccion de las fotografías

El proyector podrá variar la velocidad de proyección y tendrá un contador de exposiciones con el objeto de obtener los tiempos reales de ejecución de las actividades observadas.
El más elemental de estos proyectores sería un "editor de películas"

Estudios con video-tape

Está apenas 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.

Métodos de análisis.

Los sistemas de análisis gráficos constituyen un método de registro en sí y de comunicación.

Los más útiles y usados en construcción son los diagramas de:

1) Balance de cuadrillas (Crew balance chart) usado para mostrar las inter-relaciones entre el trabajo desarrollado por cada elemento de una cuadrilla y el equipo y herramienta usada. Es un conjunto de barras verticales que parte de un mismo origen, construídos a escala y expresados en % de tiempo del ciclo. Cada barra expresa la actividad de cada elemento (máquina u hombre), por lo que la inter-relación puede verse al comparar las actividades a lo largo de una horizontal, ya que cada barra se subdivide en las distintas actividades que realiza el elemento analizado, incluyendo el tiempo improductivo u ocioso. De su observación se desprende en muchos casos algún cambio en la manera de realizar las cosas o de integrar la cuadrilla. Es importante hacer notar que de aquí no se puede analizar la eficiencia o rendimiento de la gente o de las máquinas, solo el tiempo activo o inactivo.

Es importante tratar de tener siempre las cuadrillas balanceadas, porque cambiar las condiciones (entregas de material, nuevos o más elementos disponibles, más eficiencia individual de algunos trabajadores, etc.) y con ello desbalancear las cuadrillas.

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

2) Diagrama de flujo (flow diagram) Figura 1. Es la representación esquemática de la ubicación y desplazamientos de los elementos que se analizan.

3) Carta de procesamiento. (Process chart). Figura 4. Es un listado de las actividades analizadas en un ciclo, con el tiempo que toma cada una de ellas.

Para su elaboración que usa la simbología convenida por la ASME (American Society of Mechanical Engineers) que aparece a continuación.

Símbolos usados	Nombre	Resultados	
○	Operación	Producción,	generalmente las más costosas
⇒	Transporte	Movimientos	en construcción
□	Inspección	Verificación, cheques	
D	Retardos	Interferencia,	almacenamiento provisional
▽	Almacenamiento		

Los métodos mencionados antes son más útiles cuando se aplican simultáneamente y sin olvidar las 6 preguntas a las que antes hicimos alusión.

Qué, Por qué, Cuándo, Cómo, Dónde y Quién?

Técnicas para muestrear la actividad real (Nunca conducen a una valorización individual sino de grupo).

La efectividad de mano de obra se juzga generalmente por reportes de costo, pero allí no se juzgan efectos de supervisión, condiciones geológicas y climatológicas, uso de equipo, utilización real de la mano de obra y en ocasiones se llega a conclusiones falsas. Para solucionar esto se usan las:

Técnicas de muestreo de actividad real

Ventajas

1. Se realan rápidamente y dan respuestas prontas

2. Llaman la atención en donde existe el ocio o baja productividad con oportunidad.

Están basadas en principios estadísticos de # de muestras, % de confiabilidad y límite de error

Reglas básicas para realizar estos estudios:

a) Deben usarse contadores mecánicos: uno para personal "trabajando y otro para personal observado.

b) Debe tomarse en cuenta cada conteo a todo el personal (mínimo 90%) y de ser posible hacerse y reportarse por áreas de trabajo (donde resulte práctico).

c) El contador no deberá hacer otro tipo de trabajo mientras desarrolla su conteo.

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 1/2 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 independientemente a las demás.

i) Las observaciones no deben seguir ninguna secuencia específica.

j) La característica básica del trabajo debe permanecer las mismas, mientras se hacen las observaciones.

Ejemplo de estas técnicas.

1. Indice de campo Su clasificación se basa en personal "trabajando"y "no trabajando".

   $$\text{Indice de campo} = \frac{\text{No de gente trabajando}}{\text{N. de genge observada}} + 10$$: generalmente es malo si el índice 60 (con "restricciones")

2. Indice de utilización de trabajo: su clasificación de personal se basa en :
   1. Trabajo efectivo (E) está realizando una actividad pagada directamente por un precio unitario; ejemplo; excavación.
   2. Trabajo de contribución (C) está realizando una actividad pagada indirectamente, ejemplo: poner andamios, acarreando material, etc.

3. Trabajo inefectivo: demolición por error,...., no trabajando (I)

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

3. Otro método: Método de los "5 minutos" mínimo tiempo de observación = 5 minutos ó 1 minuto x trabajador: aconsejable 4 observaciones 2 antes de la comida y 2 después

1. Dar un orden de magnitud de las demoras o tiempos perdidos
2. Medir la efectividad de una cuadrilla y sugerir mejoras
3. Denota 2 tipos de demoras: 1. las que impiden el progreso
   2. las que no impiden el progreso de la obra

Forma de hacerse en el campo:

	CARPINTERO	AYUDANTE	HERRERO	AYUDANTE	SOLDADOR		PEON 1	PEON 2
10:22	X	X				=		X
10:24	X	X	X	X	X	=	X	X
10:26			X	X	X	=	X	X
						=		
	=	=		=	=			
Σ_1	Σ_2	Σ_3		Σ_4	Σ_5		Σ_6	Σ_7

$$\text{Efectividad} = \frac{\text{tiempo no ocioso}}{\text{unidades de tiempo de hombres observados}} = \frac{\Sigma_1 + \Sigma_2 + \cdots + \Sigma_n}{n \cdot m}$$

Las variaciones de estos índices son los que generalmente dan el tono atención, y con limitaciones, los índices standard.

Fig 1 Método original

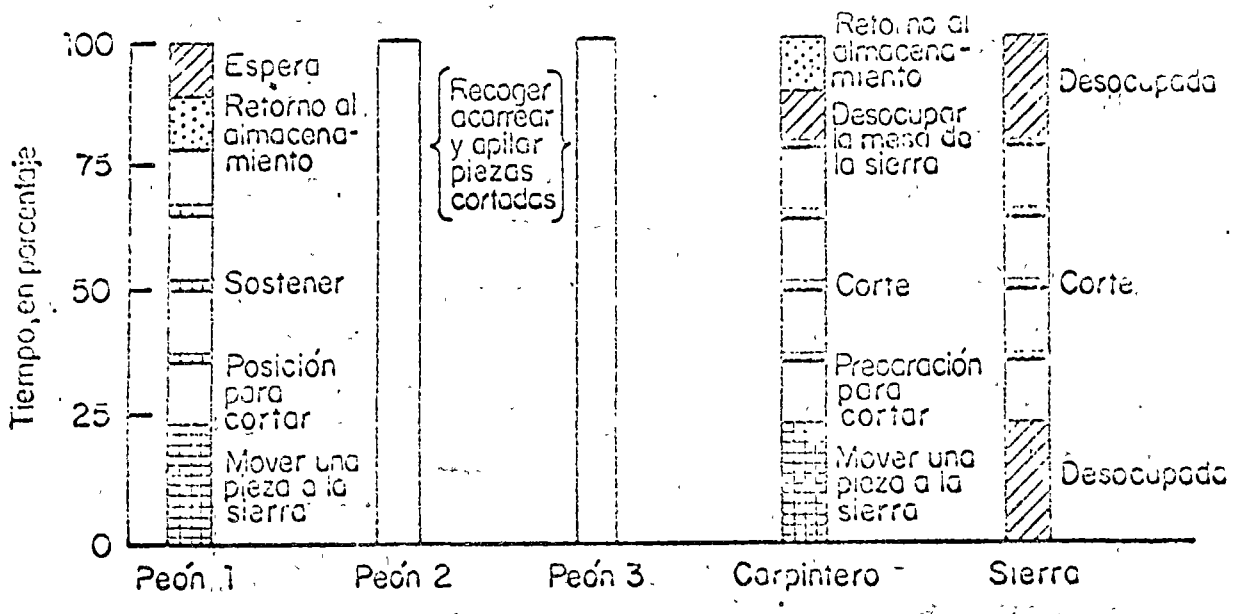


Diagrama de balance de recursos

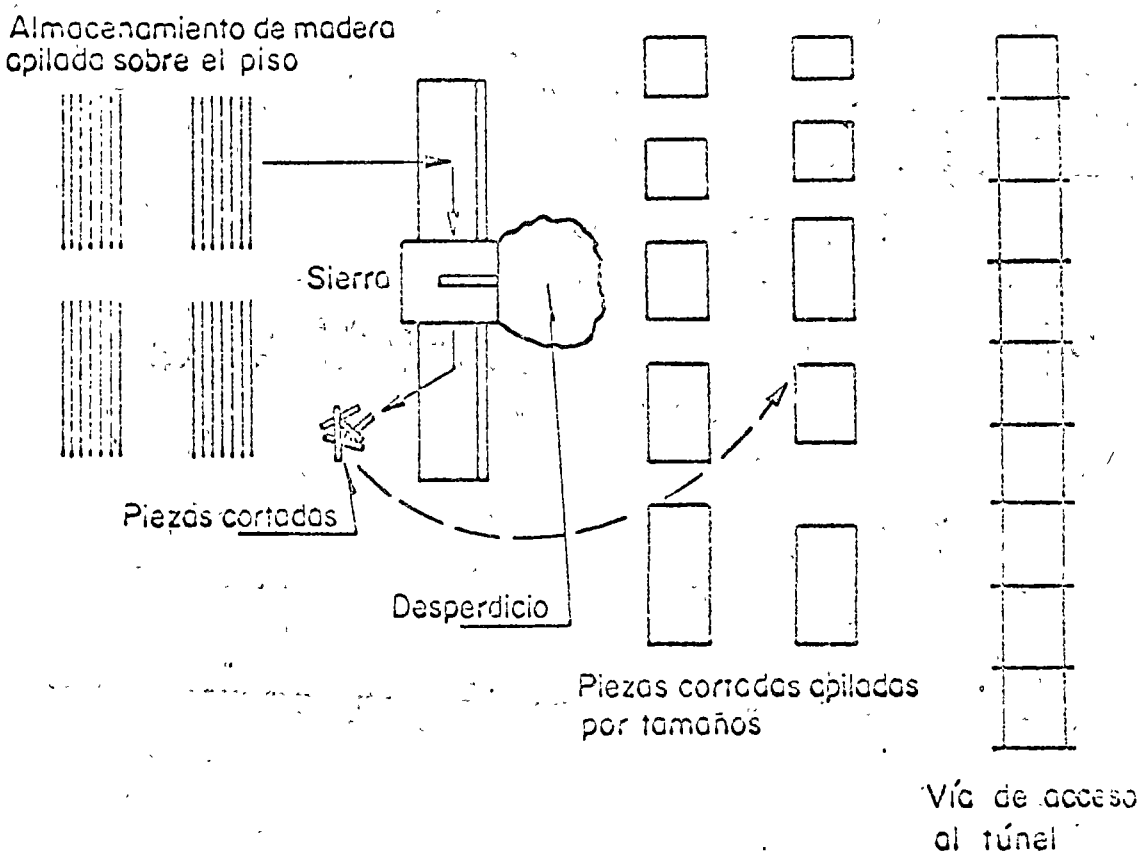


Diagrama de flujo

Fig 2 Método propuesto (alternativa A)

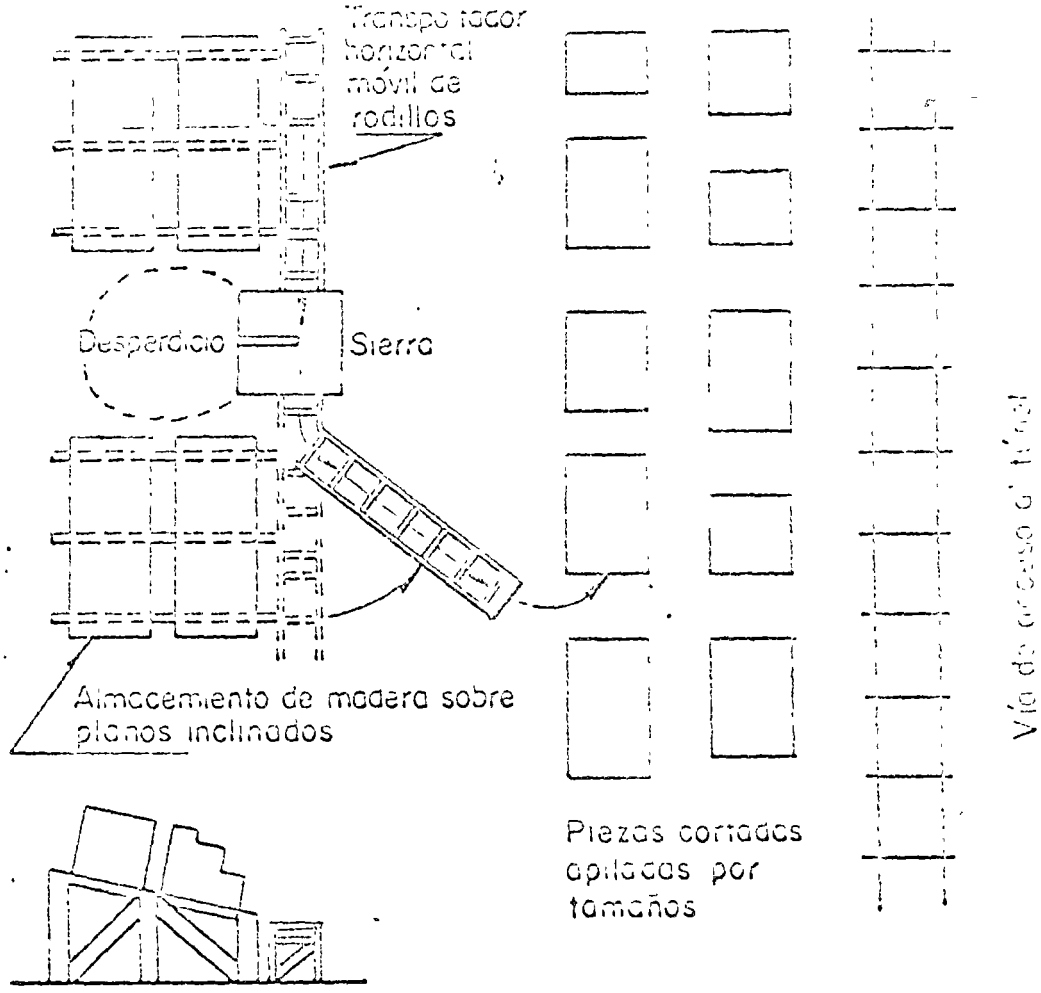


Diagrama de flujo

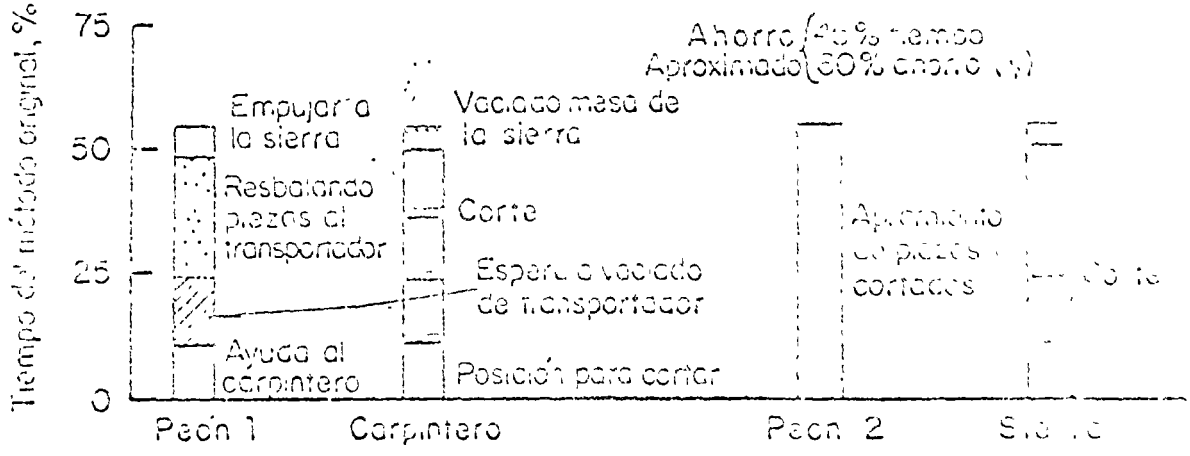
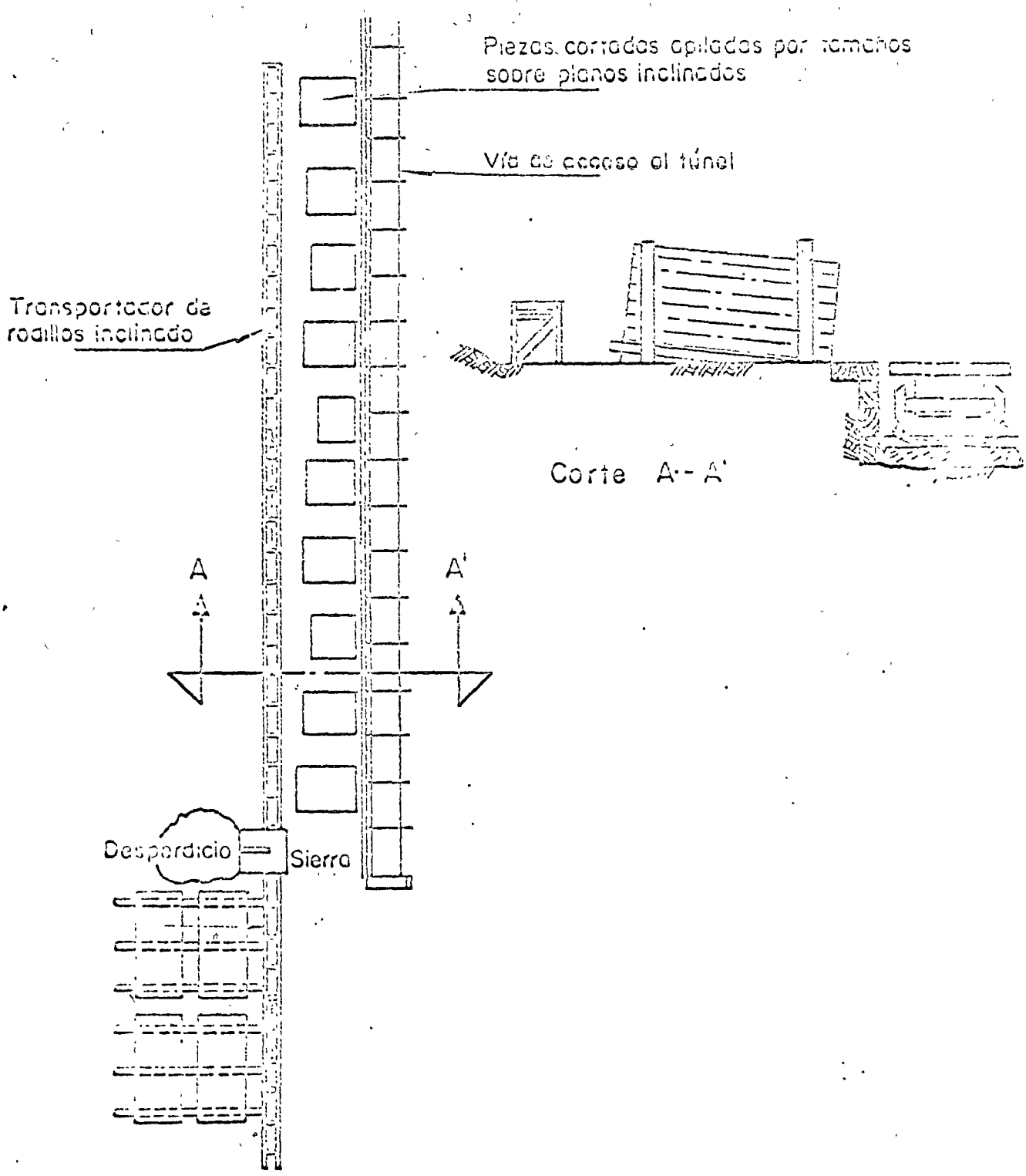


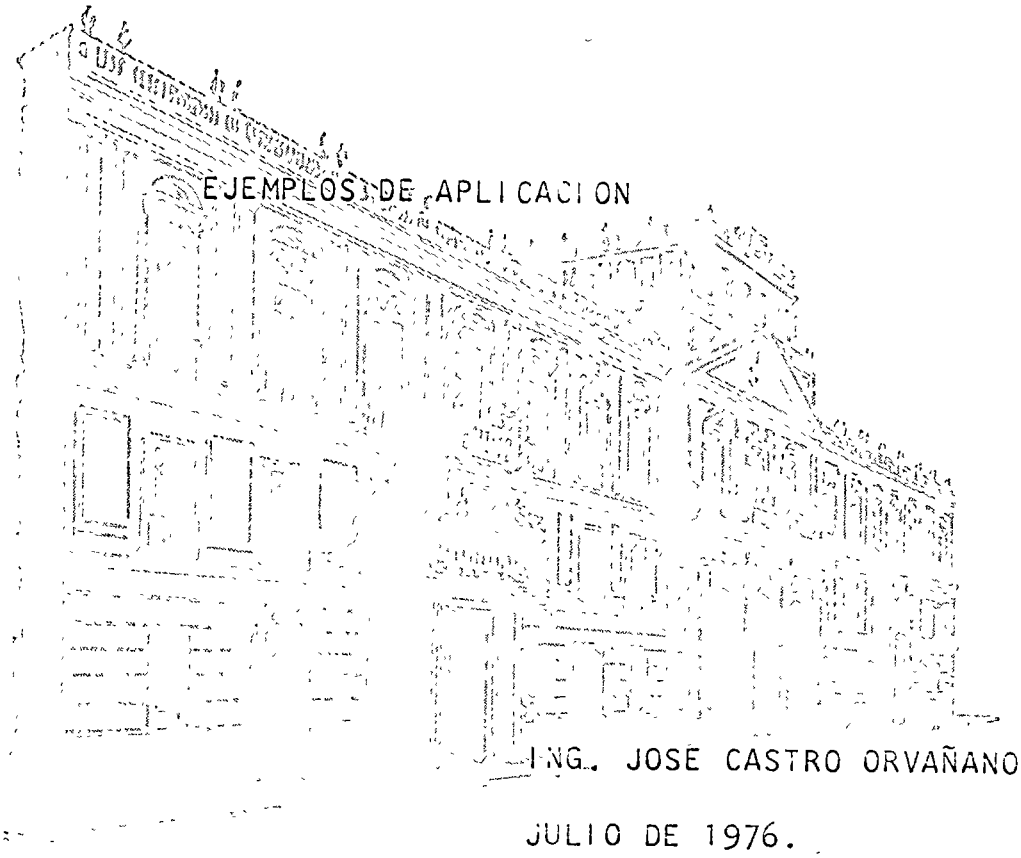
Diagrama de balance de recursos

Fig 3 Método propuesto (alternativa 3)



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

PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS



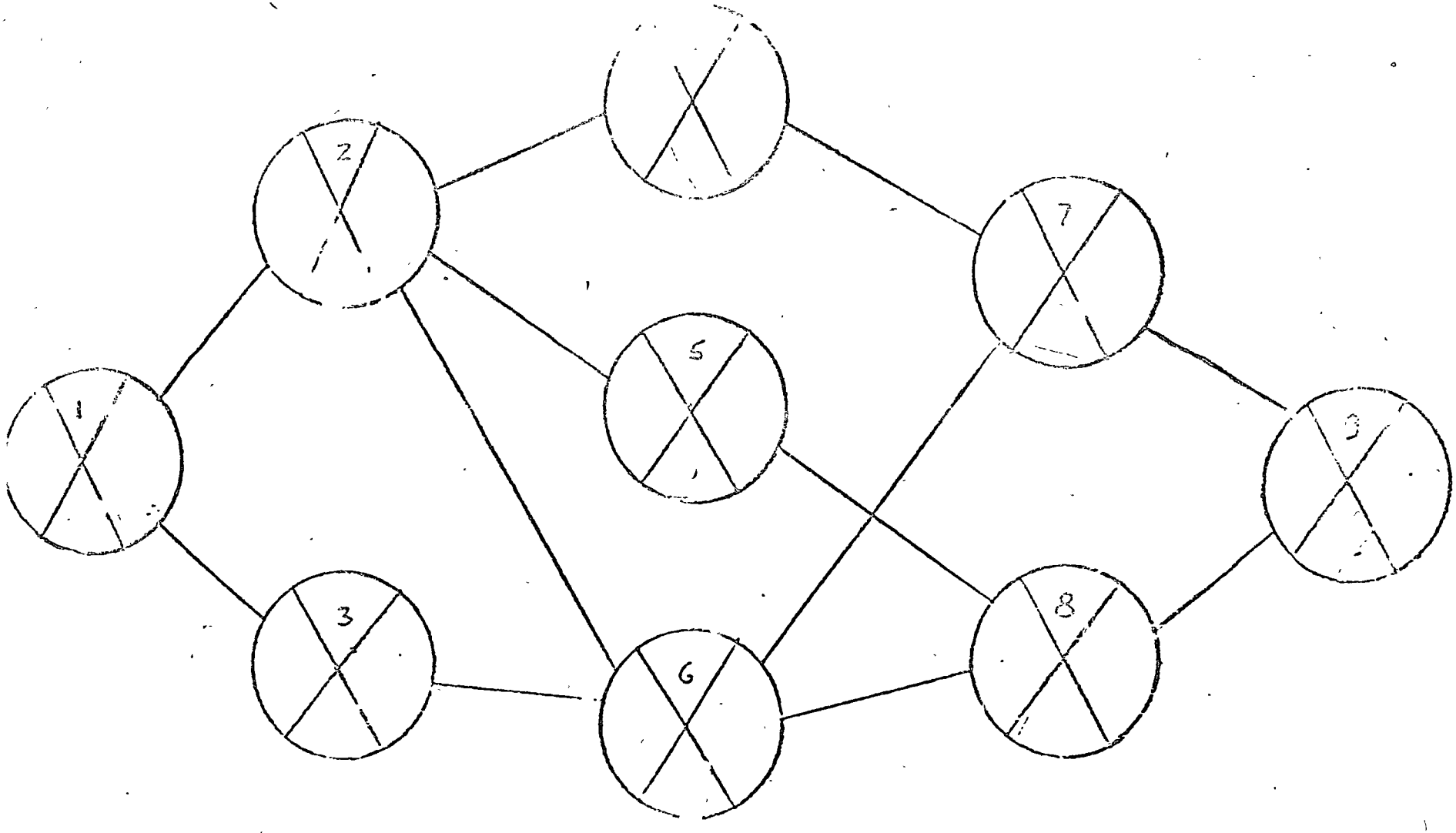
EJEMPLOS DE APLICACION

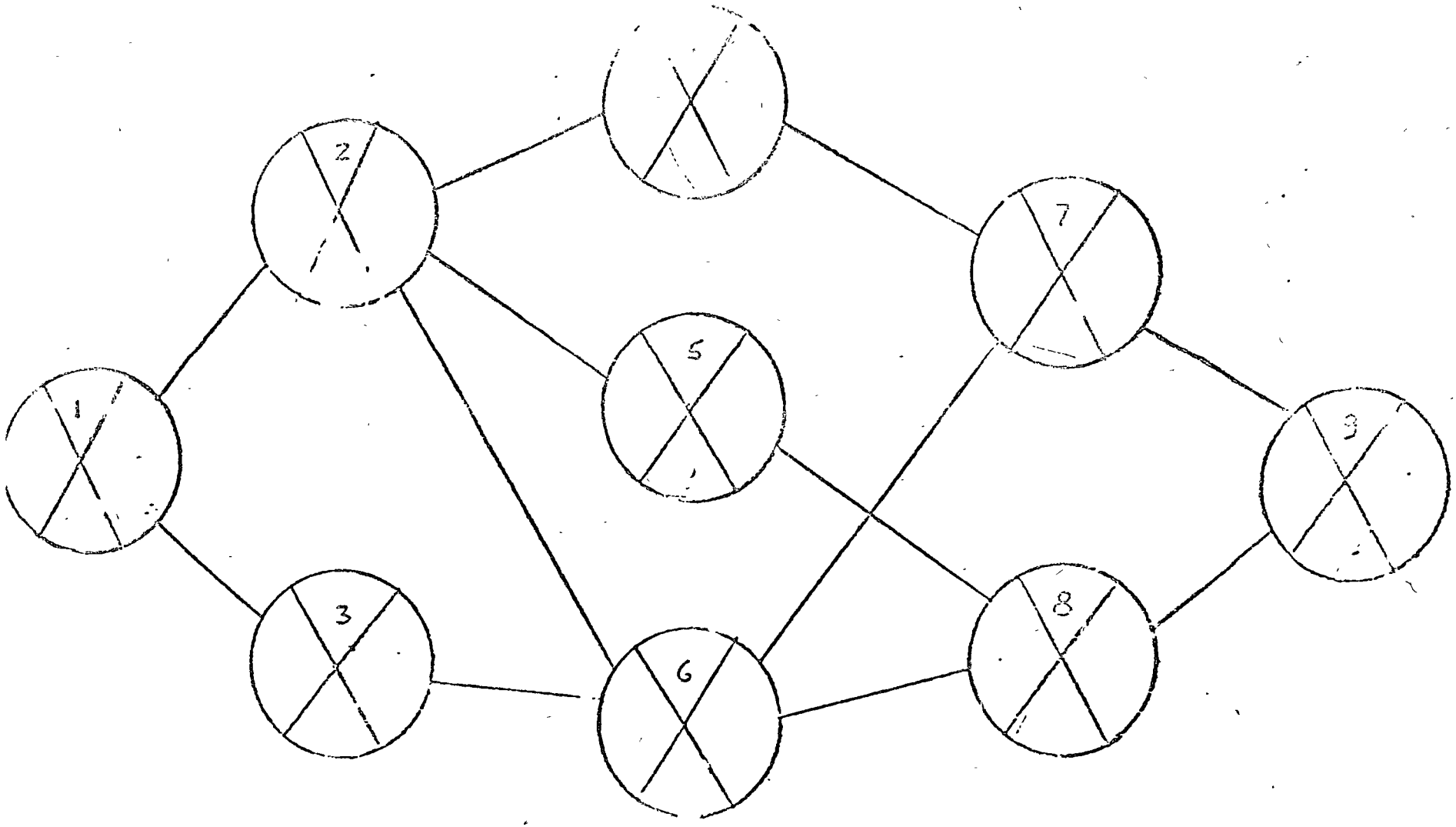
ING. JOSE CASTRO ORVAÑANOS

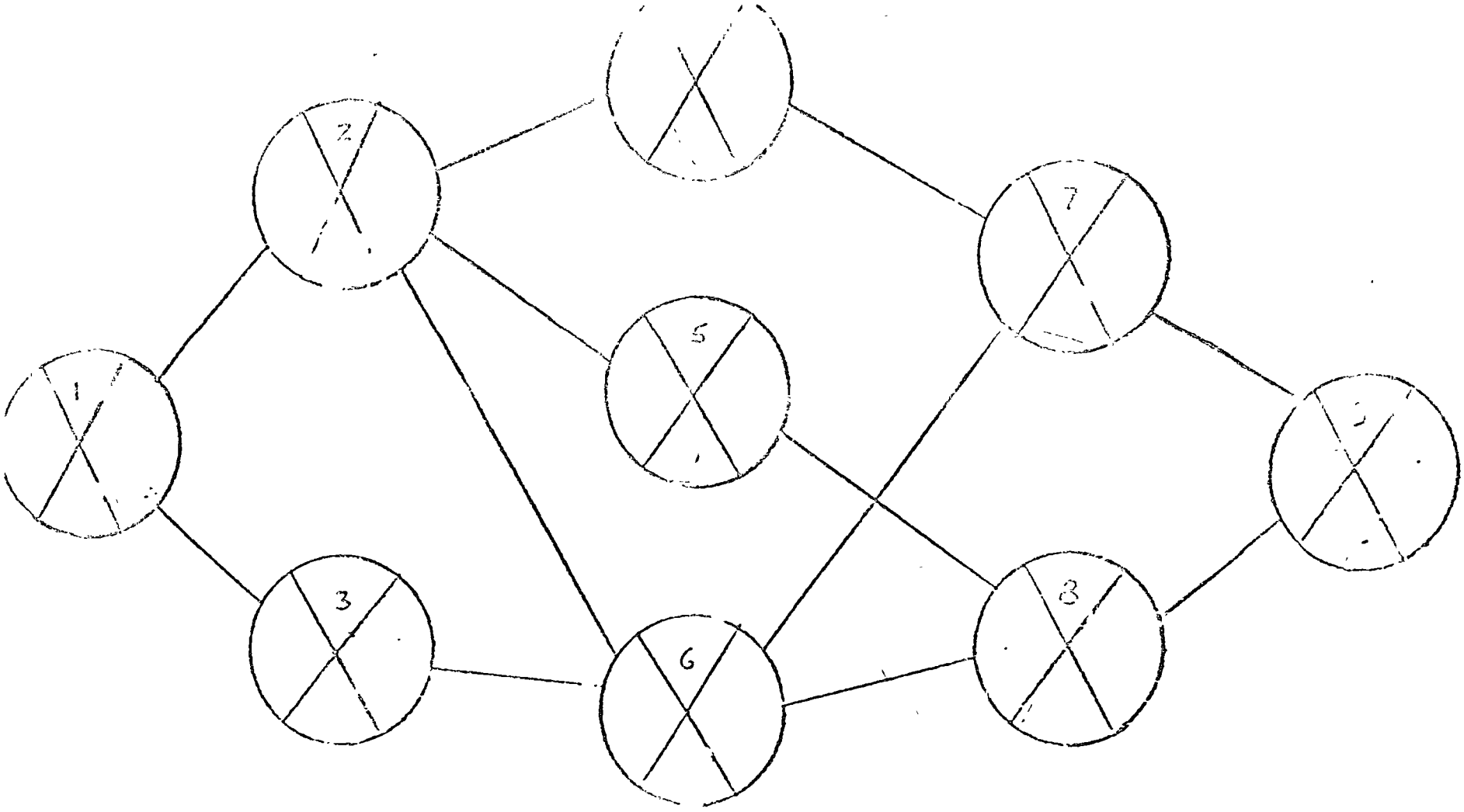
JULIO DE 1976.

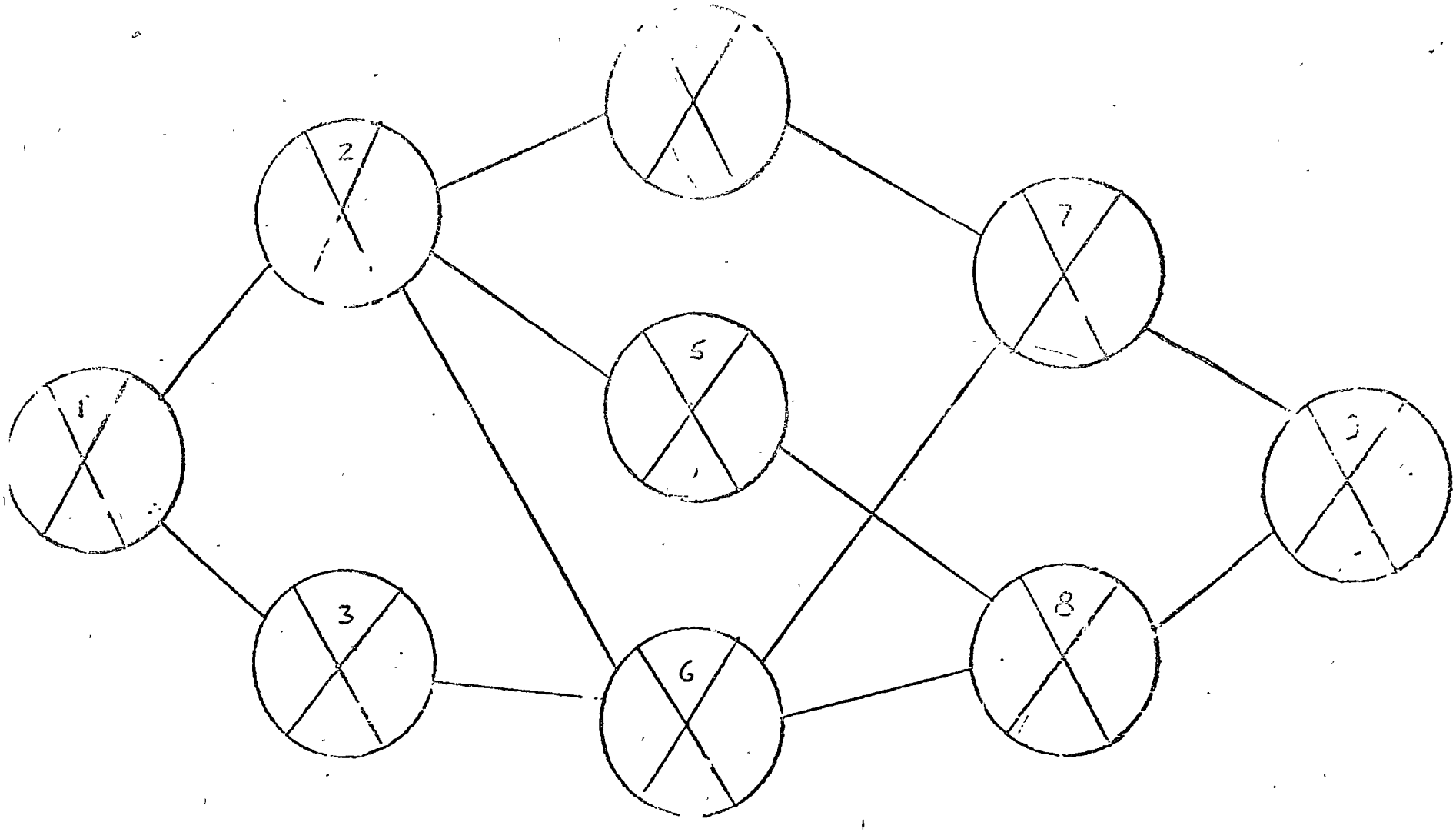
Palacio de Minería Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F. Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

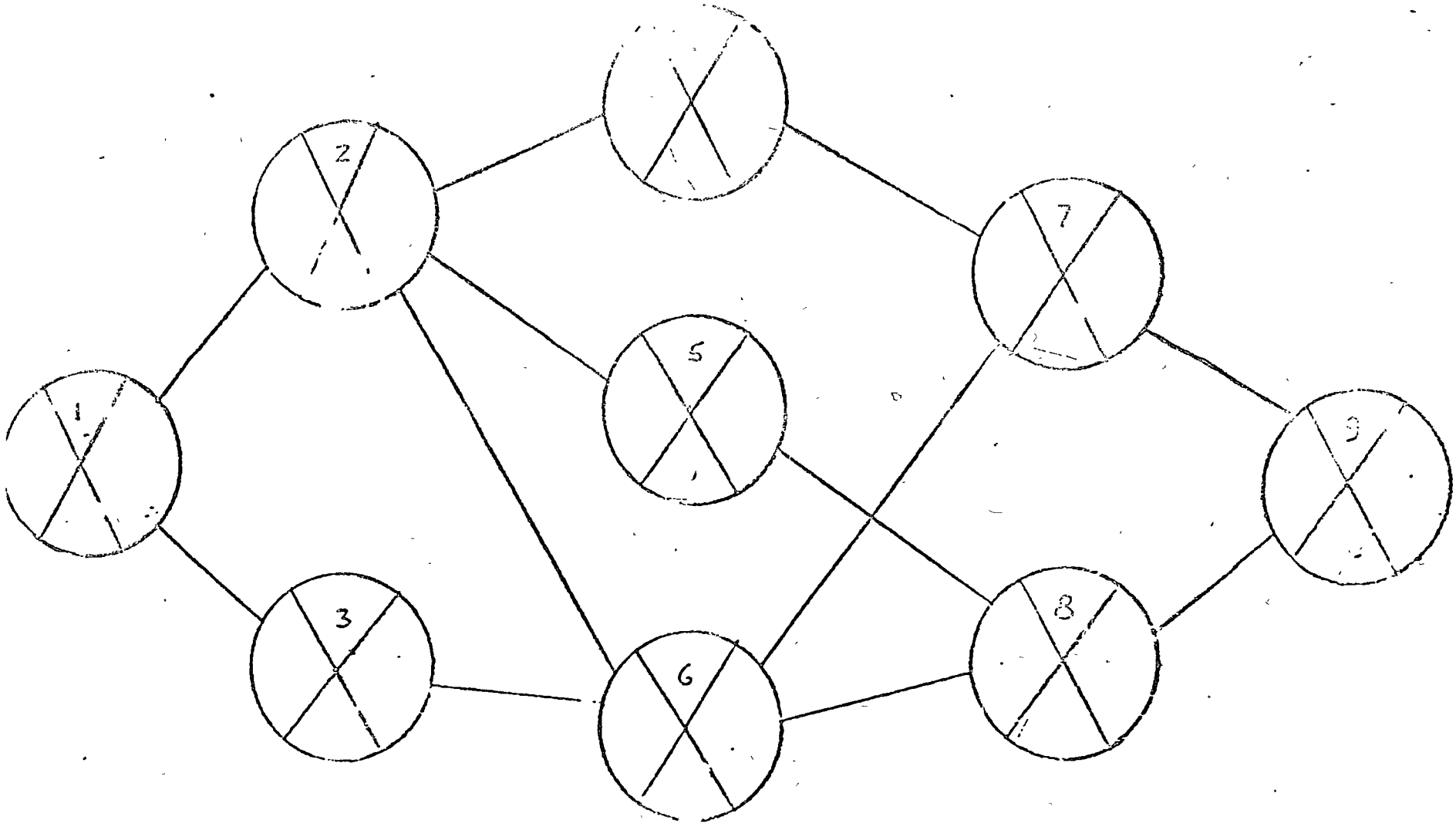
ACTIVIDAD	NORMAL TIEMPO	NORMAL COSTO	MINIMO TIEMPO	MINIMO COSTO	$\frac{C_E}{\Delta t}$
1	4	250	3	165	15
2	10	160	7	190	10
3	15	140	13	160	10
4	7	145	6	150	5
5	8	130	5	175	15
6	1	200	1	200	–
7	6	140	4	180	20
8	12	110	11	115	5
9	2	120	2	120	–
		1,295		1,455	

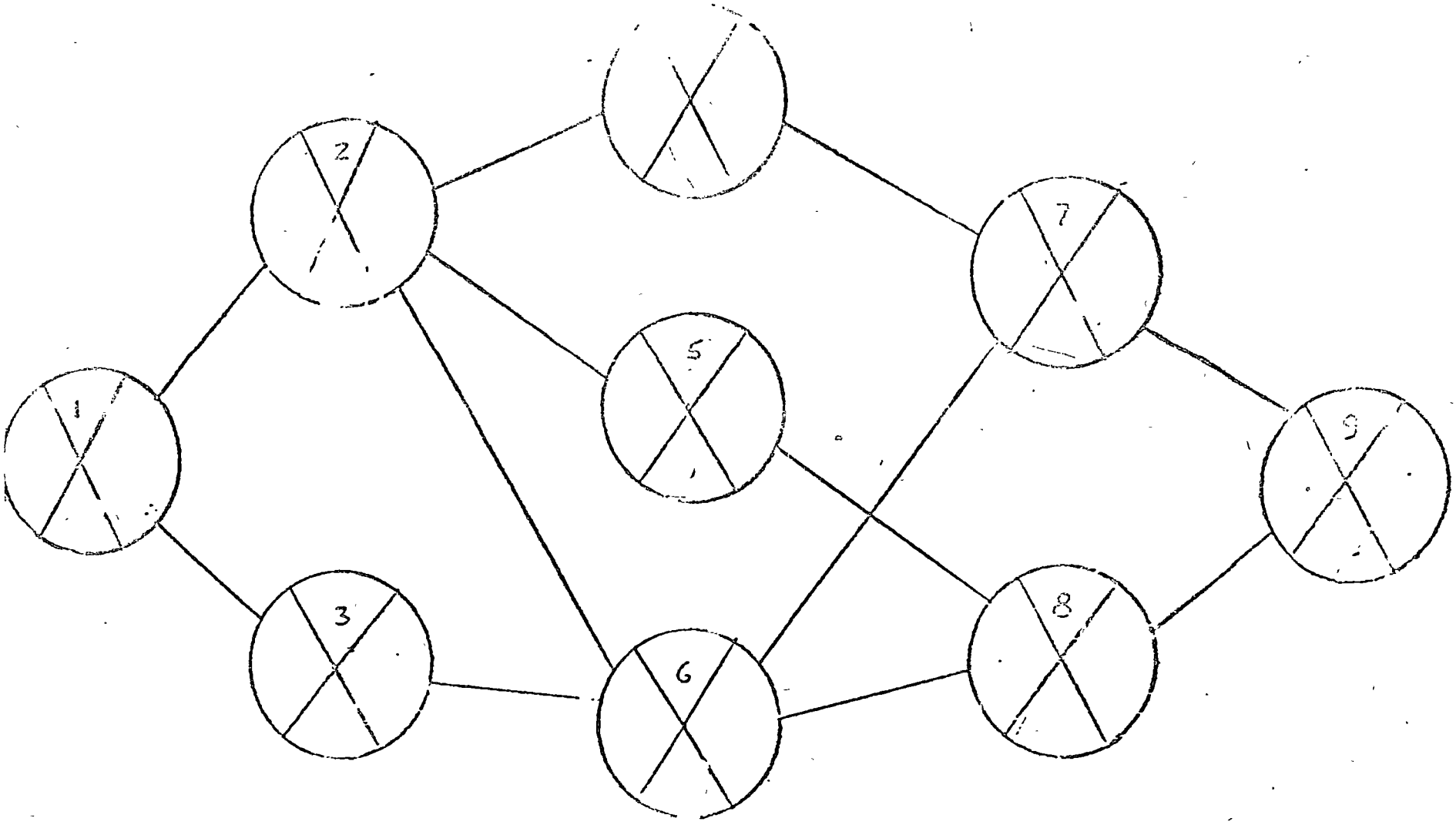

1
2
3
5
6
7
8
9

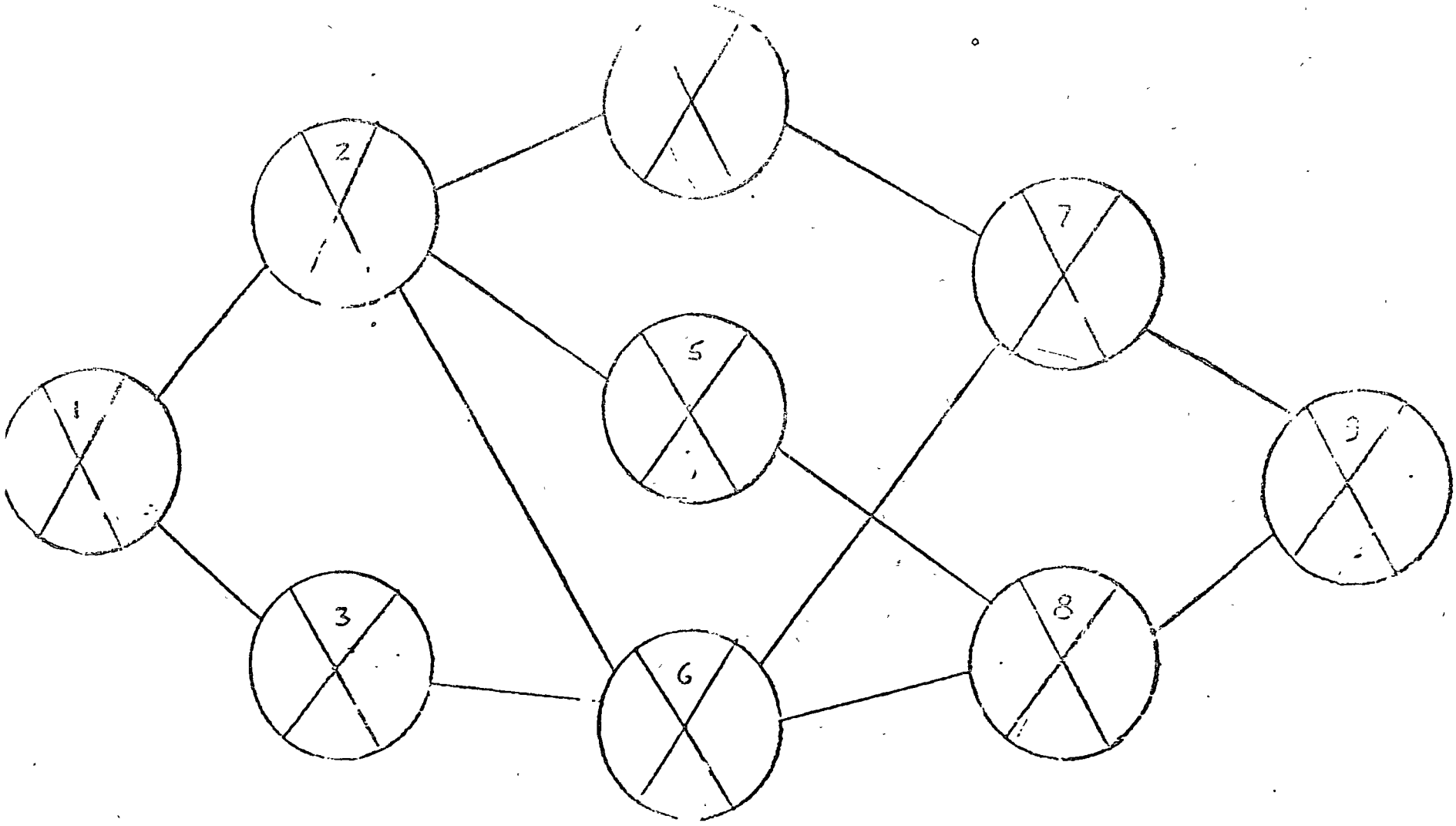

2
7
5
1
3
3
8
6

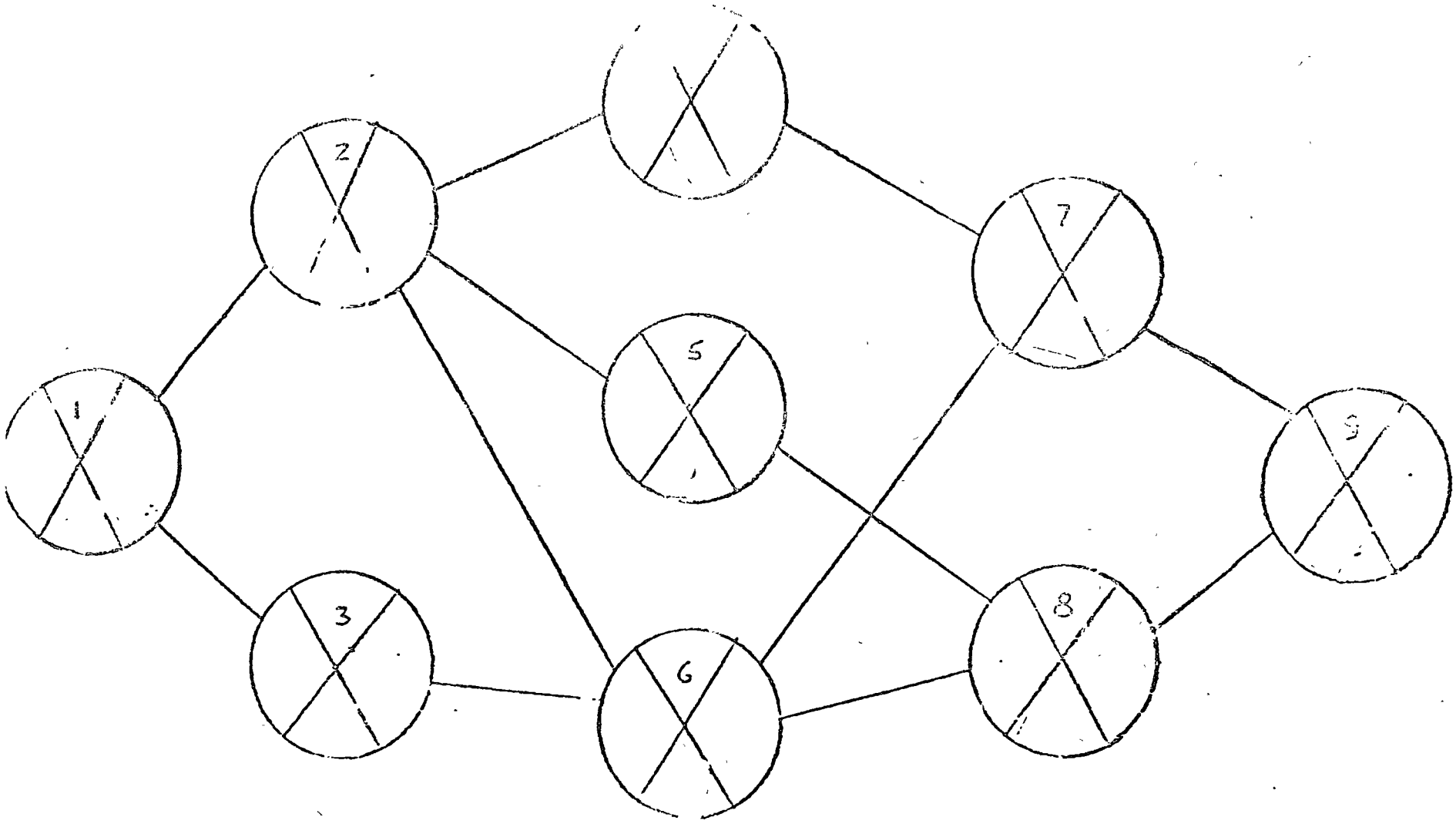

1
2
3
5
6
7
8

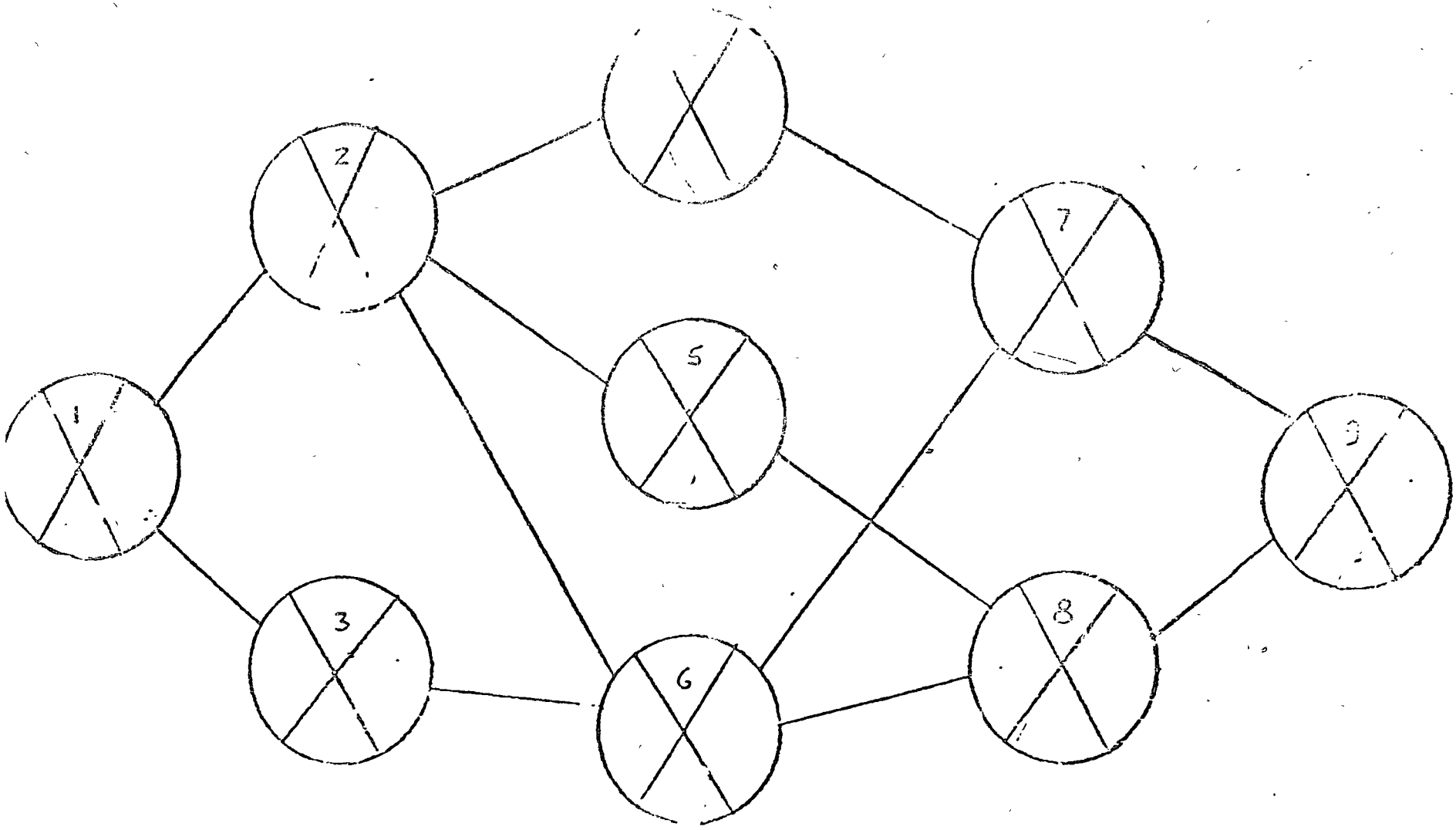

1
2
3
5
6
7
8

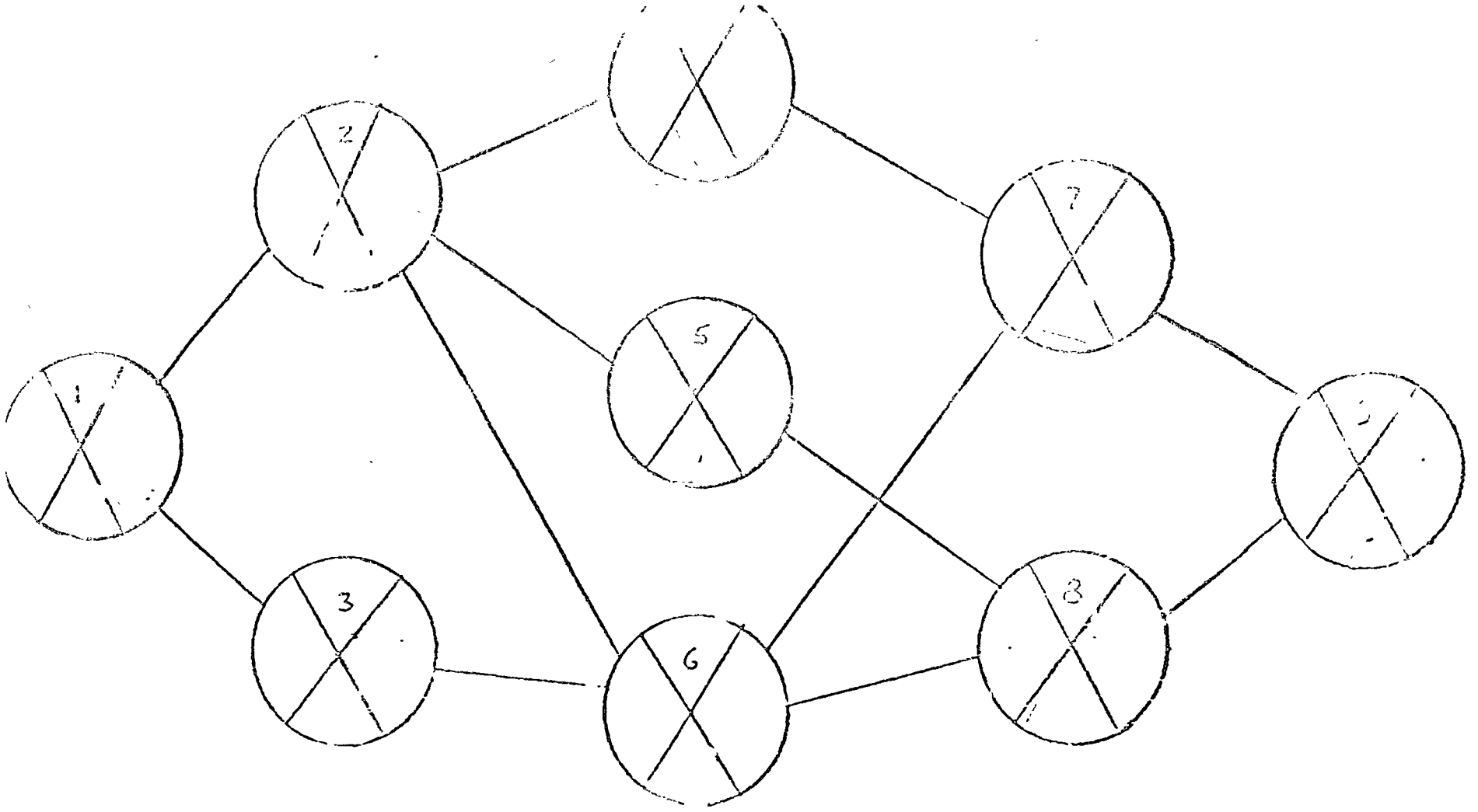

2
7
5
1
9
3
8
6


1
2
3
5
6
7
8
9


2
7
5
1
9
3
8
6


1
2
3
5
6
7
8
9


2
7
5
1
9
3
8
6


1
2
3
5
6
7
8

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

PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS

EJEMPLOS DE APLICACION

ING. JOSE CASTRO ORVAÑANOS

JULIO DE 1976.

Palacio de Minería Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F. Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

Ejercicio: Con los datos enlistados a continuación, desarrollar las 3 fases del método de la ruta crítica, incluyendo el programa de barras respectivo.

Operación	Debe seguir a la operación (es)	t_n	t_m	Para t_n $	Para t_m $	$\Delta\$ / \Delta t$
1	-	5	5	$ 1,500	1,500	—
2	-	15	10	7,200	8,000	160
3	-	30	18	8,400	9,000	50
4	-	20	14	2,100	2,700	100
5	1	12	8	1,400	1,560	40
6	1	6	4	800	1,200	200
7	5	24	20	6,800	7,800	250
8	6	8	5	1,000	1,240	60
9	6	4	3	600	900	300
10	2-6	10	7	3,000	3,450	150
11	7-8	11	8	2,500	3,580	360
12	5-9-10	9	6	1,800	2,700	300
13	3-10	14	10	2,600	3,320	180
14	4-10	21	15	8,400	10,800	400
15	12-13	10	6	1,900	2,140	60
16	13-14	12	10	1,300	1,400	50
17	11-14-15	7	5	700	840	70
18	16-17	3	3	500	500	—

7
5
8
6
9
12
16
17
10
2
13
3
15

2
5
8
6
9
12
16
11
10
5
15
13
7

2
5
7
8
11
16
15
9
3
10
13
12
14
1

4
5
8
6
9
15
16
11
13
10
2
14
7
1

4
5
7
8
6
9
15
16
17
10
2
14
13
1

2
5
8
6
9
12
16
17
10
3
7

7
5
8
6
9
12
10
2

2
5
1
8
6
9
12
13
11
10
3
4
7

4
5
7
8
6
9
12
13
14
10
2
15
3
1

7
5
8
9
12
16
17
10
2
13
3

2
5
7
8
6
9
12
16
11
10
3
19
4

PROJECT PLANNING AND SCHEDULING: A UNIFIED APPROACH

by Boyd C. Paulson, Jr., A. M. ASCE[1]

Introduction

This paper explains the basic procedural logic of a unified approach to planning and scheduling engineering-construction projects. Integrated logic is a necessary prerequisite for development of a comprehensive man-computer system hypothesized in a recent Stanford Construction Institute research report (5). General concepts of the system were qualitatively introduced at the April, 1972 ASCE National Structural Engineering Meeting (6).

In recent years several useful analytical methods were introduced to aid in managing increasingly complex engineering-construction projects. These included critical path network models, resource allocation and leveling, time-cost trade-off analysis, and network-based cash flow studies. However, effective application of these methods was hindered because each only considered a limited part of what was basically the same comprehensive problem. For example, time-cost trade-off methods generally ignored resource constraints. Furthermore, the methods were frequently reduced to rigidly coded computer algorithms; most of the potential benefits of human

[1]Assistant Professor of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign.

judgment, experience and insight were lost.

The logic described here enables concepts of critical path scheduling, resource allocation and leveling, time-cost trade-offs and cash flow analysis to be considered together, as interdependent parts of the same comprehensive problem. Moreover, the system not only permits, but encourages a broad range of qualitative and quantitative human input.

Restrictions of space in this paper require that the reader already understand basic critical path, resource allocation and time-cost optimization methods. These techniques are covered in a number of good texts (1, 3, 4, 9). The resource allocation methods described here are essentially the heuristic techniques developed by J. D. Wiest (7, 8). The time-cost trade-off approach here is new, but is philosophically similar to earlier efforts. Also, space permits only the two most essential parts of the general procedure to be discussed, and these only in a simplified form. The full system is presented in the aforementioned 375 page research report, Man-Computer Concepts for Project Management (5).

Resource Allocation

The resource allocation procedure starts with a basic time and sequence-constrained critical path schedule. Resource requirements for each activity are then determined and availability limits for each resource are established. With this information, a resource allocation procedure can develop a schedule that satisfies resource constraints. A fairly complex parallel heuristic algorithm similar to Wiest's SPAR-1 (8) was described in the Stanford report. A simpler, more concise algorithm will serve here to illustrate basic concepts.

Since resource allocation methods in general have been fairly widely published (they are discussed in most of the references at the end of this paper), this section will primarily focus on less understood means developed by Wiest to preserve measures of "criticality" and "float" in a resource-constrained schedule (7). The problem is that mathematical definitions of "critical path" and "activity float" lose their conventional meanings when resource constraints affect a network.

As defined by Wiest, the "critical sequence" is a sequence of activities with zero total float. However, in the resource schedule, these activities do not necessarily follow one another along a continuously connected path. Resource constraints may cause discontinuities. They do follow one another, however, in the sense that a following activity begins immediately when its predecessor is completed. In tracing the sequence through an activity which has been interrupted, the sequence would transfer to the activity responsible for the interruption and may or may not return to the latter part of the interrupted activity. Furthermore, unlike CPM, a critical sequence is not unique, but depends upon the heuristic methods used in obtaining a particular schedule.

Similar principles apply to the non-uniqueness of float for particular activities. Nevertheless, there are conditions under which these activity floats and their corresponding zero-float critical sequences can be determined or at least partially determined. This section will apply principles and rules developed by Wiest to describe a method of calculating critical sequence and float for resource-constrained schedules. This transition is a key step in integrating resource allocation and time cost optimization parts of the interactive project planning, scheduling and control system.

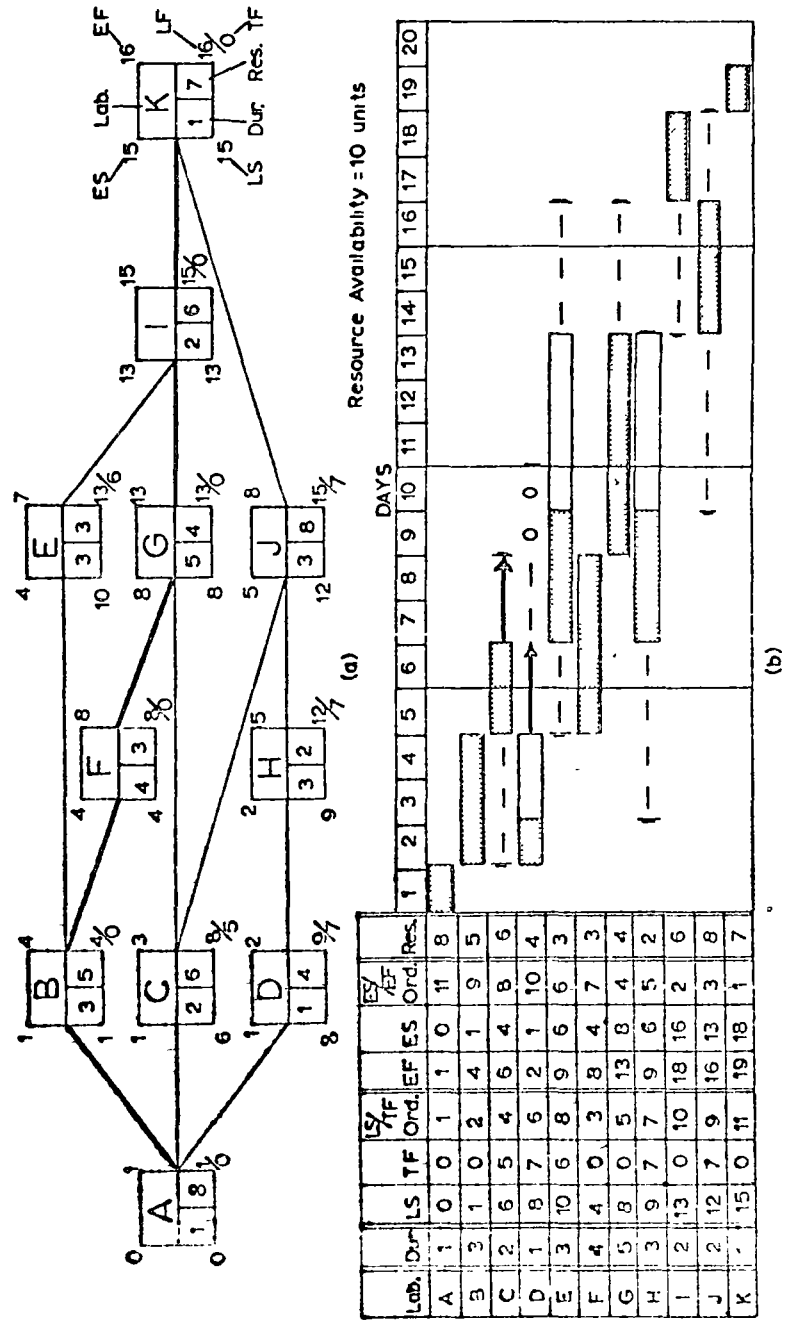
The Calculation Procedure

Consider the example network shown in Figure 1(a). The results of conventional CPM calculations are shown directly on the diagram. For simplicity, assume this network requires just one type of resource, of which only 10 units are available.[2] The resource requirement for each activity appears on the diagram in Figure 1(a) and in column nine of Figure 1(b).

The schedule shown resulted from applying a late start primary sort and total float secondary sort heuristic algorithm (5). Also, none of the activities were interrupted. This schedule is what Wiest called a "left-justified schedule" (7); that is, all activities have been scheduled as early as possible using the heuristics given above in satisfying technological and resource constraints. With other heuristic rules, the order and the early starts of certain activities may well be different. For a particular project, there is a non-empty set of left-justified schedules. Right-justified schedules are analogously defined.

Calculating activity floats, and hence the critical sequence(s), is somewhat like the "backward pass" in CPM. It starts with a left-justified schedule and attempts to shift activities forward without increasing total project duration, and at the same time satisfy resource and sequence constraints. Before proceeding, two definitions given by Wiest will be helpful here. First, a "local right-shift" is a shift that takes place within a continuum in which an activity can feasibly be scheduled. For example, activity H in Figure 1(b) can start anywhere from day 7 to day 11 while satisfying resource constraints. Any rightward shifting within this range is a local

[2] The extension of the method to the multi-resource networks is quite straightforward but would only obscure the present exam[illegible] three-resource case is given later



Lab.	Dur.	LS	TF	LS/TF Ord.	EF	ES	ES/EF Ord.	Res.
A	1	0	0	1	1	0	11	8
B	3	1	0	2	4	1	9	5
C	2	6	5	4	6	4	8	6
D	1	8	7	6	2	1	10	4
E	3	10	6	8	9	6	6	3
F	4	4	0	3	8	4	7	3
G	5	8	0	5	13	8	4	4
H	3	9	7	7	9	6	5	2
I	2	13	0	10	18	16	2	6
J	2	12	7	9	16	13	3	8
K	[illegible]	15	0	11	19	18	1	7

Figure 1
Example Network and ERS Schedule

right-shift. Second, in a "global right-shift" an activity has to "jump" a resource bottleneck during which it could not be scheduled in order to be scheduled at a later period, yet still satisfy resource and technological constraints. This is demonstrated later with activity D. Analogous concepts apply to "local left-shifts" and "global left-shifts" (7).

In order to derive a right-justified "late-start" schedule from an initial early start schedule, certain rules are applied to sort activities into an order for right-shifting. Several rules are possible and different combinations of rules can produce a set of right-justified schedules corresponding to each member of the set of left-justified schedules. One sorting rule that seems reasonable for the backward pass primary sort shifts activities in order of descending "early finish" so that activities with the latest early finish move first. This method was suggested by Wiest and has been tested by the author (7). If there are activities with the same early finish, a secondary sort based on latest early start could first shift shorter activities. Other rules could be applied should tertiary sorts be necessary.

Employing the early-finish/latest-early-start sorting rules for the "backward pass," the late start schedule shown in Figure 2 was generated. The attempted shift order is indicated in the second column. The first four activities, K, I, J, and G, could not be moved. The fifth, activity H, was moved forward four days, entirely with local right-shifts. In shifting H, the maximum right-shift allowed by technological constraints (its follower is J, starting on day 14) was determined and marked with two vertical lines between days 13 and 14. Similarly, activity E was right-shifted four days. However, resource constraints due to J prevented E being right-shifted the full seven days allowed by its technological follower, activity I. Activity F could not be shifted owing to activity G. Now that activities E and H had been

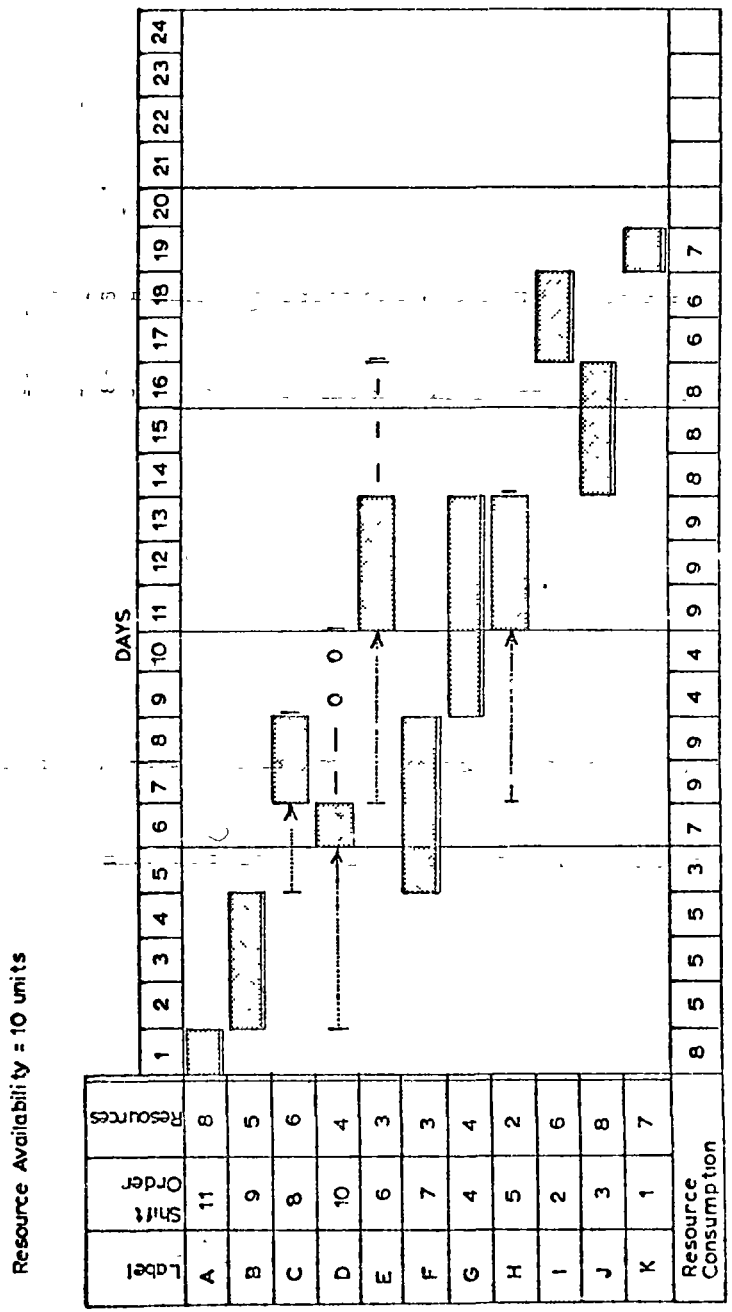


Figure 2

Right-Justified (LRS) Schedule

right-shifted, it was next possible to right-shift activity C two days. Resource constraints would have prevented this earlier. Activity B could not be shifted because of following activity F. Activity D was right-shifted four days strictly through local right-shifts. At that point it stopped because activities C plus F posed resource constraints. Note, however, that its technological limit was marked at the end of day 10, the late start of activity H. Note also that although resource constraints prevented D being scheduled on days 7 and 8, it was possible to schedule it on day 9 or day 10 through a global right-shift. This is the example mentioned earlier. Finally, noting that activity A cannot be shifted because of B, the calculation of the right-justified schedule is complete. This calculation yielded total floats of 4 for H, 4 for E, 2 for C, and 4 for D, along with two additional global right-shifted scheduling possibilities for D. Total floats for the remaining activities are all zero.

In a similar manner, "free floats" for each of the activities can be determined. This is the range in which an activity can be shifted without affecting any other activities. Since positive free float only occurs in activities having positive total float, only activities C, D, E and H need be examined. For E and H, free float equals total float, both remaining at 4 days. Activity C, however, has no free float at all because it would otherwise protrude into the range of activities E, F and H. Similarly, free float for D is two days. Free float yields additional scheduling flexibility.

Identifying the Critical Sequence

It is not always possible to identify the critical sequence(s) of activities in a resource-constrained network. Where it exists, however, several properties are evident. First, all activities in the sequence have zero float. Second, activities in the sequence do not necessarily lie on the same technological path. Third, there is

no time delay between the finish of one activity and the start of the next in the sequence, and there is no overlapping. That is, activities follow each other directly. Finally, where the critical sequence extends throughout the project (it is possible to have partial critical sequences), the length of the critical sequence equals the duration of the project. On Figure 2 the critical sequence is identified by double underlining activities A - B - F - G - J - I - K.

Time-Cost Trade-Off Analysis

Time-cost trade-off analysis starts from a resource-constrained schedule with the critical sequence of activities and activity floats calculated as described. To overcome theoretical and practical difficulties of existing methods, the procedure proposed here would operate in a highly interactive man-computer environment, and would submit most decisions requiring qualitative judgment to the scheduler.

Data requirements for individual activity time-cost curves would be markedly reduced since the critical sequence and float values would focus attention upon just a few key activities at any one time. Furthermore, with less data collection, schedulers could spend time developing more accurate and realistic time-cost curves for activities which most affect overall project duration and costs.

The following sections discuss some types of interaction that take place in time-cost analysis to show how the procedure works. At first this procedure may seem inelegant compared to the seemingly more sophisticated "optimal" techniques. However, in view of many theoretical and practical shortcomings of optimal methods in "real world" applications--leading, in effect, to their virtual abandonment--the methods proposed here appear to have a better chance of success.

Interval Time-Cost Trade-Off Method

Time-cost trade-off procedures in resource-constrained schedules are much more complex than in conventional models. With present techniques it is generally not possible to determine the optimum point on a theoretical curve. Nevertheless, the philosophy of time-cost analysis can be applied and rational procedures can be employed to at least approach the minimum total-cost solution. Also, these procedures continuously maintain the feasibility of a resource-constrained schedule. This advantage cannot generally be claimed for the so-called "optimal" time-cost trade-off techniques.

The General Approach

The procedure begins by identifying the previously calculated critical sequence(s) of activities. The scheduler then works his way chronologically through the schedule and attempts to group activities into logical time intervals. In general, intervals involve groups of activities which are minimally affected by changes to activities in adjacent intervals. Rather than develop suboptimal time-cost data for individual activities, these intervals become the fundamental logical unit upon which comparative time-cost information is based. This overcomes some problems of qualitative and indirect interrelationships between concurrent activities.

Having delimited intervals, the scheduler examines each and evaluates its potential for time-cost trade-offs. He observes critical activities and assesses their individual potential for expediting. Then he also examines concurrent non-critical activities, notes their available float and judges their influence on the critical activities. Finally, he observes total resource usage levels and

availability limits during the interval.

On completing his qualitative evaluations, the scheduler then focuses on the more promising intervals to determine specific methods of expediting and to develop good time-cost data for the least expensive method. Three possible ways of expediting are 1) overtime, 2) resource augmentation, and 3) alternative technology. Types of overtime include longer shifts, multiple shifts and weekend work. Resource augmentation adds additional resource units to expedite an activity. This either utilizes idle resources from the available resource pool or "borrows" resources from concurrent non-critical activities. Numerous possibilities arise under "alternative technology." Those used depend upon particular situations.

The objective of the approach is to expedite the portion of the schedule within the interval to create a "gap" of one or more days. This gap allows all activities in succeeding intervals to be left-shifted, thus reducing project duration. The process will be illustrated in a later example.

The basic philosophy of time-cost trade-off theory is preserved because project compression alternates between different intervals depending upon which has the most favorable current properties. The crux of the process lies in defining intervals and expediting activities within them.

Delimiting and Expediting Intervals

This subsection describes successively more complicated situations which may be delimited as "intervals" in the resource-constrained time-cost trade-off process.

Situation A: The simplest situation is that involving a technologically critical activity occurring in a period with no concurrent activities. In this case

the "interval" is the time from the start to the finish of the activity. Any expediting of the activity reduces project duration. Although the case is trivial, it could occasionally occur on actual projects.

Situation B: The technologically critical interval shown in situation A can be made somewhat more complicated by introducing concurrent activities having free float. This situation will be illustrated in the example. Again, the interval is delimited from the start of a technologically critical activity to its finish, and again any expediting of that activity reduces project duration. In this situation, however, the amount by which the technologically constrained activity can be expedited may be limited by the amount of free and/or total float available in concurrent activities. However, the concurrent activities not only impose additional constraints, but they can introduce additional opportunities as well.

Situation C: In some situations an interval can be expedited by accelerating a non-critical activity. The partial network shown in Figure 3(a) illustrates a simple case. Activities A and E are critical and are technologically connected to other critical activities. Assuming a resource limit of 10 units, activities B and D are resource-critical as shown in Figure 3(b). An interval is thus delimited from the beginning of activity B to the end of activity D. This illustrates the more general condition where an interval is defined from the beginning of the last activity in a technologically critical sequence through the following resource-critical sequence and back to another technologically constrained interval.

There are numerous ways to expedite the interval shown. The example points out that activity C, which is non-critical with three days of free float, can be expedited to create a gap. To see this, assume that C can be expedited through

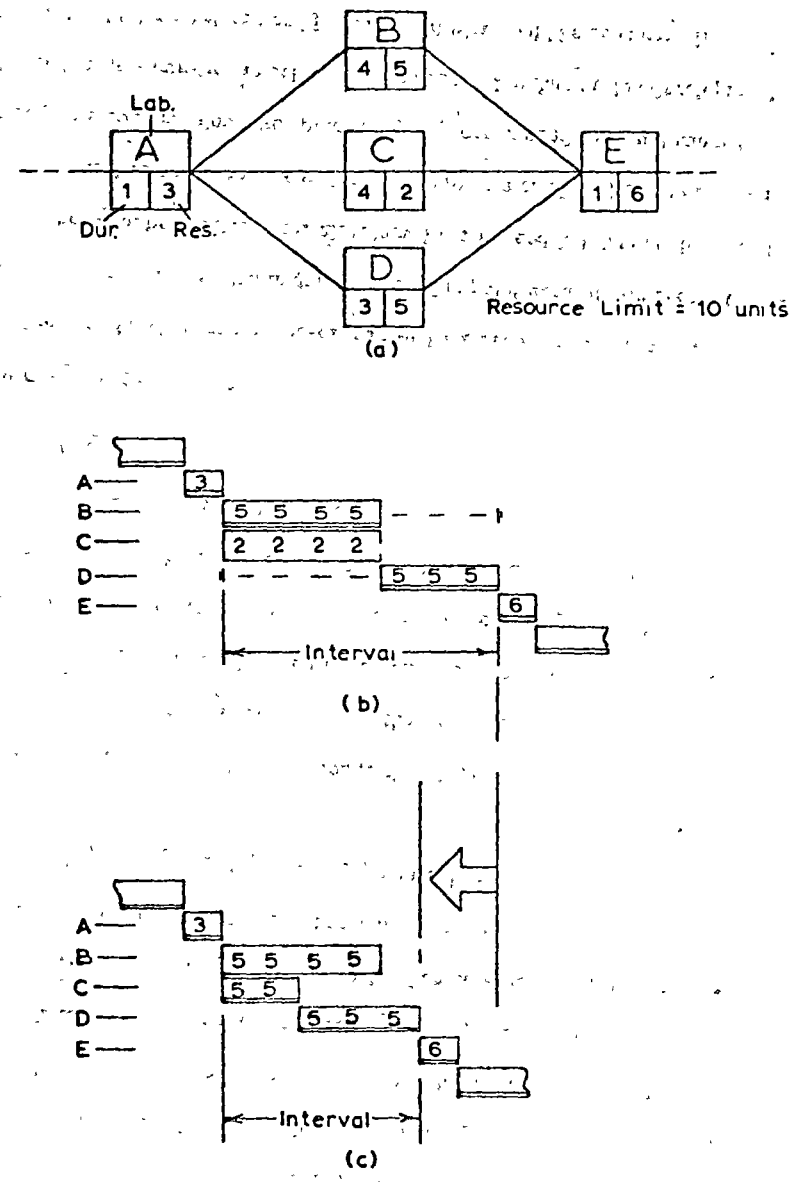


Figure 3

Situation C: Creating an Interval Gap by Expediting a Non-Critical Activity

resource augmentation and that five men can perform in two days the work that two men do in four. Five allows for reduced productivity due to congestion. The critical sequence shifts from activities A - B - D - E to activities A - C - D - E. Activity B now has one day of free float. The interval duration and hence project duration has been reduced two days, as shown on Figure 3(c).

Situation D: It often happens in larger networks that there are concurrent, or parallel, critical sequences of activities. In some cases it is possible to trace these sequences from the point in time where they diverge to another point where they again converge into a single critical sequence. The point of divergence or convergence is a location at which one activity in each critical sequence shares a common start or finish time. In this case, the critical sequences "intersect," although intersection does not necessarily involve a junction of technological paths. In these cases activities between a point of divergence and a point of convergence define an interval. These situations will be illustrated later.

In general, the situation requires shortening each critical sequence in the interval, either by expediting the critical activities themselves (this is necessary for the technologically constrained sequences) or by accelerating non-critical activities in order to left shift resource-critical ones, as in situation C. The interval will be compressed by the amount of the least expedited critical sequence, and the project will be shortened by a corresponding amount. In the process, critical sequences of activities within the interval may shift, and some sequences may become non-critical. Finally, where activities within the interval shift relative to one another, it is necessary to observe the overall resource availability constraints that apply.

Situation E: The final situation discussed here occurs when one or more chains of concurrently scheduled non-critical activities in an interval have total float but no free float and thus transmit effects of changes into adjacent intervals. One approach would define the interval wide enough to encompass all such chains up to and including the activity having free float. This approach is impractical, however, for two reasons. First, intervals would often be excessively wide and might well encompass most of the schedule. Second, the restriction is not thought to be significant enough when compared to those of criticality to warrant such redefinition of the interval.

The basic problem in this situation is that if a gap can be created in the critical sequence(s), and if the remainder of the schedule is then left-shifted where possible, there may be a relative rightward displacement of activities in total float chains. This might violate resource constraints in succeeding intervals. Also, the gap created cannot be wider than the least total float available in any of the non-critical chains. Three ways of handling this situation were discussed in the research report (5).

Project Compression

Once partial time-cost trade-off curves have been developed for a few intervals, project compression may begin. At this point accurate time-cost trade-off curves need not be developed for all intervals, nor need full data be developed for the individual intervals to be considered. This data can be developed as needed while schedule compression takes place and the process need only continue until the desired project duration is achieved. The scheduler thus avoids developing data for intervals which experience and judgment tell him would be economically

impractical to expedite. Similarly, he would not compile needless data for steeper portions of individual time-cost curves.

Having selected an interval, the scheduler expedites it to create a gap, usually of the number of days available within the current cost-slope. Manually or by computer he then left-shifts the remaining intervals in the schedule. This usually is a comparatively simple process of subtracting the amount of the shift from the schedule data for activities that moved. In some cases, free float and total float also decrease. The scheduler should be especially conscious of any effects on other favorable intervals. If the effects are too adverse, he might wish to retreat from his attempt to expedite the interval currently under consideration. These are decisions to which he would apply his judgment and experience.

The scheduler repeats this process--alternating between intervals with the currently most favorable properties, creating gaps, left-shifting following intervals, and updating--until the desired project duration was achieved, or until resulting savings in penalty and/or indirect costs were less than expediting costs. The process is not optimal in the mathematical sense, but it preserves the optimizing philosophy. It has major advantages over conventional methods, however, because it operates within resource constraints and allows for indirect interrelationships between concurrent activities and considers other difficult-to-quantify factors. Its practical feasibility on a large scale, of course, depends upon interaction with a computer to handle the straightforward but tedious calculations required.

Other Applications

The discussion so far has assumed that the objective of time-cost trade-off [illegible] is [illegible] project compression. There are, of course, many other possibilities.

For example, the initial project duration may be entirely satisfactory, there may [illegible] be plenty of room to extend it if cost savings could be achieved. In this case, the process would be reversed, with activities and/or intervals having steep cost-slopes being extended in duration by taking advantage of less expensive but more time-consuming methods. These possibilities are recognized here but will not be discussed further.

An Example

To illustrate concepts discussed in this section, consider the precedence network shown in Figure 4. Critical path calculations are also shown. Without resource constraints, the 27 activity project has a 44 day duration. There are three types of resources, however, and their maximum availability is 10 units each. It was therefore necessary to reschedule using resource allocation procedures. The results are shown on Figure 5. The figure also shows individual activity resource data and total resource consumption on each day. On the "forward pass," the primary sort key was late start (from CPM) and the secondary sort key was total float. In one case a tertiary sort based on resource consumption broke a tie. The "backward pass" was performed using early resource-constrained finish (ERF) and early resource-constrained start (ERS) respectively as the primary and secondary sorts. The resulting resource-constrained free float (ERF) and resource-constrained total-float (TRF) is shown by blank bars and solid lines, respectively, on the activities to which they apply. Technologically feasible resource-constrained areas are shown with a dashed-line.

The activities in the schedule have been sorted to show continuous critical sequences. There is one primary critical sequence and one secondary one. Since

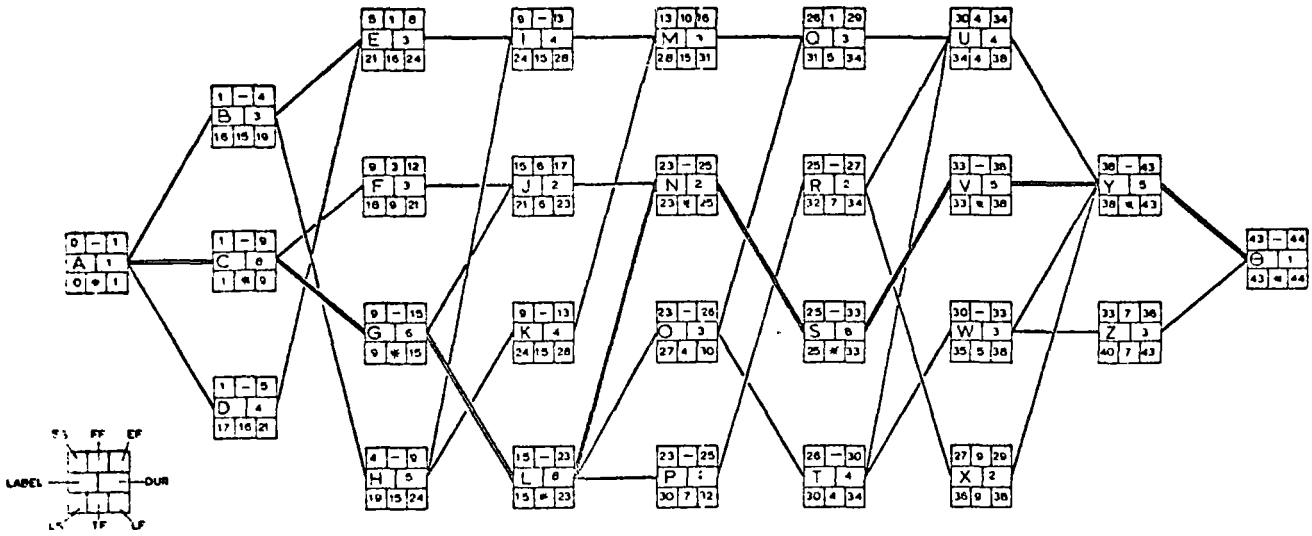


Figure 4

27 Activity Precedence Network
(Adapted from Davis 1968-200))

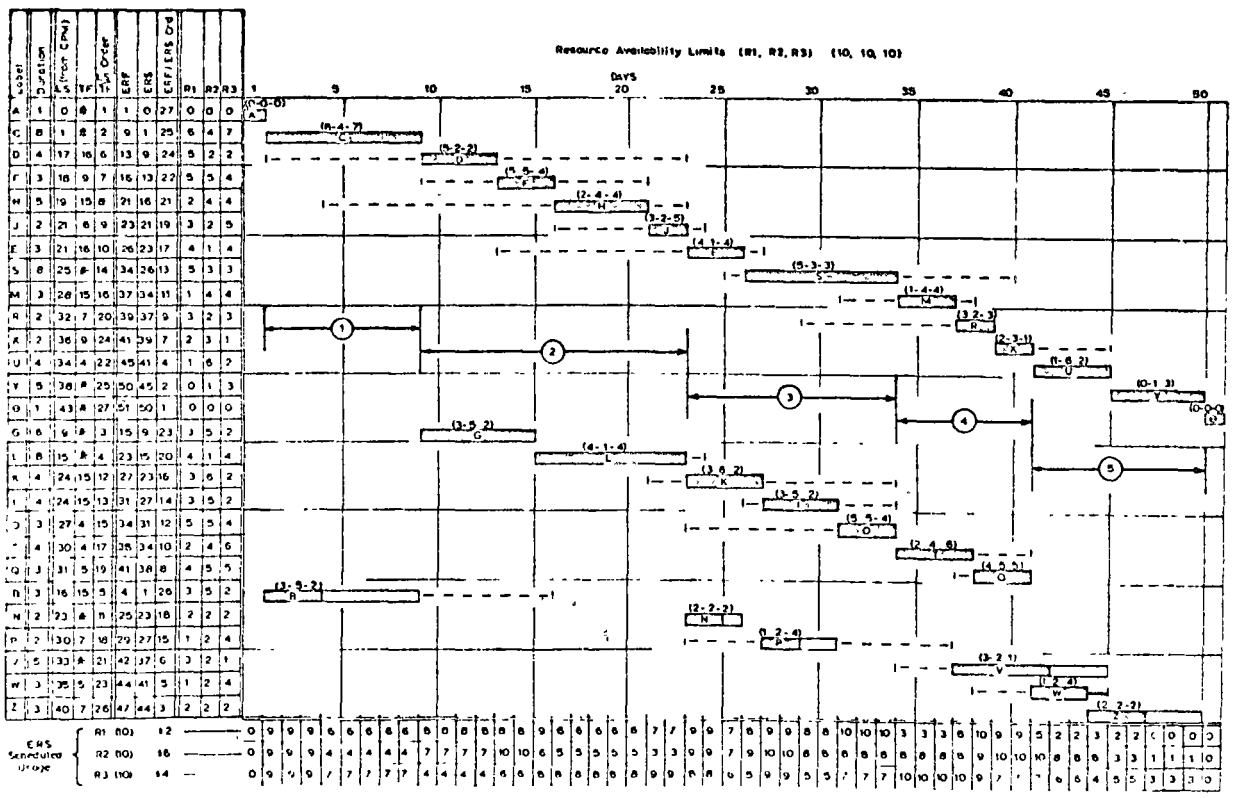


Figure 5

27 Activity ERS Schedule

there is one point of divergence (end of C), one point of convergence (beginning of U) and two intersections (end of J and L, and end of S and O) for the sequences, the distribution of activities between the sequences is arbitrary. For example, the chain E - S could be interchanged with the chain K - I - O and the sequences would still hold. Non-critical activities have been sorted in order of ERS.

The primary purpose here was not to illustrate resource allocation. Rather, the example illustrates the interval time-cost trade-off method. For this, assume unit hourly costs of $2.00, $6.00 and $4.00 respectively for three resources called R1, R2 and R3 for "unskilled," "skilled" and "semi-skilled" labor. Assume all overtime is time-and-one-half. This example is still deliberately kept simple. For one thing, only direct costs have been considered. For the moment, however, consider the example with the simplifying assumptions.

Having sorted the activities into the order shown, the scheduler begins to delimit intervals. The first, a typical "situation B," spans technologically critical activity C from days 2 through 9. Concurrent activity B has five days of free float. The interval is preceded by technologically critical activity A and is followed by a divergence of critical sequences. After finding this point of divergence, the scheduler continues until he notes the intersection between the ends of activities J and L and the starts of activities E and K. He thus delimits another type of interval, earlier called "situation D." On Figure 5 it is interval 2 and spans days 10 through 23. Interval 3 is similarly delimited from days 24 to 34. Interval 4 begins with an intersection and ends with a convergence at the beginning of activity U. At the end of this interval, activity V laps over into the next interval. It has free float, however, so it does not change the interval. Interval 5, the last, is a slightly more

complicated version of the type in interval 1. In this case, the technologically critical activity labeled "θ," is at the end.

Having delimited a number of intervals, the scheduler selects a few promising ones and develops good time-cost data for them. For lack of space, only one will be developed here. The results of others are summarized on Figure 8 at the end of this example. Detailed calculations for each interval are given in the research report (5).

For interval 2 the scheduler must expedite two critical sequences concurrently to create a gap. Both near the beginning and in the latter half of the interval there are areas of underutilization of resources. He thus turns to resource augmentation and develops the method in Figure 6. Applying extra resources to activities D, H and L, he shortens the interval by two days and improves resource utilization. The cost slope for this stage of compression in interval 2 is $160 per day--considerably higher than intervals 1 and 5, but still reasonable when compared to the absolute magnitude of total direct costs for the interval ($8704 to $9024).

After developing time-cost data for a few intervals, the scheduler can compress total project duration. In so doing, he alternates from one interval to another, utilizing the one currently most favorable, and soon reduces the duration to 42 days—less than that in the original CPM schedule. The new 42 day schedule is shown in Figure 7. The overall direct-cost project time-cost curve for this process is shown in Figure 8.

Although the curve on Figure 8 resembles a theoretically optimal time-cost curve, it most probably will not be optimal. The theoretically optimal curve lies somewhere below it. One of the main reasons for this is that by concentrating on

Situation B
Method 2 (Resource Augmentation)

	Act	Dur		(R1-R2-R3)
Initial Conditions:	D --	4 days	@	(5- 2- 2)
	F --	3 "	@	(5- 5- 4)
	H --	5 "	@	(2- 4- 4)
	J --	2 "	@	(3- 2- 5)
	G --	6 "	@	(3- 5- 2)
	L --	8 "	@	(4- 1- 4)
Assumptions	D --	3 days	@	(7- 3- 3)
	H --	4 "	@	(3- 5- 5)
	L --	6 "	@	(6- 2- 5)

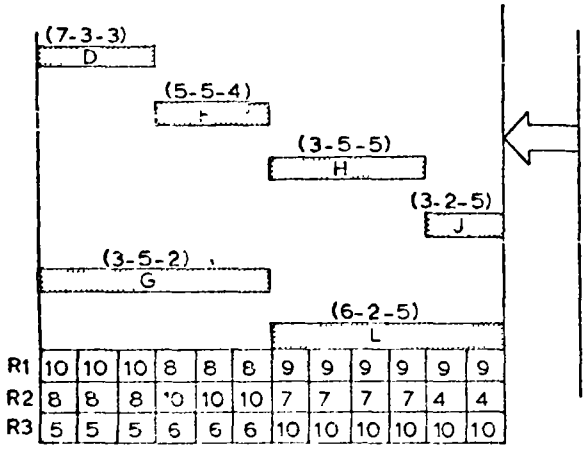
8 hour days

Initial Cost (8-day): $8704

Expedited Cost (6-day): $9024

Cost Slope: $9024
-8704
$ 320 / 2 days = $160/day

Expedited Interval:



R1	10	10	10	8	8	8	9	9	9	9	9	9
R2	8	8	8	10	10	10	7	7	7	7	4	4
R3	5	5	5	6	6	6	10	10	10	10	10	10

Figure 6

Expediting Interval 2

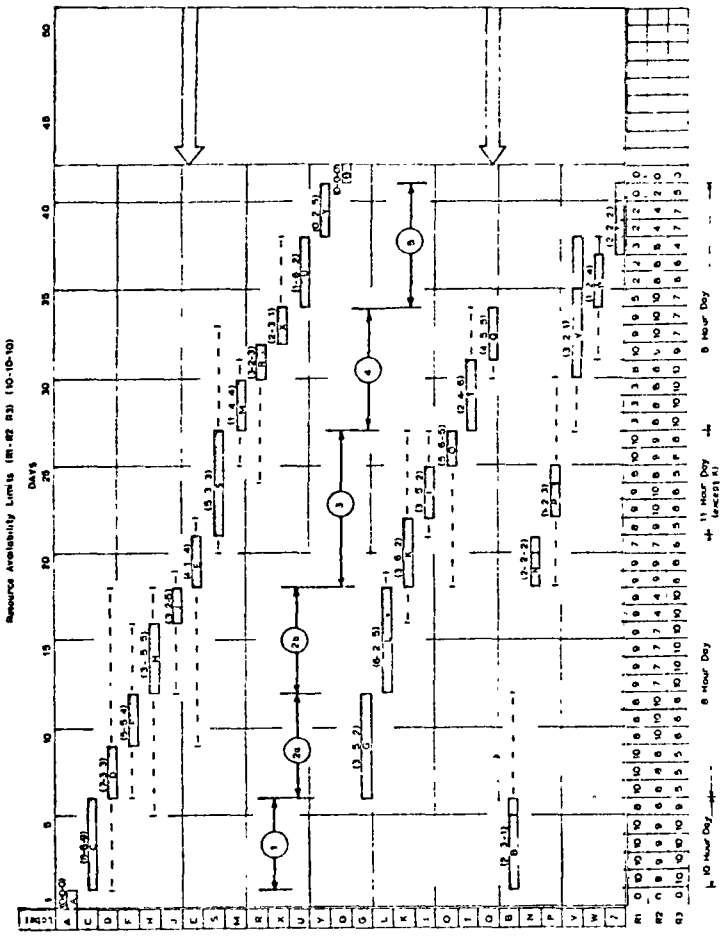


Figure 7

The Compressed Schedule for the 27 Activity Network

Expedited Interval	Time-Cost Slope ($/day)	Project Duration (days)	Total Direct Cost ($)
start	-	51	31,680
5	24	49	31,728
1 -1	56	47	31,840
2	160	45	32,160
3	579	43	33,318
1 -2	720	42	34,038

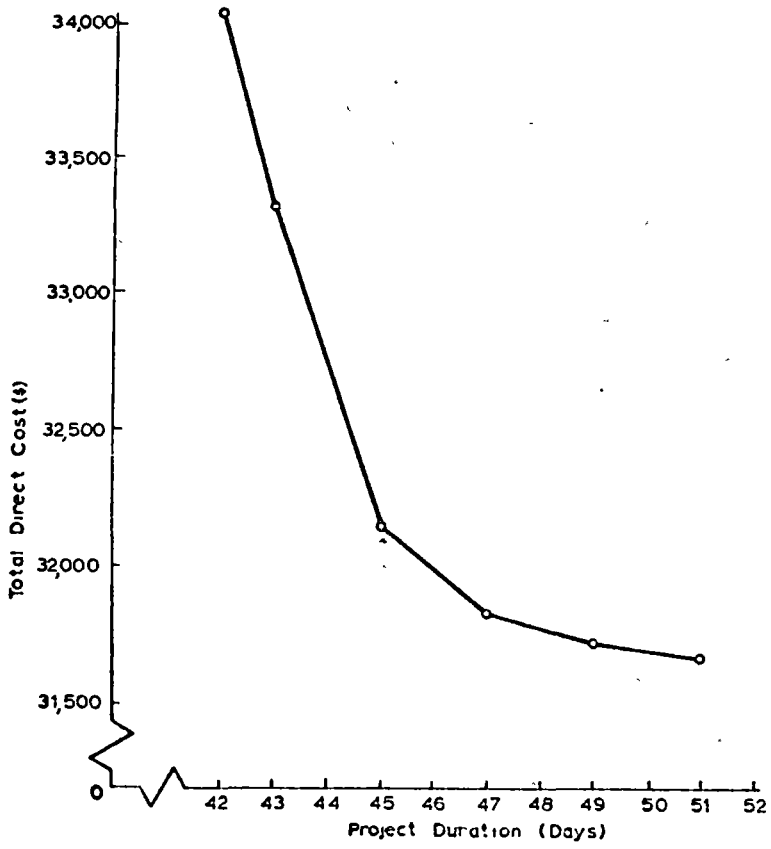


Figure 8

The Project Interval Time-Cost Trade-Off Curve

intervals, the scheduler has foregone some opportunities for changes requiring that more than one interval to be considered at a time. For example, in Figure 5 the scheduler did not recognize the possibilities that could be opened by somehow reducing the requirement of resource R3 in activity C from seven units to six. This change would have allowed resource critical activity H to be left-shifted into interval number 1 and thus break the primary critical sequence. This may or may not be beneficial, of course, since there still remains another critical sequence, but it would be preferable if such possibilities could be explored. This, however, is beyond the scope of the interval time-cost trade-off method in its present stage of development. It certainly should be explored in future research. The point here is that the ability to approach a schedule with the interval-based methods that have been described and develop a project time-cost curve such as that shown in Figure -8 is at least in keeping with the philosophy of time-cost optimization theory. Once again, it has a major advantage over earlier approaches because it operates within resource constraints.

Summary

This paper introduced a means of integrating two independent techniques for planning and scheduling--resource allocation and a time-cost trade-off analysis. In the research project upon which this paper was based (5), these techniques were also integrated with basic critical path networking, resource leveling, and cash flow analysis. All were developed in the context of an interactive man-computer system. This unified approach to planning and scheduling has considerable potential for helping to bring today's increasingly complex engineering-construction projects to completion on time and within budget.

APPENDIX - REFERENCES

1. Antill, James M., and Ronald W. Woodhead, Critical Path Methods in Construction Practice, 2nd ed., New York: John Wiley and Sons, 1970.

2. Davis, Edward W., An Exact Algorithm for the Multiple Constrained Resource Project Scheduling Problem, New Haven: Department of Administrative Sciences, Yale University, May, 1968.

3. Fondahl, John W., A Non-Computer Approach to the Critical Path Method for the Construction Industry, Technical Report No. 9. Stanford: The Construction Institute, Department of Civil Engineering, Stanford University, November, 1961. (Second Edition, 1962).

4. Moder, Joséph J., and Cecil R. Phillips, Project Management with CPM and PERT, 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1970.

5. Paulson, Boyd C., Jr., Man-Computer Concepts for Project Management, Technical Report No. 148, Stanford: The Construction Institute, Department of Civil Engineering, Stanford University, August, 1971.

6. Paulson, Boyd C., Jr., Man-Computer Concepts for Planning and Scheduling, ASCE National Structural Engineering Meeting, Cleveland, Ohio, April 24-28, 1972, Preprint No. 1644.

7. Wiest, Jerome D., "Some Properties of Schedules for Large Projects with Limited Resources," Operations Research, XII, 3 (May-June, 1964), 395-418.

8. Wiest, Jerome D., "A Heuristic Model for Scheduling Large Projects with Limited Resources," Management Science, XIII, 6 (February, 1967), B-359-B377.

9. Wiest, Jerome D. and Ferdinand K. Levy, A Management Guide to PERT/CPM, Englewood Cliffs (New Jersey): Prentice-Hall, 1969.

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

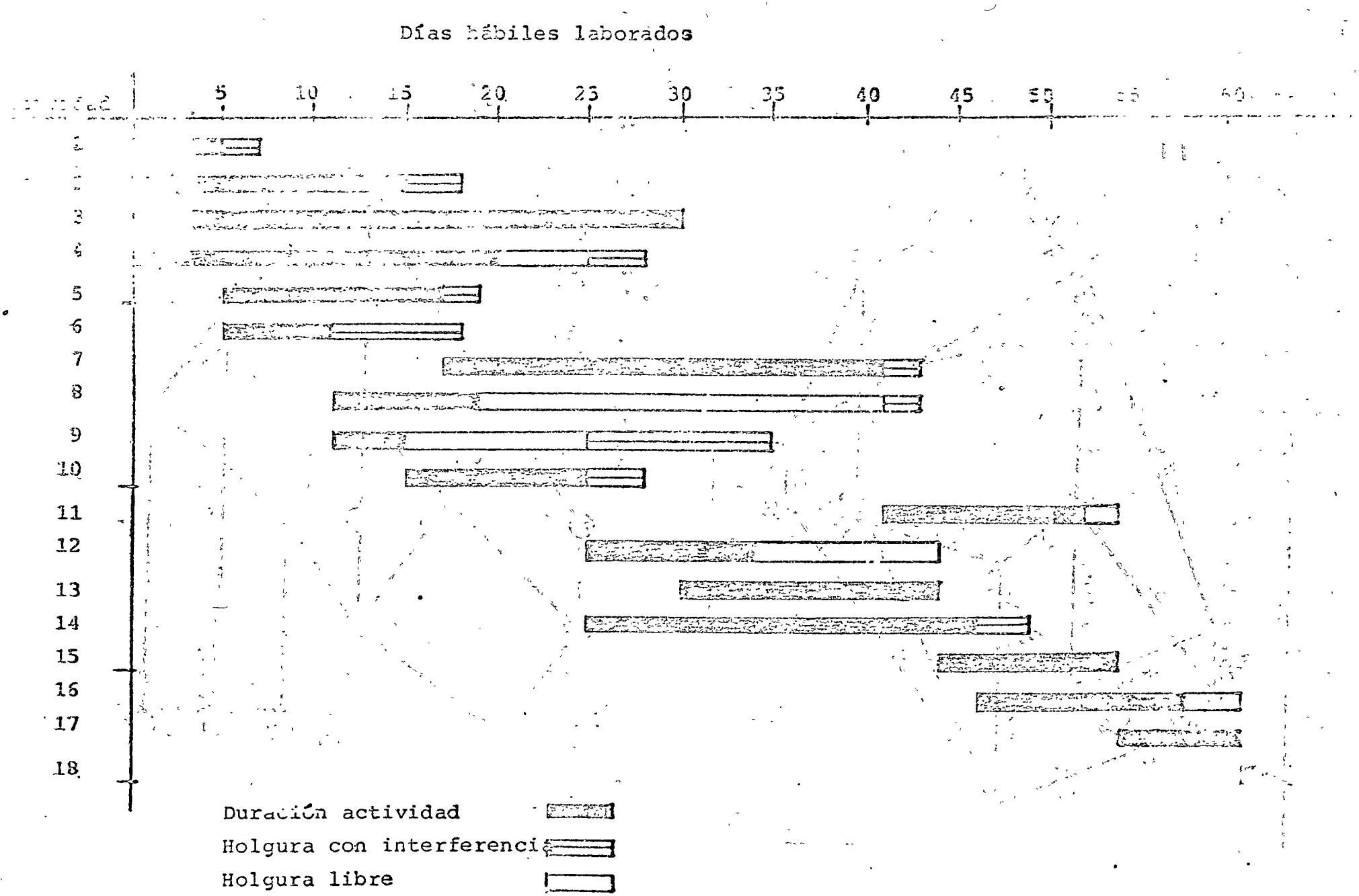
PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS

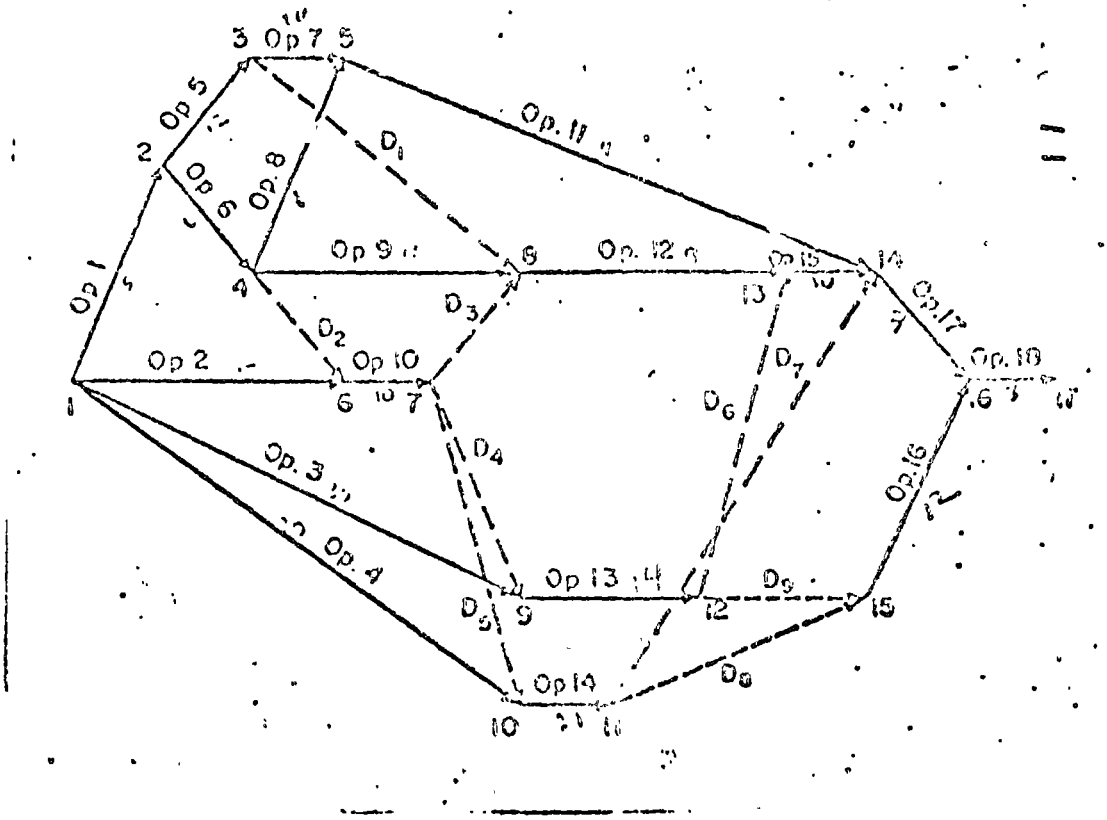
SOLUCION DE EJEMPLOS DE APLICACION

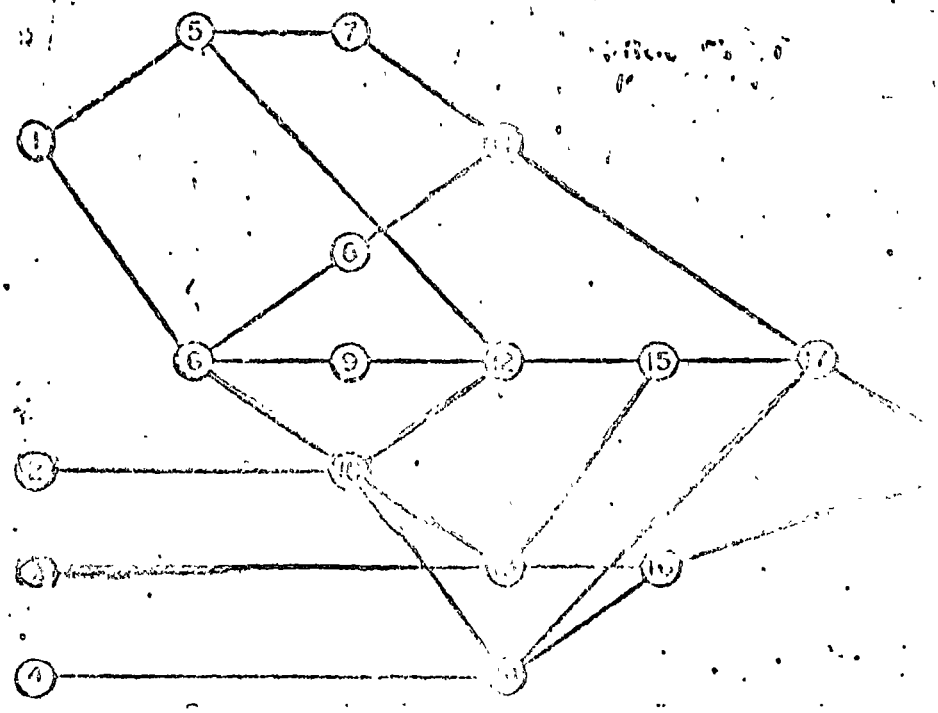
ING. JOSE CASTRO ORVAÑANOS

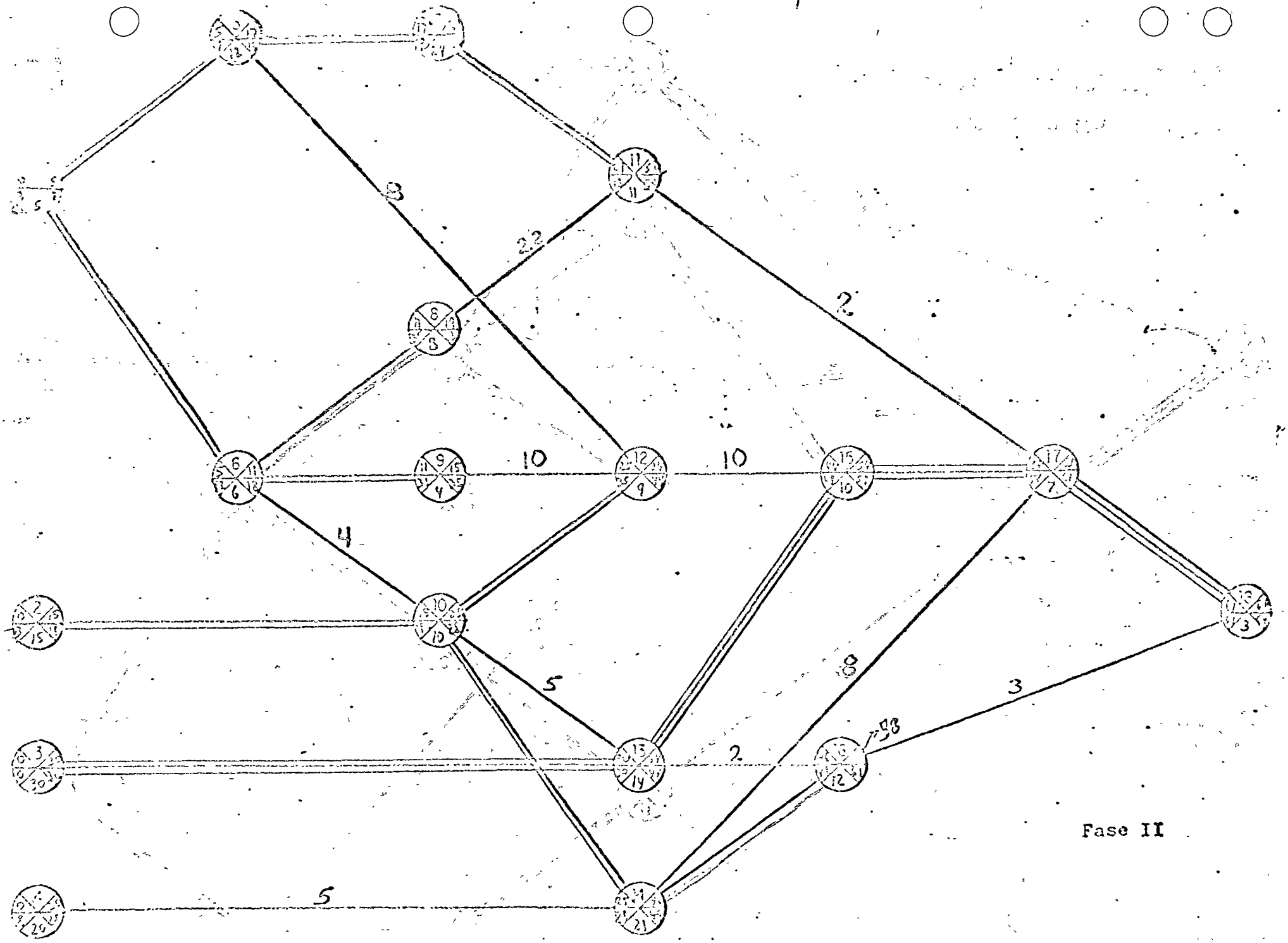
JULIO DE 1976.

Palacio de Minería Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F. Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

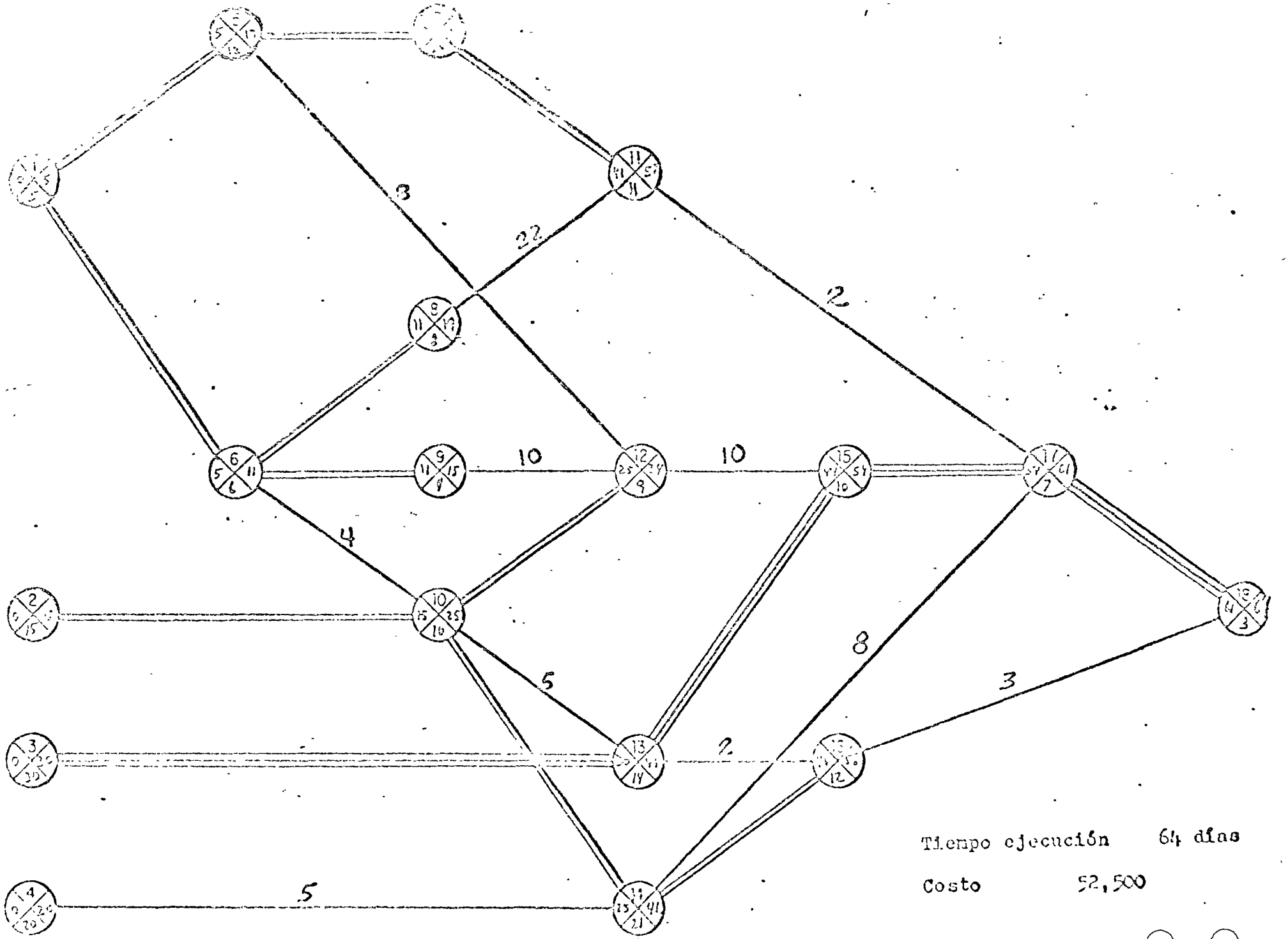

Días hábiles laborados
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
Duración actividad
Holgura con interferenci
Holgura libre


Op 1
Op 2
Op 3
Op. 4
Op 5
Op 6
Op. 8
Op 9
Op 10
Op 13
Op 14
Op. 11
Op. 12
Op 15
Op.17
Op.18
Op.16
D1
D2
D3
D4
D5
D6
D7
D8
D9



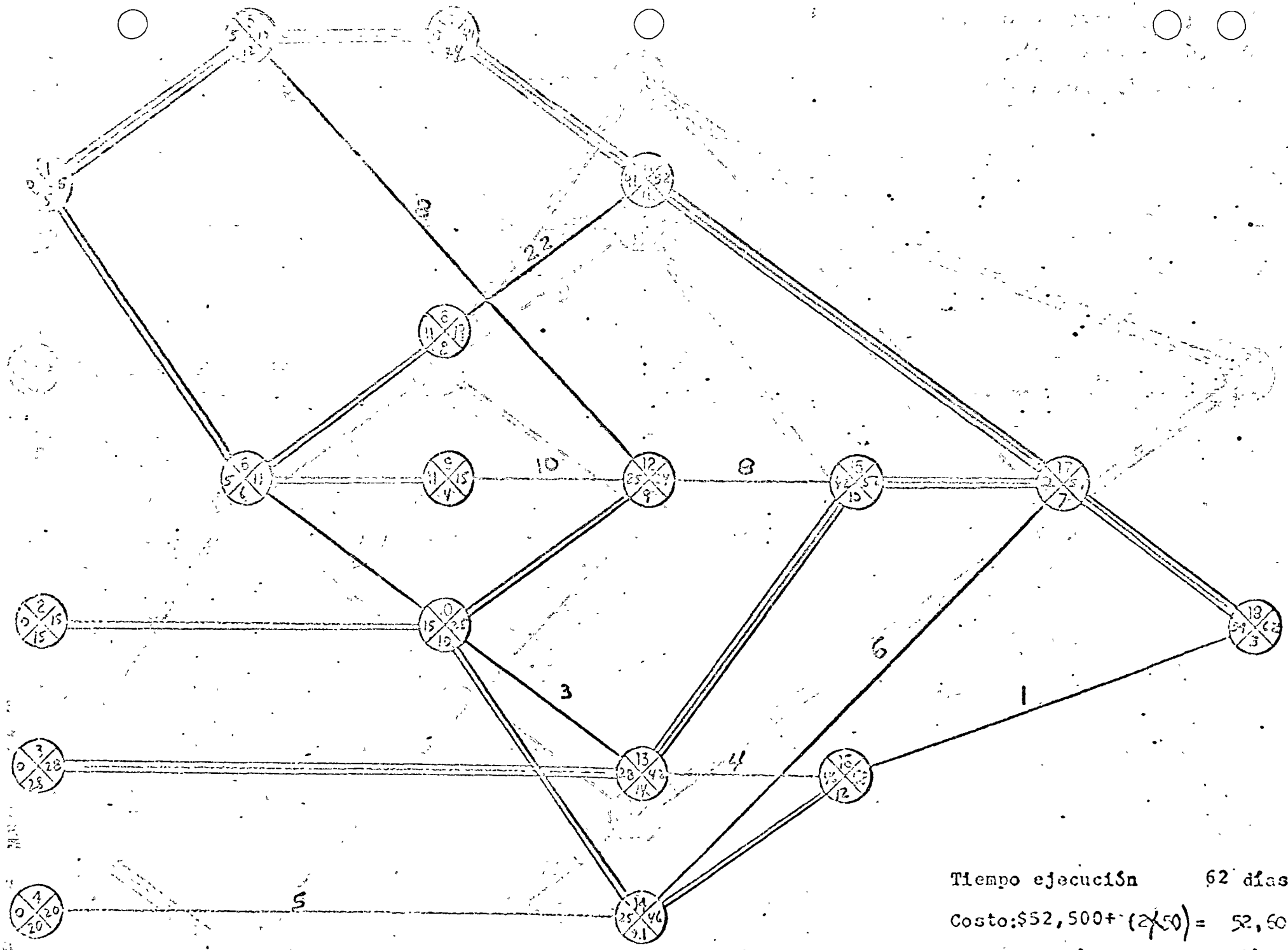


Fase II



Tiempo ejecución 64 días

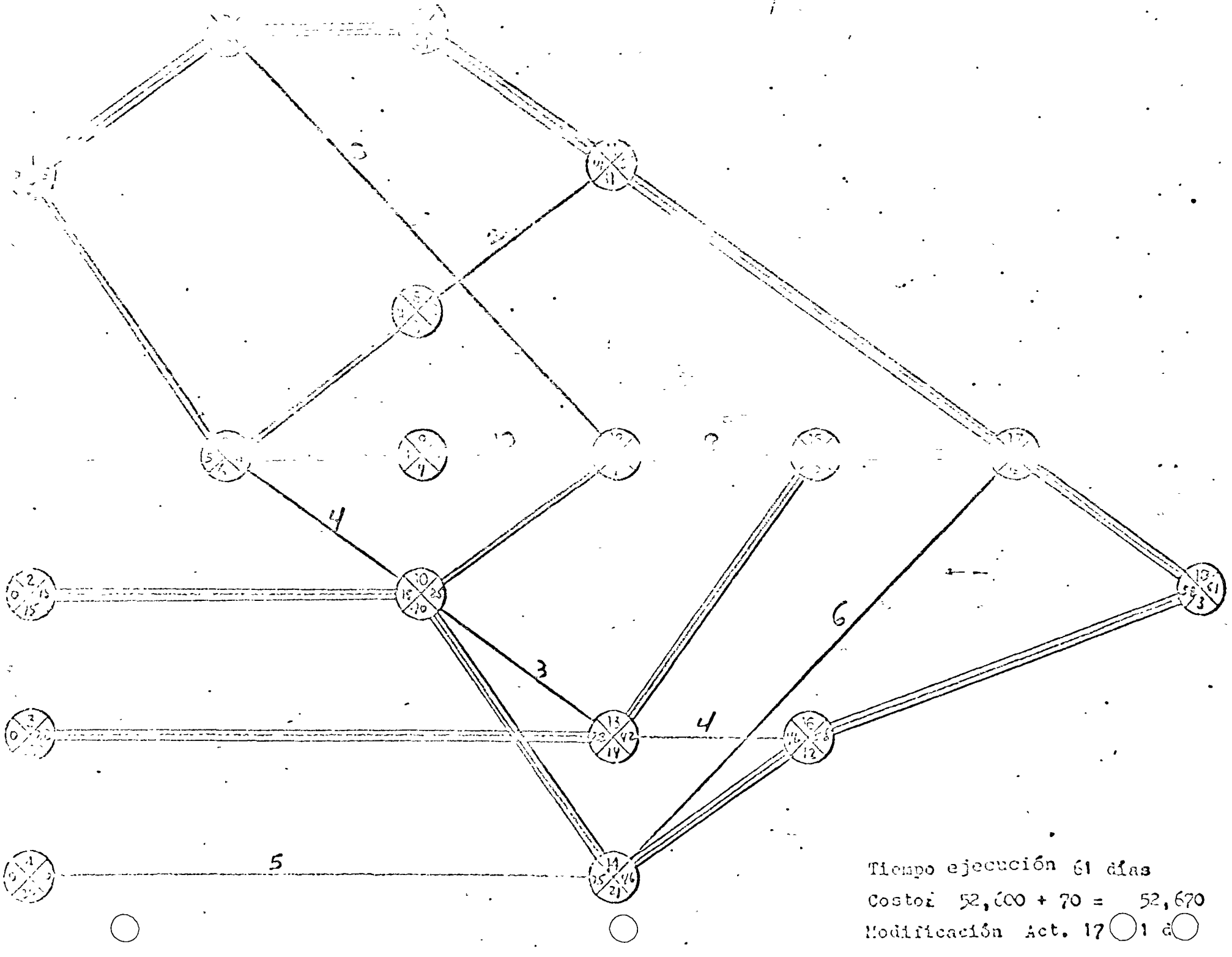
Costo 52,500



Tiempo ejecución 62 días

Costo: $52,500 + (2 x 50) = 52,600

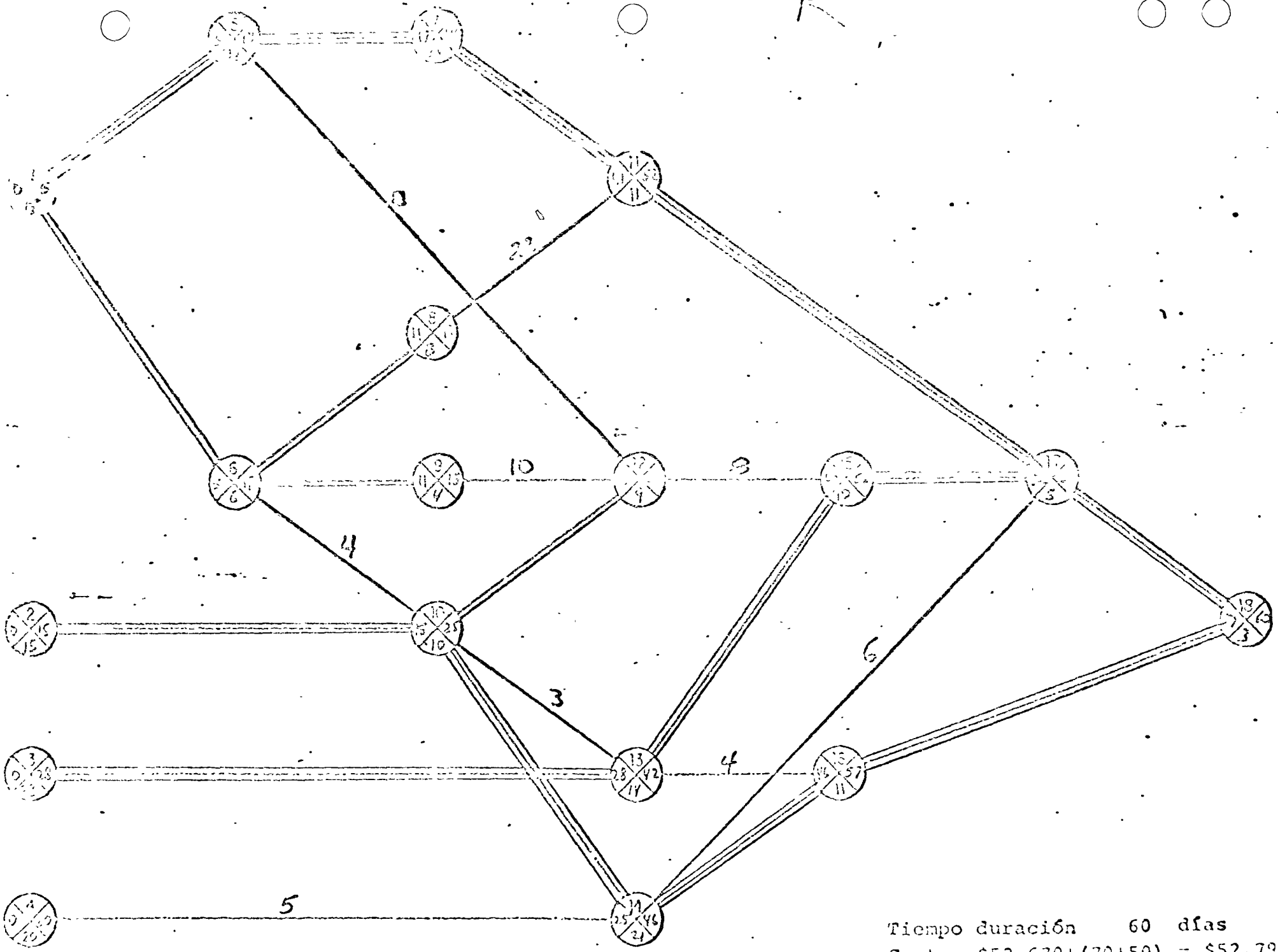
Modificación Act. 3: 2 días



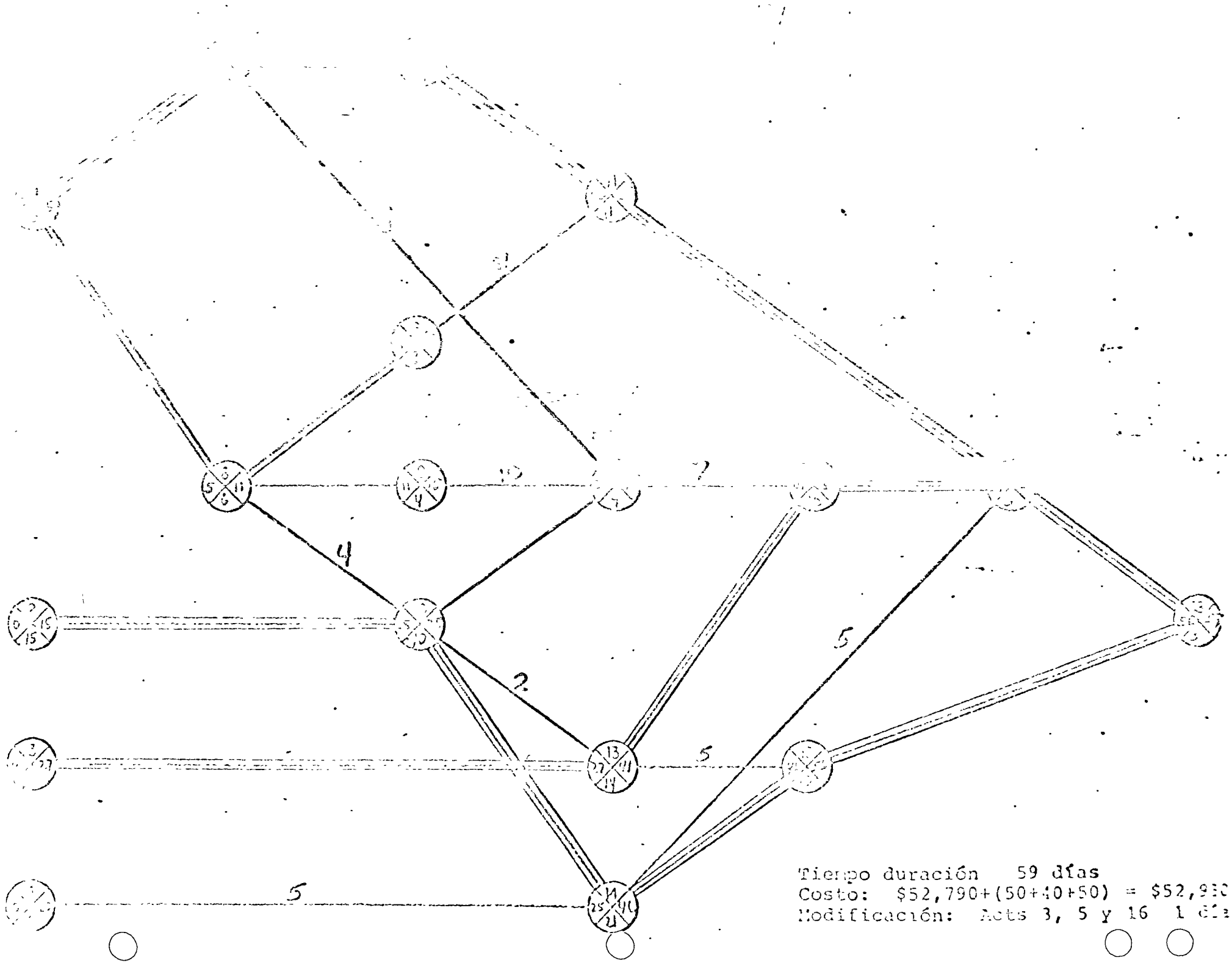
Tiempo ejecución 61 días

Costo: 52,600 + 70 = 52,670

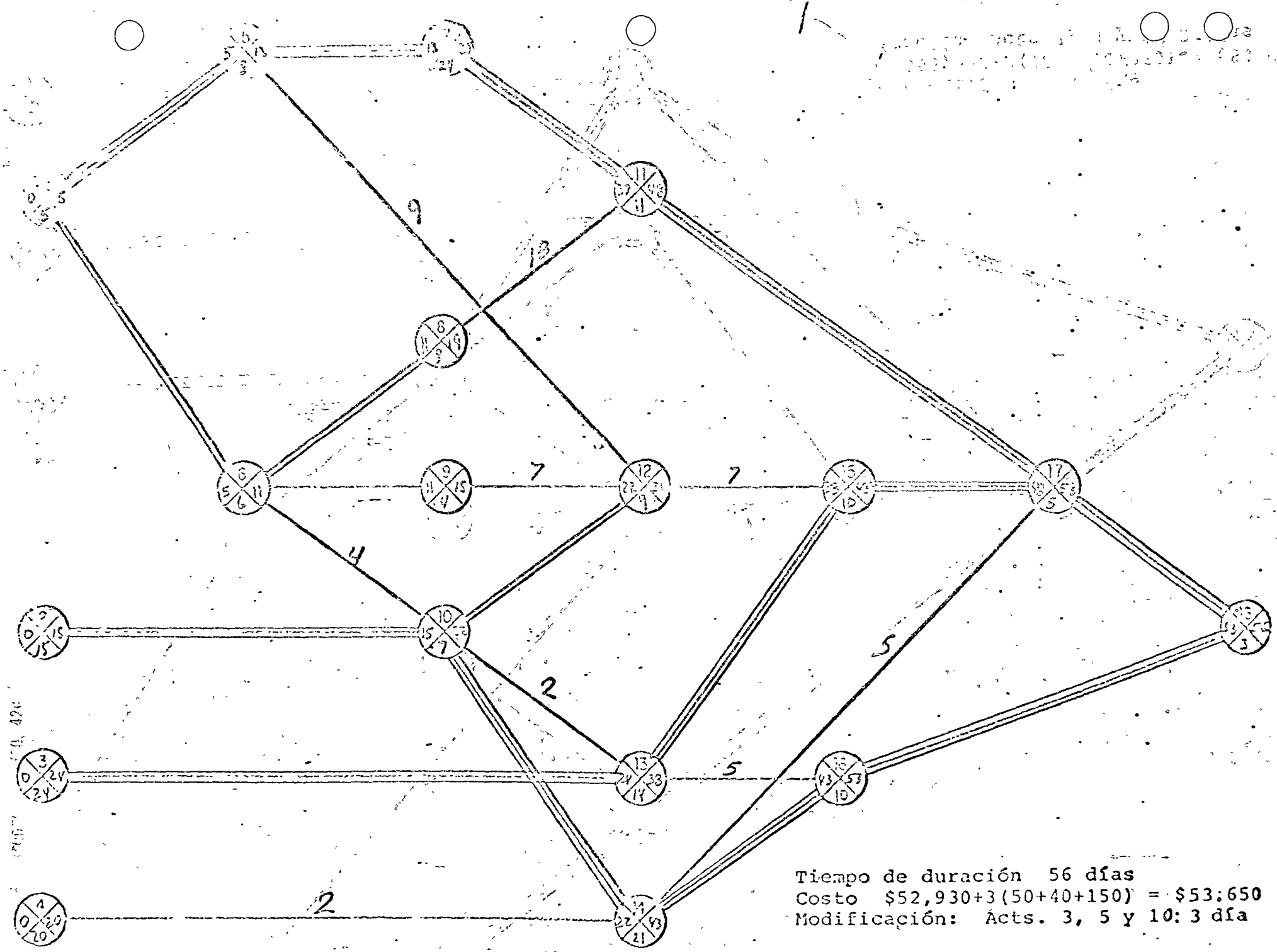
Modificación Act. 17 1 d



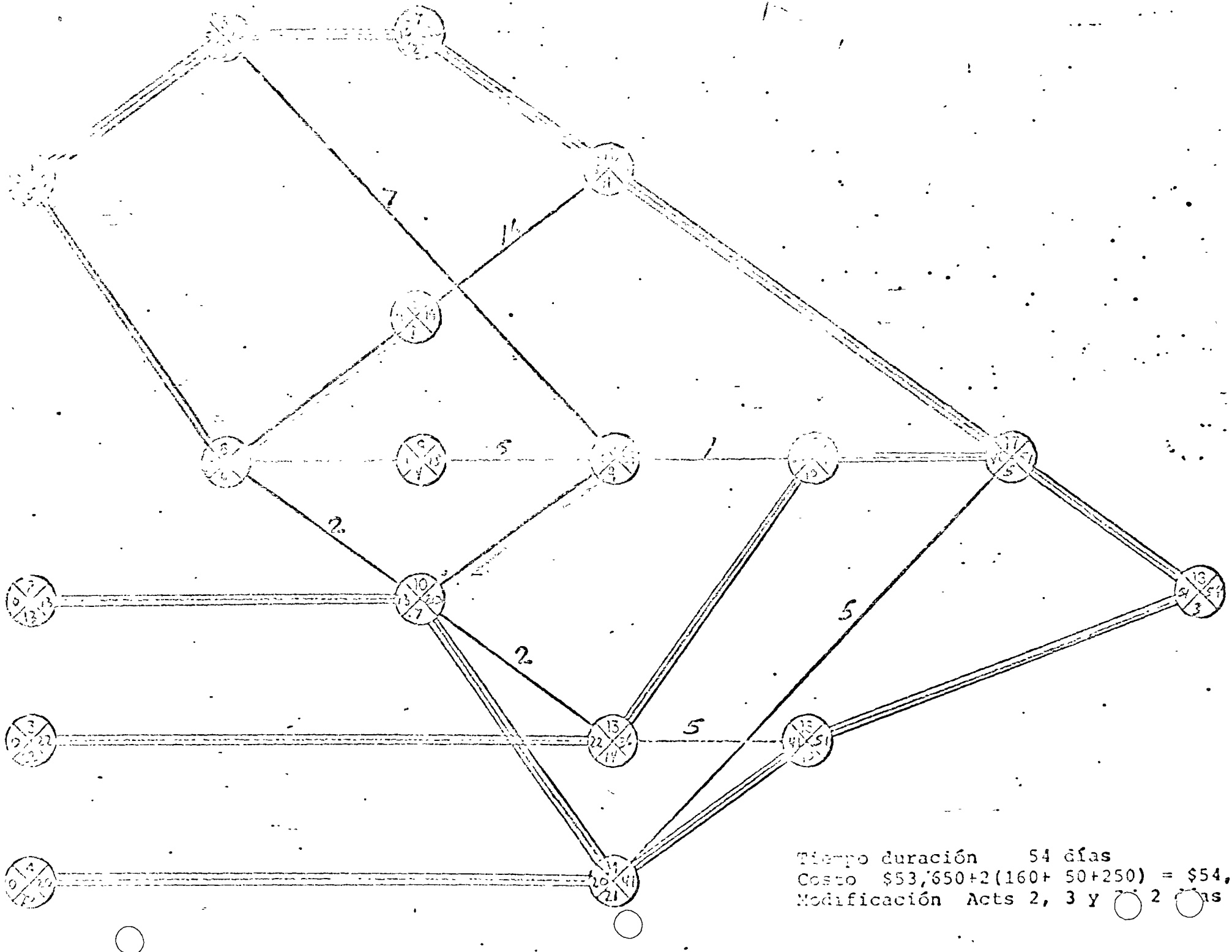
Tiempo duración 60 días
Costo $52,670+(70+50) = $52,790
Modificación: Acts. 16 y 17 1 día



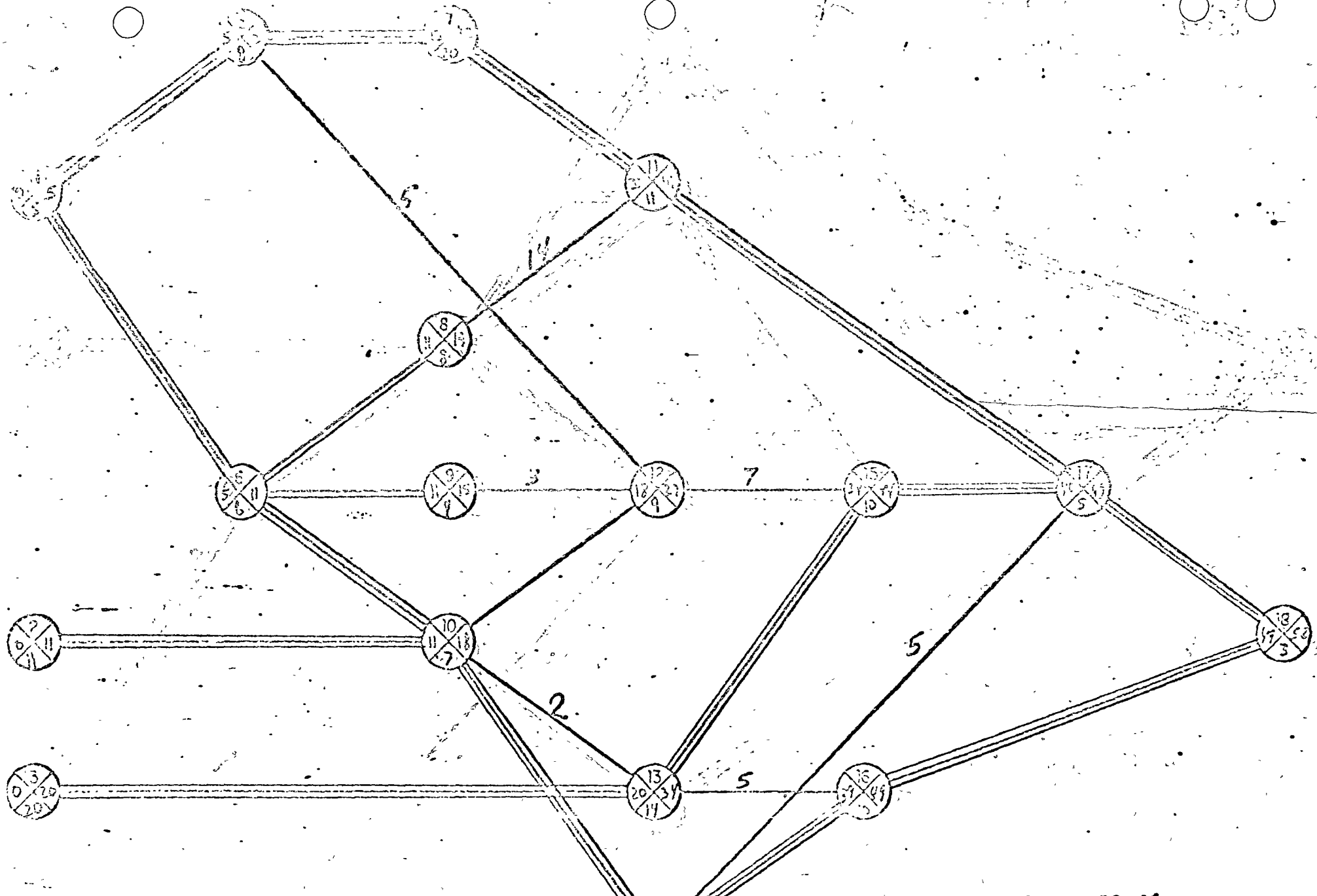
Tiempo duración 59 días
Costo: $52,790+(50+40+50) = $52,930
Modificación: Acts 3, 5 y 16 1 día



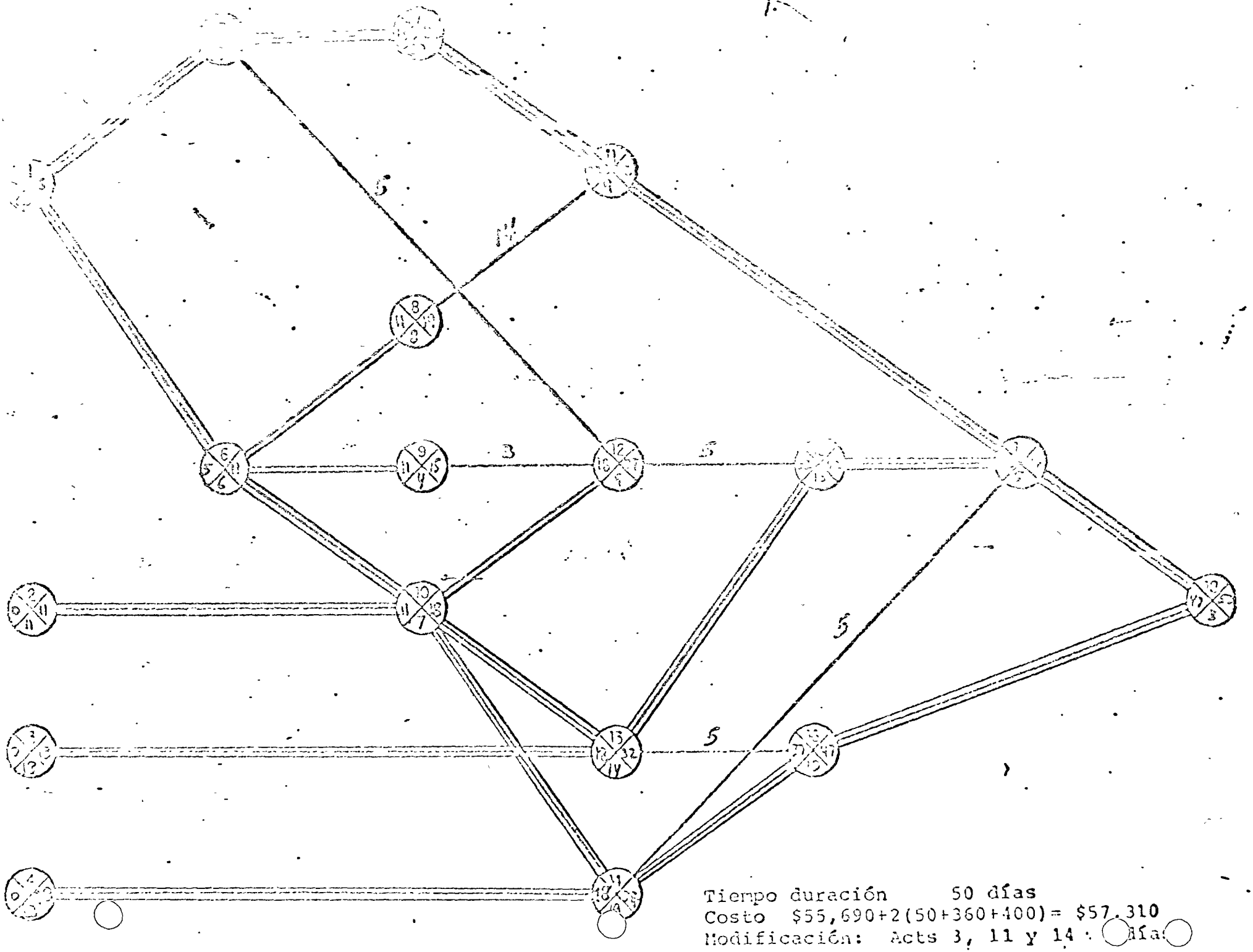
Tiempo de duración 56 días
Costo $52,930+3(50+40+150) = $53:650
Modificación: Acts. 3, 5 y 10: 3 día



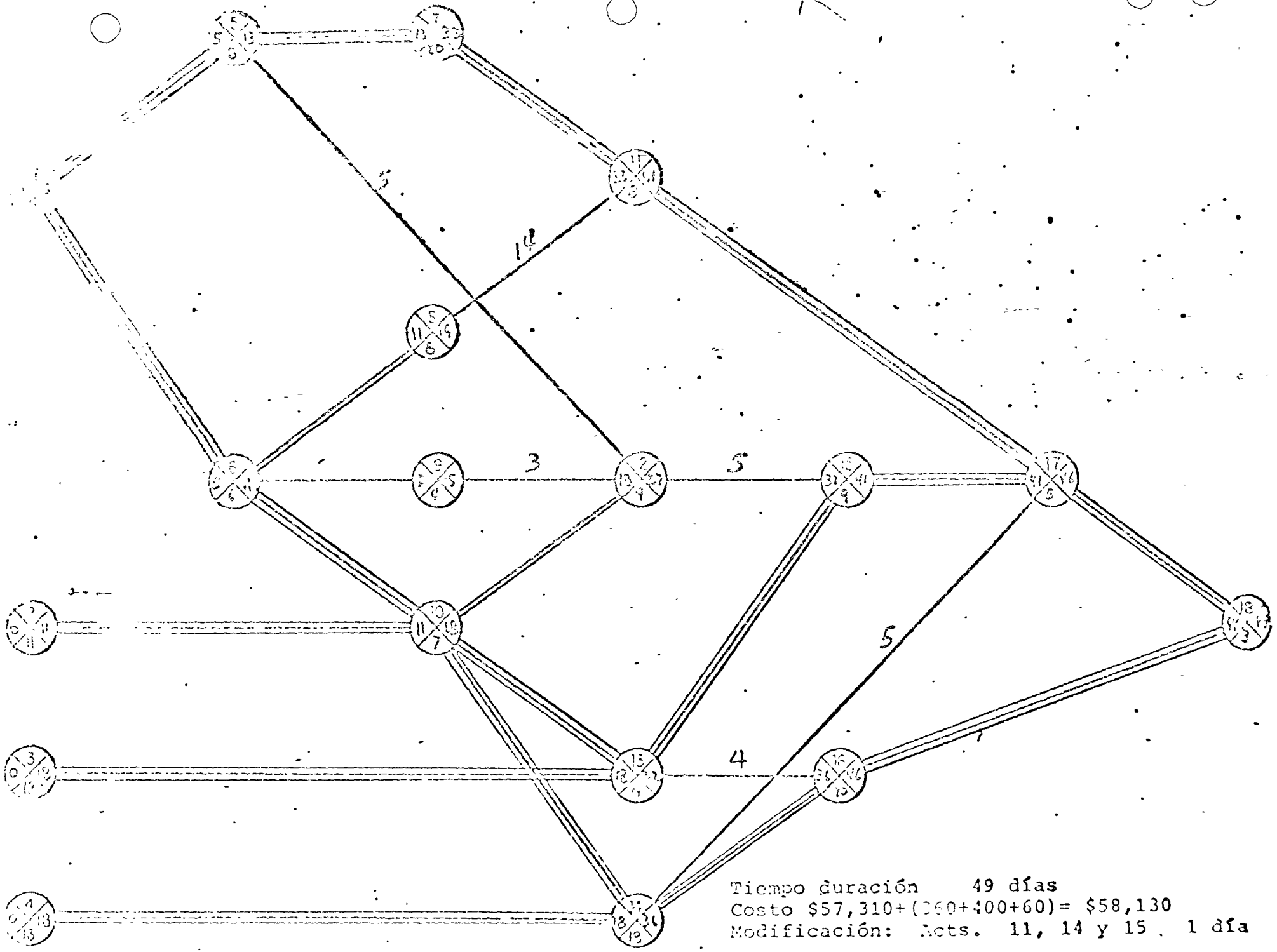
Tiempo duración 54 días
Costo $53,650+2(160+ 50+250) = $54,5
Modificación Acts 2, 3 y 2 días



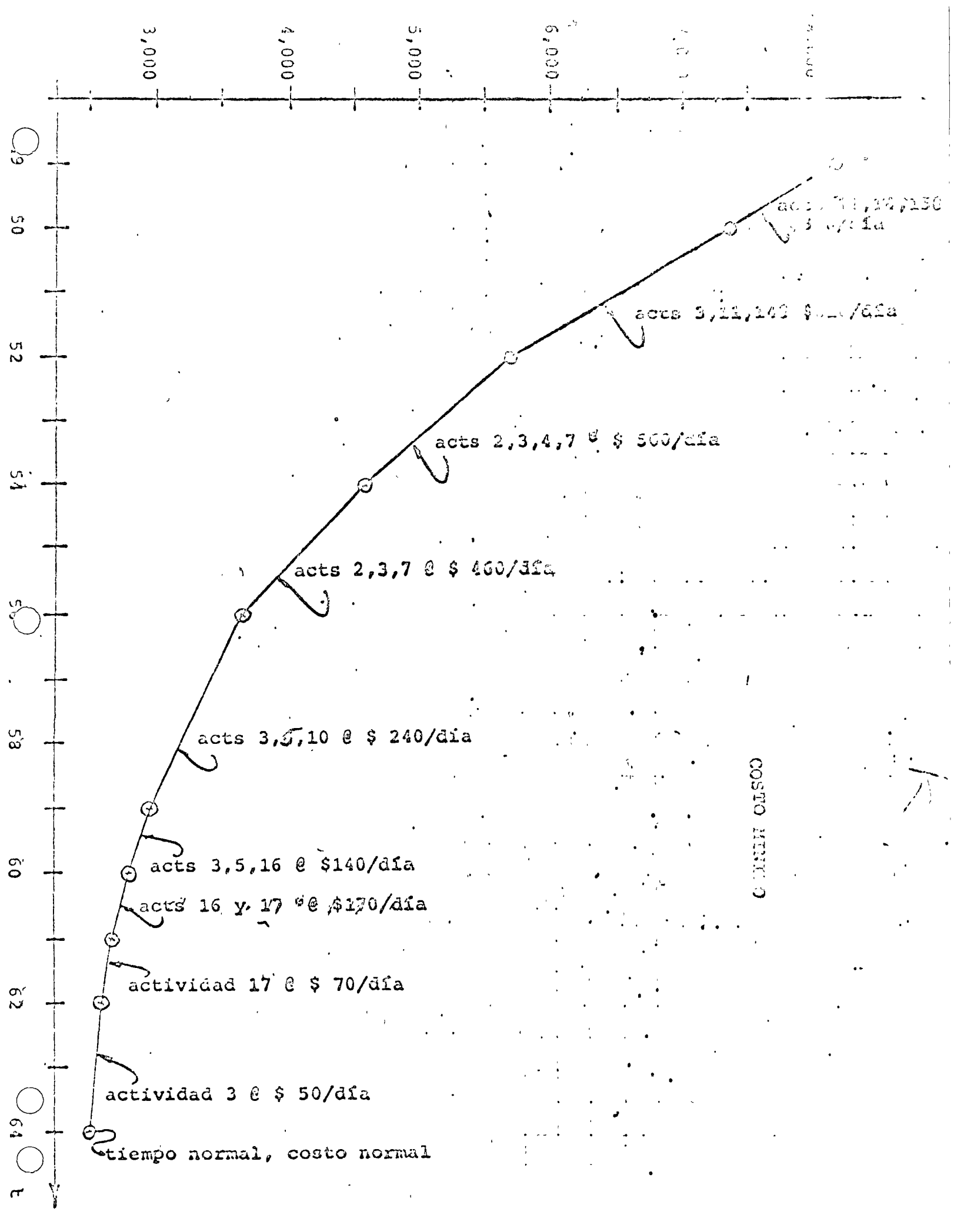
Tiempo duración 52 días
Costo 54,570+2(160+50+100+250)=$55,69
Modificación: Acts 2,3,4 y 7: 2 días



Tiempo duración 50 días
Costo $55,690+2(50+360+400)= $57,310
Modificación: Acts 3, 11 y 14 : 0 días

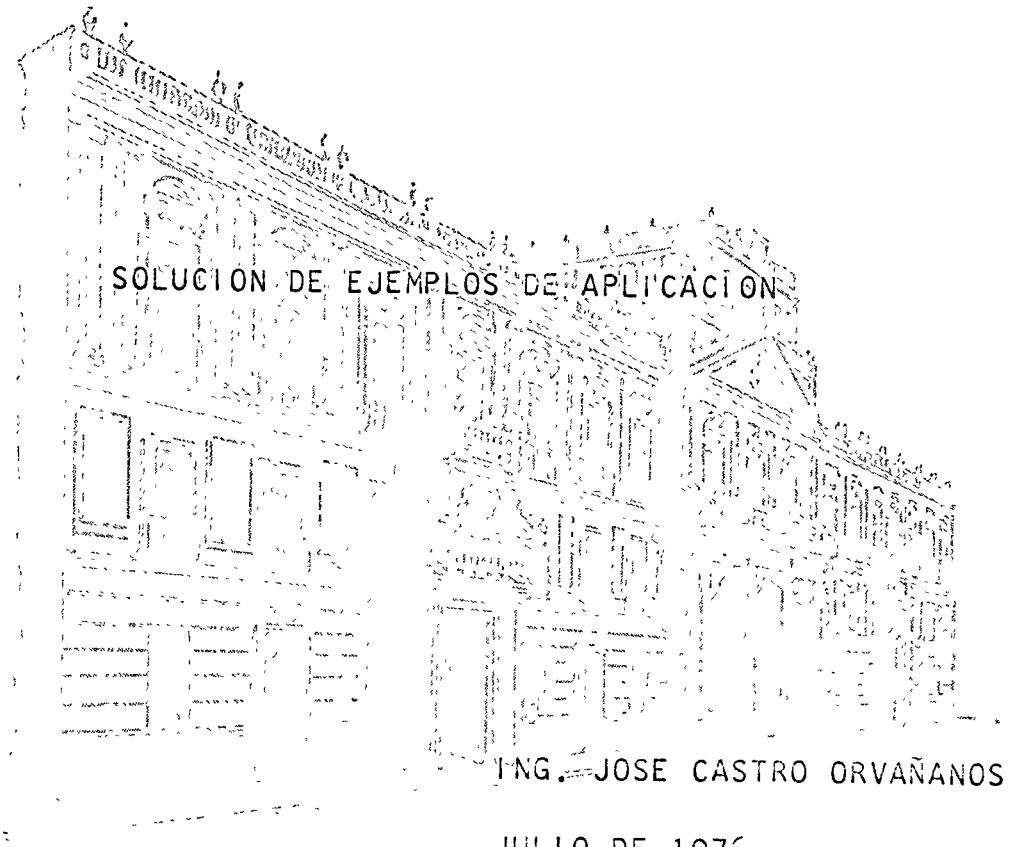


Tiempo duración 49 días
Costo $57,310+(360+400+60)= $58,130
Modificación: Acts. 11, 14 y 15 . 1 día


3,000
4,000
5,000
6,000
50
52
54
56
58
60
62
64
t
acts 2,3,4,7 @ $ 500/día
acts 2,3,7 @ $ 460/día
acts 3,5,10 @ $ 240/día
acts 3,5,16 @ $140/día
acts 16 y 17 @ $170/día
actividad 17 @ $ 70/día
actividad 3 @ $ 50/día
tiempo normal, costo normal
COSTO MINIMO

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

PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS

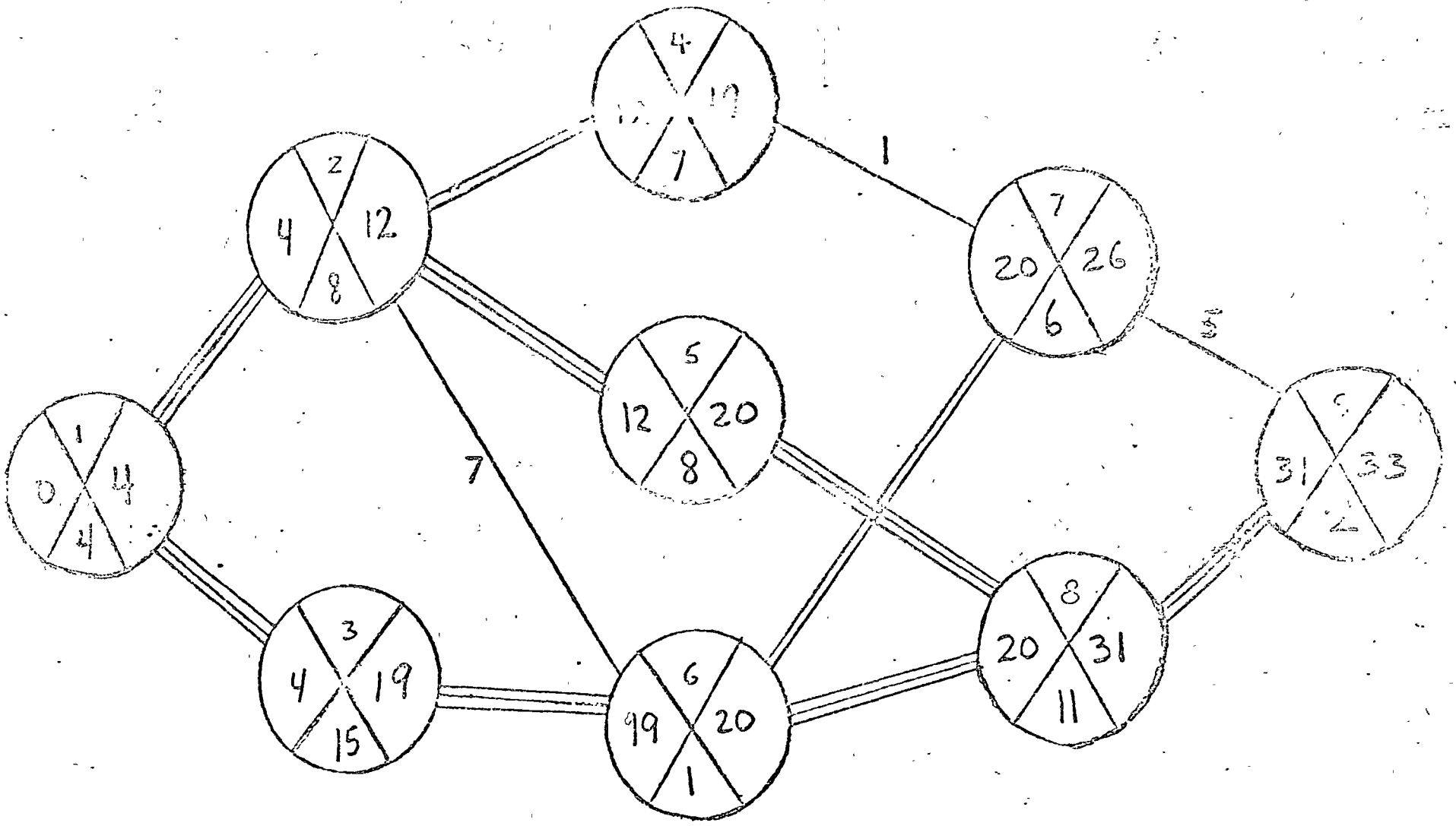


SOLUCION DE EJEMPLOS DE APLICACION

ING. JOSE CASTRO ORVAÑANOS

JULIO DE 1976.

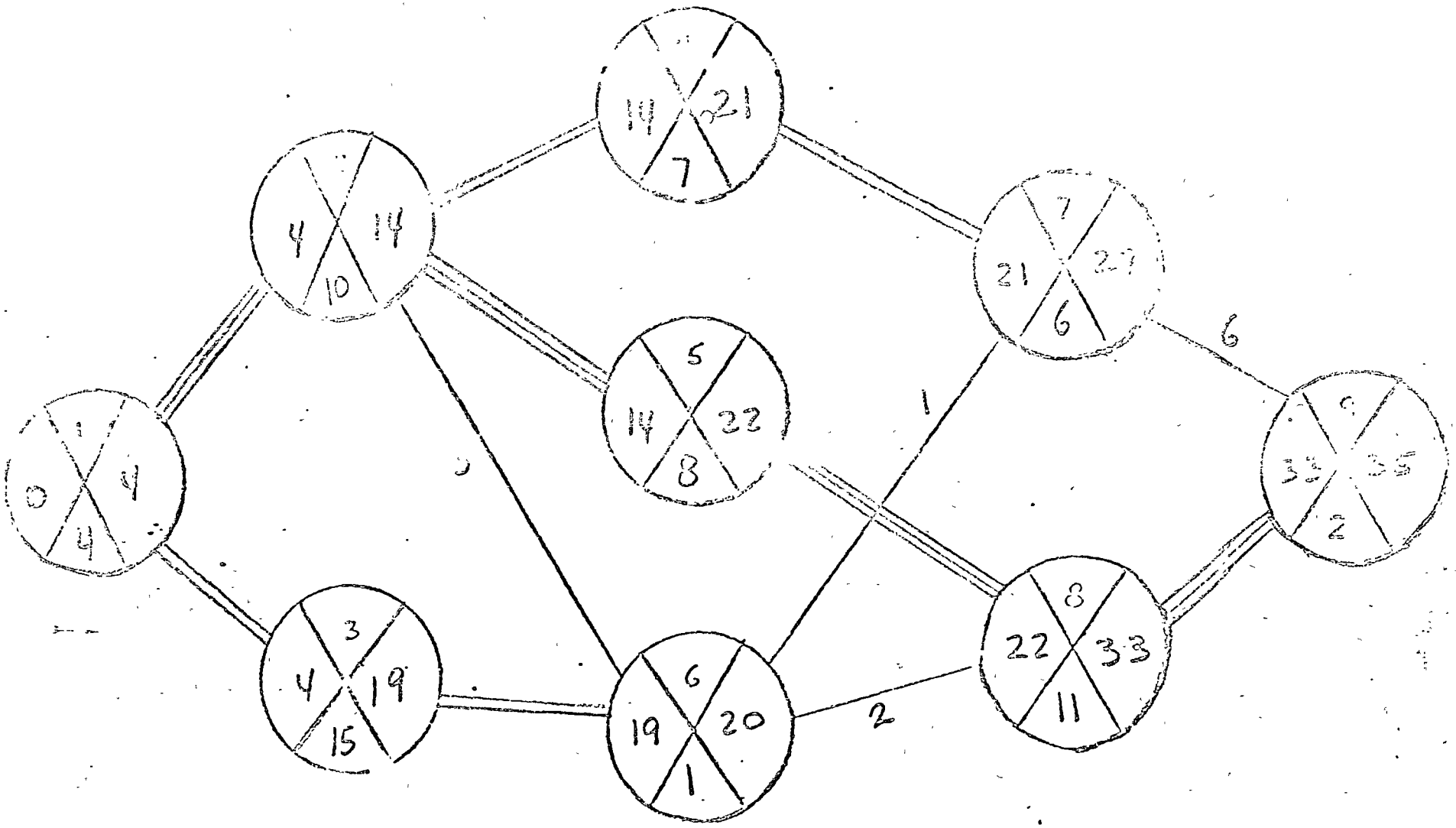
Palacio de Minería Tacuba 5, primer piso. México 1, D F. Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123



Tiempo duración: 31 días

Costo 1,300 + 2X10 = 1,320

Modificación: Act. 2: 2 días



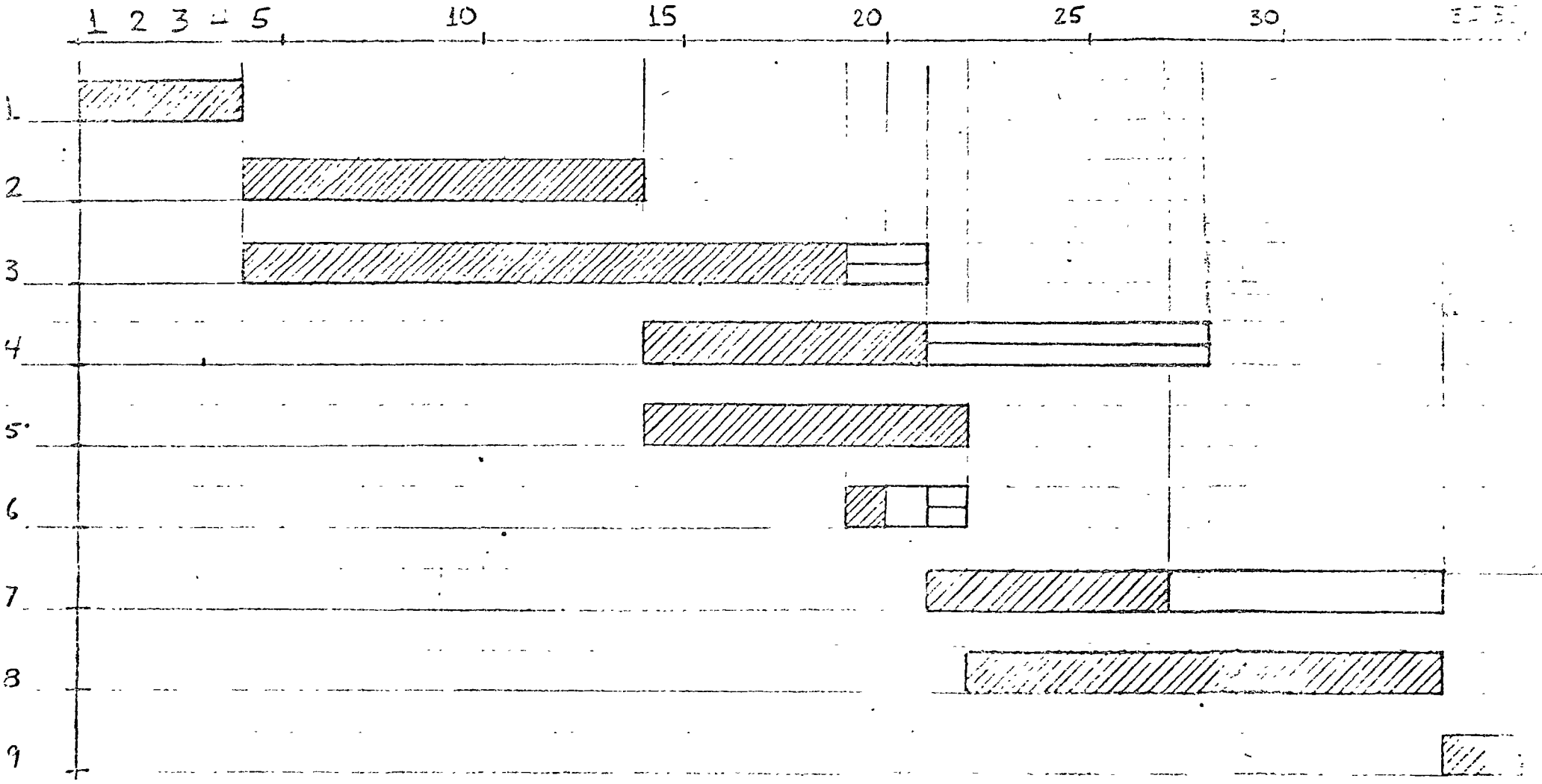
Tiempo duración 35 días

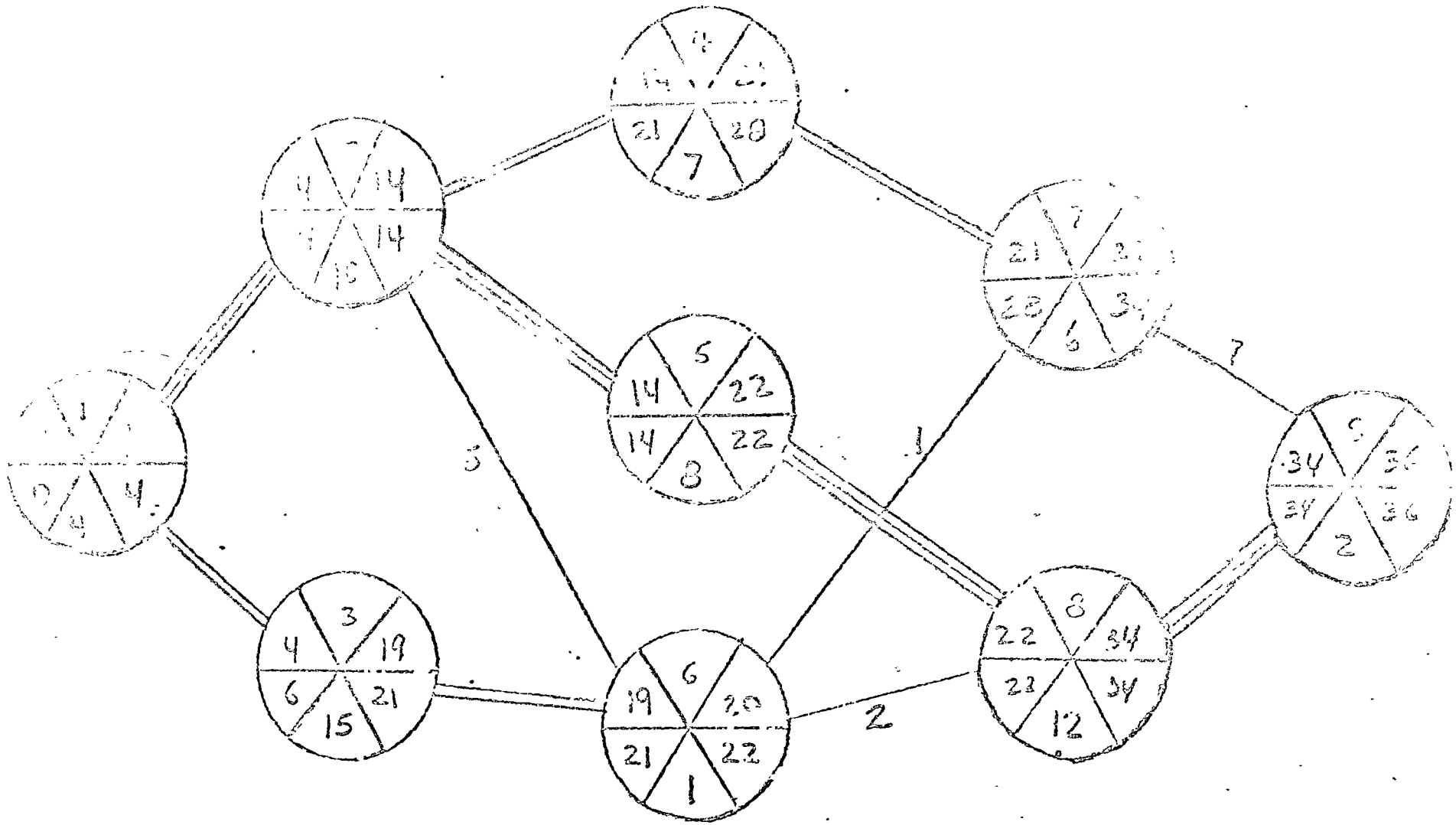
Costo: 1,295 + 5 = 1,300

Modificación: Act 8: 1 día

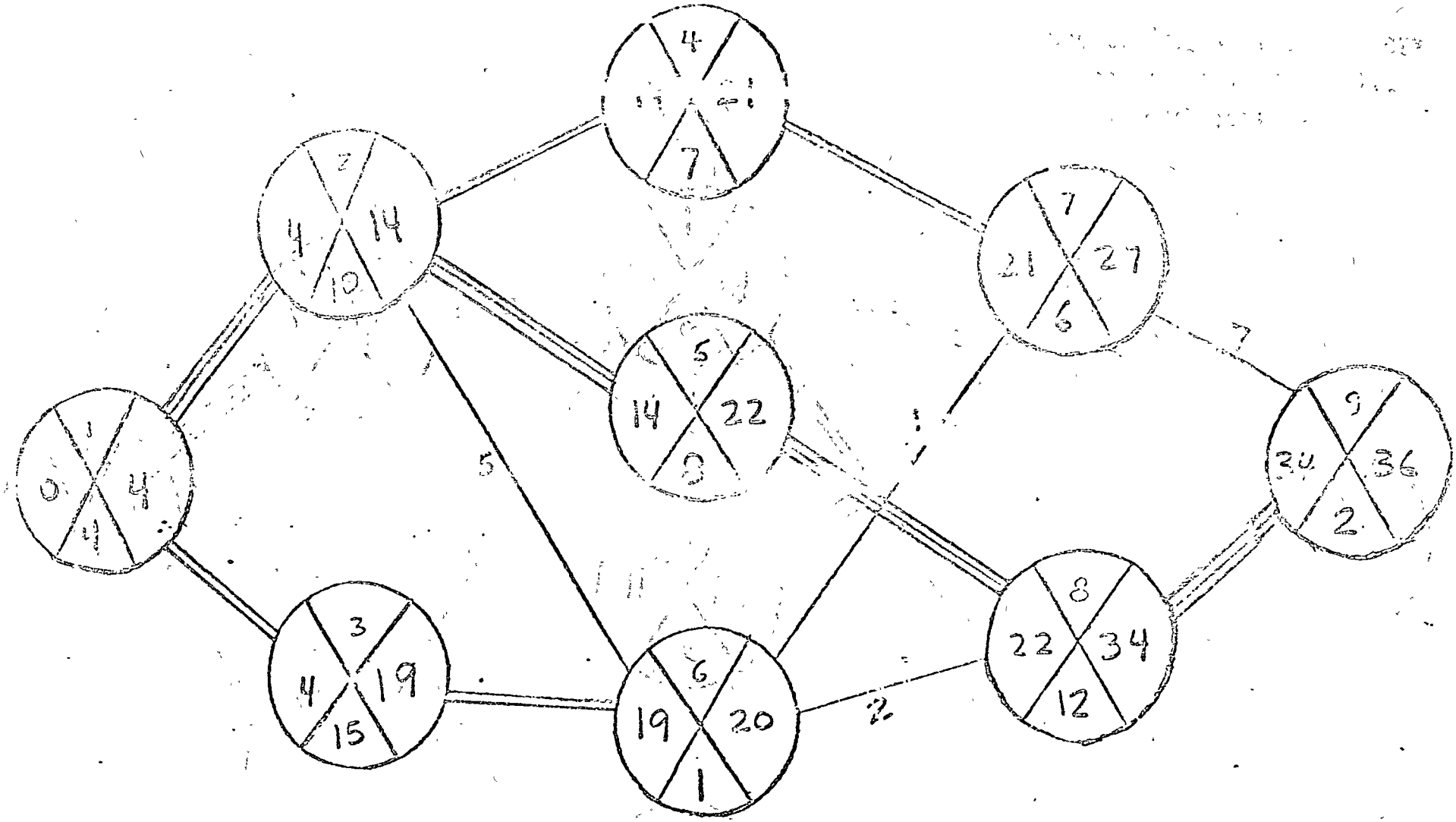
Programa de barras

Actividad
Holgura libre
Holgura con interferencia



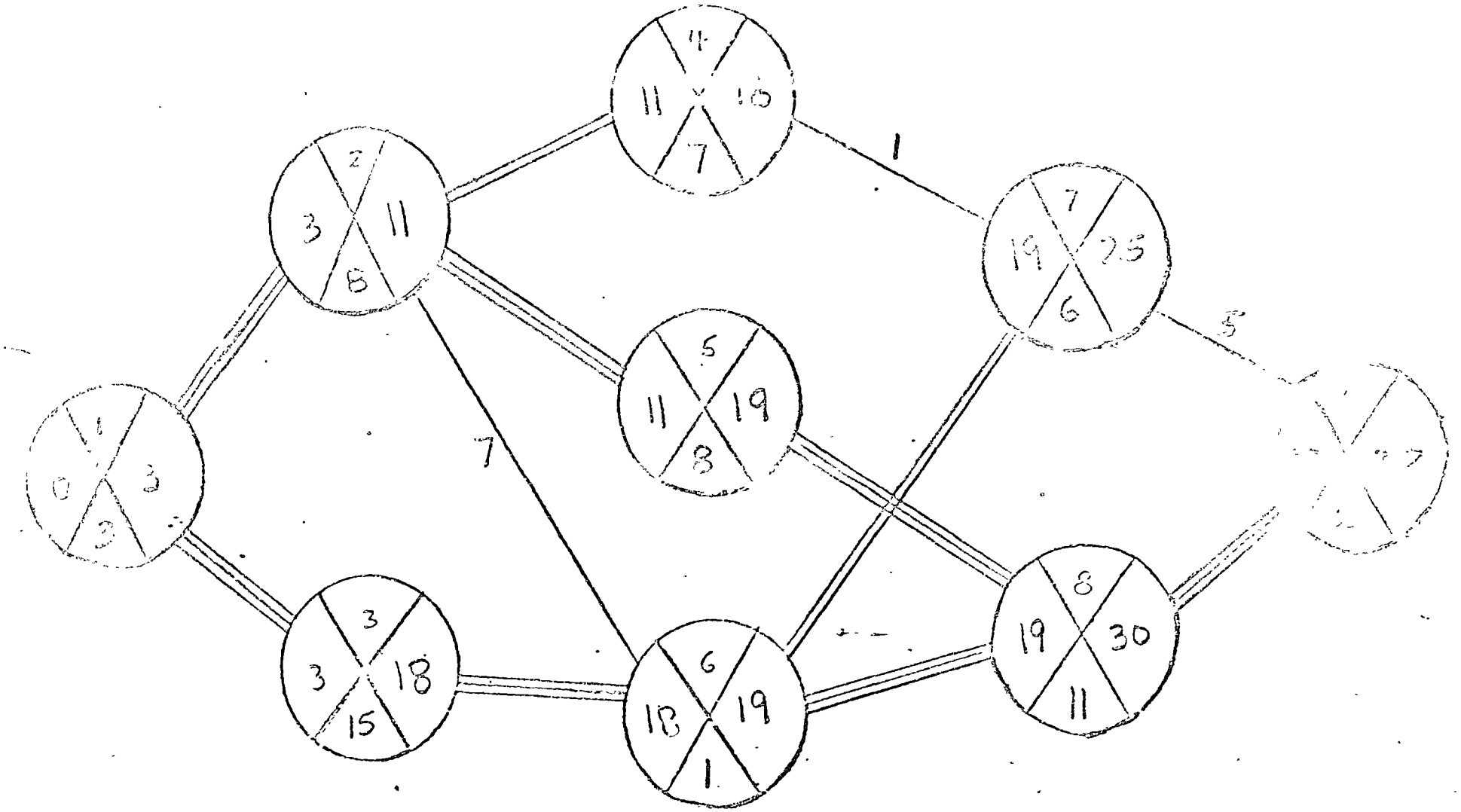


Page II



Tiempo duración 36 días

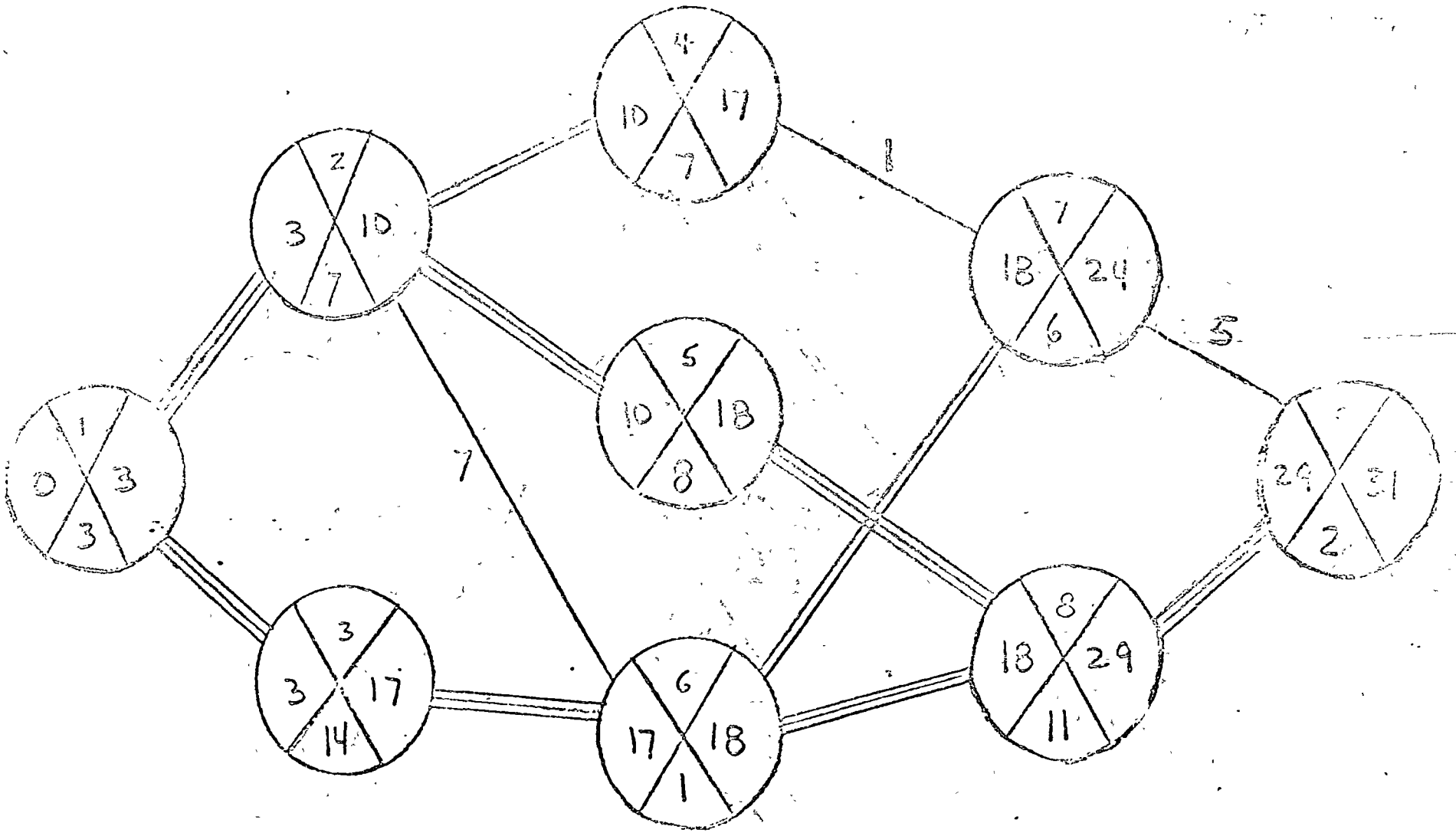
Costo 1,295



Tiempo duración: 51 días

Costo 1,320 + 15 = 1,335

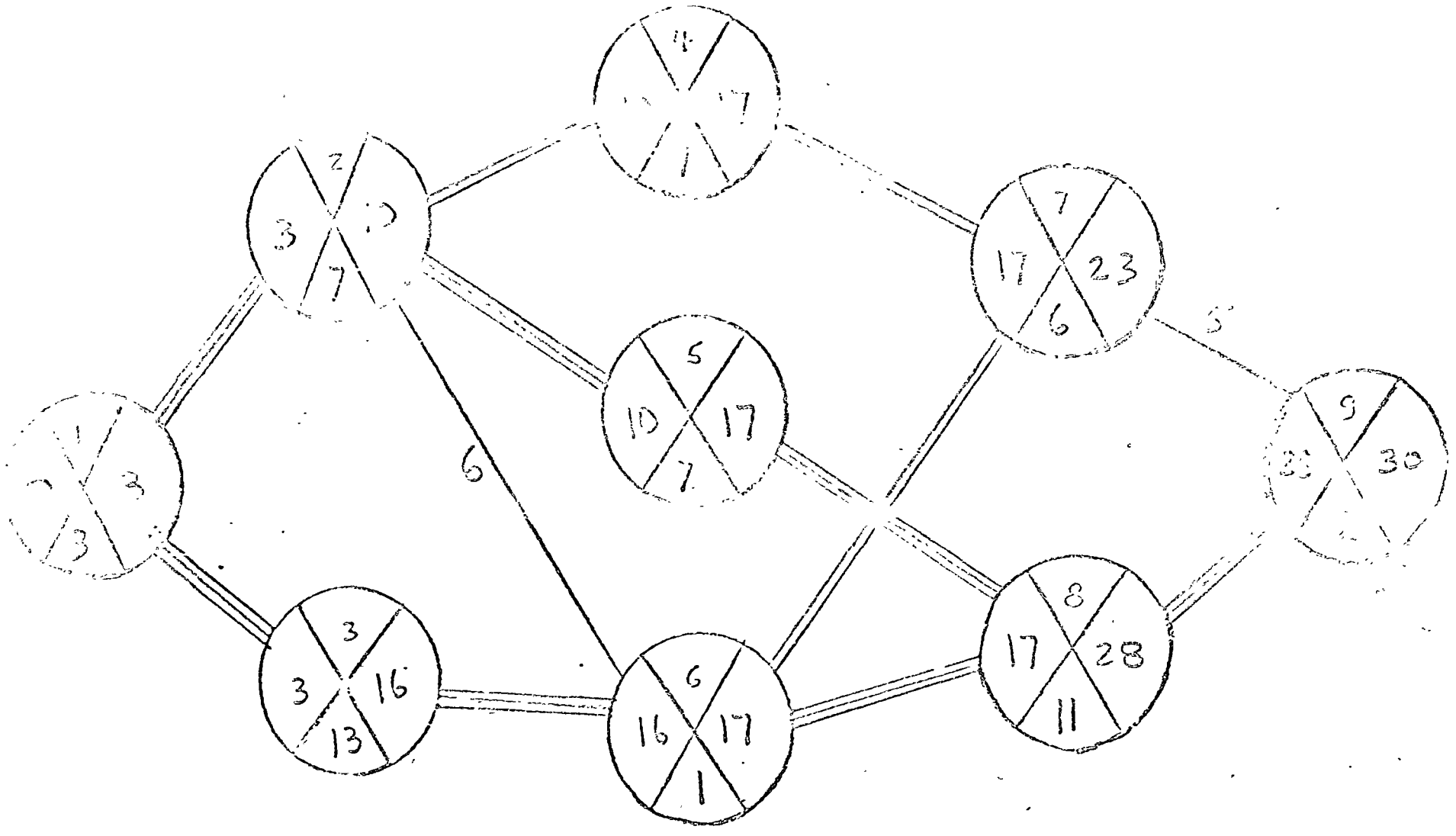
Modificación: Act 3: 1 día



Tiempo duración: 31 días

Costo 1,335 + (10+10) = 1,355

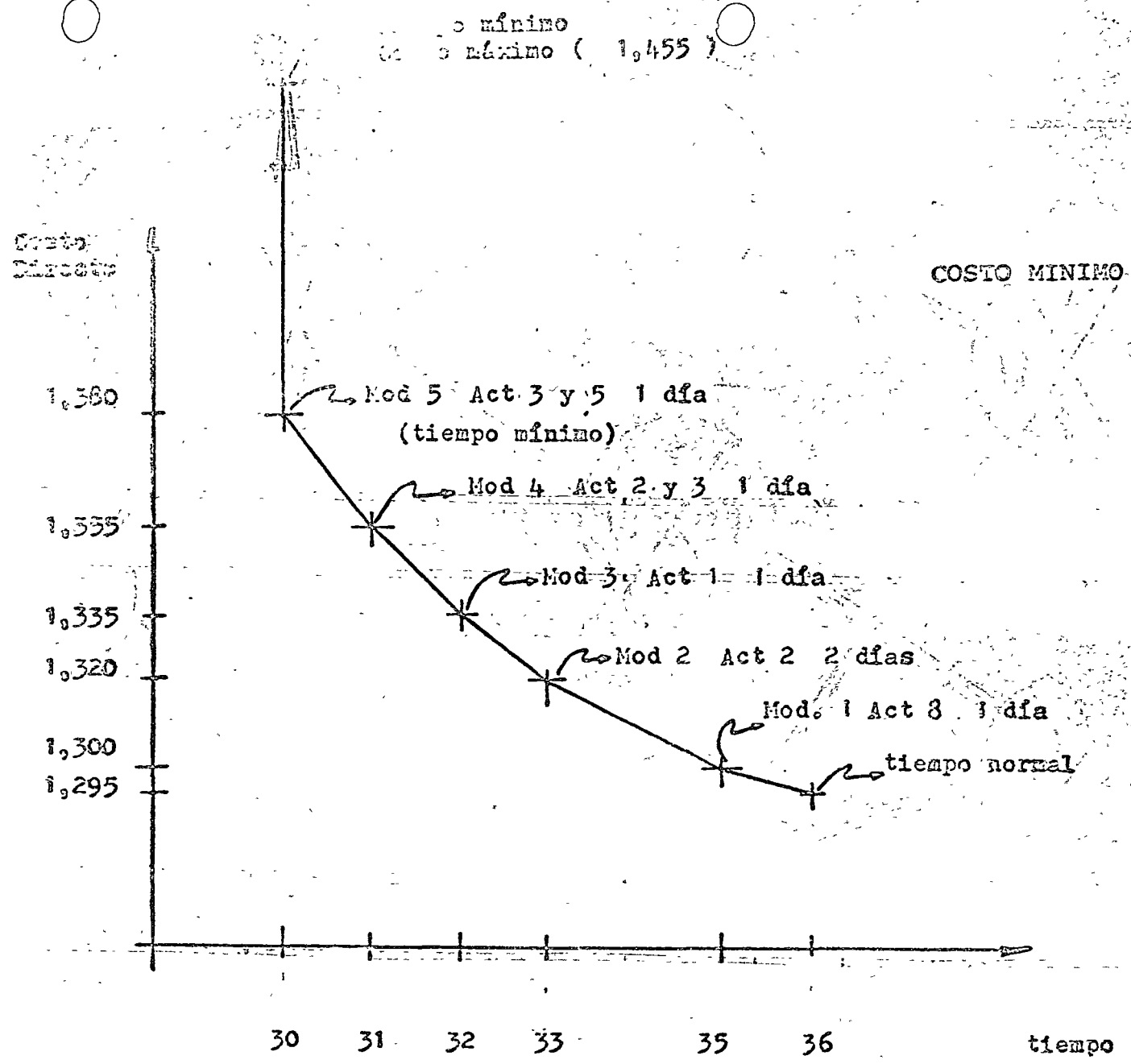
Modificación: Act. 2 y 3: 1 día



Tiempo duración 30 días

Costo 1,355 + (10+1 = 1,390

Modificación: Act. 3 y 5 10


o mínimo
o máximo (1,455)
Costo Directo
COSTO MINIMO
1,380
1,355
1,335
1,320
1,300
1,295
Mod 5 Act 3 y 5 1 día
(tiempo mínimo)
Mod 4 Act 2 y 3 1 día
Mod 3 Act 1 1 día
Mod 2 Act 2 2 días
Mod. 1 Act 8 1 día
tiempo normal
30
31
32
33
35
36
tiempo

PROGRAMA DE OBRA

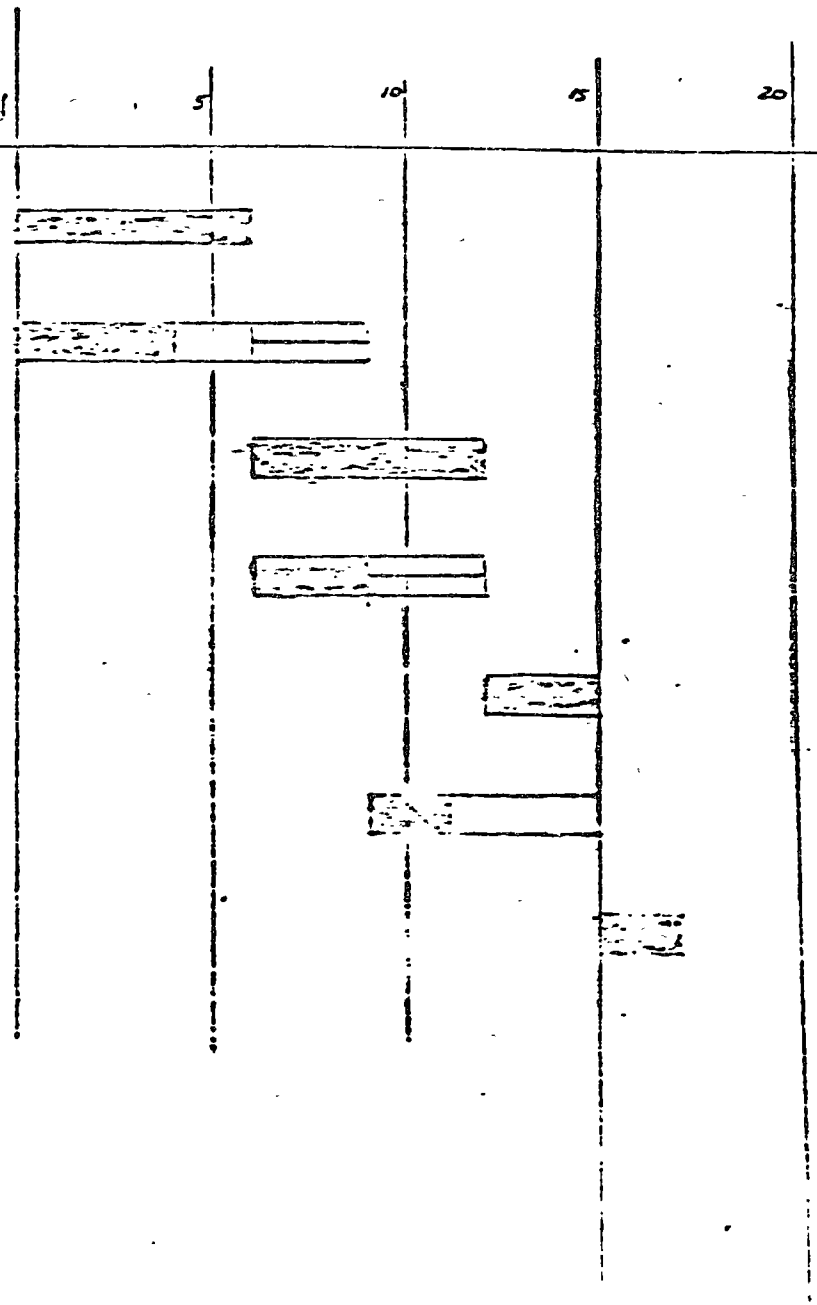
OBRA

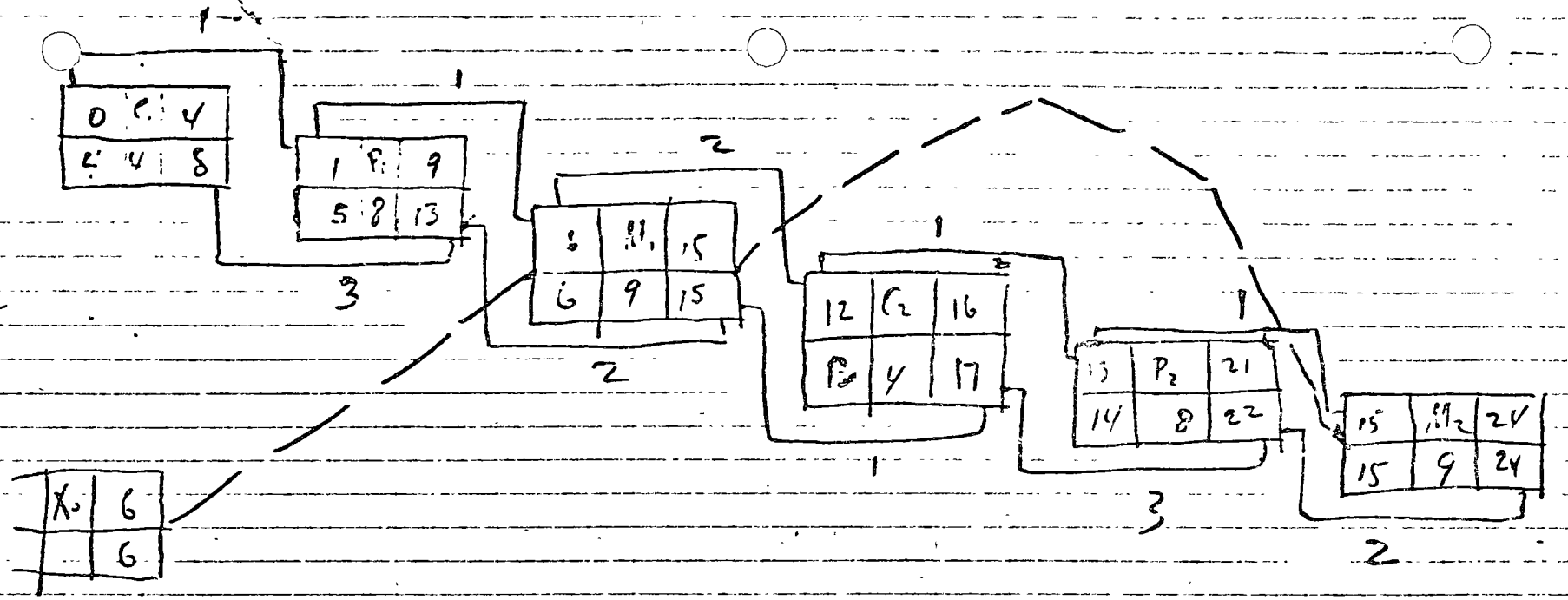
DELEGACIÓN

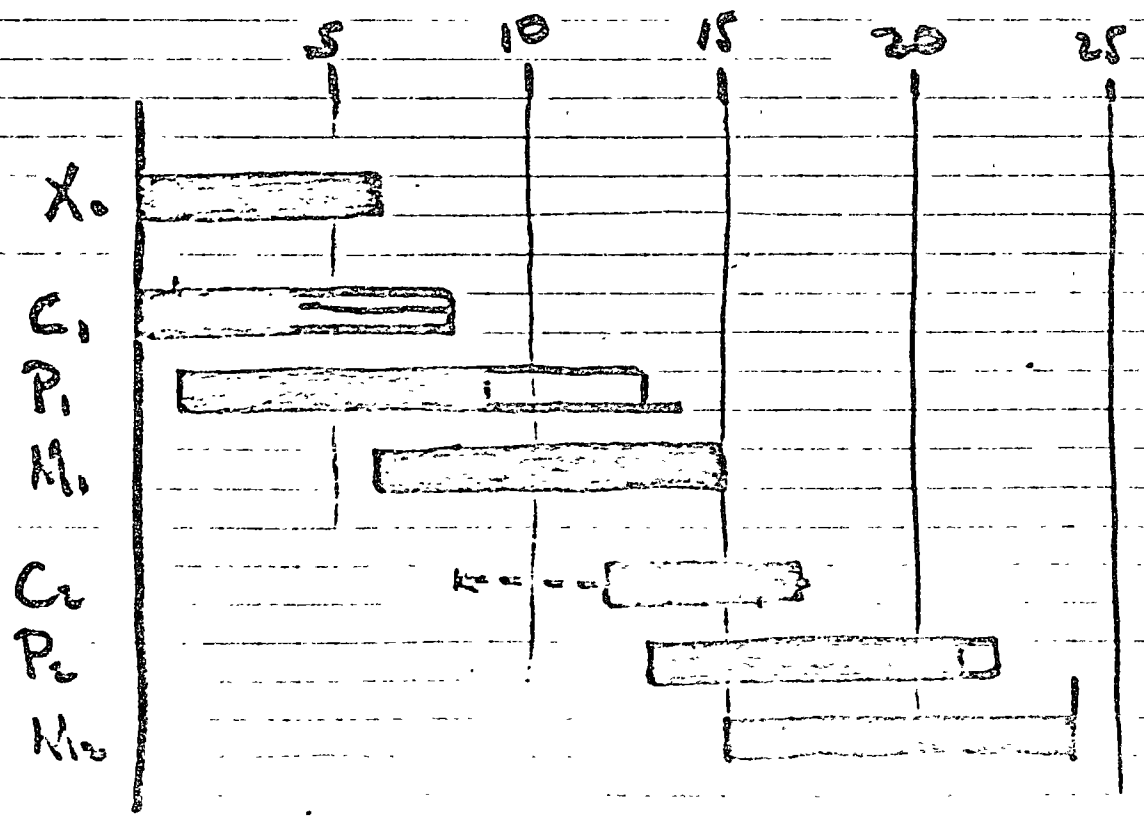
FECHA

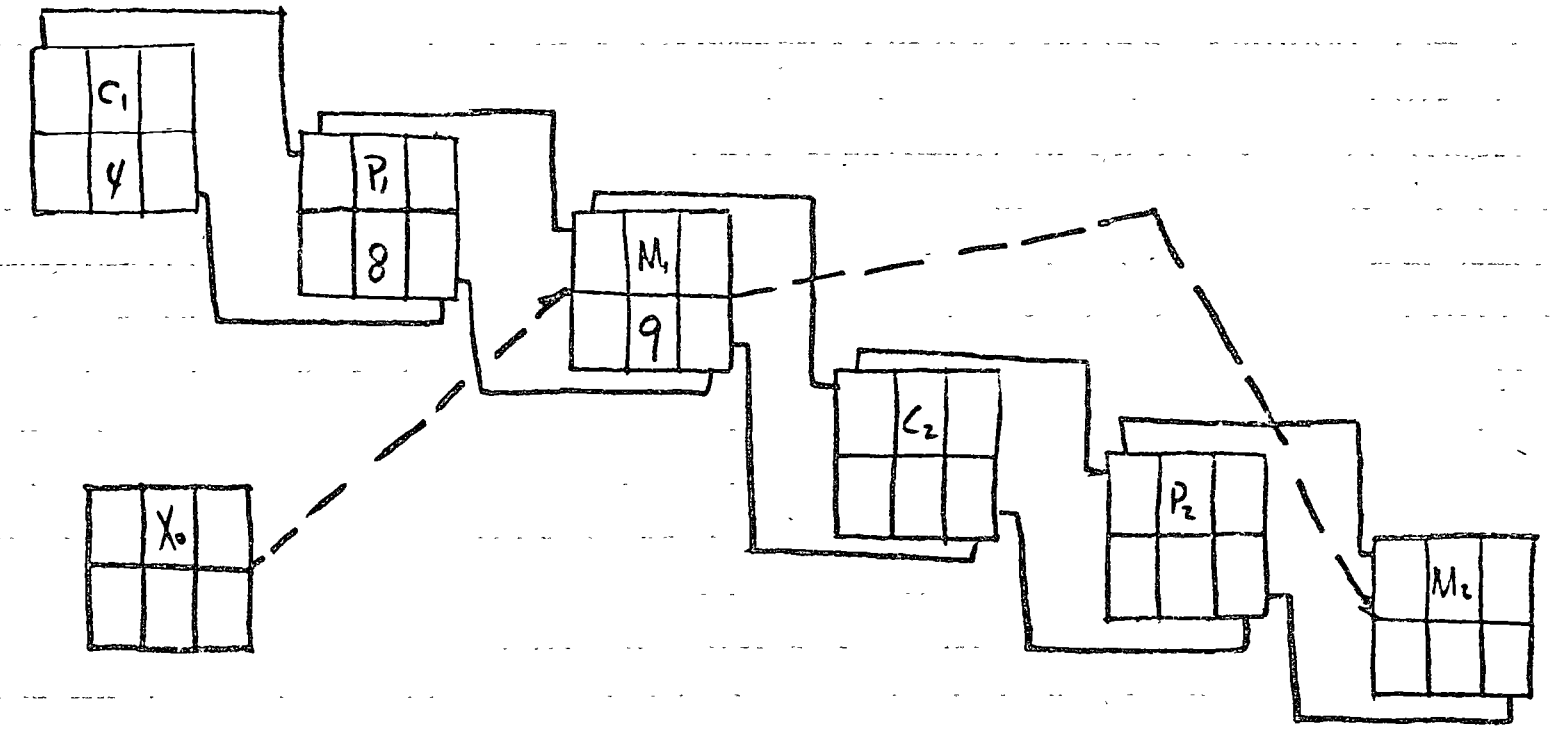
HOJA DE

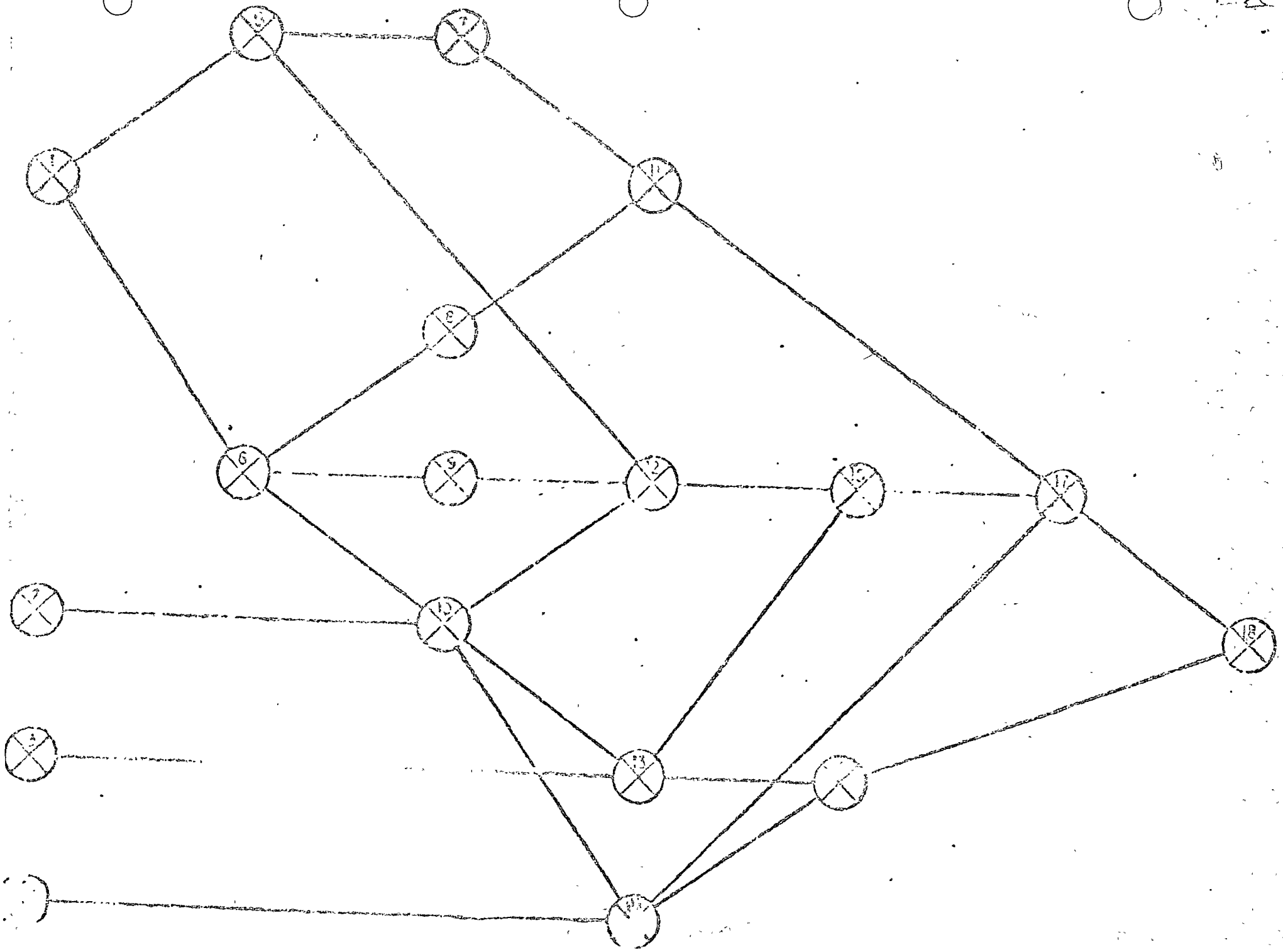
Clave	Actividad	Volumen	Unidad
1	Excavación A-B	120	M^3
2	Suministro tubería	480	ML
3	Excavación B-C	120	M^3
4	Tubería A-B	240	ML
5	Tubería B-C	240	ML
6	Relleno A-B	120	M^3
7	Relleno B-C	120	M^3

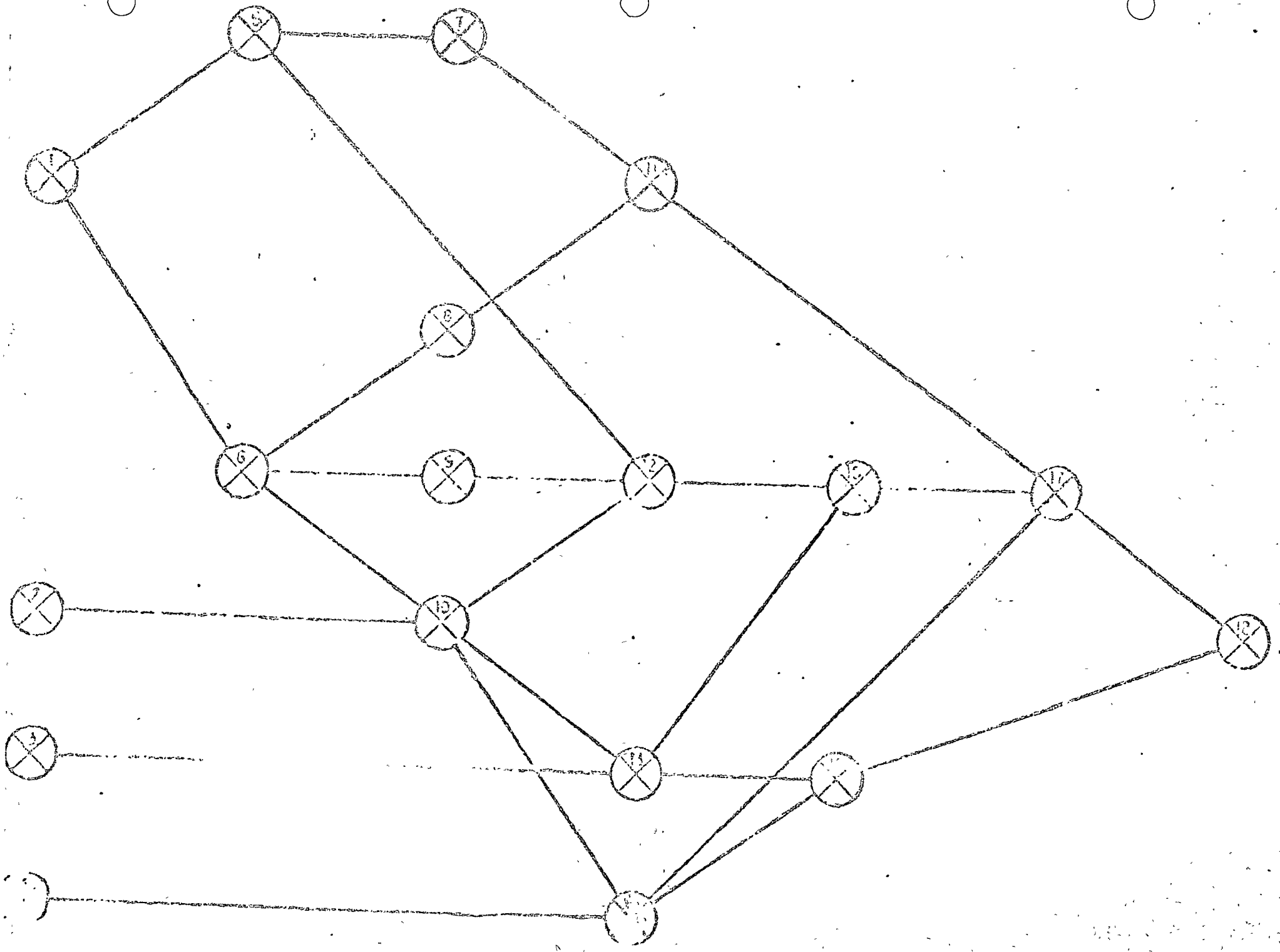


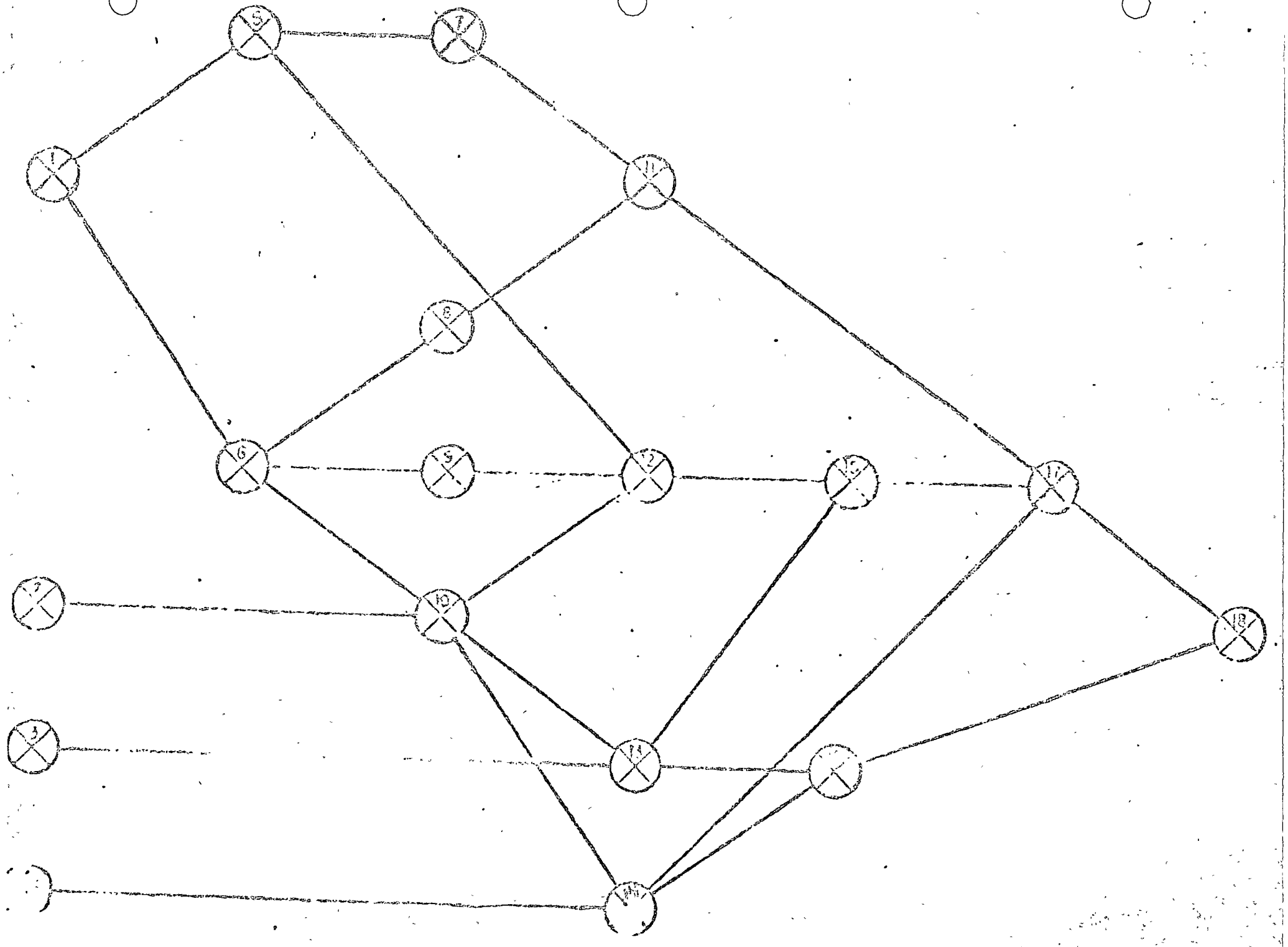

0 C1 4
4 4 8
1 P1 9
5 8 13
8 M1 15
6 9 15
12 C2 16
P2 4 17
13 P2 21
14 8 22
15 M2 24
15 9 24
X0 6
6

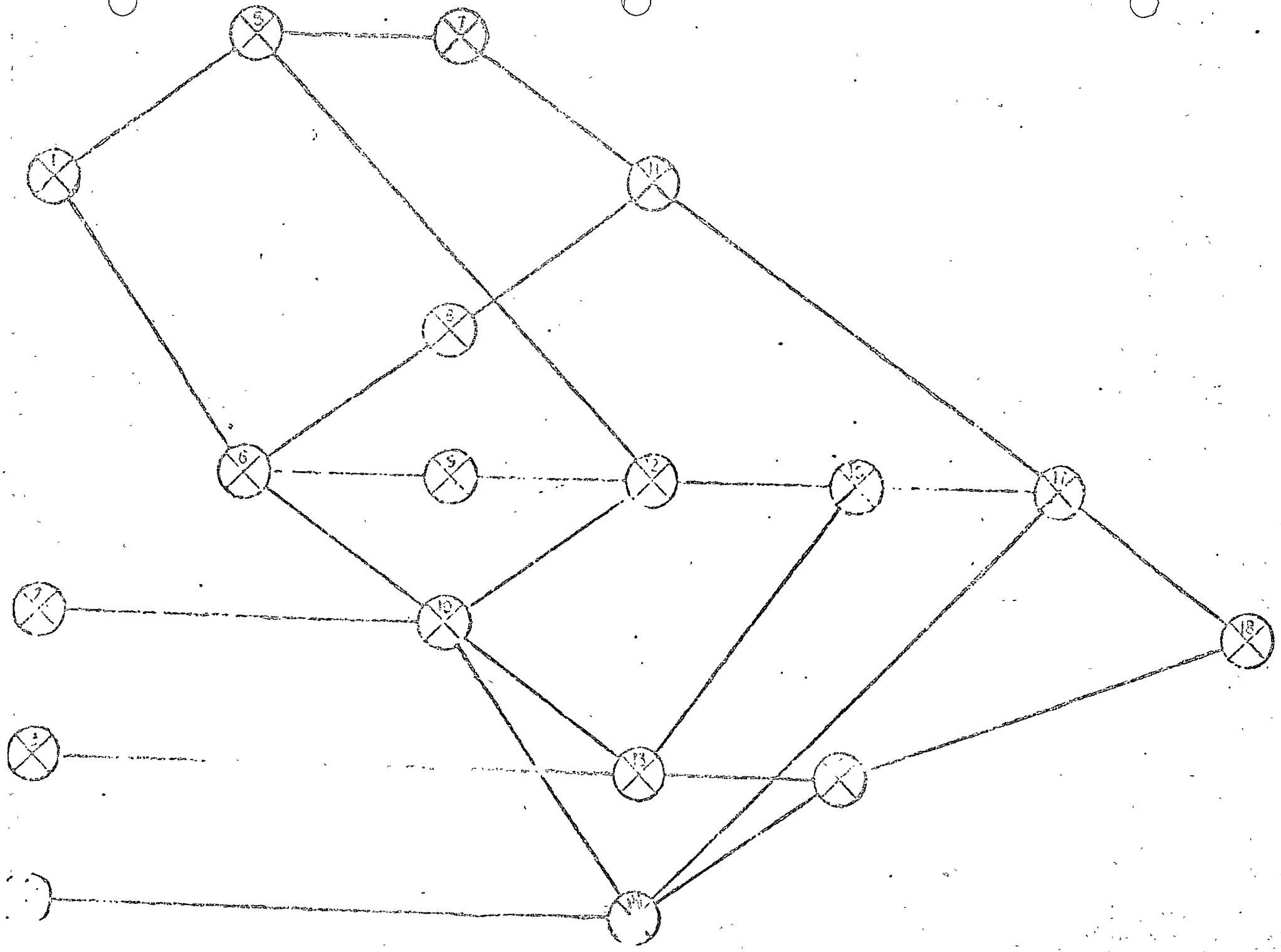

5
10
15
20
25
X0
C1
P1
M1
C2
P2
M2

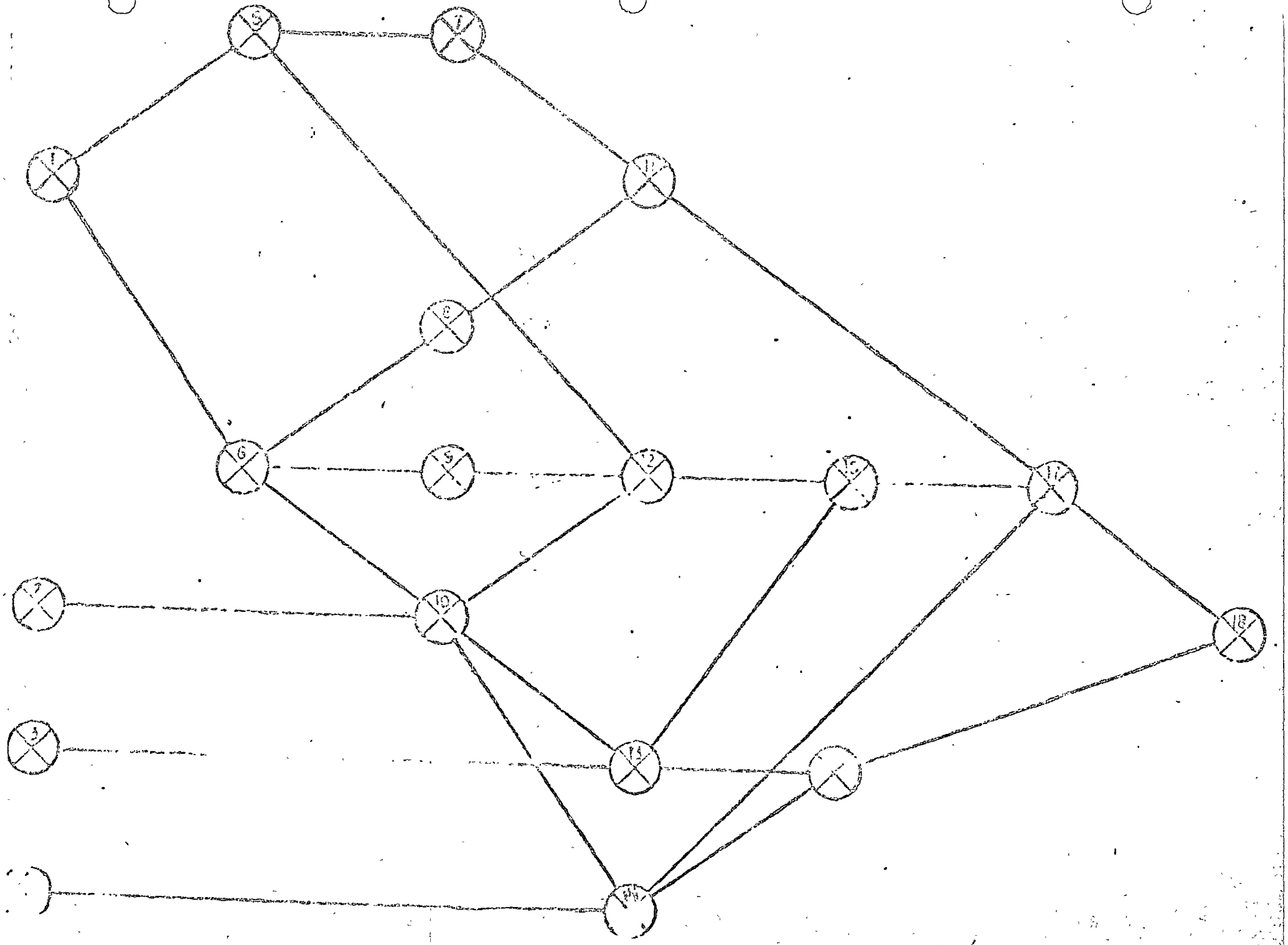

C1
4
P1
8
M1
9
C2
P2
M2
X0

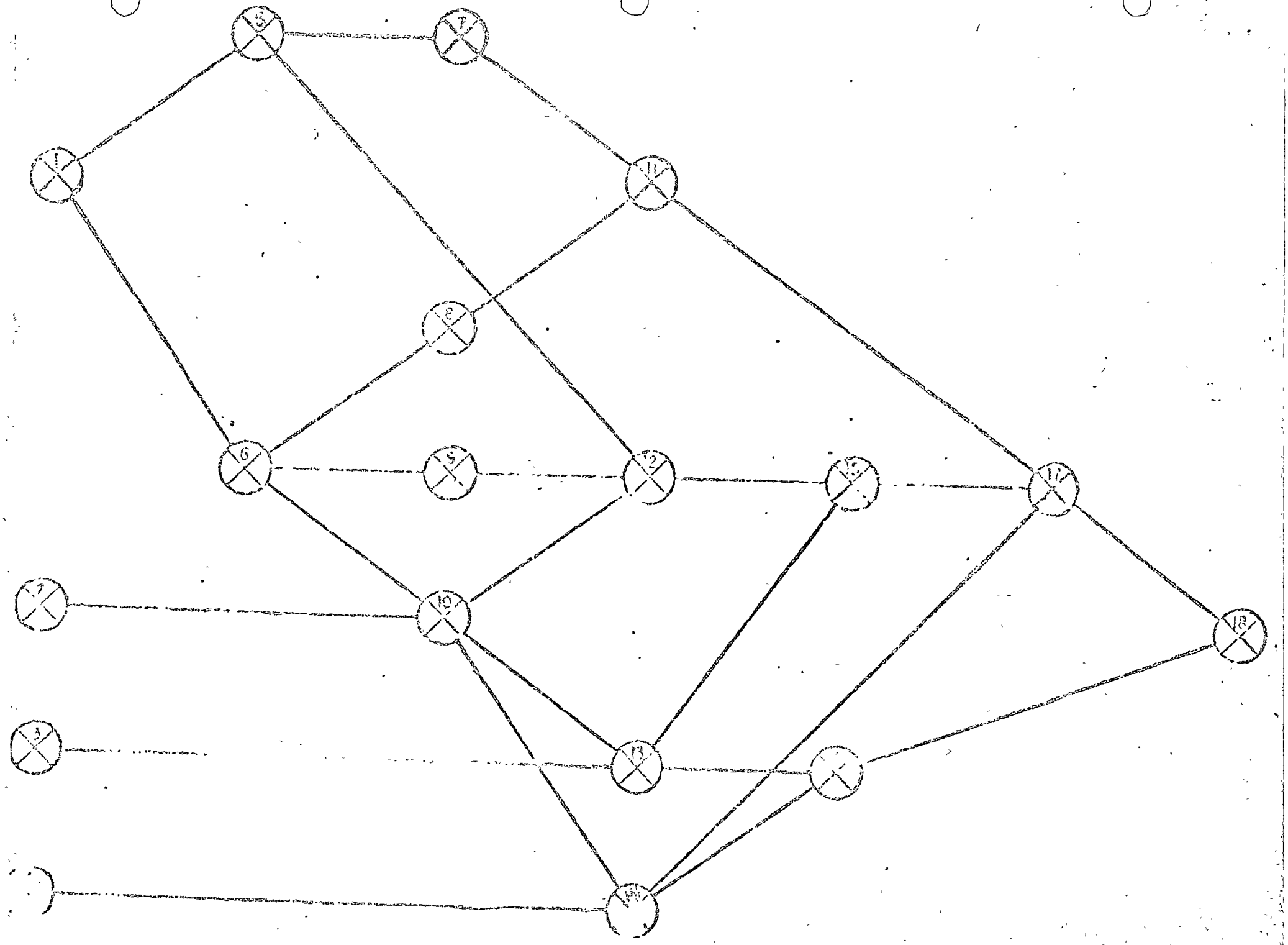


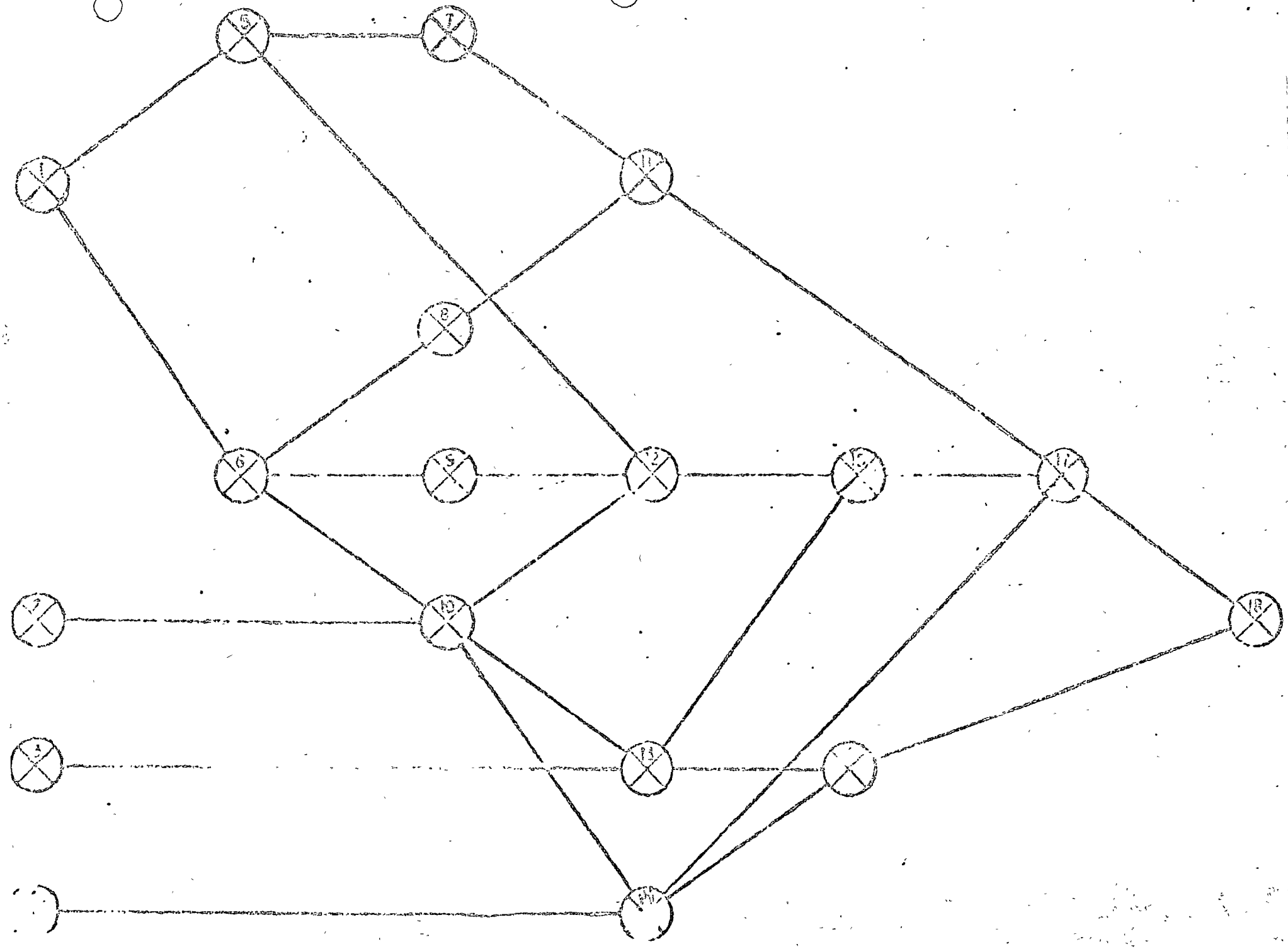


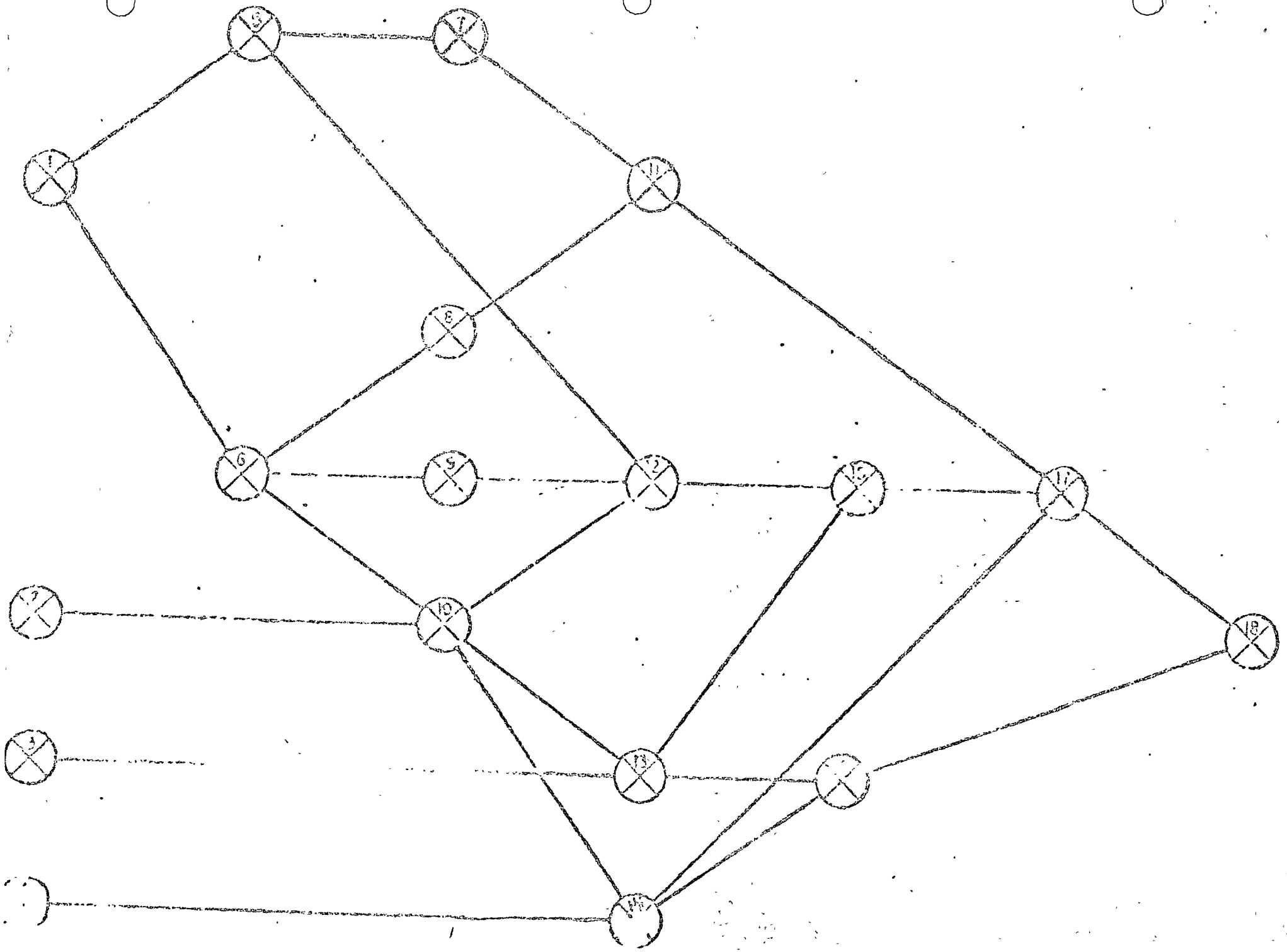


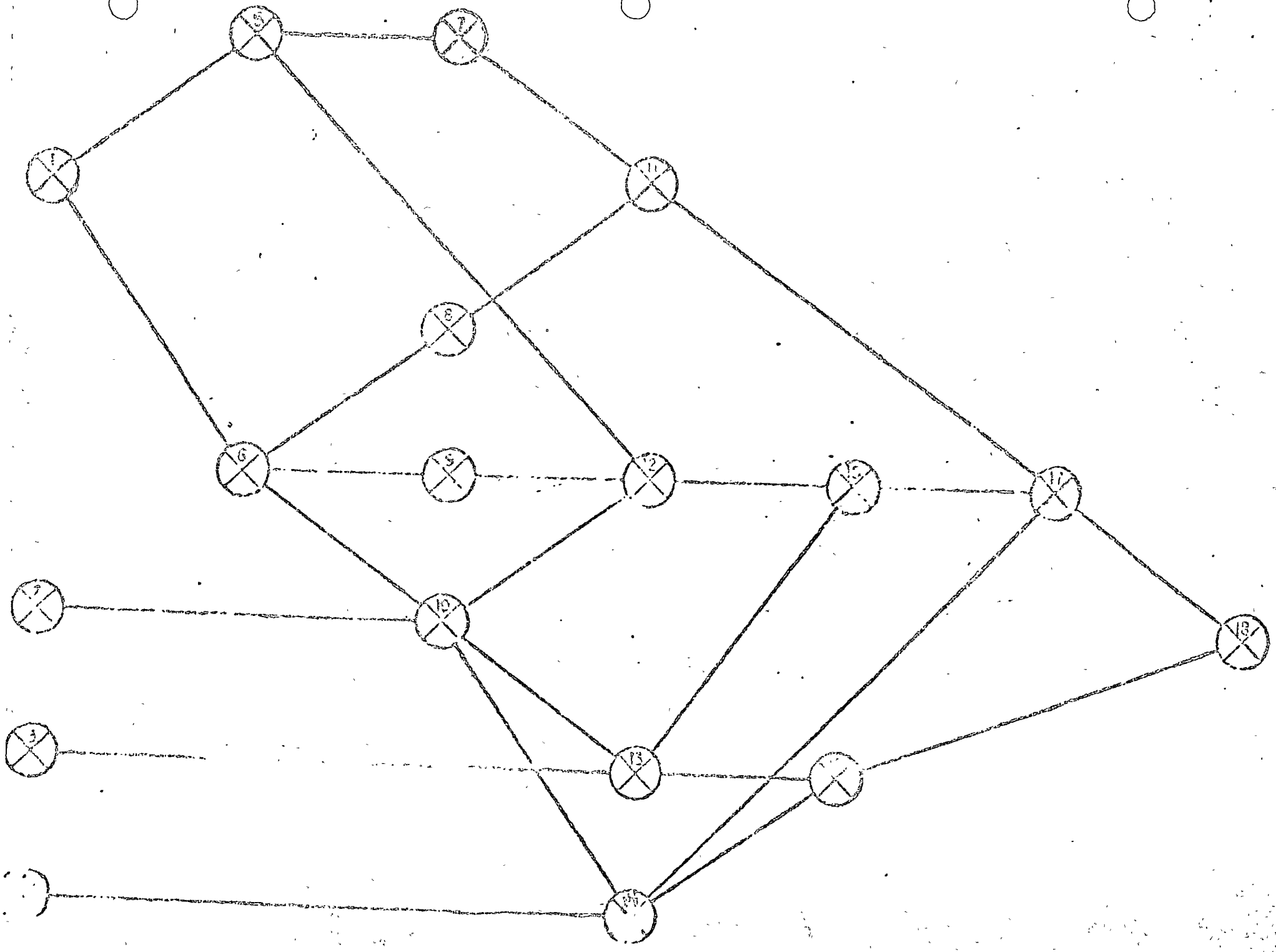


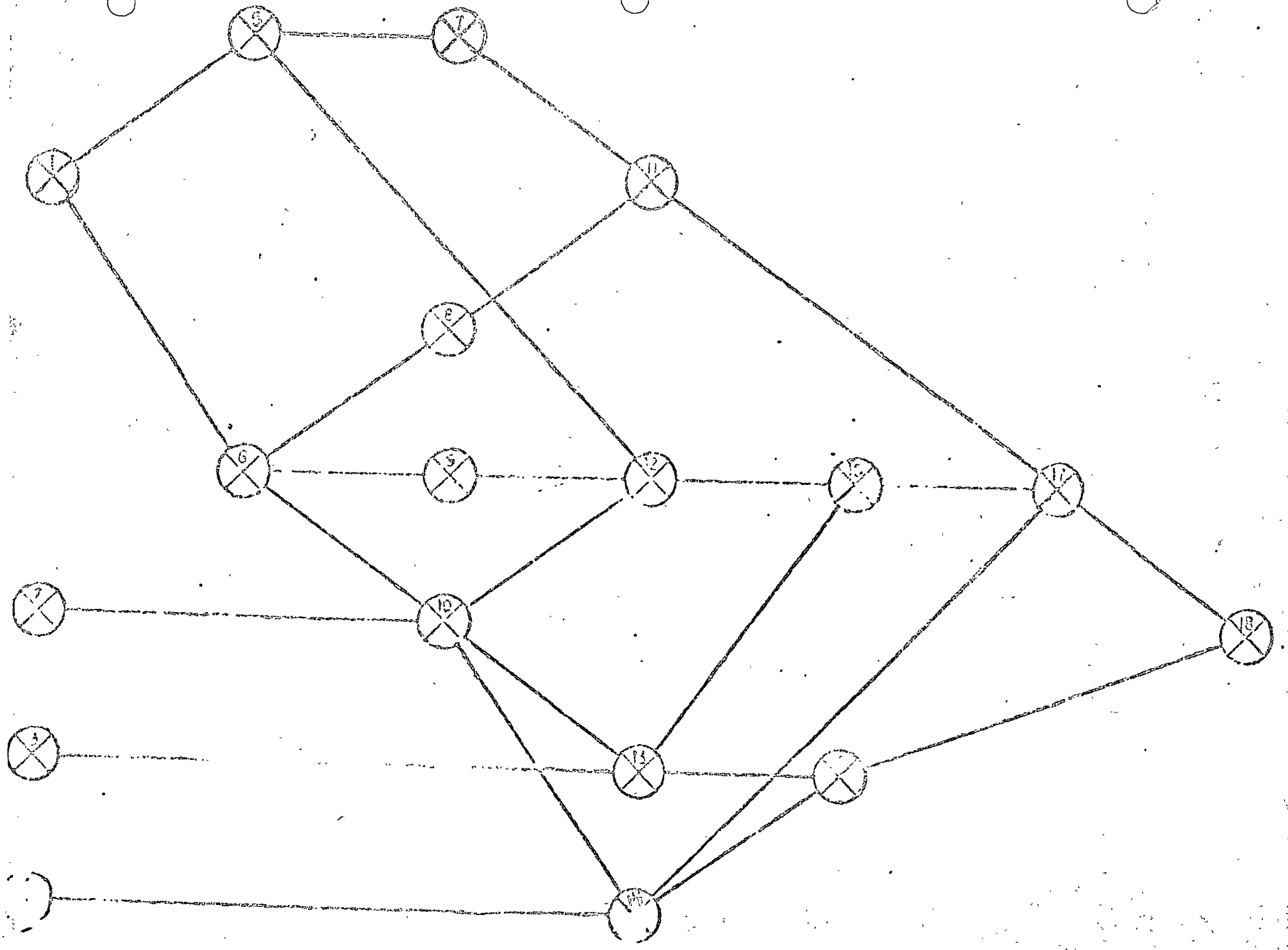

5
7
1
11
8
6
9
12
16
17
2
10
18
3
14
15
4

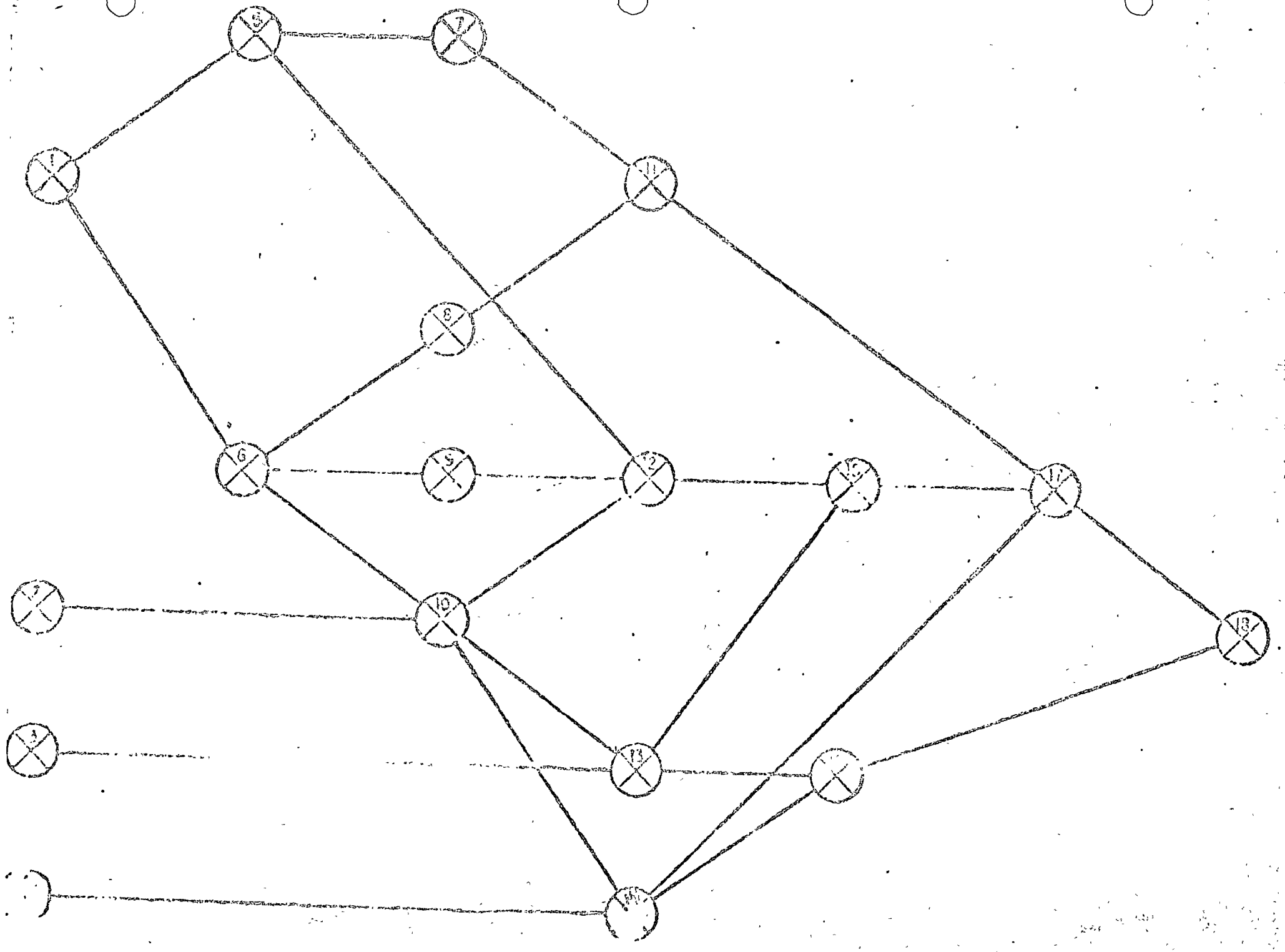

5
7
1
11
8
6
9
12
15
17
2
10
18
3
13
14
4


5
7
1
11
8
6
9
12
15
14
2
10
18
3
13
17
4

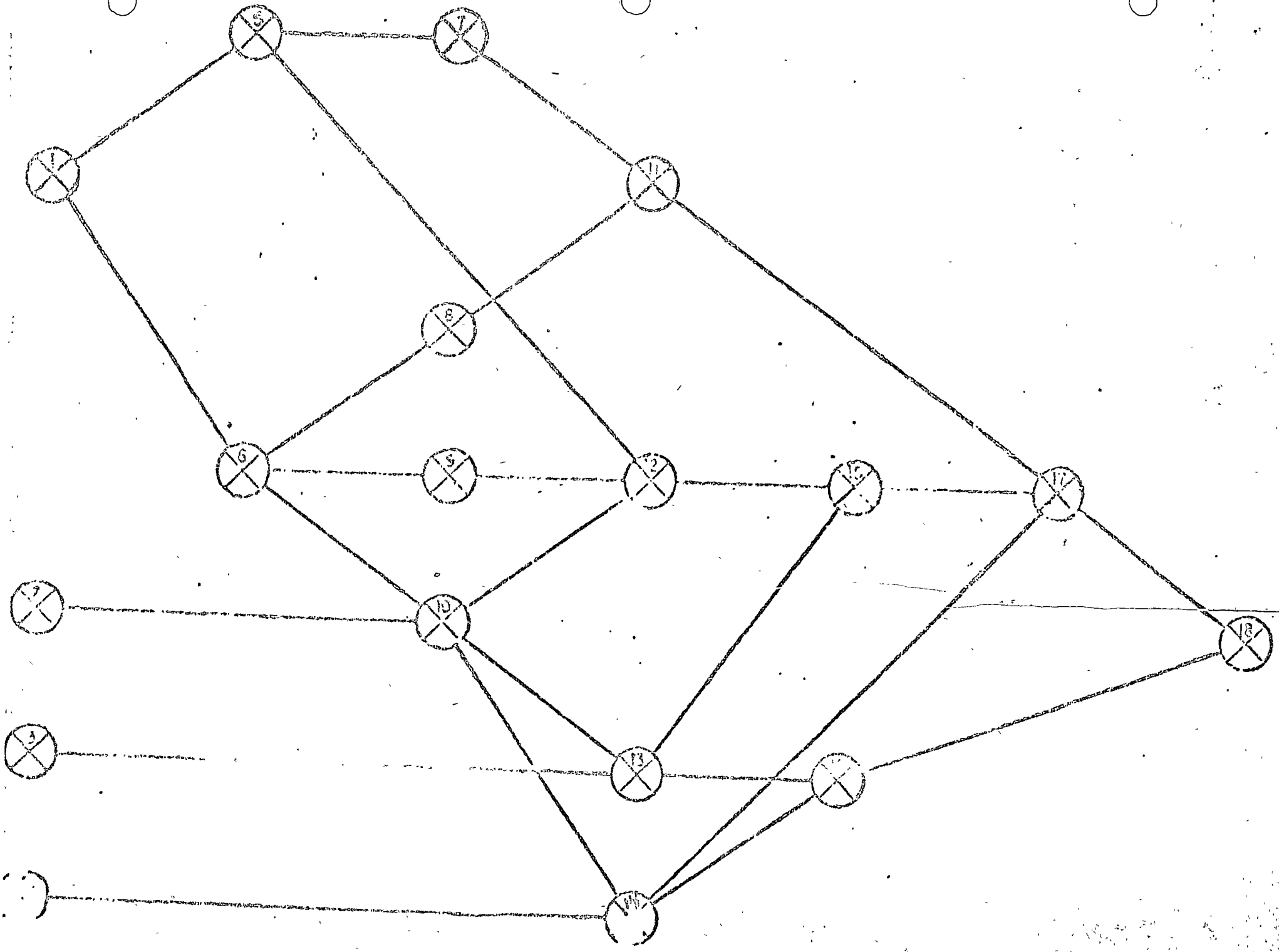

5
7
1
11
8
6
9
12
16
17
2
10
18
3
13
14
4

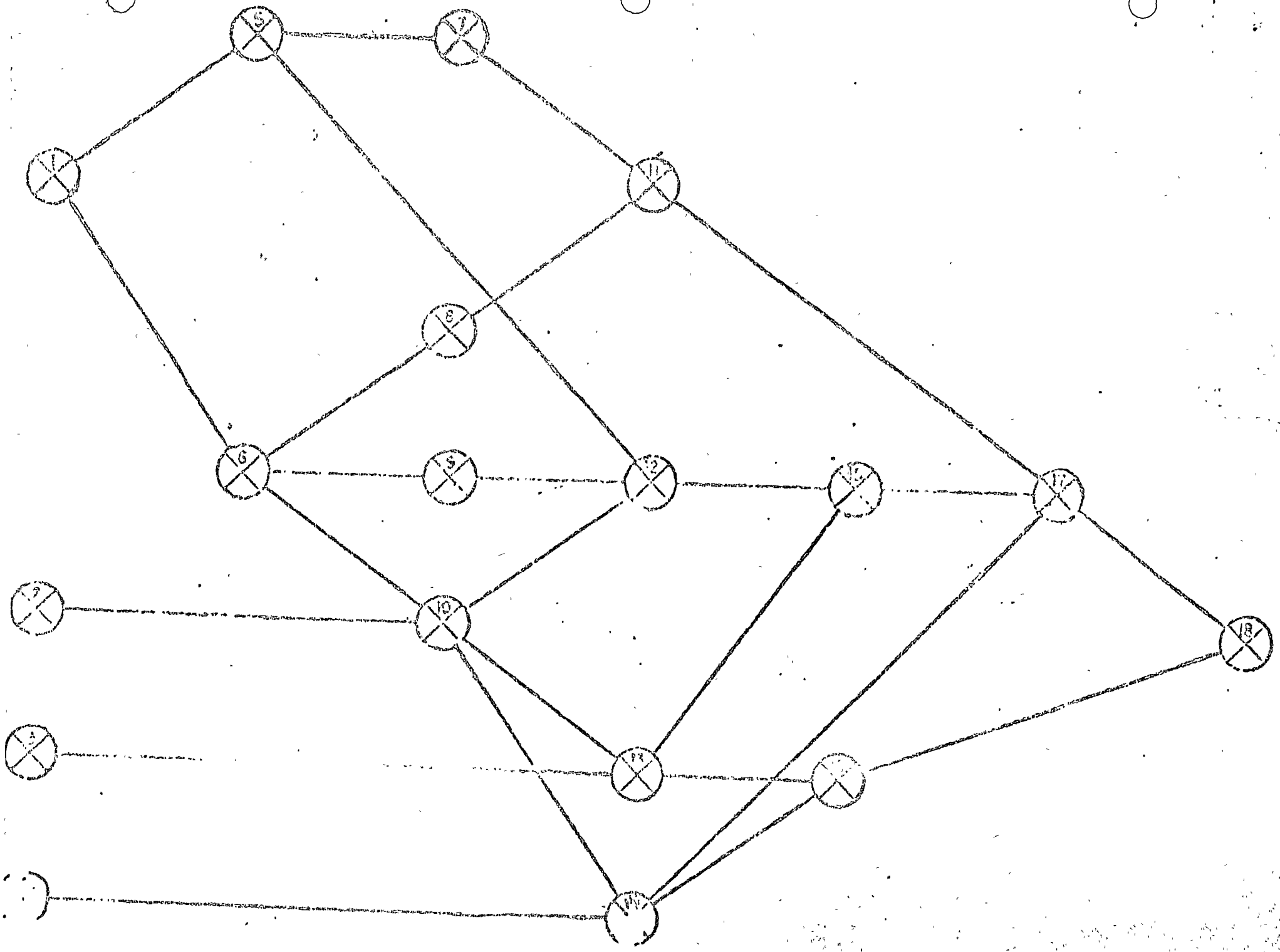


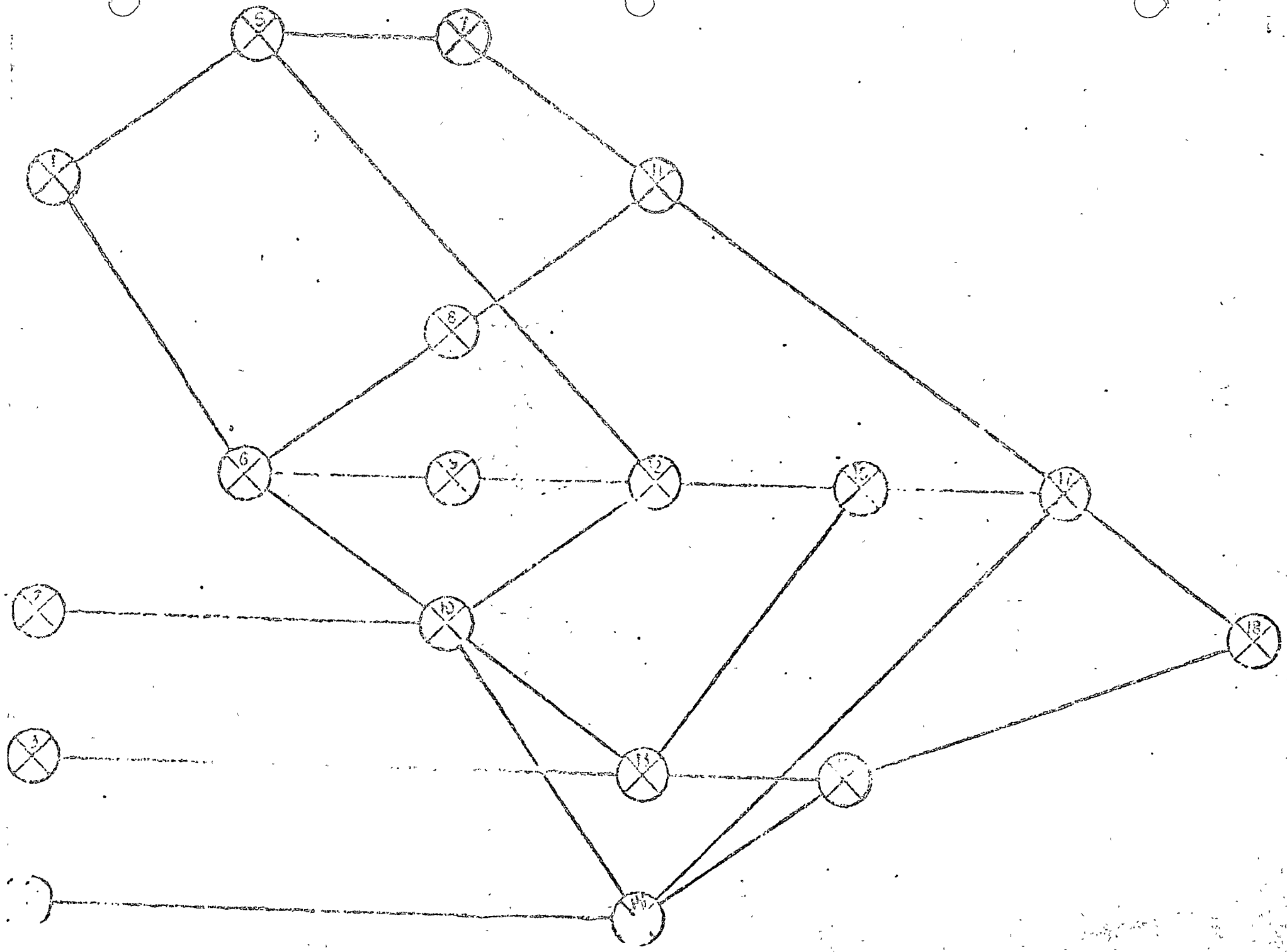

5
7
1
11
8
6
9
12
14
10
18
13
16


5
7
1
11
8
6
9
12
15
17
2
10
18
4
13
16
14

18
14
13
10
12
11
15
2
5
6
9
8
4
1
7
3


5
7
1
11
8
6
9
12
16
17
2
10
18
3
13
14
4




5
7
1
11
8
6
9
12
15
14
2
10
18
3
13
17
16
4
19

BIBLIOGRAFIA

A non - computer approach to the Critical Path Method for the construction Industry. John W. Fondhal. Technical report # 9. Civil Engineering Department - Stanford University.

Publicaciones de la revista "The Constructor" de noviembre y diciembre de 1961.

Methods for extending the Range of Non-Computer Critical Path Applications. John W. Fondahl. Technical Report # 47 Civil Engineering Department - Stanford University.

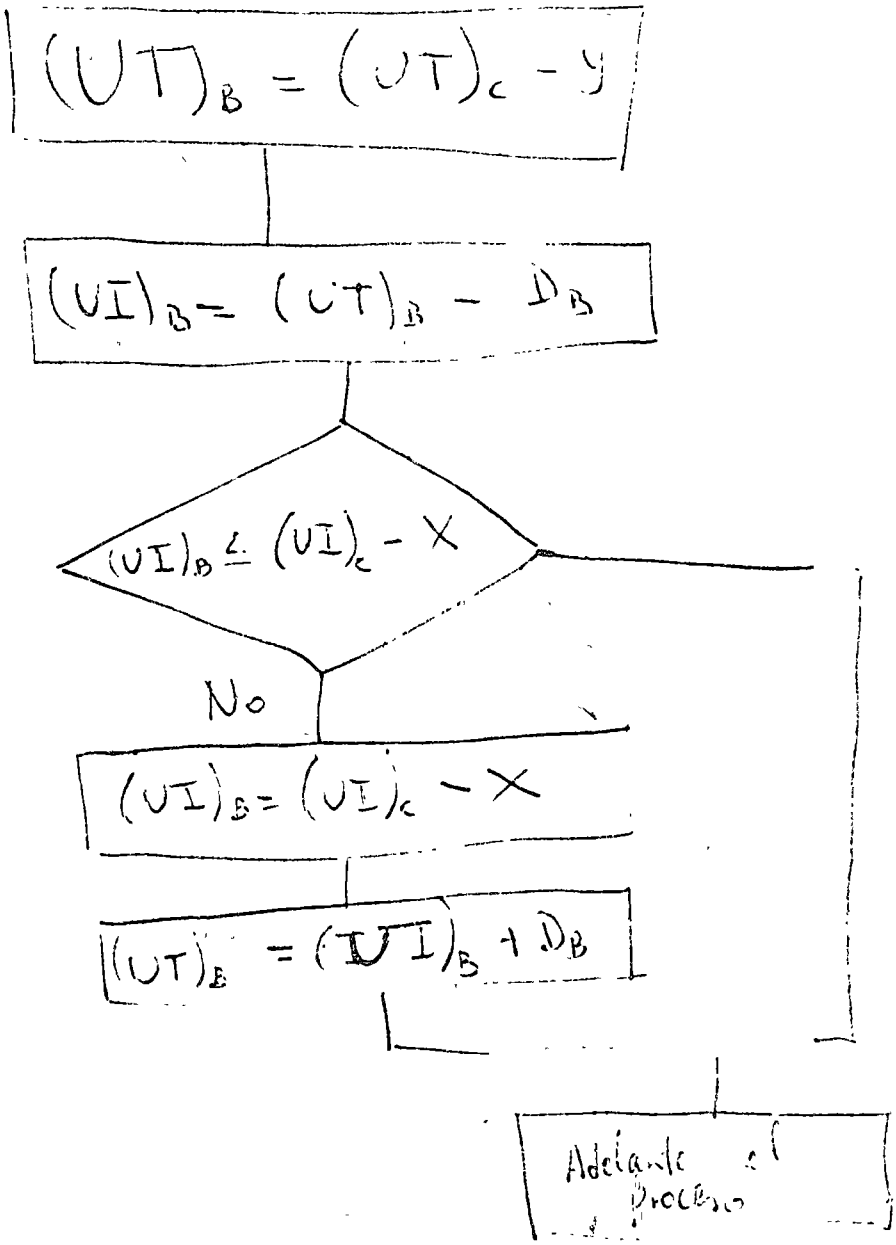
A Basical Critical Path Method with introduction to several Special Applications. Robert C. Mc Lean.

A computer program for the solution of the precedence diagran Using Critical Path Methods. C. Wilson Baker.

Diversos artículos publicados por el Journal of the Construction Division

del American Society of Civil Engineers
Junio 70, pp 1 - 7
Mayo 64, pp 1 - 25 y pp 27 - 36
Mayo 72, pp 37-48
Mayo 65, pp 107 - 127

A CPM - Based Control System. - G. Sears - August 1975. Technical Report 199. Civil Engineering - Construction Management. Stanford University.


(UT)B = (UT)c - y
(UI)B = (UT)B - DB
(UI)B ≤ (UI)c - X
No
(UI)B = (UI)c - X
(UT)B = (UI)B + DB
Adelante el Proceso

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

PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS

Análisis de Tiempos y Movimientos

Ing. José Castro Orvañanos

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F. Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

UNIDAD DE MATERIAL = 0.015 m³ de concreto

CARTA DE PROCESAMIENTO

(METODO USADO)

DIST. (mts.)	TPO. (segundos)	SIMBOLO	DESCRIPCION
	24	D	Concreto en la artesa esperando que llegue un peón.
	10	①	Concreto vaciado al bote con pala.
38+S	46	⇒	Concreto acarreado en bote por un peón.
	4	②	Concreto descargado sobre la cimbra.
		△	Concreto almacenandose en la cimbra

se subida al primer nivel.

CARTA DE PROCESAMIENTO

(METODO RECOMENDABLE)

DIST. (mts.)	TPO. (segundos)	SIMBOLO	DESCRIPCION
	9	D	Concreto en la artesa esperando que llegue un peón.
	10	①	Concreto vaciado al bote con pala.
14+S	17	⇒	Concreto acarreado en bote por un peón.
	4	②	Concreto descargado sobre la cimbra.
		△	Concreto almacenandose en la cimbra.

COMPARACION DE METODOS

	METODO USADO			METODO RECOMENDABLE			DIFERENCIA		
EVENTO	NUMERO	TIEMPO seg.	DIST. mts.	NUMERO	TIEMPO segs.	DIST. mts	NUMERO	TIEMPO segundos	DIST. mts.
○	2	14		2	14		0	0	
D	1	24		1	9		0	-15	
⇒	1	46	38+S	1	17	14+S	0	-29	-24
△	1			1			0		
		84	38+S		40	14+S		-44	

ANALISIS DE PELICULA # 12

OBRA: E. R.

HOJA: 1/1

INTERVALO: 1 CUADRO / 2 SEG.

FECHA: 17/I/74

CONTADOR DE CUADROS Del - al	Δ	TIEMPO segundos	minutos	% Hora	ACTIVIDAD COLADO LOSA DE ENTREPISO (1er. NIVEL)
0 - 5	5	10	0.17	9	PEON SIN CASCO , CAMISA AZUL CLARO LE LLENAN EL BOTE.
5 - 15	10	20	0.33	17	SUBE AL 1er. NIVEL
15 - 27	12	24	0.40	21	ACARREA SOBRE LA LOSA
27 - 30	3	6	0.10	5	DESCARGA
30 - 42	12	24	0.40	21	REGRESA SOBRE LA LOSA
42 - 58	16	32	0.53	27	BAJA Y DA VUELTA
			1.93	100	
58 - 63	5	10	0.17	9	LE LLENAN EL BOTE
63 - 74	11	22	0.37	20	DA VUELTA Y SUBE LA ESCALERA
74 - 87	13	26	0.43	23	ACARREA SOBRE LA LOSA .
87 - 89	2	4	0.07	4	DESCARGA
89 - 101	12	24	0.40	21	REGRESA SOBRE LA LOSA
101- 114	13	26	0.43	23	BAJA LA ESCALERA Y DA VUELTA
			1.87	100	
114- 118	4	8	0.13	7	LE LLENAN EL BOTE

ESTUDIO : Ciclo de acarreo de Concreto premezclado , por peones con botes.

ACTIVIDAD : Colado de losa de entrepiso (ler. nivel) , - para una vivienda.

CUADRILLA :

* 2 Hombres llenando botes en la artesa con palas.

* 7 hombres acarreando el concreto con botes.

DESCRIPCION CICLO :

a) Llenando del bote en la artesa

b) Acarreo hasta la losa por colar .

c) Descarga del Concreto

d) Regreso a la artesa

TIEMPOS OBTENIDOS DEL ANALISIS DE LA PELICULA

a) Llenando del bote en la artesa...	10 seg....	9%
b) Vuelta y subida al ler. nivel	22 seg...	20 %
c) Acarreo sobre el ler. nivel.....	24 seg...	22 %
d) Descarga.....	4 seg...	3 %
e) Regreso sobre el ler. nivel.....	26 seg...	23 %
f) Bajada y vuelta.....	26 seg...	23 %
	112 seg.	100 %

DIAGRAMA DE CUADRILLAS

METODO USADO

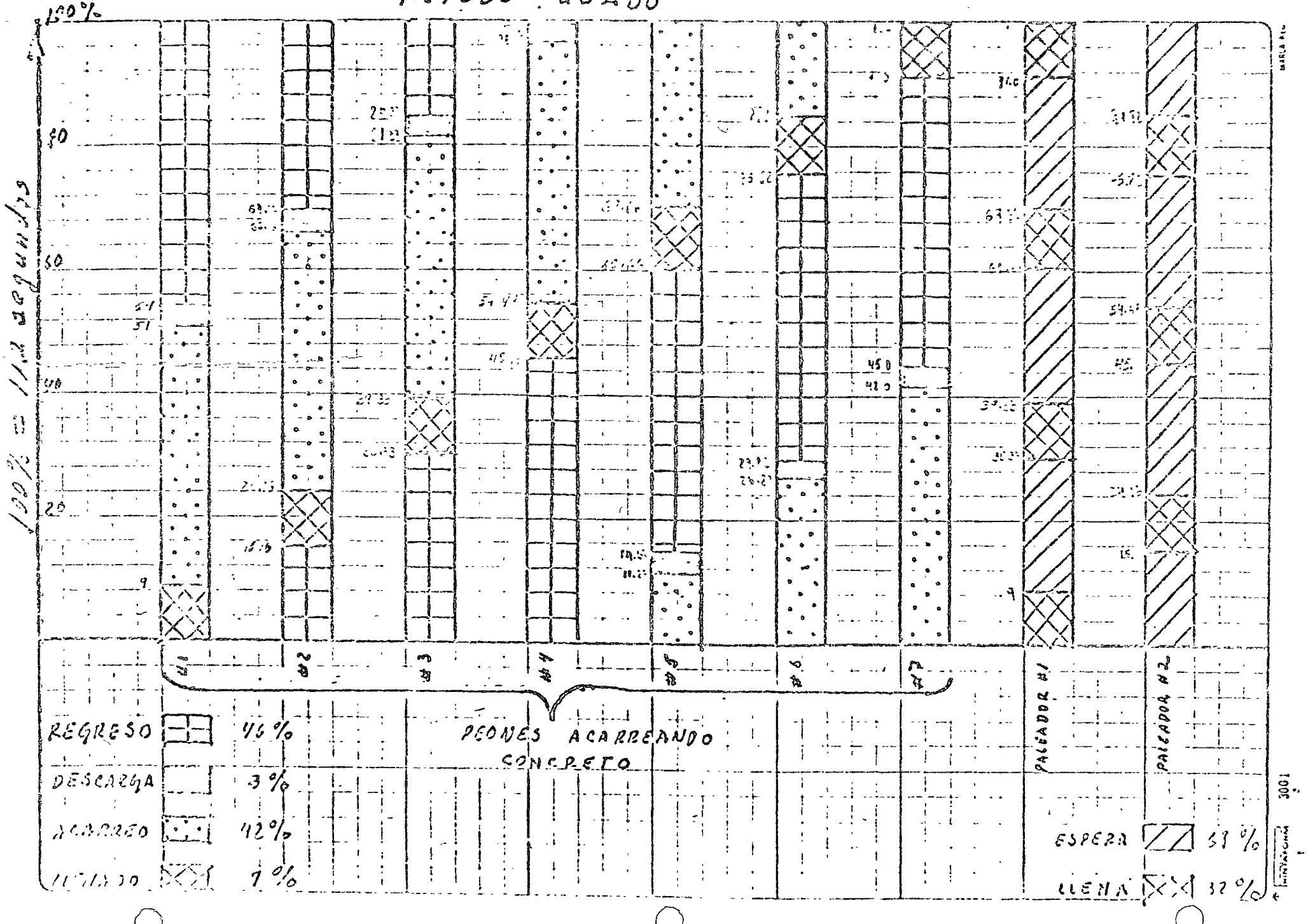


Diagrama de flujo

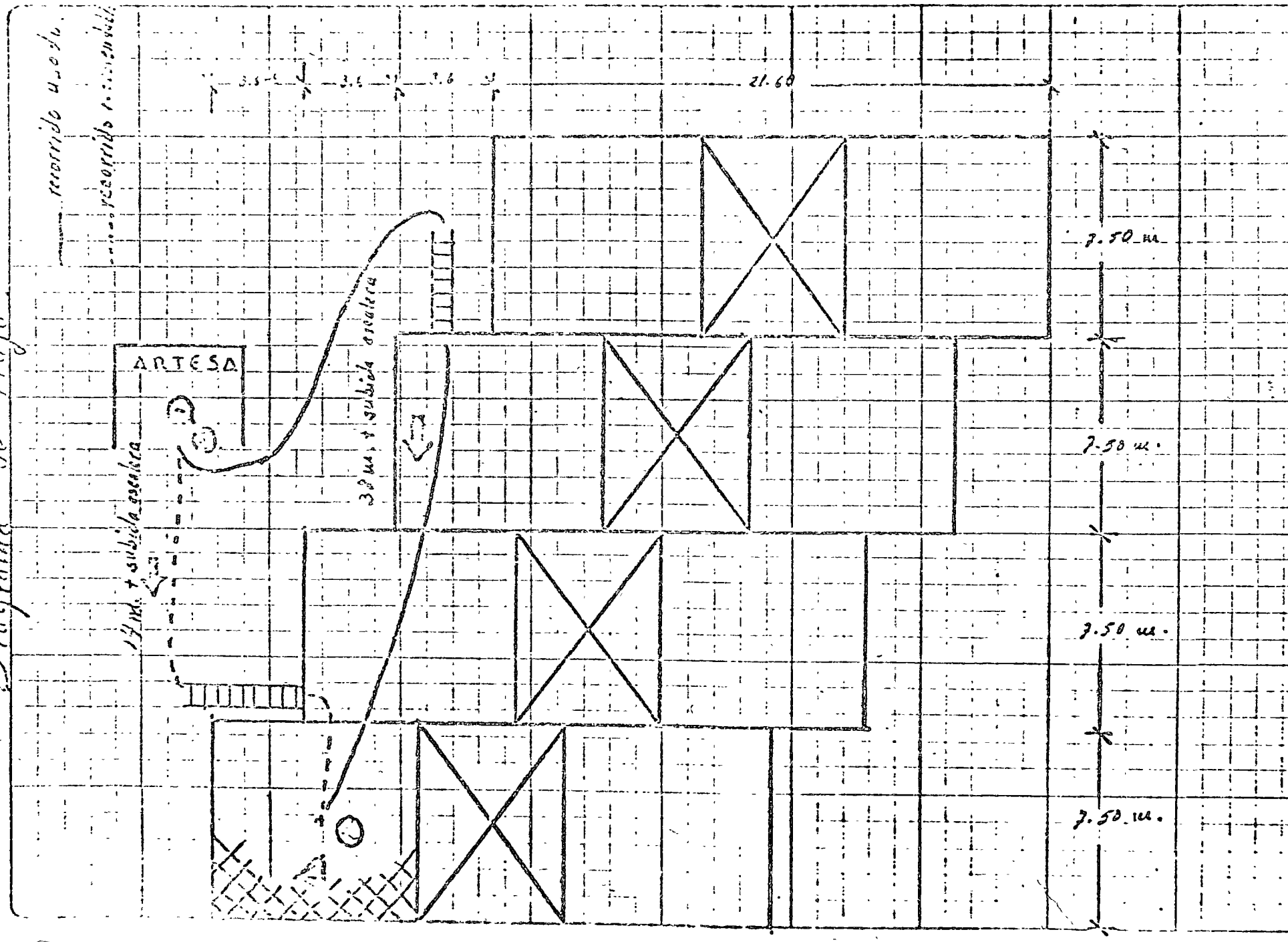
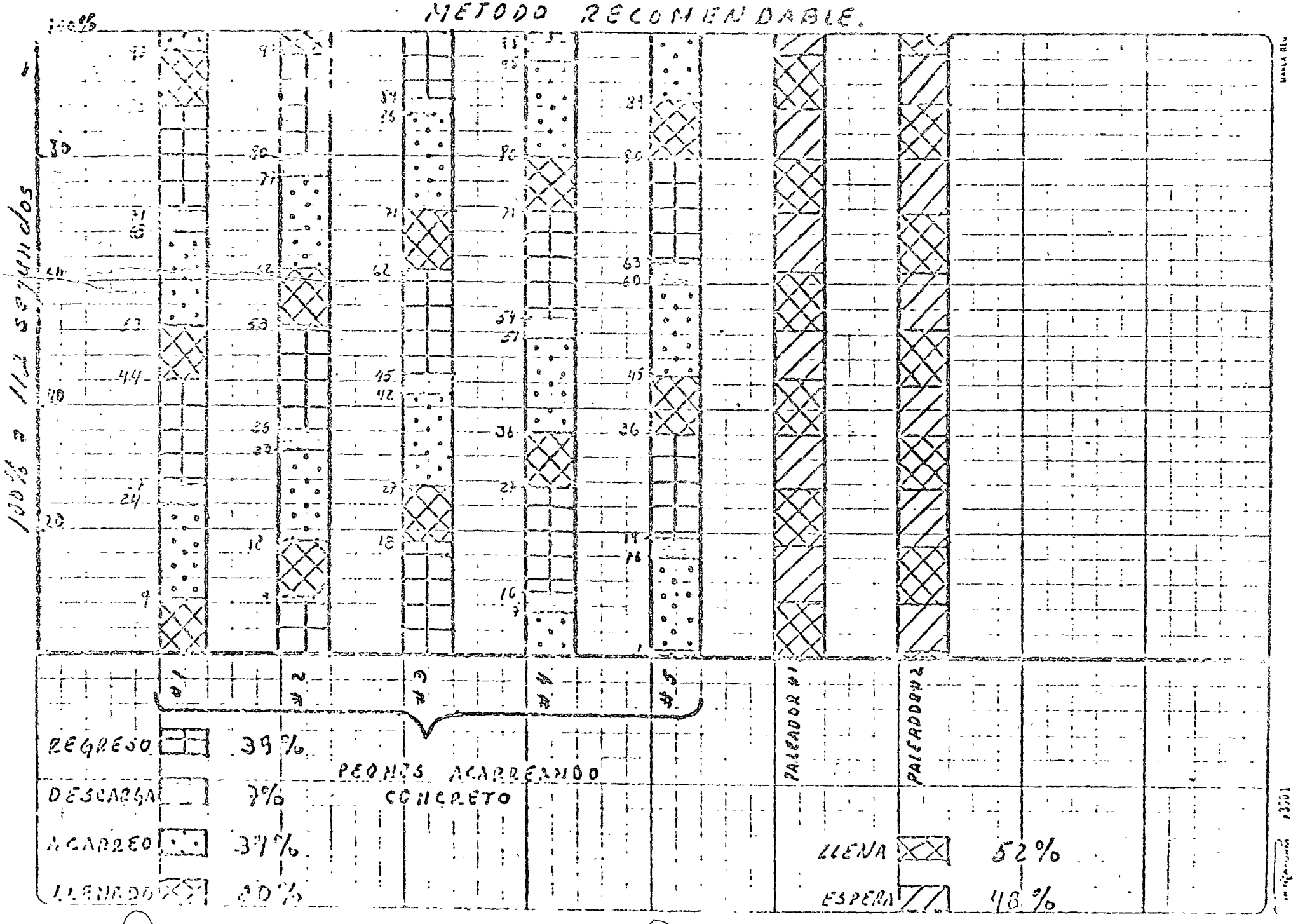
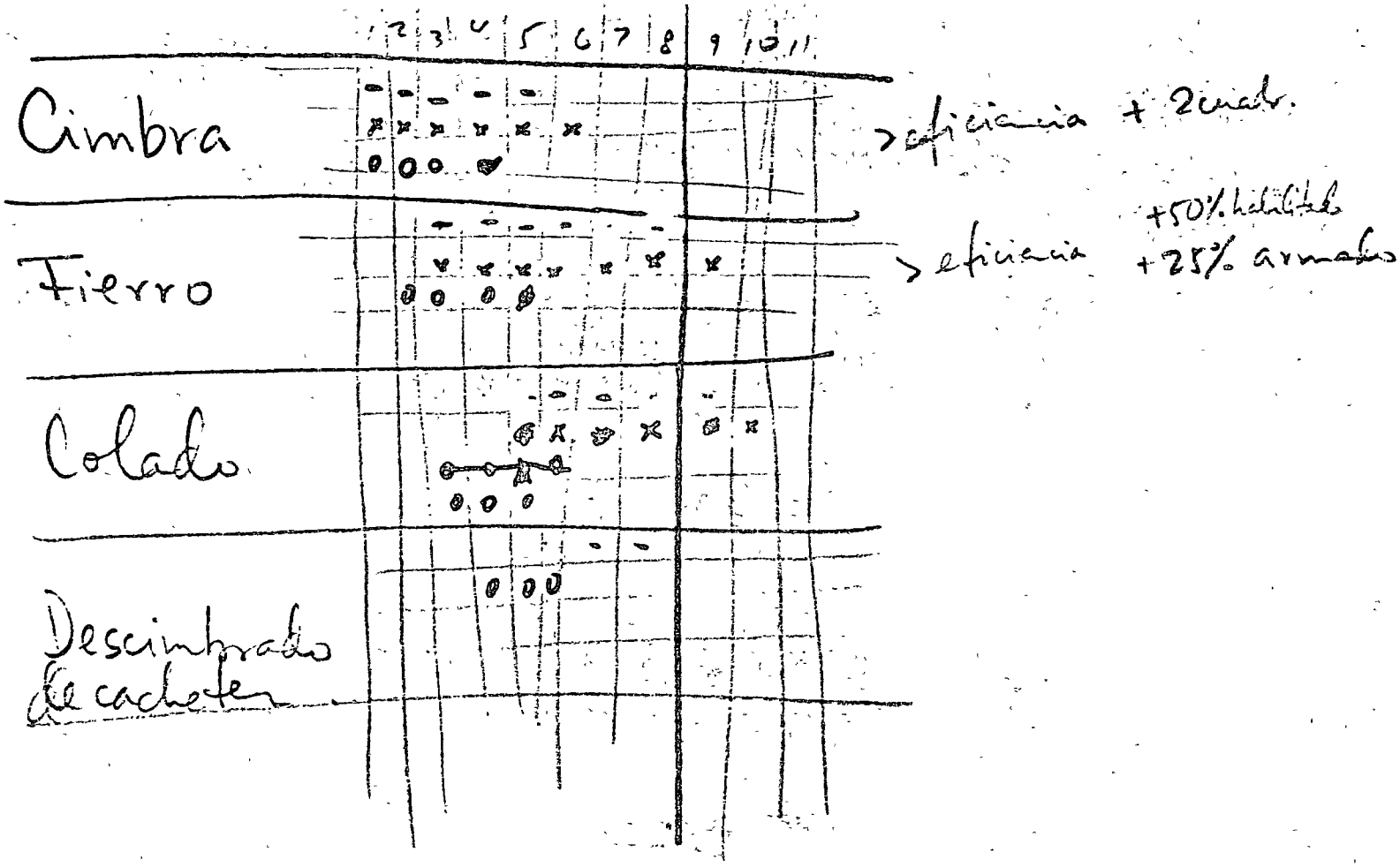


DIAGRAMA DE CUADRILLAS

METODO RECOMENDABLE.



Ciclo de trabes portantes



Ciclo original de montaje por trabe: 146.15 min/trabe

180 trabes/planta tipo × 4 trabes × 146.15 min = 89.888 min

÷ 50 = 1.798 hrs

÷ 8 × 22 ≐ 10 meses

Con nuevo procedimiento: ciclo = $\frac{40}{146.16}$ = 27%

Nueva duración 27% × 10 meses ≐ 3 meses

AHORRO COSTO DIRECTO

7 meses × $100,000/mes (grúa) — 700,000

7 × $45,000/mes (pezadal) 315,000

— Inversión (gatos, planos, cimbra, etc) 30,000 — 15,000

1,000,000

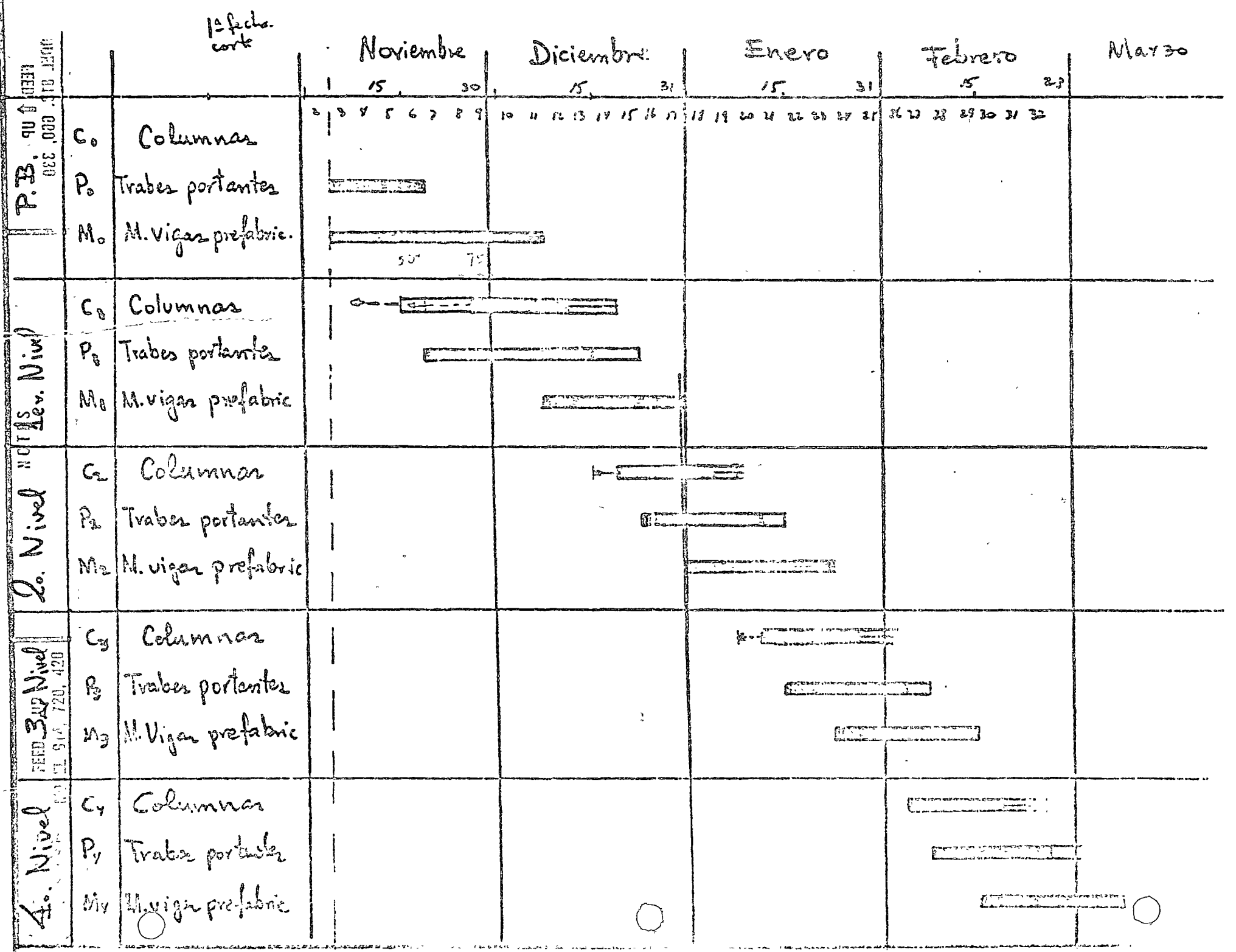
Medidas correctivas:

1. Herramienta adicional: plomo, 2 barretas, 2 gatos de 15 tons, 2 carros de deslizamiento para cuñas de madera habilitada y un juego de estrobos montaje de trabes

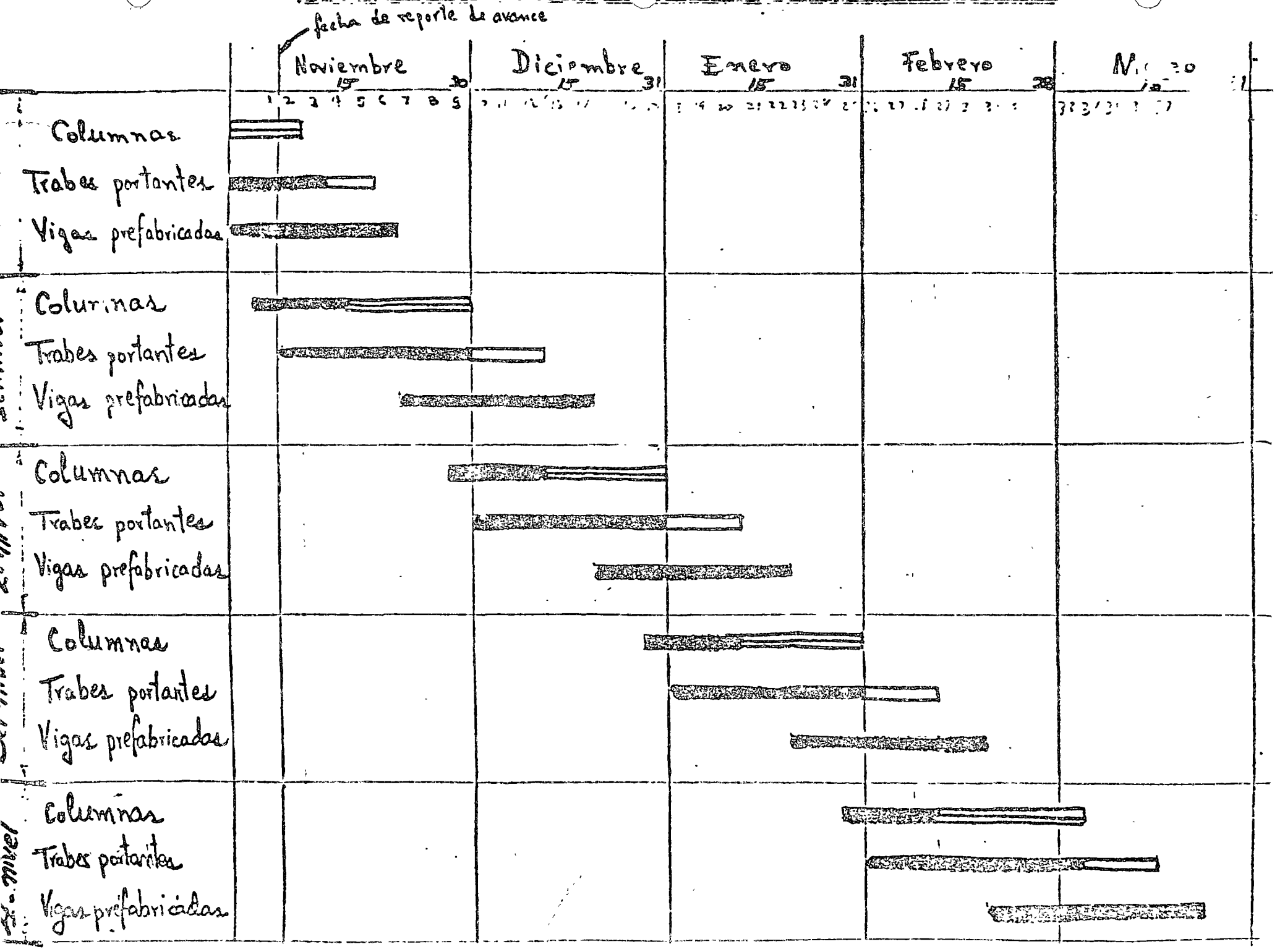
2. Para trabes portantes: aumentar en 50% el personal de habilitado de fierro, y 25% el de armado y una cuadrilla extra de carpinteros.

3. Exigir a la cuadrilla de PB encargada de quitar arneses del camión y colocación de estrobos en las trabes que su ciclo se cumpla en 30 minutos

PROGRAMA DE CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA



PROGRAMA DE CONSTRUCCION DE ESTRUCTURA



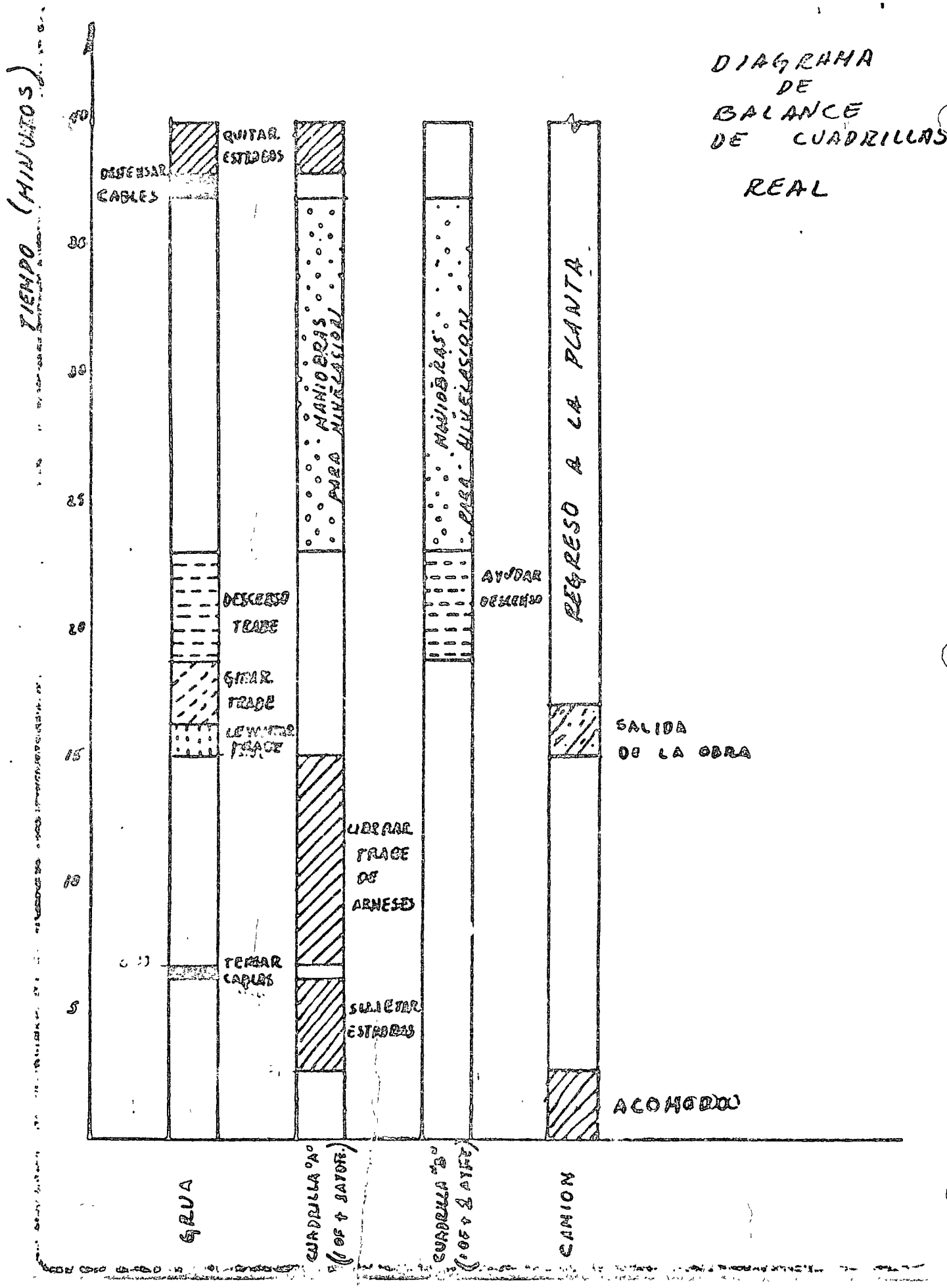
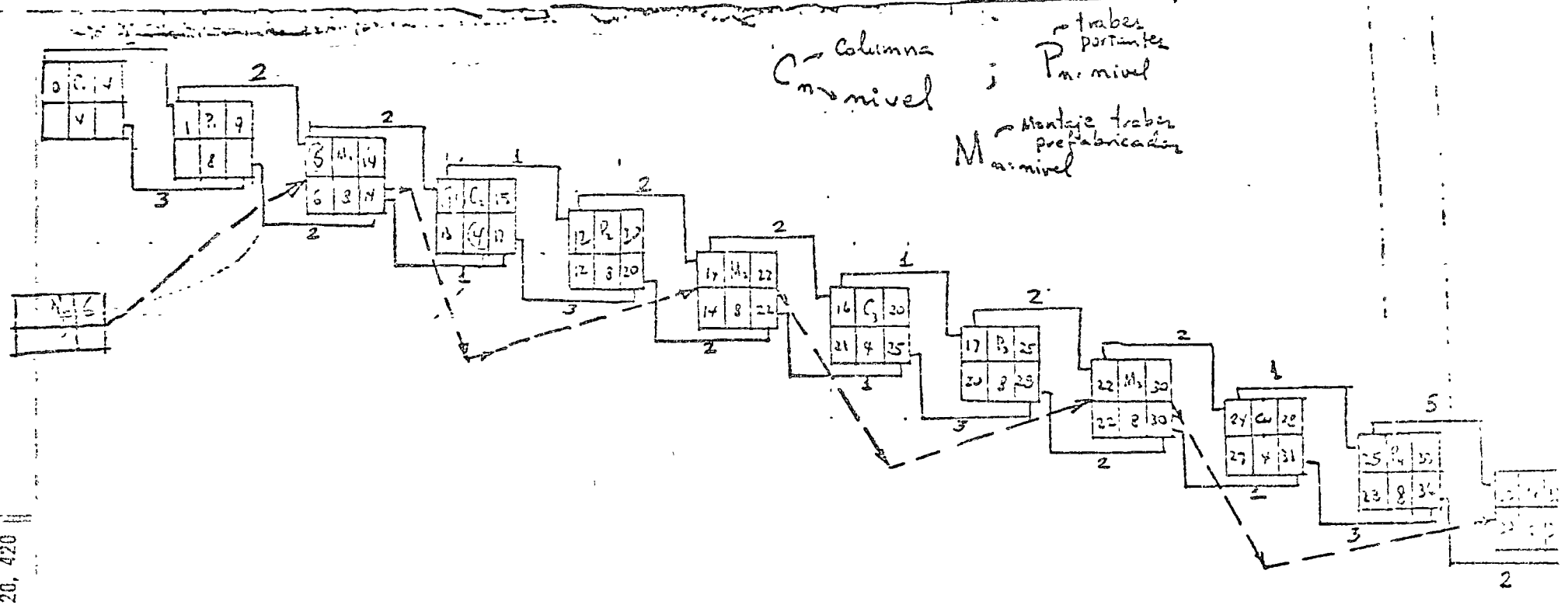


DIAGRAMA DE BALANCE DE CUADRILLAS
REAL
TIEMPO (MINUTOS)
40
30
20
25
20
15
10
5
DESENSAR CABLES
QUITAR ESTIBOS
DESCENSO TRABE
GIRAR TRABE
LEVANTAR TRABE
TENSAR CABLES
MANIOBRAS PARA NIVELACION
UBICAR TRABE DE ARNESES
SUJETAR ESTIBOS
MANIOBRAS PARA NIVELACION
AYUDAR DERECHO
REGRESO A LA PLANTA
SALIDA DE LA OBRA
ACOMODO
GRUA
CUADRILLA "A" (OF + AYUF.)
CUADRILLA "B" (OF + 2 AYUF.)
CAMION

CARTA DE PROCESAMIENTO, UTILIZANDO HERRAMIENTA ADECUADA

EVENTO	DESCRIPCION	TIEMPO (MIN.)
D_1	Camión con trabe esperando entrar a la obra.	37.29
T_1	Entrada y colocación del camión.	2.71
O_1	Sujetar estrobos a la trabe.	3.53
O_2	Tensar estrobos por la grua.	0.75
O_3	Liberar trabe de los arneses del camión.	8.03
T_2	Levantar la trabe.	1.56
T_3	Girar la trabe.	2.40
T_4	Descenso de la trabe.	4.18
O_4	Maniobras para nivelar la trabe.	13.84
O_5	Destensar estrobos, por la grua.	1.00
O_6	Quitar estrobos.	2.00
V_1	Trabe lista para ser soldada.	
	T O T A L =	72.29 min.

Tiempo Efectivo (Sin D_1) = 40 min.

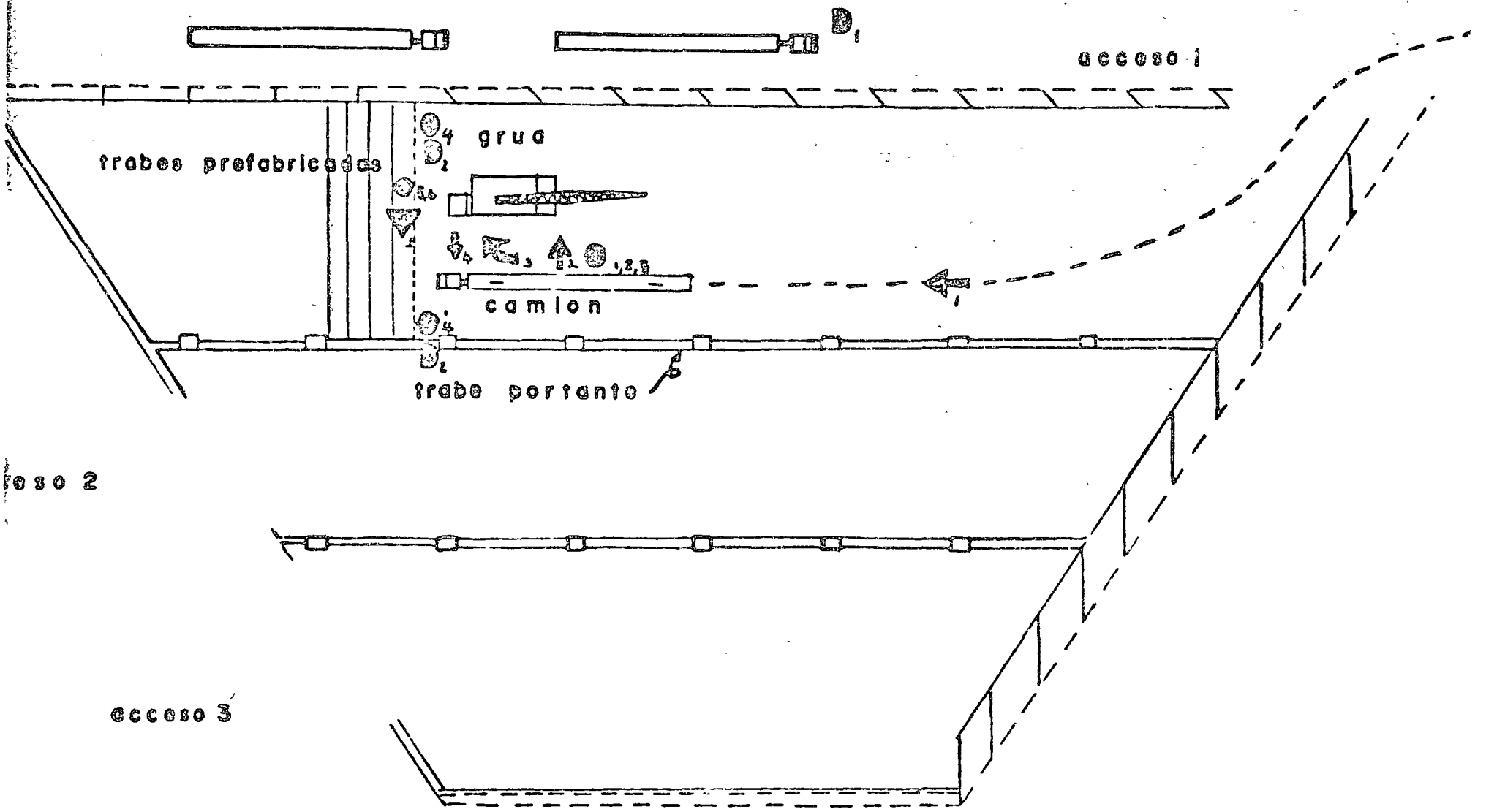


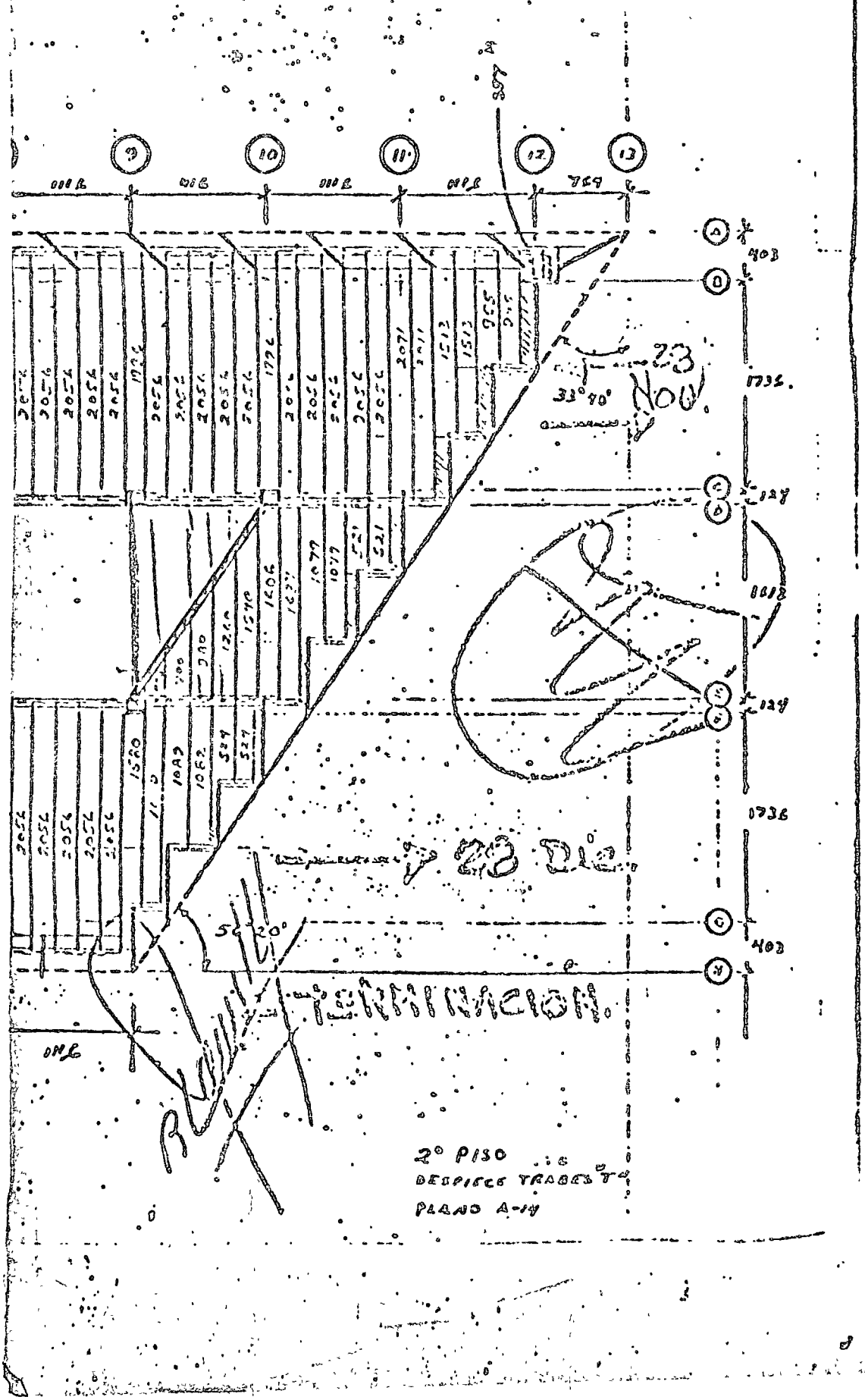
NOTES

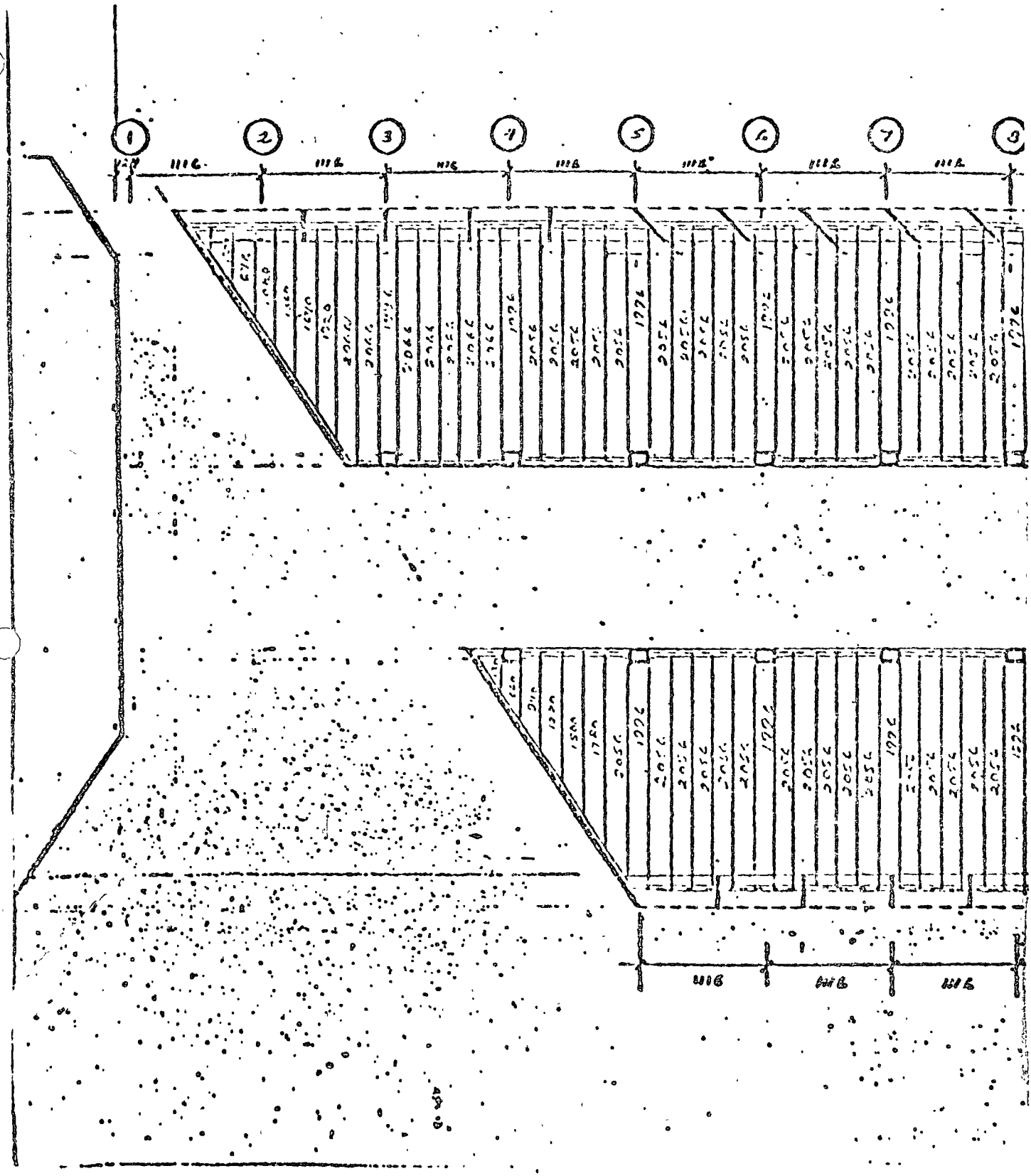
FEED UP 720,420

FEED UP 613,000,330

DIAGRAMA DE FLUJO




2° PISO
DESPIECE TRABES
PLANO A-14

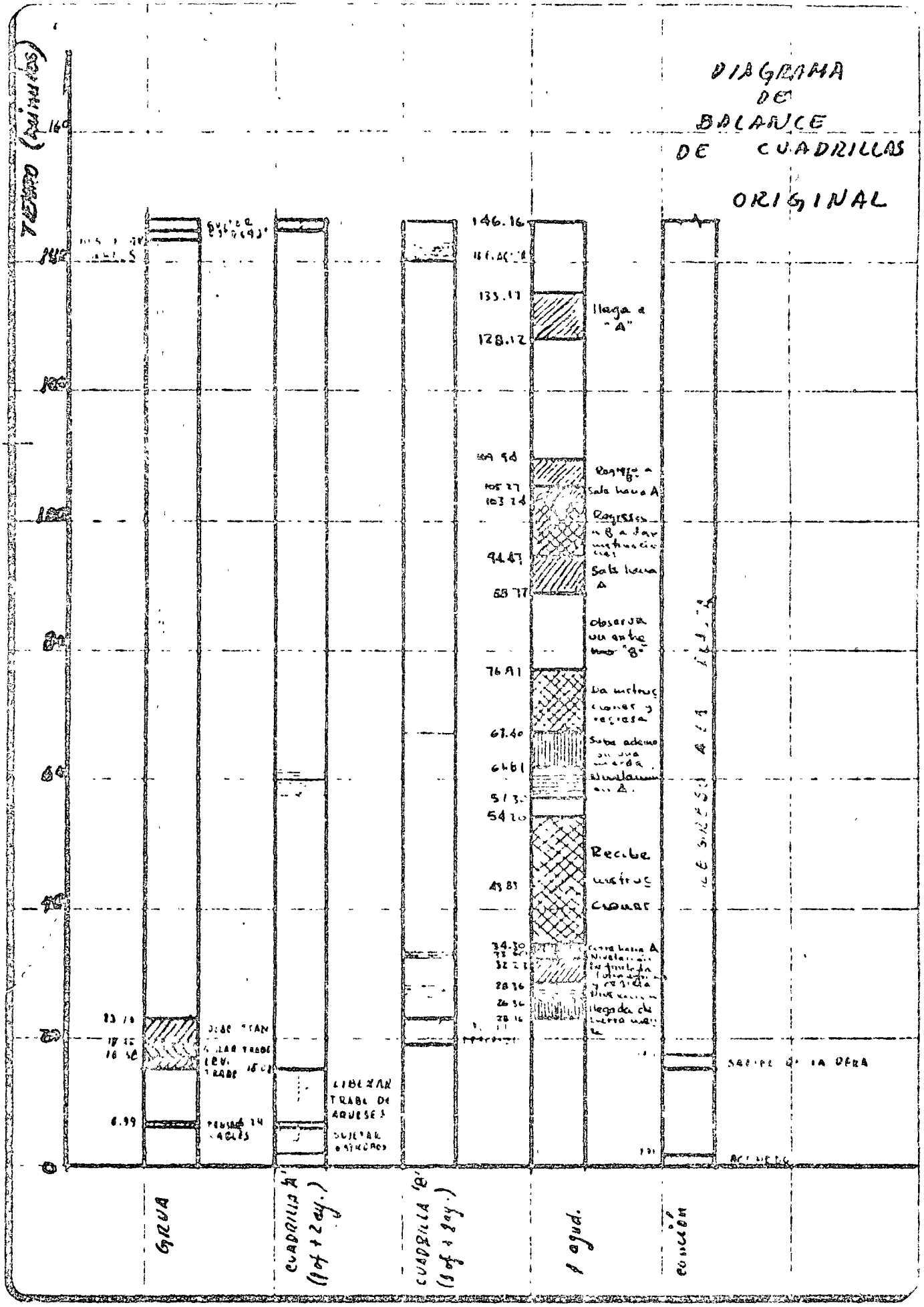

1
2
3
4
5
6
7
8

CARTA DE PROCESAMIENTO ORIGINAL PARA EL MONTAJE DE UNA TRABE.

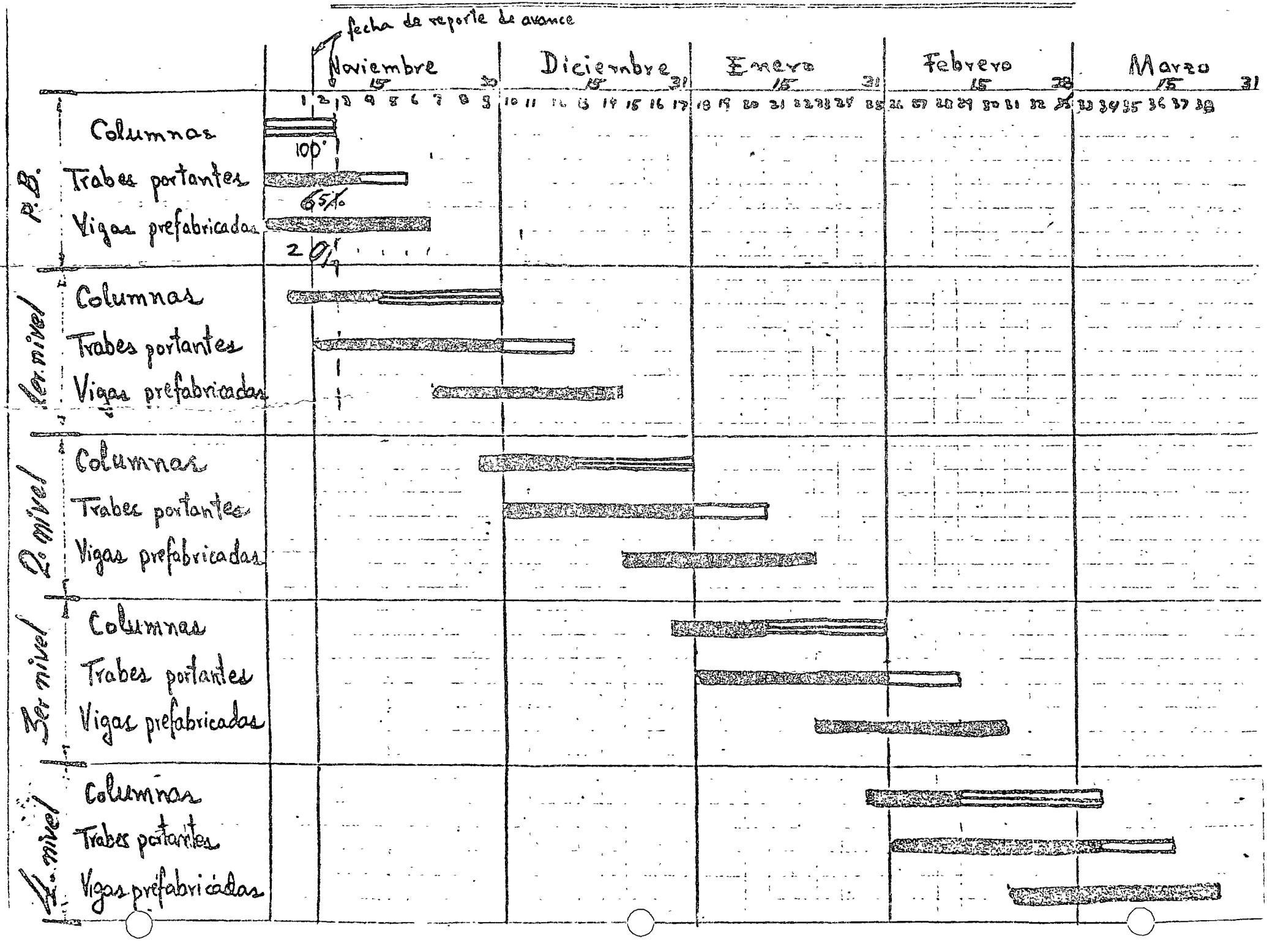
EVENTO	DESCRIPCION	TIEMPO (MIN.)
D_1	Camión con trabe esperando entrar a la obra.	143.45
$\Rightarrow_1$	Entrada y colocación del camión.	2.71
O_1	Sujetar estrobos a la trabe.	3.53
O_2	Tensar estrobos por la grua.	0.75
O_3	Liberar trabe de los arneses del camión.	8.03
$\Rightarrow_2$	Levantar la trabe.	1.56
$\Rightarrow_3$	Girar la trabe.	2.40
$\Rightarrow_4$	Descenso de la trabe.	4.18
O_4, D_2	Maniobras para nivelar la trabe.	120.00
O_5	Destensar estrobos, por la grua.	1.00
O_6	Quitar estrobos .	2.00
∇_1	Trabe lista para ser soldada.	
	T O T A L =	289.61 min.

Tiempo Efectivo (Sin D_1) = 146.16 min.

DIAGRAMA DE BALANCE DE CUADRILLAS ORIGINAL



PROGRAMA DE CONSTRUCCION DE ESTRUCTURA



"PROGRAMACION Y CONTROL DE AVANCE DE OBRAS"

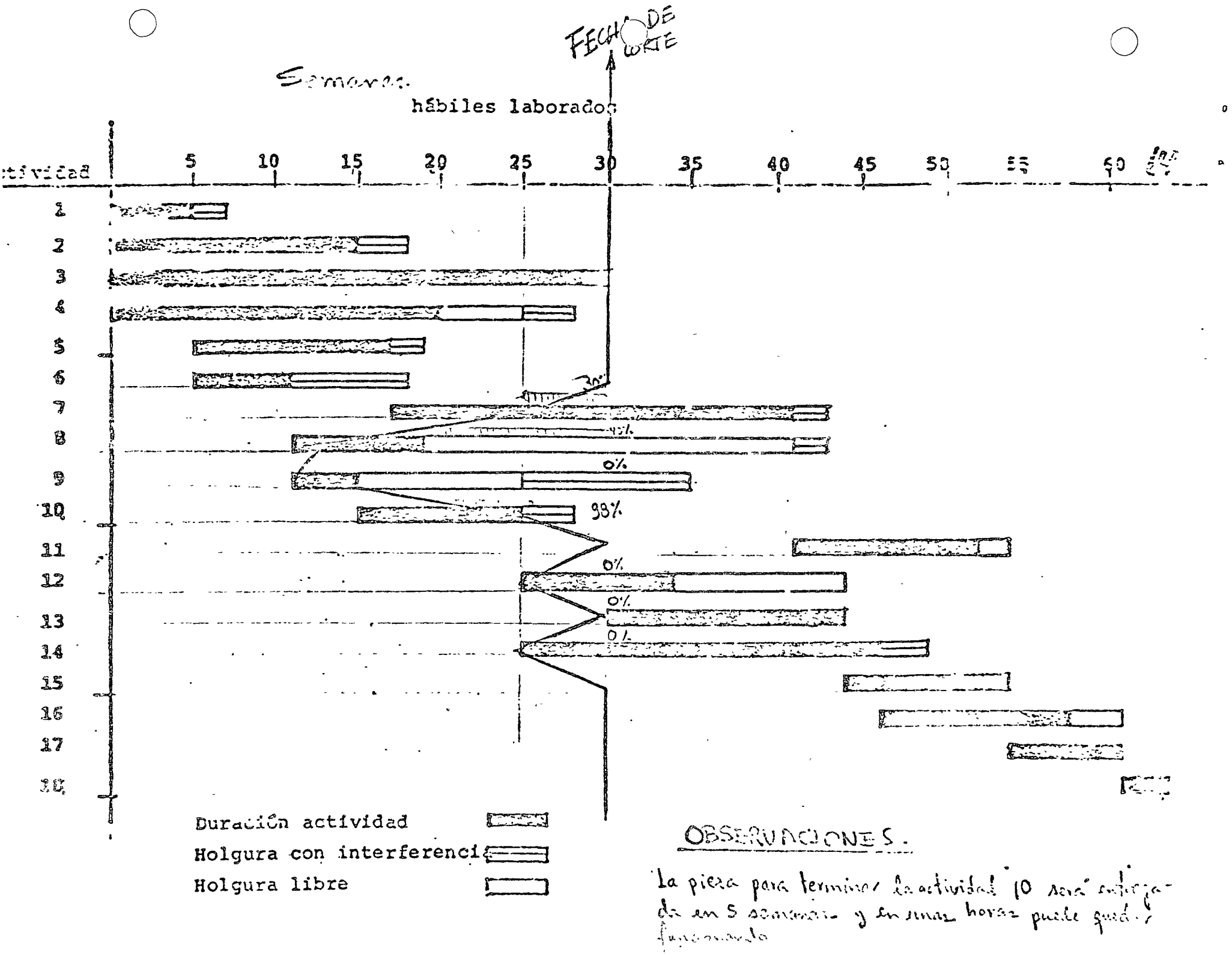
1. Enlistar los pasos que deben realizarse en cualquier estudio de análisis de tiempos y movimientos, y las herramientas que se disponen para cada uno de ellos.

2. Con los datos que se anexan, elaborar un nuevo programa de barras cuya fecha de terminación sea la misma que el programa original.

Ejercicio: Con los datos enlistados a continuación, desarrollar las 3 fases del método de la ruta crítica, incluyendo el programa de barras respectivo.

Operación	Debe seguir a la operación (es)	t_n	t_m	Para $	Para $	
1	-	5	5	$ 1,500	1,500	—
2	-	15	10	7,200	8,000	160
3	-	30	18	8,400	9,000	50
4	-	20	14	2,100	2,700	100
5	1	12	8	1,400	1,560	40
6	1	6	4	800	1,200	200
7	5	24	20	6,800	7,800	250
8	6	8	5	1,000	1,240	80
9	6	4	3	600	900	300
10	2-6	10	7	3,000	3,450	150
11	7-8	11	8	2,500	3,560	360
12	5-9-10	9	6	1,800	2,700	300
13	3-10	14	10	2,600	3,320	180
14	4-10	21	15	8,400	10,800	400
15	12-13	10	6	1,900	2,140	60
16	13-14	12	10	1,300	1,400	50
17	11-14-15	7	5	700	840	70
18	16-17	3	3	500	500	—

2 4 20
3 3
7 2



OBSERVACIONES.

La pieza para terminar la actividad 10 será entregada en 5 semanas y en unas horas puede quedar funcionando

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

PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS

ANALISIS DE TIEMPO Y MOVIMIENTOS

ING. GABRIEL MOLINA EGUIA LIS

AGOSTO DE 1976.

CURSO DE PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRA
TEMA: ANALISIS DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS

INTRODUCCION

El objetivo básico de esta parte de nuestro curso, el "Análisis de Tiempos y Movimientos", es quizás empíricamente, un concepto manejado por constructores de todos los tiempos.

Sin embargo, el control como objeto de mejoramiento de nuestras actividades, es algo muy desaprovechado en el medio de la construcción.

Nuestros sistemas de construcción se encuentran en ocasiones fuertemente basados en una experiencia falta de análisis profundo, o en base puramente teórica. Es por esto muy comprensible, el que fórmulas de rendimientos o producciones sean adoptadas como parámetros a conseguir, e incluso en ocasiones, las cifras basadas en experiencias anteriores sean consideradas como insuperables.

Las ventajas que un sistema de "Análisis de Tiempos y Movimientos" puede dar a la industria de la construcción son las siguientes:

1.- Un procedimiento formal, o un sistema en sí mismo, permiten una apreciación en detalle mejor que cualquier apreciación informal.

2.- Un sistema que permita el análisis tranquilo, fuera de las presiones de trabajo, sonidos y riesgos del area de trabajo, permitirá analizar aspectos, que de otro modo hubieran sido dejados a un lado.

3.- Es un sistema que aplicado a todos los niveles, Ingenieros, Sobrestantes, Cabos etc., les permitirá tener respuestas a todos los problemas y realizar mejor su trabajo.

ASPECTOS HISTORICOS

A principios del siglo, Frederick W. Taylor ("Principios de Administración Científica") y Frank Gilberth ("Cartilla de Administración Científica") fueron pioneros en lo que se refiere al análisis para mejorar las actividades.

En el periodo de 1909 a 1952 la productividad por hora hombre se incrementó 2.6 veces.

Sin embargo, en la rama de construcción, ésto no ha tenido el mismo desarrollo y es solo de 20 años a la fecha en que se han adoptado los métodos establecidos en 70 años en las áreas industriales para la industria de la construcción.

En la actualidad, aunque las técnicas son muy ventajosas, aún no acaban de ser aceptadas, ya sea por el desconocimiento de ellas, o por no considerarlas aplicables a un tipo determinado de obra.

Por tanto, es necesario, dado los adelantos técnicos y económicos de nuestro tiempo, enfocarnos más al conocimiento y desarrollo de los métodos que nos permitan abatir los costos y mejorar las obras mediante la aplicación de las técnicas de programación y control de obra.

En México, el costo de mano de obra es en ocasiones, el índice que refleja el estado de una obra, o en su defecto el equipo, que sin embargo será productivo en función de la misma mano de obra.

Debemos considerar que tanto, la mano de obra como el equipo, participan en actividades de obra que se repiten en las obras día tras día y que depende de ellas el éxito o el fracaso de las mismas.

MOTIVO DEL CURSO

El motivo de este curso, está basado en la observación de las técnicas de tiempos y movimientos, consistentes en el análisis de operaciones rutinarias para realizar una determinada tarea. El objetivo primordial será encontrar una manera más fácil, económica y segura de llevarlas a cabo, buscando siempre incrementar ganancias o disminuir pérdidas.

Teniendo en cuenta que siempre habrá una forma mejor de hacer las cosas, o sea una óptima solución que no estamos aplicando.

Si el encargado de administrar una obra, quiere abatir costos, deberá poner casi por completo su atención en mejorar los tiempos en que participa el hombre y la máquina, para así, incrementar la producción en cada una de las tareas, lo que se reflejará en mejores avances con menores costos.

Según estadísticas efectuadas en los E.E.U.U. por cada dollar invertido en el control de costos de una obra, se ganan de 4 a 8 dollares, lo cual es un buen incentivo para aquel que quiera obtener mejores utilidades.

Dado lo anterior, es el objetivo de este curso, dar las armas necesarias para que el Ingeniero, al visitar sus obras, obtenga siempre los puntos claves que norman a la obra, para después analizarlos, procesarlos y modificarlos teniendo presente a cada instante que posiblemente exista otra técnica mejor de realización que reditue en beneficio de ella.

CONCEPTOS BASICOS PARA LA APLICACION DE LOS SISTEMAS

La idea de combinar el esfuerzo de todos los elementos de una actividad y organizarse para encontrar la mejor respuesta a ¿cómo hacerlo?.

Para lograrlo es necesario que el encargado de a su subordinado lo siguiente:

a) Buenas instrucciones
b) Buenas herramientas
c) Buenos materiales
d) Buen lugar de trabajo

Después de dar una orden se debe verificar preguntando ¿qué fue lo que entendió?, pues cuando no son entendidas las instrucciones, la culpa es siempre del jefe.

Para evitar ésto, debe procurarse que las instrucciones sean siempre por escrito. Pensando que de esta manera se pueden reducir costos.

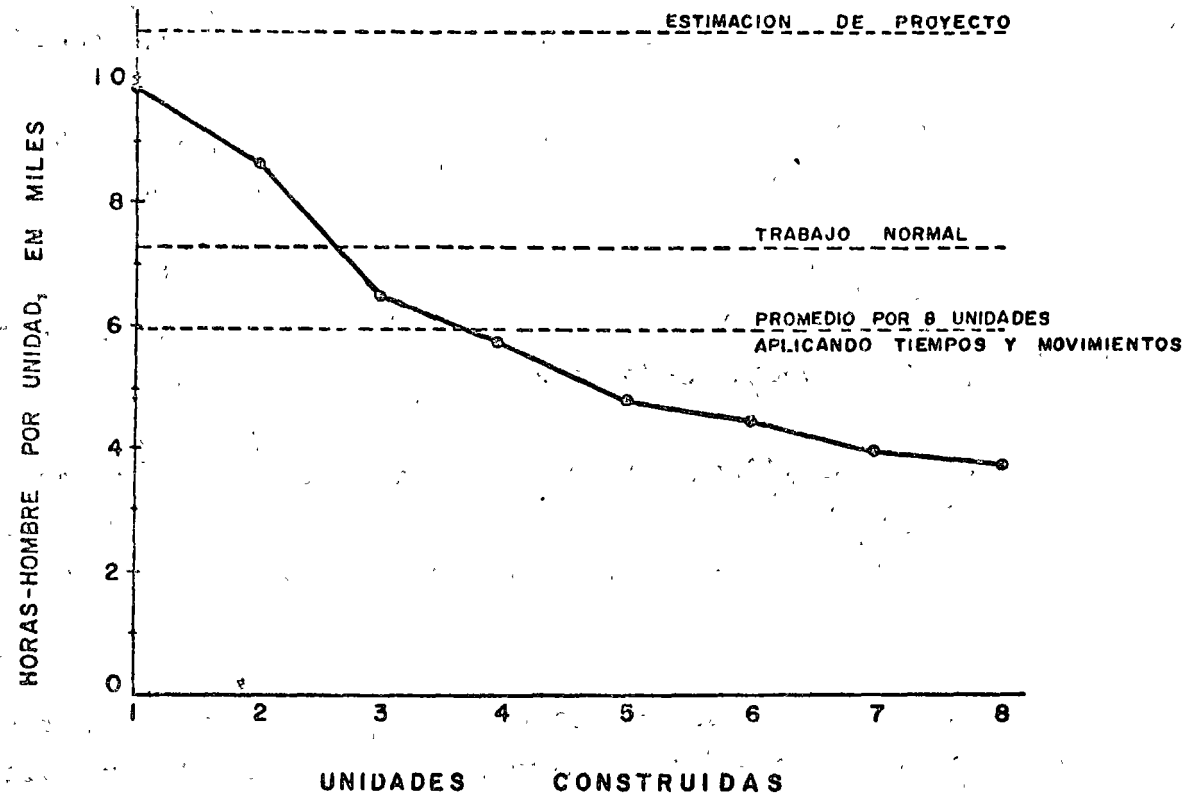
Deberá dejarse libremente expresar al personal joven o inexperto, pues sus opiniones reflejan ideas que pueden revolucionar lo tradicional en beneficio de la empresa.

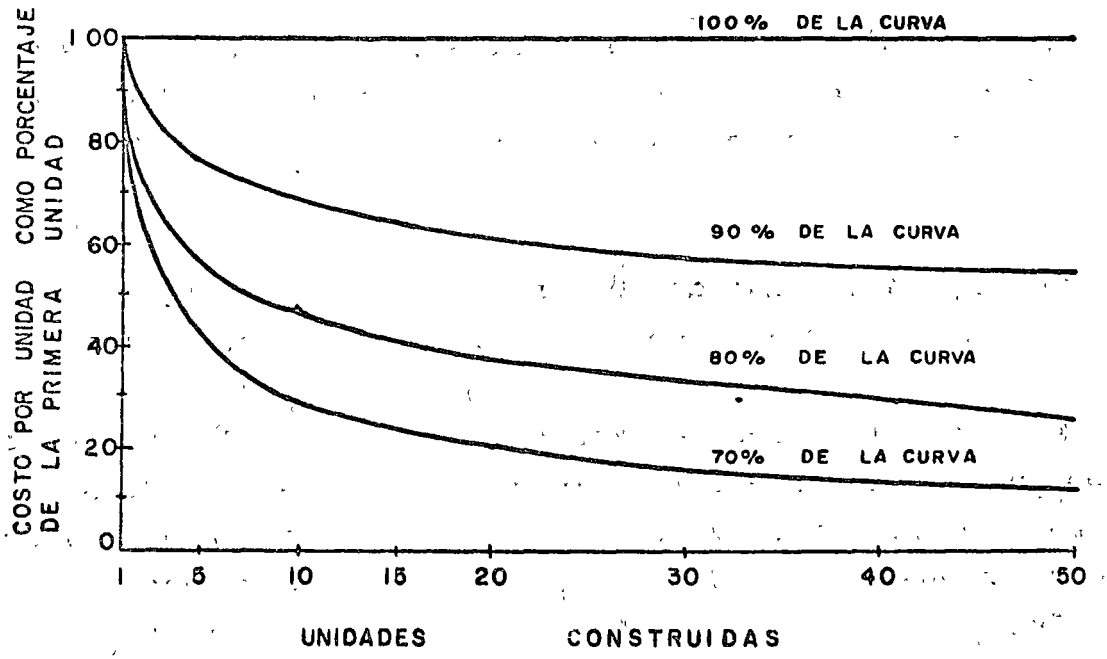
Al proyectar una tarea o actividad, cualquier sistema de planeación organizada, deberá producir la información necesaria para llevar a cabo esa labor. Esto podrá producirse con maquetas, dibujos, instrucciones por escrito? etc.

Al preparar los programas de trabajo diarios, también habrá que determinar por escrito (paso por paso), los procedimientos constructivos. Podrá en un momento dado, ser molesto, para el Ingeniero o el Sobrestante pero si se desea abatir los costos, habrá que hacerlo.

De acuerdo a este planteamiento, tendremos un buen método de trabajo "HABRA QUE REGISTRARLO", pues no sabemos si posteriormente en una obra semejante se podrá implantar el mismo método.

A lo largo de la implantación de un sistema, podremos darle un sentido más accesible mediante una representación gráfica. Tiempo/ Costo unitario contra No. de unidades producidas, ésto reflejará la curva de aprendizaje, o sea la forma en que el sistema ha ido mejorando nuestro costo y productividad (Gráfica # 1).





CURVAS DE APRENDIZAJE

Al representar en esta forma el avance de las obras nos daremos cuenta de las mejoras que obtenemos por cada unidad constructiva.

Debemos tomar muy en cuenta, que ésta es ya una forma de evaluación , la cual no debe de ninguna manera confundirse con un reporte de costos.

Todo ésto, está basado en la premisa "Hay que corregir ahora el trabajo para poderlo hacer mejor mañana".

Sin embargo, nunca deben compararse nuestras evaluaciones con otras obras, ni con las anteriores a la obra de que se trate, si no que debemos averiguar qué tan bien estamos utilizando nuestros recursos hoy.

Una base para la evaluación es el muestreo, cuanto mayor sea el número, mejor será la idea que tendremos de la veracidad de nuestra valuación.

Tradicionalmente, la implantación de un sistema, se ha hecho mediante alguna forma de registro de costos reportados.

Lo que pretendemos, es un acercamiento enteramente diferente, basado en una actividad de muestreo del trabajo producido, mediante el cual, es posible mejorar el nivel de una actividad con el trabajo forzado.

Esto tiene la ventaja de dar una respuesta en minutos, o cuando mucho en pocas horas y no como es usual en días o semanas.

Debemos enfatisar que en esta forma las observaciones deben ser hechas por un técnico o por ingeniero joven, no será necesario entonces que un gerente visite y evalué en orden todas y cada una de las áreas de su proyecto, si no que empleando estas observaciones acudirá a las áreas donde la productividad no es satisfactoria.

Con el sistema tradicional basado en los reportes de costo y producción, los tiempos y productividad obtenidos mediante la evalua

ción de tiempos y movimientos, rara vez pueden ser alcanzados. Además ya que los reportes que se obtienen están basados en los reportes propios de la obra, se detienen y atrasan, y los resultados que se obtienen se combinan con otros efectos como son calidad de la supervisión, variaciones climatológicas, condiciones de localidad y condiciones del equipo de producción, para un periodo dado. Entonces la veracidad de estos reportes quedará condicionada por los efectos que causan el problema.

Si utilizamos un sistema de medición de muestreo de tiempos y movimientos, como un reporte de costeo, fuera del aspecto de las condiciones de utilización de los recursos "NO" tendremos una medida verdadera de nuestra efectividad de la administración de la obra para aplicar dichos recursos. Será necesario entonces que esté libre de influencias extrañas para cumplir con esta necesidad.

En resumen y para terminar este aspecto, el registro de una actividad consistirá en observar y clasificar un pequeño porcentaje de la actividad proyectada en cada muestreo. Este muestreo deberá ser representativo y suficiente para tener una validez estadística, en esta forma el nivel de productividad en el total del proyecto o para cualquier parte de él podrá ser estimado.

"Actividad" no es sinónimo de "Productividad" y hombre o máquina ocupadas, podrán no necesariamente estar en una actividad productiva.

Para expresar el grado de veracidad entre los resultados, de un muestreo estadístico y los descubrimientos del total de una parte examinada se deberán utilizar los tres conceptos básicos siguientes:

a) Límite de confianza
b) Límite de error
c) Proporción de muestreo con que se cuenta del todo observado

Con ésto podremos estudiar las técnicas que a continuación explicaremos.

DESCRIPCION DE LAS TECNICAS USADAS

En la industria de la construcción se pueden utilizar un sinnúmero de métodos basados en cuatro o cinco técnicas fundamentales.

Las más comunes de estas técnicas son las siguientes:

A) Observación directa
B) Estudios de cronómetro
C) Peliculas con intervalos medios (Time-Lapse)
D) Tomas televisadas (Video-Tape)

A).- Observación directa.- Puede afirmarse sin temor a equivocarnos que es la forma más elemental y común de efectuar un registro de actividades en obra, consecuentemente la más fácil de emplear.

Esta tecnica no requiere prácticamente de ningún tipo de registro, solamente de una mente analítica, capaz de detectar puntos clave normativos de la operación de la obra.

Consiste en la observación de la forma en que se está ejecutando el trabajo. Como por ejemplo: Un Ingeniero podrá analizar si la posición de sus equipos es la adecuada, respecto a un esquema preestablecido, podrá también darse cuenta si se está operando o no adecuadamente un equipo, e incluso podrá apreciar si una operación se está efectuando rápida o lentamente e incluso podrá dictar normas que permitan mejorar el rendimiento.

Estas observaciones podrán ser rutinarias y podrán asentarse en una bitácora o diario de campo, pudiendo llevarse gráficamente o en tablas lo observado, con el objeto de medir una cierta frecuencia de ocurrecia de ciertos problemas.

Desde el punto de vista de la dirección del campo (Sobrestancía) éste es el método más socorrido y que muchos ingenieros imponen.

Básicamente pidiendo un reporte diario de sobrestante, con la - ocurrencia de los principales incidentes del día.

B).- Estudios con cronómetro.- Es el método tradicional, el más empleado y en algunos casos el más contínuo, basado en una observación directa, ahora se emplea una medición más o menos exacta del tiempo durante el cual transcurre una parte específica de - la actividad principal, o se mide todo un ciclo con todas sus - partes de la misma actividad. Por ejemplo: Podríamos citar -- algunos casos tradicionales, la medición del ciclo de carga, -- acarreo y descarga de una motoescrepa, la medición del tiempo - por botazo de un cargador sobre neumáticos u orugas, etc.

Desgraciadamente este método requiere de personal mejor calificado y en ocasiones algunas obras han adoptado checadores de -- tiempos y movimientos de tiempo completo para determinadas actividades.

El empleo de bitácoras, tablas de registro, reportes especiales es muy socorrido con esta técnica.

En algunos casos una variación útil de esta técnica, emplea un- método muy sencillo para controlar algunas máquinas en produc-- ción. Consiste en el empleo del horómetro (Cronómetro horario- de tipo eléctrico o mecánico) instalado en algunos equipos de - "Construcción Pesasa". Correlacionando las horas y fracciones - de hora (décimas), registradas durante un cierto periodo (turno día, etc.), con el número de ciclos realizados (viajes, botazos etc.), es posible obtener rendimientos que tabulados podrán resultar en un magnífico control de nuestra producción.

Debemos ahora tener en consideración las premisas establecidas- en los conceptos básicos de aplicación.

C).- Película con intervalos medios (Time-Lapse).- Un método más sofisticado para el registro de actividades, está basado en la uti

lidad de un documento cinematográfico. Con el nacimiento de -- las películas de cartucho Super 8, las cámaras semitradiciona-- les, se han desarrollado grandemente, permitiendo técnicas de - filmación científica, consistentes en aplicar cronometraje en - la película. Esto es logrado al variar la velocidad de filma-- ción en tiempos exactos por cada cuadro de toma.

Frecuentemente lo hemos apreciado en documentales sobre flora-- ción o procesos de lenta ocurrencia.

Al aplicar ésto a unproceso constructivo, obtendremos imágenes- suficientes durante un lapso de tiempo, tales que nos permitan- tener un magnífico registro.

Las secuencias interesantes de trabajo, se podrán observar pos- teriormente en gabinete las veces que sea necesario, para obte- ner conclusiones. Con una cámara convencional, este método se- ría incosteable dado el alto costo por película comparado con - la duración de la misma.

Una tabulación puede darnos una idea de la economía en cuanto - a filmación se refiere.

Película Super 8 de 50 ft. (72 cuadros/ft. - 3,500 cuadros)

Velocidad de Filmación o Intervalo (seg./cuadro)	Duración para los 50 ft. de Película		
	seg.	minutos	horas
0.5	1750	29.17	0.49
1	3500	58.33	0.97
2	7000	116.67	1.94
4	14000	233.33	3.89
8	28000	466.67	7.78
15	5250	875.00	14.58

Es usual de acuerdo con ésto, que las velocidades de 1, 2 y has ta 4 segundos por cuadro, sean útiles para fotografiar equipo - en movimiento, para actividades manuales o cuadrillas de traba-

jo, las velocidades 0.5 y 1 segundos por cuadro son las más adecuadas. Em empleo de velocidades de 4, 8 y 15 segundos por cuadro son empleadas para maniobras de lenta ocurrencia o para observaciones menos precisas.

Además de estos aspectos, fundamentales con relación a la filmación, el aspecto de proyección permite aún más sofisticar el -- sistema.

El proyector estará para estos casos, dotado de un sistema semejante al de la cámara, contando además con un rotador de cua--- dros proyectados.

De esta manera, podremos comprimir o descomprimir una determinada filmación. Por ejemplo:

Una película filmada durante 1.94 hrs. a razón de 2 segundos -- por cuadro, podrá ser observada en 1.08 minutos a razón de 54 - cuadros por segundo o en las mismas 1.94 hrs. a razón de 0.5 -- cuadros por segundo.

Con la siguiente tabulación podremos darnos cuenta de las diferentes velocidades de proyección:

Velocidad de Proyección (Cuadros/seg.)	Duración de 50 ft. de Película Seg.	Min.	Hrs.
0.5	7000	116.67	1.94
1.0	3500	58.33	0.97
2.0	1750	29.17	0.49
3.0	116667	19.44	0.32
6.0	58333	9.72	0.16
18.0	19444	3.24	0.05
54.0	6481	1.08	0.02

De acuerdo a las velocidades normales, el costo aproximado por- hr. de filmación incluyendo la depreciación de la cámra, la pe-

.TERVALO

Seg/cuadro	Duración (hrs) Filmación	Costo por Hr. de Película	Costo por Hr. Cámara	Costo por Operación	Costo Total
0.5	0.49	204.08	45.36	90.00	339.44/hr
1	0.97	103.09	45.36	90.00	238.45/hr
2	1.94	51.55	45.36	90.00	186.91/hr

El costo del análisis es más difícil de tabular, pues depende mucho del tipo de actividad de que se trate y de las diferentes operaciones dentro de cada actividad que se desee analizar.

El equipo para este tipo de registros consiste en:

a) Cámara de cine modificada, que contiene un selector manual de velocidades de filmación, lente zoom, control de exposición automática, control de exposición manual sobre el automático y un indicador de la condición de la batería. Debe estar construida para soportar cambios de temperatura y medios polvosos sin que se afecte su funcionamiento. También deberá estar protegida para el mal trato que se le pueda dar, dadas las inclemencias de la obra.

b) El tripié para sostener la cámara, debe ser tal que asegure la estabilidad de la cámara en una posición fija o que permita, si así lo desea, girar la cámara en sentido vertical y horizontal.

c) El proyector de cine, para poder observar las películas que se han tomado cuadro por cuadro a un intervalo constante de tiempo, debe tener gran capacidad para proyectar la película a diferentes velocidades, desde la detención de la película para observar una sola foto hasta velocidades muy grandes (54 cuadros/seg.), hacia adelante y en reversa. Además, lo más importante, debe contener un contador automático de cuadros.

El tiempo que tarda una actividad puede calcularse en forma sencilla, ya que basta dividir el número de cuadros de la actividad entre la velocidad a la que se filmó.

Se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

1) La cámara deberá colocarse a un nivel más alto al que se desarrolla el trabajo, para obtener así una mejor perspectiva.

2) La distancia de la cámara al campo de acción en el cual se desarrolla el trabajo, dependerá del tipo de lente que se disponga y de lo que se va a filmar.

3) La selección del intervalo entre fotografías, dependerá del detalle que requiera el estudio. Por ejemplo: Para el registro de actividades manuales (habilitado de fierro), un intervalo corto; para maniobras de construcción lentas (movimiento de piezas pesadas con grúa), el intervalo será grande.

4) Es importante que se registre en la película el nombre de la obra, su localización, fecha de filmación, intervalo de tiempo, además de datos importantes del equipo que se está filmando. Esto se puede lograr con la introducción de rótuños al inicio de la filmación.

5) La hora del día es importante cuando se analiza la película, por lo que se deberá colocar un reloj en tal forma que ocupe una esquina. Cuando no es posible tener un reloj fijo, se puede enfocar ocasionalmente un reloj de pulso o introducir la hora por medio de un rótulo.

6) Al principio de la filmación, es conveniente tomar una escena del conjunto en donde se desarrolla el trabajo para registrar e ir enfocando poco a poco el ---

área del trabajo por registrar, hasta obtener un balance óptimo entre cantidad y detalle requeridos para el estudio.

D).- Tomas con televisión (Video-Tape) .- Actualmente ya se dispone de un sistema de televisión para el registro de actividades de construcción. El sistema trabaja en forma similar al fotográfico, con la diferencia de que en su caso se usa cinta magnética y en el otro, película de cine.

El equipo de registro está compuesto por una cámara de televisión, una cinta (Video-Tape) y un monitor.

Para efectuar registros de actividades de construcción, con el sistema de televisión, es conveniente seguir las recomendaciones anotadas anteriormente en la cámara de cine modificada.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS DISTINTAS TECNICAS

A) Observación directa

Ventajas.-

1.- No requiere prácticamente ninguna inversión.
2.- Puede ser efectuado por casi todo el personal de dirección de obra o campo.
3.- Requiere de instrucciones claras únicamente.
4.- Lo se registra puede ser un regular documento histórico.

Desventajas.-

1.- Se recoge poca información.
2.- El valor de la información depende mucho de la calidad del observador.
3.- Influye fuertemente la actividad y responsabilidad del observador.
4.- La información es poco precisa, sobre todo por lo que se refiere a tiempo.
5.- No es posible una revisión posterior al registro.

B) Observación con cronómetro

Ventajas.-

1.- No requiere prácticamente ninguna inversión.
2.- Es fácil de implantar contando con personal de preparación media.
3.- Se puede recoger bastante información de una o dos actividades por cada observador.
4.- Con instrucciones claras, la información que se recoge puede ser bastante precisa.
5.- Es bastante económica aún en los casos que requieren una observación contínua.
6.- El registro resulta un buen documento histórico de la obra.

Desventajas.-

1.- Siempre existe la posibilidad de un error acumulativo, cada vez que el cronómetro se para, se lee y se vuelve a echar a andar. (El error será más importante, mientras más cortas sean las duraciones de las actividades observadas).
2.- El observador decide al momento de tomar las lecturas, cuando empieza y cuando termina una actividad, o en que instante separar dos actividades o ciclos. Por lo que una distracción o una mala apreciación no pueden ser corregidas.
3.- En algunos casos, la observación contínua no es útil como ya hemos indicado y coordinar a dos o más observadores resulta difícil y laborioso.
4.- El estudio se limita a lo estrictamente observado y previamente programado, por lo que resulta incompleto, especialmente en lo relacionado con la interdependencia de las actividades.
5.- Debido al volumen de observación, en poco tiempo es usual que el observador descuide su objetivo y la precisión de los datos tomados.
6.- Al darse cuenta los obreros de la realización --

de este estudio, adoptan en ocasiones posiciones distintas con relación a su trabajo.

7.- No es posible una revisión posterior al registro.

C) Películas con intervalos medios

Ventajas.-

1.- Resulta barato para cierto tipo de análisis.
2.- Capaz de tomar registro de varias actividades, ciclos o fases.
3.- Capaz de captar las interrelaciones de las diferentes actividades, ciclos o fases.
4.- Resulta un magnífico registro histórico, con observaciones permanentes y de fácil comprensión.
5.- Muestra aspectos sorprendentes e inesperados, que con otro tipo de técnica difícilmente se hubieran registrado.
6.- Muestra hábitos (buenos y malos) de operarios.
7.- Muestra trabajo de conjunto que permite apreciar aspectos de organización, seguridad, etc.
8.- Resulta un método excelente de registrar una buena o mala técnica para fines didácticos.
9.- Los ingenieros, supervisores , maestros de obra, sobrestantes, etc. pueden estudiar y mejorar su trabajo con la sola visualización de la película.
10.- Permite crear una filmoteca para obras posteriores, o métodos y aplicaciones concretas.
11.- Los datos observados son irrefutables:
La gente en ocasiones no requiere cambiar sus procedimientos tradicionales, alegando que los estudios no tienen validez por estar basados en observaciones equivocadas. Con este procedimiento aceptan los cambios y en ocasiones sugieren mejoras importantes.

Desventajas.-

1.- Alto costo de los aparatos, caros para observaciones contínuas.

2.- Aún cuando es más discreto influye en el ánimo del personal fotografiado.

3.- Se requiere equipo muy especializado para determinadas obras.

4.- Es prácticamente inoperante en la obra oculta.

Para encontrar el número de observaciones necesarias para un determinado nivel de confianza Henry W. Parker ha elaborado una gráfica que nos relaciona el número de observaciones necesarias con los límites de confianza esperados.

Un método sencillo y práctico para efectuar observaciones, es el llamado "Método de los 5 minutos" que consiste en registrar minuto a minuto el número de trabajadores o máquinas que realmente están trabajando. Sumando el tiempo trabajado por cada elemento y dividiendo entre el tiempo total observado y nos da una eficiencia de trabajo. Si este método lo llevamos el número de veces solicitado en la gráfica de Parker, para un nivel de confianza alto, obtendremos la valuación de nuestra obra muy apegado a la realidad.

Si ponemos un poco de atención en las estadísticas, nos daremos cuenta que de 2/3 a 3/4 partes del trabajo de construcción, consiste en mover materiales. Esto nos dice que deberemos siempre ver la forma de reducir los tiempos de transporte para aumentar la proporción.

$$\frac{\text{Tiempo de trabajo efectivo}}{\text{Tiempo total de trabajo}} \qquad 1.00$$

Otro punto que hay que tomar en cuenta, es la capacidad intelectual del trabajador. Hay que ser elásticos con él, pues podrá contribuir su inteligencia para realizar más fácilmente sus tareas. Recordemos que:

"Un trabajo inteligente, implica menos esfuerzo"

Cuando el administrador encuentre en sus registros altos costos y bajos rendimientos, ésto será el primer indicio para iniciar los estudios de tiempos y movimientos.

METODO DE LOS 5 MINUTOS

FECHA ____________________

ACTIVIDAD ____________________

PROYECTO ____________________

OBRA ____________________

FORMULO ____________________

TIEMPO						
INICIO						

TOTAL MINUTOS OBSERVADOS ______ EFECTIVOS ________ EFICIENCIA ________ %

FORMA DE LLEVAR A CABO UN ANALISIS DE PELICULAS CON TIME-LAPSE

1.- Debemos proyectar la película a una velocidad de 18 cdros/seg.- para familiarizarnos con ella y así, poder preparar nuestra secuencia de análisis.

2.- Dada la anterior observación, procederemos a formar una tabla - o secuencia del cálculo compartible con las actividades impre-- sas en la película, anotándo el intervalo de filmación con que- fue tomada la película.

3.- Teniendo ya el material necesario, pasamos otra vez la película, ahora a una velocidad de 6 cdros/seg. con el objeto de encon--- trar los detalles más importantes como ciclos de operación completos, esperas prolongadas, defectos en la operación de una actividad, etc. poder juzgar los procedimientos y controles de la obra.

4.- En base a las observaciones del inciso anterior detendremos la- película en el inicio de una actividad, pondremos en cero el -- contador de cuadros y hechamos a andar otra vez el proyector. - Lo detenemos nuevamente al término de una parte fundamental del ciclo y tomamos la lectura del contador. (Por ejemplo: la operación de carga). Encendemos otra vez y detenemos (por ejem-- plo: acarreo) y así sucesivamente paramos y encendemos tomando las lecturas respectivas. La diferencia de éstas, serán las duraciones propias de las partes que intervienen en el ciclo de - una actividad, y la suma de ellas será el tiempo total del ci-- clo de esa actividad.

5.- Después de haber anotado en nuestra tabla las lecturas y las diferencias de las lecturas observadas, las multiplicamos por el- intervalo de filmación y obtendremos los tiempos de ejecución.

6.- Conocidos los tiempos de ejecución y el tiempo total del ciclo- podremos conocer el porcentaje de los tiempos que intervienen - en el ciclo.

7.- Con estos datos podemos ahora juzgar que podemos modificar para

reducir tiempos y mejorar nuestro control.

8° Con esta información podemos discutir ya sea con el jefe del proyecto o superintendente la manera en que vamos a atacar - los problemas observados y llegar a concluisiones.

Para facilitar la búsqueda de mejores soluciones se debe tratar de:

a) Eliminar todos aquellos detalles que son innecesarios.
b) Balancear la cuadrilla para lograr una mejor secuencia en las operaciones trantando de eliminar los tiempos osciosos, o reacomodando los elementos de la cuadrilla en los lugares o trabajos donde sean más eficientes, aumentando o disminuyendo los elementos de la cuadrilla original.
c) Dotar a los trabajadores de mejores herramientas y equipo apropiado para que ejecuten sus actividades encomendadas = con mayor facilidad y rapidez.
d) Tratar de proporcionar a los trabajadores un ambiente con las mayores condiciones posibles de seguridad, evitando -- todos los aspectos que resulten peligrosos o nocivos para su integridad humana.

e) Pedir opiniones a todas las personas que desarrollen o supervisen el trabajo, como son: Gerente, Superintendentes, maestros de obra y los propios trabajadores.

f) Prestar atención a todas las sugerencias por tontas o descabelladas que parezcan, ya que en ellas pudiera estar ls solución buscada.

Elección e implantación del mejor procedimiento. Contando con - un conjunto de ideas que tienden a mejorar el sistema de trabajo -- actual, se tendrá que hacer una evaluación de ellas, para seleccionar las que proporcionen mauores ventajas si son adaptadas.

Hecha la selección, se escribirá detalladamente el nuevo procedimiento elegido, para someterlo a la aprobación correspondiente.

Cuando el estudio haya sido aprobado se tratará de implantar la

-solución lo antes posible, instruyendo a la gente encargada de ejercutar los trabajos, en la nueva forma de llevarlos a cabo.

La persona encargada del estudio se deberá preocupar por que la gente que llevará a cabo el nuevo sistema lo haya comprendido - bien, y deberá hacer nuevos registros para comprobar las ventajas obtenidas y conseguir lo que todavía hiciera falta

ETAPAS DE APLICACION Y FORMAS DE LLEVARLAS A CABO

Después de haber mencionado las distintas técnicas, debemos-- definir sus formas de aplicación, definiendo las siguientes fases:

1.- Registro.- Será la forma de levantar en el campo los datos - de registro de las distintas técnicas.

Como se ha mencionado con anterioridad, serán las bitácoras,- reportes de actividades, las tablas de registro o la filma--- ción en sí para el caso de las películas con intervalos me--- dios.

Requiere este registro de una planeación previa en la obra, - de cuales actividades, que aspecto y en que forma se regis--- tran.

Es en esta etapa, donde deben diseñarse los mejores reportes - posibles.

2.- Análisis del Registro .- Será ésta la fase de interpretación que requiere de una clara metodología. Las etapas básicas pa ra este registro serán:

a).- Deliberación Analítica.- La cual consiste en pensar y - aportar todos los requerimientos que deseamos de un de-- terminado registro. Pensando, con detenimiento, los da-- tos y conclusiones que podremos sacar de nuestro regis-- tro, las correlaciones que se podrán obtener e incluso-- a que soluciones correctivas queremos llegar.

b).- Diagrama de Flujo del Proceso .- En esta etapa de aná-- lisis, se prepara un esquema claro del proceso de nuestra actividad registrada, indicando gráficamente las distin- tas etapas por las que pasa nuestra acción.

c).- Gráfica de Balance de Cuadrillas.- Con las etapas ante- riores armaremos una gráfica de barras que nos permita -

comparar los distintos elementos de una actividad y su - comportamiento durante el proceso del mismo.

3.- Descubrimiento .- Consiste como lo indica, en descubrir las posibles mejoras a nuestra actividad, analizando los siguientes conceptos :

a).- Respuesta a preguntas básicas
¿QUE propone?
¿POR QUE se hace de esa manera?
¿CUANDO es el mejor momento de realizarla?
¿DONDE es el mejor lugar de hacerla?
¿COMO es la mejor manera de realizarla?
¿QUIEN es el más calificado para llevarla a cabo?

b).- Evaluar los elementos que intervienen:

Como son los recursos (herramientas, mano de obra, materiales y equipo) el flujo de los mismos, el lugar de trabajo y sus condiciones.

c).- Establecer mesas redondas para que participen todos los elementos que ejecuten la obra.

d).- Solicitar de: Gerentes, Superintendentes, Sobrestantes y Obreros, ideas con relación a las preguntas básicas.

e) Sintetizar todas las proposiciones encontradas.

4.- Desarrollo .- Con el material preparado en las tres previas etapas deberá tomarse una desición y "Desarrollar el mejor método" en la siguiente forma:

a).- Con un claro entendimiento del objetivo, eliminar detalles no necesarios, reasignar recursos, simplificar procedimientos, etc, para hacer las cosas más rápidas, fáciles y económicas.

b).- Escribir una versión detallada del nuevo método propuesto.

c).- Comunicar claramente este nuevo método al patrón, superintendente, maestro o trabajadores.

5.- Implantación .- Por último en todo caso lo más importante,-- deberá ser puesto en marcha el método y debidamente comprobado, poniendo énfasis en lo siguiente:

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 y puesto en -- marcha hasta los pequeños detalles.

c).- Dar crédito y reconocimiento a quien se lo merezca.

Para todas las etapas anteriores, se recomienda implantar una técnica informal que consiste en:

Reunir a las personas que tienen interés común en determinada actividad.

Discutir auxiliados con una exhibición de TIME-LAPSE o gráfica de balance de cuadrillas, definiendo los puntos estratégicos en los que se puedan obtener mejoras.

Aceptar opiniones de todo el personal.

Al llegar a una conclusión realizar la importancia de éste y formular por escrito las instrucciones para llevarla a cabo.

HERRAMIENTAS PARA EL ANALISIS .-

Una vez que se ha hecho el registro en el campo de las actividades en estudio, se procede al análisis de los datos tomados mediante las siguientes fases:

a).- Calcular los tiempos que tarda cada miembro de la cuadrilla en efectuar las actividades necesarias para desa-

rrollar un ciclo de trabajo.

b).- Encontrar las relaciones que guardan entre sí los elementos de la cuadrilla.

c).- Evaluar la forma en que se ejecuta el trabajo.

d).- Evaluar las condiciones que imperan en la obra, en especial con el sitio donde se realiza el trabajo.

En la aplicación, es conveniente el uso de la simbología adoptada por la ASME (The American Society of Mechanical Engineers) -- que aparece a continuación y que corresponden a las etapas de manejo y transformación de los materiales usados en los trabajos estudiados.

OPERACION.- Es aquello que implica un cambio del estado físico del material debido a la presencia de alguna persona o máquina. Por ejemplo: mezcla, concreto, fabricar cimbra, ar-- mar varilla, etc.

TRANSPORTACION.- Es el cambio de localización o traslado de- material de un lugar a otro. Por ejemplo: acarrear arena -- con camión, subir concreto con una bomba, acarrear tabiques - con un peón, etc.

ALMACENAMIENTO.- Es cuando algún material es colocado en un- sitio determinado, ya sea en forma provisional o definitiva.- Por ejemplo: la permanencia de bultos de cemento en la bodega, varillas en el campo de habilitado, etc.

RETRASO.- Es cuando el material que no está almacenado sufre alguna espera por falta de disponibilidad inmediata de alguna máquina o de mano de obra. Por ejemplo: rocas en un camión- esperando su turno de descarga a una tolva, concreto en una - "olla" esperando que se acondicione una artesa, etc.

INSPECCION.- Ocurre cuando el material en procesamiento re-- quiere ser revisado . Por ejemplo: la revisión del armado -

del acero de refuerzo de un elemento estructural comprobar - si una cimbra está plomeada, etc.

DIAGRAMA DEL BALANCE DE CUADRILLAS .-

Se trata de un diagrama de barras paralelas a un eje que contenga una escala de tiempo. Se debe dibujar una barra por cada -- elemento que interviene en la ejecución del trabajo en estudio, pudiendo ser este elemento hombres, máquinas, etc.

En la barra correspondiente de cada elemento, se deben representar coloreando o asciurando todas las actividades que efectúa - dicho elemento durante su participación en un ciclo de trabajo, de tal manera que si se traza a cualquier nivel una línea perpendicular al eje de tiempo podemos observar las interrelaciones existentes entre los miembros de la cuadrilla en ese instante. (Fig. 1)

Este diagrama, por lo tanto, nos permite comparar los tiempos efectivos de trabajo, contra los tiempos inefectivos u osciosos de cada componente de la cuadrilla, así como la actividad específica- de cada elemento en un momento dado.

DIAGRAMA DE FLUJO .-

El diagrama de flujo consiste en un dibujo del área donde se- desarrollan los trabajos de las cuadrillas en estudio y en él se - indican los principales detalles del sitio de trabajo y todos los- movimientos que efectúan los componentes de la cuadrilla en operaciones de fabricación de alguna mezcla, de carga y descarga de material o de cualquier otro tipo de procesamiento que sufre el ma-- terial, debiendo también dibujarse los acarreos, almacenamiento, - inspecciones y retrasos que haya sufrido el material en estudio - (Fig. 2).

CARTA DE PROCESAMIENTO

La carta de procesamiento consiste en una tabla con la des--- cripción cronológica de las actividades estudiadas. El propósito- de la carta de procesamiento es auxiliar a detectar en donde el --

tiempo, dinero y esfuerzo son desperdiciados, o a indentificar --- procedimientos más sencillos y económicos que los usados. (Fig. 3).

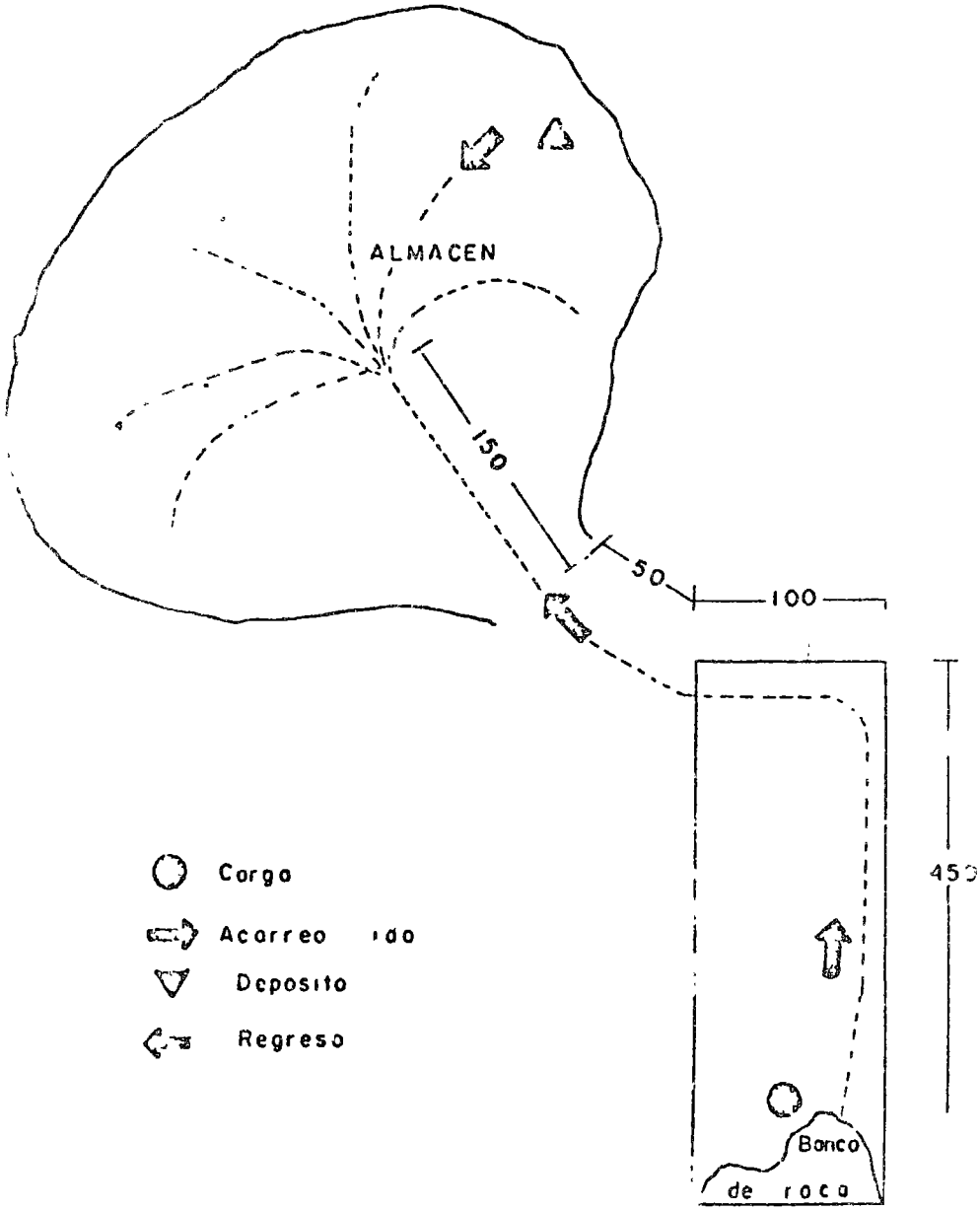
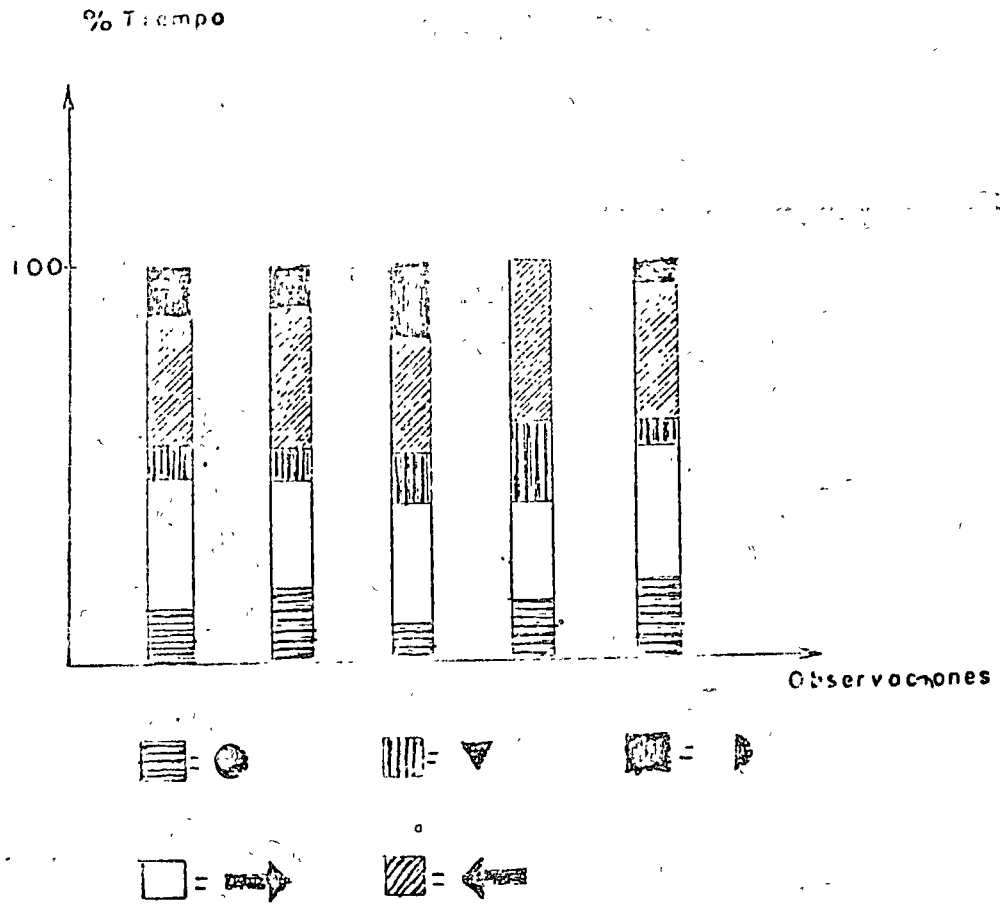


DIAGRAMA DE FLUJO

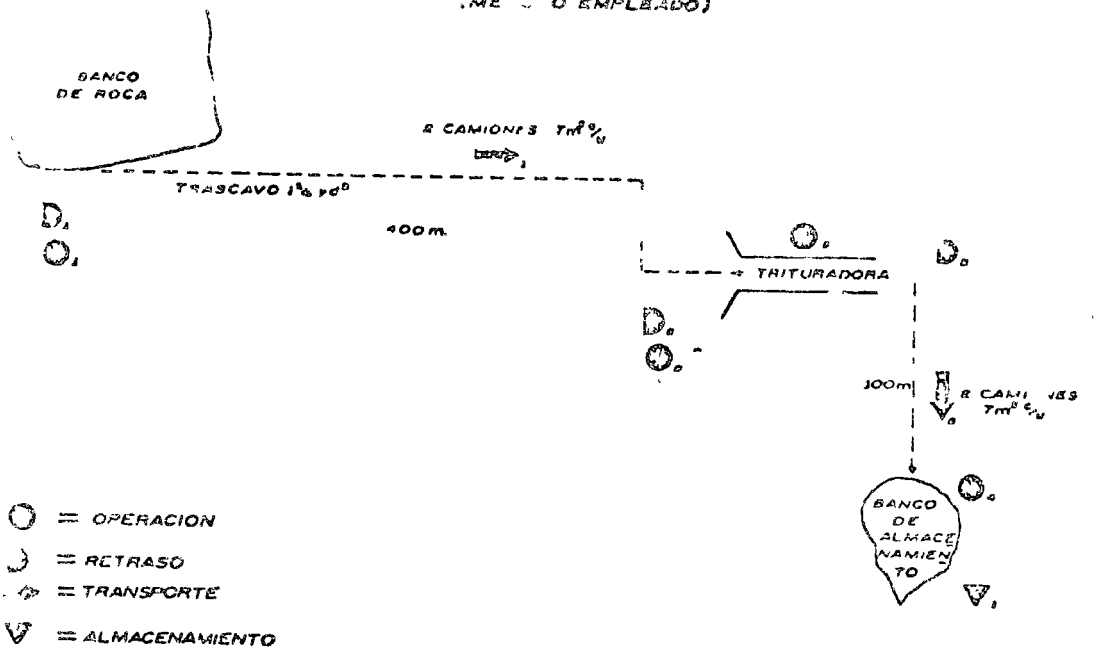
DIAGRAMA DE BALANCE DE CUADRILLAS



CARTA DE PROCESAMIENTO

DIST. MTS.	TIEM. MIN.	SIMB.	DESCRIPCION
			MAT. ESPERANDO LLEGUE CAMION
			" CARGADO EN CAMION POR TRASCAVO
			" TRANPORTADO EN CAMION HACIA TRITURADORA
			" EN CAMIONES ESPERANDO TOLVA VACIE
			" DESCARGADO SOBRE TOLVA
			" TRITURANDOSE Y LLENANDO CAMIONES
			" TRITURADO ESPERANDO ACOMODE CAMION
			" TRITURADO TRANSPORTADO BANCO ALMACENAMIENTO
			" TRITURADO DESCARGADO BANCO ALMACENAMIENTO
			" TRITURADO ALMACENANDOSE

DIAGRAMA DE FLUJO
(METODO EMPLEADO)



CARTA DE PROCESAMIENTO
(DEL METODO EMPLEADO)

UNIDAD DE MATERIAL 24.30 m³

DISTANCIA MTS	TIEMPO MIN.	SIMBOLO	DESCRIPCION
	19.50	D	MATERIAL ESPERANDO QUE LLEGUE UN CAMION
	2.41	O	MATERIAL CARGADO EN EL CAMION POR UN TRASCAVO
400	2.02	⇨	MATERIAL TRASPORTADO EN CAMION HACIA LA TRITURADORA
	11.90	D	MATERIAL SOBRE LOS CAMIONES ESPERANDO QUE LA TOLVA SE VACIE
	0.80	O	MATERIAL DESCARGADO SOBRE LA TOLVA
	13.07	O	MATERIAL TRITURANDOSE Y LLENANDO LOS CAMIONES
	0.30	D	MATERIAL TRITURADO ESPERANDO QUE SE ACOMODE EL CAMION
150	1.84	⇨	MATERIAL TRITURADO TRANSPORTADO AL BANCO DE ALMACENAMIENTO
	1.04	O	MATERIAL TRITURADO DESCARGADO EN EL BANCO DE ALMACENAMIENTO
		▽	MATERIAL TRITURADO ALMCENANDOSE

RESUMEN

EVENTO	No.	TIEMPO MIN	DIST MTS
O	4	19.71	
D	3	33.79	
⇨	2	4.76	800
▽	1		
TOTAL	10	58.28	800

DIAGRAMA DE CUADRILLAS DEL METODO EMPLEADO

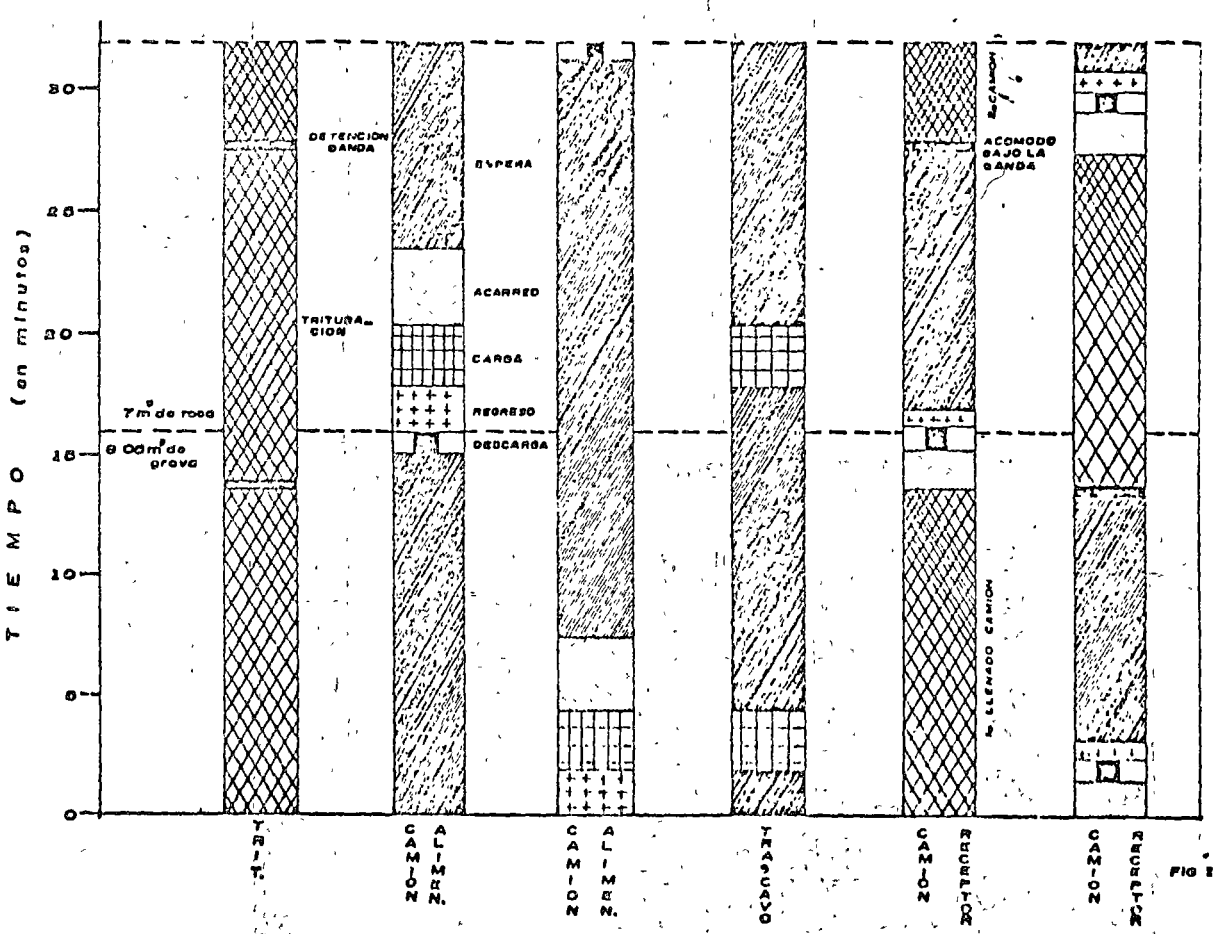


FIG 2-3

DIAGRAMA DE FLUJO
(1er METODO PROPUESTO)

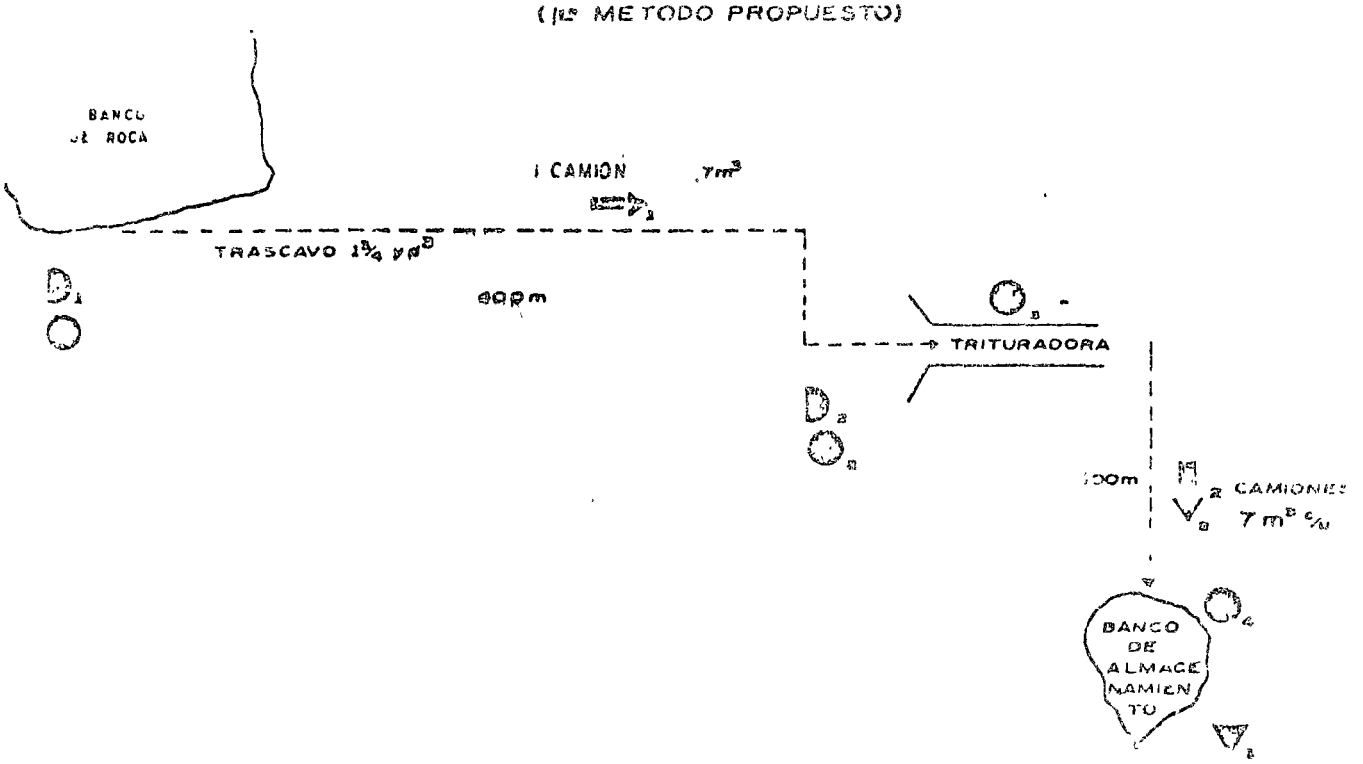


DIAGRAMA DE CUADRILLAS (1er METODO PROPUESTO)

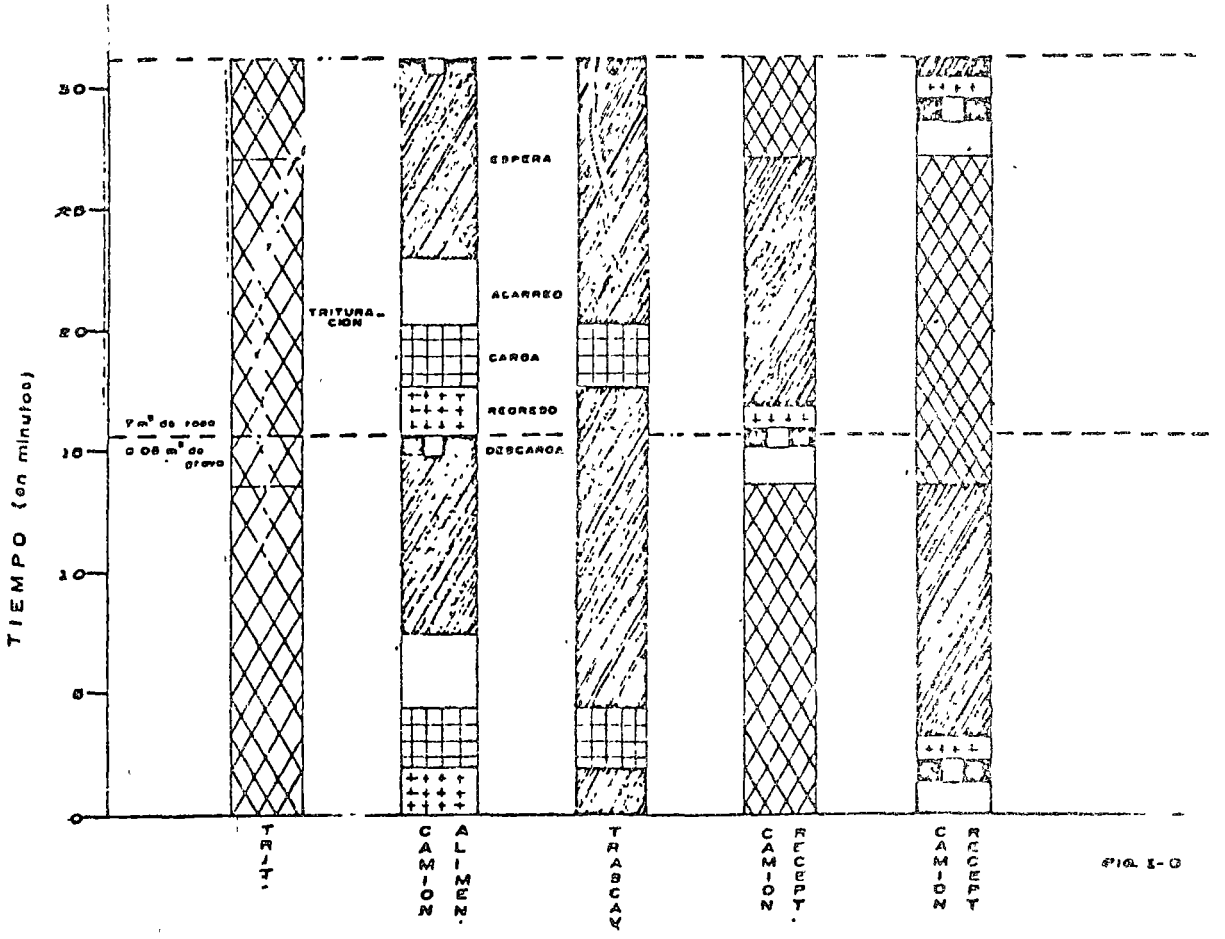


FIG. I-G

CARTA DE PROCESAMIENTO
(1er METODO PROPUESTO)

DISTANCIA MTS.	TIM. MIN.	SIMBOLO	DESCRIPCION
	13.16	D1	MATERIAL ESPERANDO QUE LLEGUE UN CAMION
	2.41	O1	MATERIAL CARGADO POR EL TRASCAVO AL CAMION
400	2.92	⇨1	MATERIAL TRANSPORTADO EN CAMION HACIA LA TRITURADORA
	7.49	D2	MATERIAL SOBRE EL CAMION ESPERANDO QUE LA TOLVA SE VACIE
	0.69	O2	MATERIAL DESCARGADO SOBRE LA TOLVA
	19.57	O3	MATERIAL TRITURANDOSE Y LLENANDO CAMIONES
100	1.84	⇨2	MATERIAL TRITURADO TRANSPORTADO AL BANCO DE ALMACENAMIENTO
	1.04	O4	MATERIAL TRITURADO DESCARGADO EN EL BANCO DE ALMACENAMIENTO
		▽1	MATERIAL TRITURADO ALMACENANDOSE HASTA QUE SE NECESITE

RESUMEN

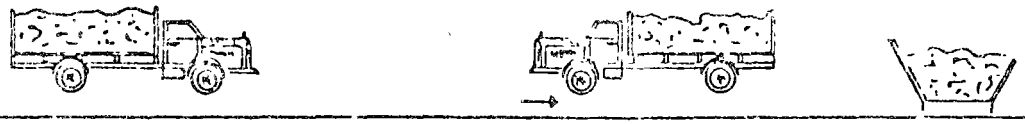
EVENTO	NUMERO	TIEMPO MIN.	DIST. MTS.
O	4	19.71	
D	2	20.65	
⇨	2	4.76	500
▽	1		
TOTAL	9	45.12	500

CICLO ALIMENTADOR

METODO USUAL

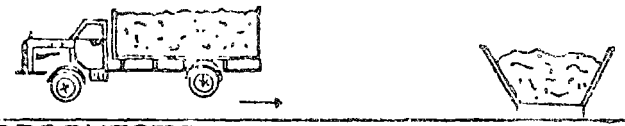
2 CAMIONES ALIMENTANDO A LA TRITURADORA

D_a = 11.90 min



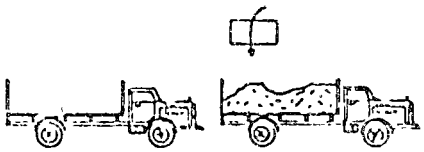
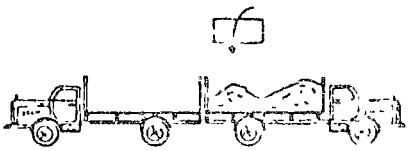
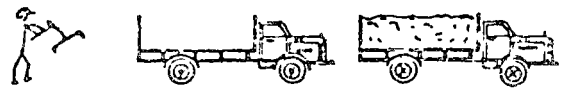
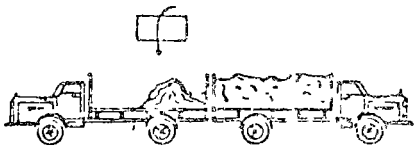
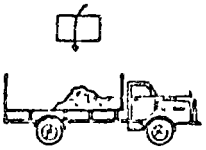
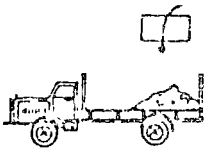
1 SOLO CAMION ALIMENTANDO A LA TRITURADORA

D_e = 7.49 min



METODO PROPUESTO

CICLO RECEPTOR DE GRAVA

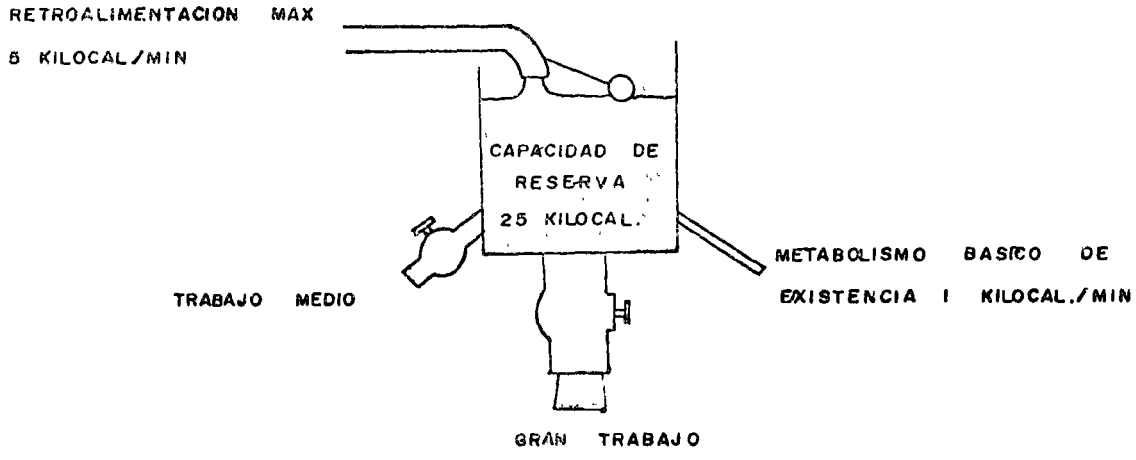
METODO USUAL	1er METODO PROPUESTO
	
D_a = 0.39 	D_a = 0 
	
UN PEON DETENIENDO LA BANDA DE LA TRITURADORA MEDIANTE UNA PALANCA, PARA QUE SE ACOMODE EL SIGUIENTE CAMION.	ELIMINACION DEL PEON, SI LOS CAMIONES RECEPTORES SE COLOCAN CON LAS DEFENSAS TRASERAS EN CONTACTO.

FACTORES QUE AFECTAN EL MEJORAMIENTO DEL ELEMENTO HUMANO

En la mayoría de las ocasiones que buscamos el por qué de -- - los bajos rendimientos de la mano de obra, no atendemos los problemas humanos que afectan al trabajador siendo que ahí es donde está la solución. No podemos exigir al obrero un buen desempeño si no - le damos las condiciones y recursos que el necesita para desenvol-- verse como debe.

Los factores más comunes que afectan al rendimiento del obrero son:

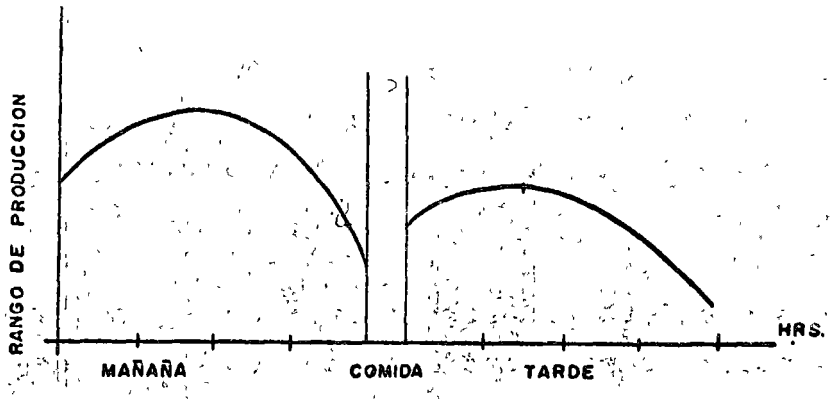
1).- Límites Fisiológicos .- Si consideramos a un elemento humano promedio (Estatura = 1.70 m. peso = 70 kg) y lo representamos como un tanque que almacena y gasta energía, veremos lo siguiente:

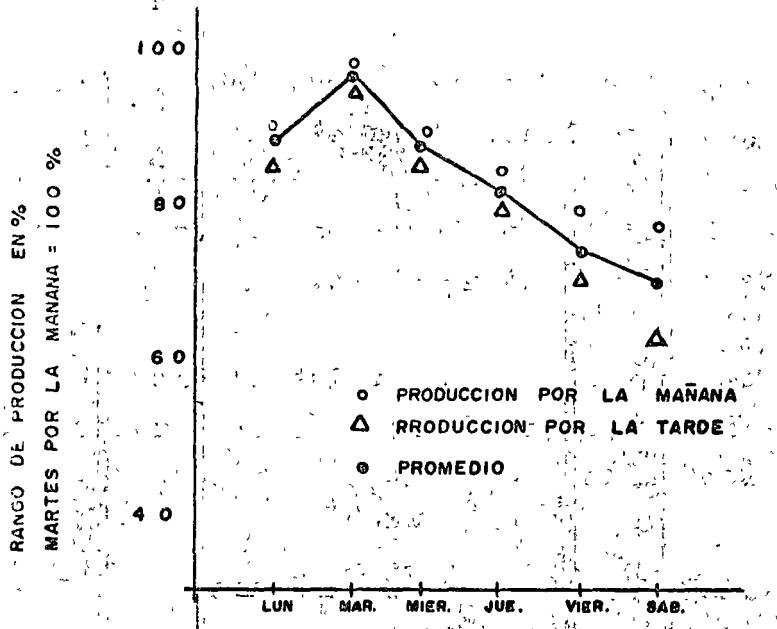


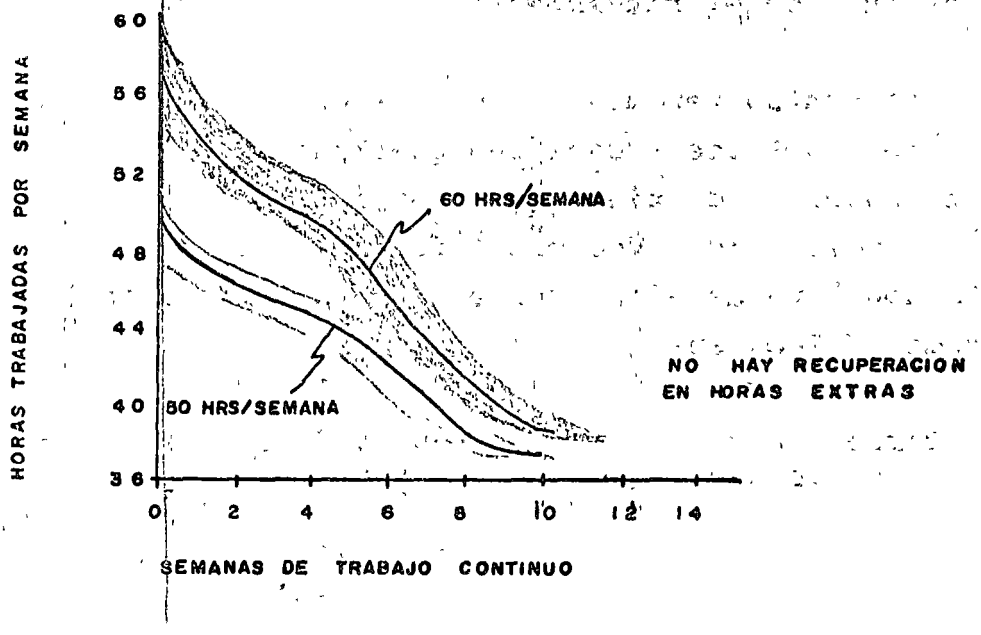
Este sencillo diagrama, nos dice que si le exigimos mucho al trabajador, su energía se agotará rápidamente y será necesario esperar a que la recupere por medio de - descansos y/o alimentos; ya que si se utiliza más energía de la que el cuerpo utiliza, ocurre la fatiga.

Por lo anterior, se concluye que HAY QUE EQUILIBRAR EL TRABAJO CON EL DESCANSO Y LA ALIMENTACION.

Estudios efectuados en los Estados Unidos sobre el rango de producción del obrero en un día de trabajo y en una semana se muestran en las siguientes gráficas.


RANGO DE PRODUCCION
HRS.
MAÑAÑA
COMIDA
TARDE


RANGO DE PRODUCCION EN %
MARTES POR LA MAÑANA = 100 %
100
80
60
40
PRODUCCION POR LA MAÑANA
PRODUCCION POR LA TARDE
PROMEDIO
LUN
MAR.
MIER.
JUE.
VIER.
SAB.


HORAS TRABAJADAS POR SEMANA
60
56
52
48
44
40
36
60 HRS/SEMANA
50 HRS/SEMANA
NO HAY RECUPERACION
EN HORAS EXTRAS
0
2
4
6
8
10
12
14
SEMANAS DE TRABAJO CONTINUO

En estas gráficas, nos daremos cuenta del rango de ---- producción que debemos esperar del obrero en turnos normales de trabajo con tiempo extra. También vemos la -- eficiencia a lo largo de una y varias semanas de trabajo contínuo.

De estas gráficas podemos conluir que para garantizar - que un obrero pueda rendir lo que esperamos de él (independientemente de sus errores de trabajo) debemos vigilar que el trabajador recupera energías cuando comienza a ocurrir la fatiga.

Otra conclusión importante es que trabaja horas extras- no justifica el pago de ellas. Pues el obrero ya no -- rinde como al inicio de su trabajo, además que pagamos- el doble y hasta el triple por horas en que no se trabajan efectivamente ni la mitad de ellas.

En obras en que se requiera trabajar las 24 hrs. Aun-- que el costo sea mayor, es preferible tener 3 turnos de trabajo pues el rendimiento horario será mucho mayor.

2) .- Condiciones climatológicas .- El frío, el calor, el -- agua, los animales, la insalubridad del lugar afectan - grandemente en el rendimiento del personal obrero.

En estos puntos tenemos mucho a favor. El cuerpo humano puede adaptarse a casi cualquier condición. Solo necesita un poco de tiempo para habituarse para dar su - mayor rendimiento. Veamos diferentes condiciones y -- hasta dondè puede adaptarse el hombre al trabajo (En el caso de México, analizaremos el calor).

Temperatura en la zona	Humedad necesaria para trabajar
28°C	100 %
32	50
37	10

Después de 6 días de trabajo, ésto pude elevar a

Temperatura en la zona	Humedad necesaria para trabajar
31° C	100 %
37	50
44	10

Como un descanso de 6 días.

35°C	100 %
45	50
55	10

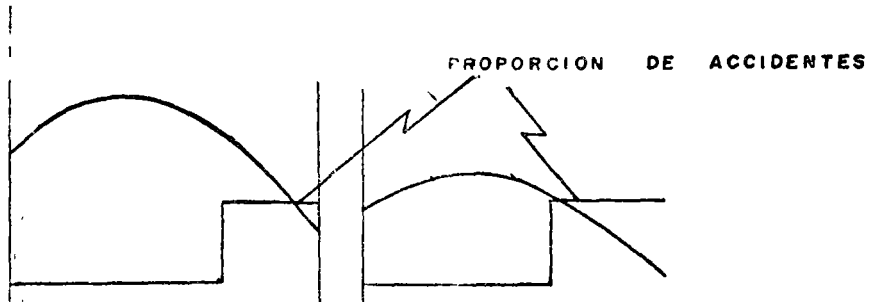
Con estos comentarios podemos entrar a algo mucho muy-importante y sin embargo muy descuidado en México: La-Ingeniería de Seguridad.

Existen muchos estudios y formas de implantar la seguridad en obra y sin embargo siguen secediendo accidentes.

Esto es normal porque, simplemente, trabajamos con hombres.

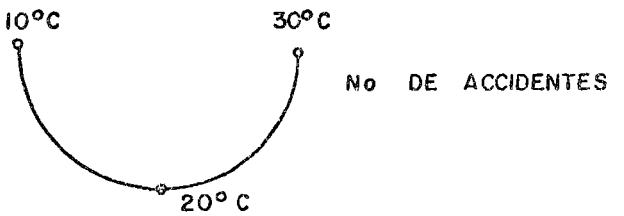
Este es el pincipal problema de la Ingeniería de Seguridad, que no podemos saber lo que está pensando el trabajador en todo momento y son las distracciones las que - ocasionan accidentes. El 88 % de los accidentes son -- ocasionados por el mismo obrero.

La mayoría de los accidentes ocurren cuando están por - terminar los turnos y es debido como ya dijimos a que - la mente del trabajador no está ya atenta en su trabajo.



Es necesario que el jefe de cuadrilla, sobrestante o jefe de frente tengan presente ésto y estar alerta para evitar accidentes. Tienen que verificar que cada elemento de su gente esté todo el tiempo en condiciones de trabajar y de no ser así retirarlo del área de trabajo o regresarlo a su casa.

Otro factor que provoca accidentes es el tratado, ya antes, la temperatura, el menor número de accidentes ocurren a 20°C.

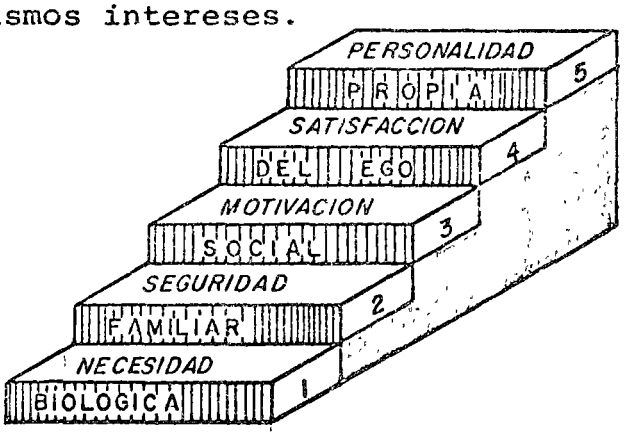


Otro factor que además de provocar accidentes, provoca lesiones serias, es el ruido. Se recomienda el mantener al obrero a menos de 85 decibeles.

Es necesario darle protección al trabajador tratando de evitar con equipos de seguridad (botas especiales, guantes, mascarillas, lentes, etc.) para que pueda rendir lo que esperamos de él.

Regresamos de nuevo al comportamiento humano. Hablemos ahora de las necesidades propias del individuo como persona, como ser humano.

Básicamente el hombre y la mujer están motivados por los mismos intereses.



1.- Necesidad Biológica .- Es el interés primordial del hombre. Sobrevivir, recibir suficiente aire, agua, alimento, calor, etc.

2.- Seguridad Familiar .- Después de estar seguro de su supervivencia, el hombre se preocupa por su familia y hace todo lo que está a su alcance por satisfacer sus necesidades.

Si estos dos primeros intereses no los ha cumplido la persona, nos encontramos con un sujeto inseguro al cual se le puede hasta amenazar

3.- Motivación Social .- Superadas las etapas anteriores, el hombre busca otra motivación a través del amor y el compañerismo con sus semejantes.

4.- Satisfacción del Ego .- El hombre satisfecho socialmente, busca la satisfacción de su ego a través del reconocimiento, la estimación, los ingresos, etc.

5.- Personalidad Propia .- Si se ha satisfecho el ego, el hombre puede desarrollar lo que a él le gusta, es decir su personalidad propia.

Después de satisfacer las dos primeras, el hombre se vuelve más seguro de sí mismo y el temor ante las amenazas disminuye gradualmente hasta el grado de no afectarlo.

Con ésto veremos, que el sueldo no es en sí un motivador, más bien, es un estado de satisfacción.

Si ahora comprendemos los intereses del hombre, debemos tratar al obrero como tal y tratar de satisfacerle todas sus necesidades humanas.

Hay que reconocer al subordinado como parte del equipo e interesarse en su trabajo pues para él es un gran in-

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS (DEL 6 DE JULIO AL 24 DE AGOSTO DE 1976)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
1. ING. JORGE C. ANDREU CARREON Av. Morelos 827 Edif. No.7-204 Col. Magdalena Michuca México 8, D. F.	OFICINA CONSTRUCCION EDIF. PUBLICOS, D. D. F. Av. Chapultepec No. 466 Col. Roma México 7, D. F. Tel: 5-53-48-41
2. ING. ARTURO APONTE MORALES México, D. F.	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS México, D. F.
3. ING. RAUL ARANA MAHONEY Emiliano Zapata No. 158-C Col. Portales México 13, D. F.	VIGUETAS Y BOVEDILLAS, S.A. Prol. Av. San Antonio No. 428 San Pedro de los Pinos México 19, D. F. Tel: 5-63-82-22
4. ING. PEDRO A. ARGUELLES RODRIGUEZ Ixtaccihuatl No. 77 Col. Florida México 20, D. F. Tel: 5-24-64-56	ROCA FOSFORICA MEXICANA, S. A. DE C. V. Durango No.90-8o. Piso Col. Roma México 7, D. F. Tel: 5-33-57-55
5. ARQ. GUILLERMO BARRON MARTINEZ Colina de las Nieves No. 39 Col. Residencial Boulevares Edo. de México Tel: 5-72-33-53	BANCO DE COMERCIO, S.A. Bolivar No. 36-4o. Piso México 1, D. F. Tel: 5-18-70-00
6. ARMANDO CARRANZA SANTANA 1a. Privada de Tenochtitlan No.3 Cuautepec de Madero México 14, D. F.	TELEINFORMATICA DE MEXICO,S.A. Paseo de la Reforma No. 30-2o. Piso México 1, D. F. Tel: 5-92-33-61
7. ARQ. ROBERTO CRUZ Y SERRANO Av. Coyoacan 704-403 Col. del Valle México 12, D. F. Tel: 5-36-25-39	ORVAÑANOS Y VILCHIS CONSTRUCCIONES, S. A. DE C. V. Col. Noche Buena México 18. D. F. Tel: 5-63-62-66

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS (DEL 6 DE JULIO AL 24 DE AGOSTO DE 1976)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
8. ING. VICTOR DAMM BARLES Colina de Lajas No. 13 Boulevares Edo. de México Tel: 5-62-24-73	MEXICANA DE COBRE, S. A. Insurgentes Sur 1991 México 20, D. F. Tel: 5-50-65-55
9. ISMAEL DELFIN CRISTIANI Duna No. 10 Hda. de San Juan Tlalpan México 22, D. F. Tel: 5-30-17-31	
10. MA. DE LOURDES DE LUNA CHAVEZ Isla del Socorro No. 89 Prado Vallejo Tlalnepantla Edo. de México Tel: 5-67-92-08	COMITE ADMINISTRADOR DEL PROGRAMA FEDERAL DE CONSTRUCCION DE ESCUELAS Fresnos 380 Col. Florida México, D. F. Tel: 5-54-61-00
11. ING. GONZALO R. GALVEZ ORDOÑO Retorno 32 No. 26 Col. Avante México 21, D. F.	SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS Xola y Av. Universidad México 12, D. F.
12. ING. CARLOS GARCIA A. Colina de los Frailes No. 52 Boulevares, Edo. de México Tel: 5-62-71-33	CONSTRUCCIONES URBANAS MEXICO,S.A. Paseo de la Reforma No. 35-5o.Piso Col. Tabacalera México 1, D. F. Tel: 5-66-17-22
13. ING. OSCAR LUIS GONZALES IBAÑEZ Detroit No. 45-3 Col. Nápoles México 18, D. F. Tel: 5-63-57-67	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Paseo de la Reforma No. 20Desp.210 México 1, D. F. Tel: 5-46-49-26
14. ING. JOSE LUIS GUTIERREZ 3a. Privada del Recreo No.51 Atzcapotzalco México 16, D. F.	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS Paseo dela Reforma No. 69 México, D. F. Tel: 5-61-11-48

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS
(DEL 6 DE JULIO AL 24 DE AGOSTO DE 1976)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
15. DANIEL HERNANDEZ PANIAGUA Etna No. 42 Los Alpes México 20, D. F. Tel: 5-93-54-38	ING. MARIO E. MARTINEZ Av. Parque de Chapultepec No. 18 El Parque Naucalpan México 10, D. F. Tel: 5-76-14-90
16. ING. RAUL JAIME LAJARA Retorno de Girasoles No. 322 La Florida México, D. F. Tel: 5-62-86-50	INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A. Minería No. 145 Col. Escandón México 18, D. F. Tel: 5-16-04-60
17. ING. MANUEL LOPEZ Y LOPEZ Barranca del Muerto No. 269-2 San José Insurgentes México, D. F. Tel: 5-93-60-02	CONSTRUCCIONES BELTHER, S.DE R.L. DE C. V. Av. Reforma No. 2625 Lomas México, D. F. Tel: 5-70-21-44
18. ING. ARQ. JOSE MADRIGAL PALMA Loma Hermosa 46-B-406 Col. Irrigación México 10, D. F. Tel: 5-57-05-14	
19. ARQ. CARLOS E. MAISTERRENA SADA Adolfo Prieto No. 125-504-B Col. del Valle México 12, D. F. Tel: 5-43-81-31	CONSTRUCTORA IMPALA, S.A. Fuego 719 Pedregal de San Angel México 20, D. F. Tel: 5-68-05-05
20. ING. CARLOS ENRIQUE MATARRITA A. Romero de Terreros 822-304 Col. del Valle México 12, D. F.	CONSTRUCTORA PHI, S.A. Amsterdam 79-Desp. 101 Col. Hipodromo Condesa México 11, D. F. Tel: 5-11-10-67
21. LIC. J. ALBERTO MEJIA MENDOZA C. Zapopan No. 156 Col. Campestre Churubusco México 21, D. F.	U.N.A.M. Ciudad Universitaria México 20, D. F. Tel: 5-22-42-98

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS
(DEL 6 DE JULIO AL 24 DE AGOSTO DE 1976)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
22. JAVIER MENDOZA SERRANO Circuito Pte. No. 22 Dpto. 5 Cd. Satélite Edo. de México	CONSTRUCCIONES URBANAS MEXICO,S.A. Paseo de la Reforma No. 35-5o.Piso México 1, D. F. Tel: 5-66-17-22
23. ING. FRANCISCO MORALES SEVILLA Tezoquipa No. 20 Tlalpan México, D. F. Tel: 5-73-54-16	CONSTRUCTORA LA CEIBA, S.A. Patricio Sanz No. 33-404 Col. del Valle Mexico 12. D. F. Tel: 5-43-73-50
24. ING. JESUS ORTEGA MEDRANO Unidad Piloto No. 93 Coyuca de Catalan, Gro. Tel: 2-00-46	COMISION DEL RIO BALSAS Río de Churubusco No. 650 Tlacotal México, D. F. Tel: 5-57-10-00
25. MARIO RAUL OSORNIO TAPIA Pisco No. 549-A Col. Lindavista México 14, D. F. Tel: 5-87-07-89	CIA. DE TELEFONOS Y BIENES RAICES S.A. Parque Vía No. 198 Col. Cuauhtémoc México 5, D. F. Tel: 5910241
26. ING. PASTEN M. CASTULO RODOLFO Sur 69 No. 306 Col. Bandidal México 13, D. F. Tel: 5-39-61-20	ROCA FOSFORICA MEXICANA,S. A. DE.C. V. Durango 90-8o. Piso Col. Roma México 7, D. F. Tel: 5-33-57-55 al 59
27. ING. JOSE LUIS OCHOA BRAOJOS Sierra Nevada No. 450 Lomas de Chapultepec México 10, D. F. Tel: 5-20-69-56	CONSTRUCTORA FLORIDA, S.A. Manuel Avila Camacho No. 80-202 México, D. F.
28. ING. FRANCISCO J. PARRA ASTORGA Niño Perdido No. 774-10 Col. Postal México 13, D. F. Tel: 5-79-09-54	F.I.C.C.O.I.A. Plaza de la Republica No. 30-6o.P. México, D. F.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS
(DEL 6 DE JULIO AL 24 DE AGOSTO DE 1976)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
29. ACT. MARTIN PIAZZA SUAREZ Londres 20-301 Col. Juárez México 6, D. F. Tel: 5-35-26-52	BANCO DE COMERCIO, S. A. Bolivar 36-4o.Piso México 1, D. F. Tel: 5-18-70-00
30. ING. JOSE PEÑA RAMIREZ Av. Catorce No. 76 I. Zaragoza México 3, D. F. Tel: 7-62-10-94	RUBIO, S.A. B. Franklin No. 233-5o. Piso Col. Escandón México 18, D. F. Tel: 5-16-30-20
31. MIGUEL A. QUINTERO LOBIO Rebsamen No. 24 Col. Narvarte México 12, D. F. Tel: 5-23-63-90	CONSTRUCTORA CARVE, S.A. Pestalozzi 306-B Col. Narvarte México 12, D. F. Tel: 5-36-12-54
32. ING. JESUS ROJAS SANTOS México, D. F.	CONSTRUCTORA FLORIDA, S.A. Av. Avila Camacho No. 80-2o. Piso México, D. F.
33. JOSE LUIS ROSALES GILBERT 5 de febrero No. 304-402 Col. Obrera México 8, D. F.	RUBIO, S.A. Benjamin Franklin 233-5o. Piso Col. Escandón México 18, D. F. Tel: 5-16-30-20
34. ARQ. ROBERTO SAEZ ZUBIETA Av. Minerva No.286 Col. Florida México 20, D. F. Tel: 5-34-53-25	
35. FRANCISCO SERRANIA BUSTOS 18 de julio No.5-15 Col. Tacubaya México 18, D. F. Tel: 2-77-57-58	CIA. DE TELEFONOS Y BIENES RAICES, S.A. Río Panuco No. 38-6o.Piso Col. Cuauhtémoc México 5, D. F. Tel: 5-66-38-33

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS
(DEL 6 DE JULIO AL 24 DE AGOSTO DE 1976)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
36. ARQ. JESUS OSCAR TOLOSA ARELLANO Empresa 107 Col. Mixcoac México 19, D. F.	BANCO DE COMERCIO, S.A. Bolivar No. 36-4o. Piso México 7, D. F. Tel: 5-18-70-00 Ext. 4524
37. EMILIO STOOPEN ROMETTI Hortensia No. 130 Col. Florida México 20, D. F. Tel: 5-24-65-64	CONSTRUCTORA TLALI Y ENLACE INDUSTRIAL Nápoles No. 59 México, D. F.
38. JOSE JESUS VARGAS RUIZ Ruiz de Alarcón No. 84 Chilpancingo, Gro. Tel: 2-27-14	SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS Av. Xola y Universidad México, D. F.
39. ING. LUIS VILLASEÑOR ARENA Chihuahua 43-5 Col. Roma México 7, D. F. Tel: 5-84-74-19	CONSTRUCTORA GYS, S.A. Lafragua No. 4-110 Col. Tabacalera México 1, D. F. Tel: 5-66-35-88
40. ING. RICARDO ZEEVAERT WOLFF Plaza Mayor No. 11 Lomas Verdes Edo. de México Tel: 5-10-99-03	ROCAS FOSFORICA MEXICANA, S.A. Durango No. 90 Col. Roma México 7, D. F. Tel: 5-33-57-55