



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



OCIFI
OFICINA DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Análisis y Procesamiento

G. 610187

APUNTES DE
PROGRAMACION Y CONTROL
DE OBRAS

EMILIO GIL VALDIVIA



DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y GEODESICA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION

FI/DICTG/84-010

P R O L O G O

La elaboración de apuntes que sirvan de apoyo a la impartición de clases, ha sido preocupación constante de quienes, de manera directa, participamos en el proceso enseñanza-aprendizaje.

El Departamento de Construcción en este sentido, ha promovido la publicación de varios títulos que, como el presente enfocado a la "PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS", cubren temas particulares de los actuales programas de estudio.

Exhortamos a profesores y alumnos para que nos hagan llegar sus comentarios y sugerencias encaminados en lograr el perfeccionamiento de futuras ediciones.

G- 010157

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION

1984



FACULTAD DE INGENIERIA

I N D I C E

PROCESO CONSTRUCTIVO	1
PROGRAMA DE OBRA	7
METODO C.P.M.	11
. Construcción de la Red	
. Determinación de las Dependencias	
. Fechas de inicio y terminación de cada Actividad.	
. Cálculo de la Red.	
. Asignación de Recursos	
DETERMINACION DEL NUMERO DE FRENTES	39
REPORTES DE OBRA	42
COMPRESION DE REDES	45
BIBLIOGRAFIA	58

G-610187

PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRAS

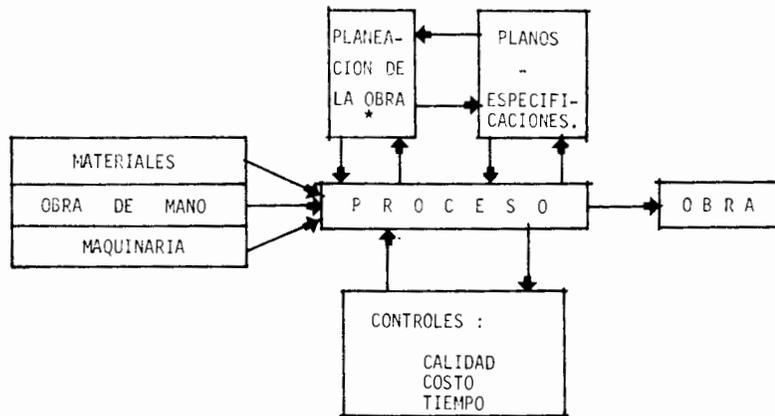
I.) PROCESO CONSTRUCTIVO

Es el conjunto de trabajos que es necesario efectuar por producir una obra.

Un proceso constructivo funciona como una caja negra cuyas entradas son los recursos y que queda gobernada por :

- planeación del proceso
- planos y especificaciones
- controles del proceso

De esta forma se podrá producir la obra, tal como se estableció en el proyecto de la calidad, costo y tiempo deseados.



* PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.

Definición del tiempo de ejecución.

Programas de obra, de suministro de los Recursos. Programas Financieros, Organización etc.

Planear en que tiempo habrá de concluir la obra es de hecho programarla y al mismo tiempo establecer los elementos para el control del programa.

Si consideramos una obra desde tres puntos de vista :

planeación
ejecución
control

Notaremos que el programa figurará diferente enfoque en cada una de ellas :

Para el que planea la obra es en sí un producto. Aquí se distinguen diferentes niveles de enfoque que van desde la macroplaneación hasta la de detalle.

Durante la ejecución de la obra, el seguimiento del programa es una de las actividades que requieren del constructor una atención constante. Es en sí una agenda de actividades a cumplir, prácticamente, a diario incluye suministros oportunos de materiales, llegadas y salidas de equipo y de personal y un aspecto fundamental para el logro exitoso de la obra, desde el punto de vista económico, que los tiempos se cumplan sin reducciones al rendimiento previamente adoptado en los precios unitarios.

Para quien controla el proceso, el programa es el documento que le permite observar si ocurren desviaciones. Del juicio que resulte se tomarán decisiones importantes que retroalimentan al proceso y que pueden modificar algunos parámetros usados para planear, y quizá llegar hasta a la necesidad de adaptar procedimientos de construcción, proyectos, etc..., en algunos casos las reducciones en duración para recuperar atrasos, pretendiendo conservar la fecha de terminación, nos llevan a tales rendimientos requeridos, que puede modificarse el costo

de la obra. Esto ocurre cuando los rendimientos por programa son substancialmente distintos a los considerados en el presupuesto de la obra.

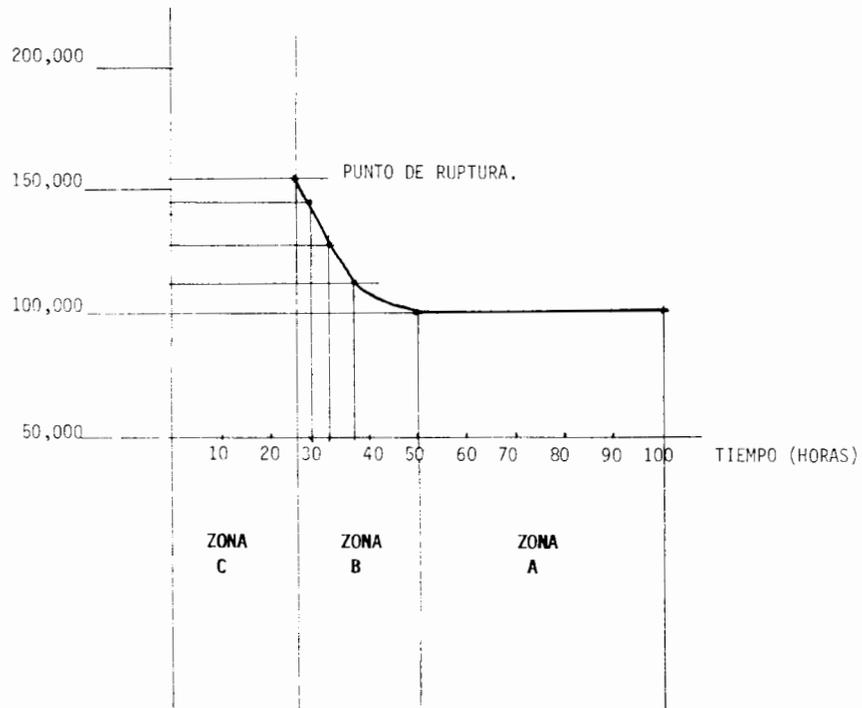
Consideremos que una obra puede ejecutarse por diversas cuadrillas de trabajadores, de suerte que si se ejecuta por una de ellas, los obreros habrán de rendir al 100 % y que el trabajo puede llevarse a cabo en 100 horas a un costo de \$ 100,000. Si por el espacio disponible encontramos que puede haber otra cuadrilla que no interfiere con la primera, el trabajo podrá efectuarse en la mitad del tiempo, sin incremento del costo. Supongamos que al aumentar el número de cuadrillas, el rendimiento baja y aunque el tiempo se acorta el costo aumenta, esto ocurrirá hasta un límite donde las cuadrillas adicionales ya no participan por falta de espacio, o de herramienta, en cuyo caso el costo aumentará sin reducción posible al tiempo.

No. CUADRILLAS (N)	REND. DE CUADRILLA (R) %	$\frac{N R}{100}$	DURACION DE LA OBRA (d)	DURACION AJUSTADA (d')	COSTO
1	100	1.00	100 (D)	100	100,000
2	100	2.00	50	50	100,000
3	90	2.70	37	37	111,000
4	80	3.20	31.25	32	128,000
5	70	3.50	28.57	29	145,000
6	65	3.90	25.64	26	156,000

$$d = \frac{D}{NR}$$

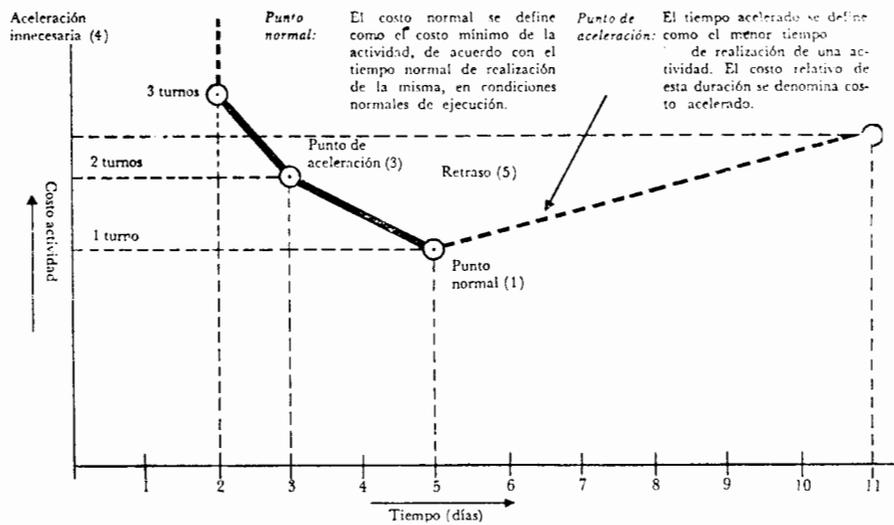
$$c = NCd$$

$$C = \$ 1000 /h\text{-Cuadrilla}$$

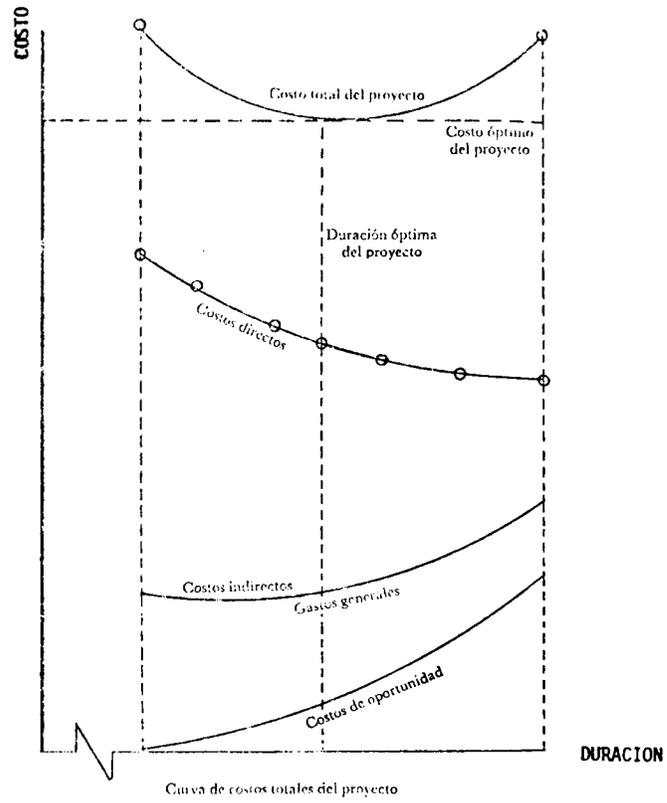


- C.) PUEDEN INCREMENTARSE LOS COSTOS SIN ACORTAMIENTO DEL TIEMPO
- B.) LA DURACION SI PUEDE ACORTARSE PERO SE INCREMENTAN LOS COSTOS DIRECTOS.
- A.) LA DURACION SI PUEDE ACORTARSE SIN INCREMENTO DE LOS COSTOS DIRECTOS.

El comportamiento de los costos indirectos es diferente pues tienen una relación directa con el tiempo. Cuando se analiza un proceso completo con duración en términos reales de ejecución de la obra, el proceso puede ilustrarse como sigue :



UNA REPRESENTACION MAS GENERAL DEL FENOMENO SERIA :



PROGRAMAS DE OBRA

- 1.) Actividades de un proceso productivo son los trabajos que constituyen al proceso.
- 2.) Planeación de un proceso productivo; es el conjunto de decisiones que deben adoptarse para realizar en el futuro, a fin de obtener - el resultado deseado de la manera mas eficiente posible.
- 3.) Programación de un proceso productivo; es el ordenamiento de las - actividades del proceso de modo que, tomando en cuenta la naturaleza misma del proceso y sus restricciones, este ocurra de la forma deseada.

REFERENCIA HISTORICA:

Métodos utilizados para el control de proyectos :

- 1.) Experiencia e intuición (antes de 1870)
- 2.) Taylor.- Primeros estudios de tiempo y movimiento (1870)
- 3.) Diagrama de Gantt.- (1915)
- 4.) Diagrama de flechas y ruta critica (1958)
- 5.) Combinación de diagrama de flechas y estadísticas (1963)

DIAGRAMAS DE BARRAS O DE GANTT

Consiste en un gráfico en el que se ha representado cada actividad como una barra cuya longitud es proporcional al tiempo de su duración.

Para su elaboración se sigue la siguiente metodología.

- Se determinan las actividades en que se desea descomponer el proceso. Se define la duración de cada actividad.
- Se eligen las restricciones a observar
- Se ordenan las actividades y se produce el dibujo.

CONCEPTO		1 9 8 3			1 9 8 4	
		OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.
1	A	█				
2	B		█			
3	C		█	█		
4	D		█	█		
5	E			█	█	
6	F			█	█	█

Puede observarse que la actividad B se programó como una consecuencia de A: A es antecedente o precedente de B; B es una consecuencia de A.

Las actividades C y D pueden ejecutarse en forma simultánea.

También se observa que E puede ejecutarse cuando D lleve un cierto avance es parcialmente simultánea.

Conviene observar que después de terminada B, se dejó un tiempo para iniciar E, finalmente : F depende de B y es la actividad final del proceso.

$$D = \frac{\text{CANTIDAD DE OBRA}}{\text{RENDIMIENTO X EFICIENCIA}}$$

LA D DEPENDE DE:

- . TIPO DE OBRA
- . CANTIDAD DE OBRA
- . PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION
- . FACTORES DE DEPENDENCIA

VENTAJAS

Se produce una representación muy útil y de lectura rápida, que facilita el seguimiento del proceso.

Permite la representación de avances, mediante el uso de una doble barra para registrar gráficamente los obtenidos, facilitando la interpretación del estado de la obra al día de la revisión.

DESVENTAJAS

- . No se facilita el uso de un gran número de actividades dificultándose la representación de actividades de segundo orden.
- . Se dificulta la interpretación de las restricciones (espacio recursos disponibles, procedimiento de construcción etc...)
- . La dependencia de una actividad con relación a otras, no es fácil representarla.
- . No se detectan aquellas actividades de las cuales depende la duración del proyecto.

← FECHA DE LA REVISION

CONCEPTO	1983			1984		AVANCE %	OBSERVACIONES
	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.		
1 A	██████████					100 100	Se inicio con retraso. Se concluyó con R.
2 B		██████████				100 100	Se inicio y se concluyó a tiempo.
3 C		██████████	██████████			60 20	Atraso : 40 %
4 D		██████████	██████████			30 40	Adelanto : 10 %
5 E				██████████		0 0	No se inicia por progra- ma.
6 F				██████████	██████████	0 0	Debe iniciarse de inme- diato.

→

De la información obtenida podemos hacer las siguientes preguntas :

- 1.) ¿Que efecto ha tenido el hecho de que la actividad A se haya iniciado tardíamente?
- 2.) ¿Como podemos poner en programa la actividad "C" ?
- 3.) ¿Que ocurrió que permitió el adelanto de la actividad "D" ?
¿Estaba bien programada?
- 4.) A pesar de las desviaciones observadas, será posible concluir los trabajos en el tiempo previsto ?

La respuesta a estas interrogantes se facilita mediante otros métodos - de programación, por ejemplo el CPM (críticas, Path Method) ó método de la ruta crítica.

METODO C.P.M.

CARACTERISTICAS DEL METODO

- a.) Suministra una base disciplinada para la planeación de un proyecto.
- b.) Proporciona una idea clara del alcance del proyecto.
- c.) Es un vehículo importante para la evaluación de estrategias y objetivos.
- d.) Elimina con gran medida la posibilidad de omitir un trabajo - que pertenezca al proyecto.
- e.) Muestra las interrelaciones entre los trabajos.
- f.) Señala las responsabilidades de los diferentes grupos o departamentos involucrados.

g.) Hace posible la " dirección por excepción " llamando la atención del ejecutivo a aquéllas actividades que están o estarán en dificultades.

h.) Forma un record útil y completo del desarrollo de las obras y proyectos

NOMENCLATURA

EVENTO :



Significa iniciación o terminación de una actividad.

ACTIVIDAD :



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

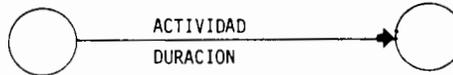
ACTIVIDAD FICTICIA :



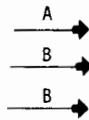
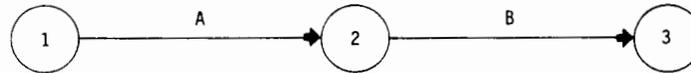
No consume tiempo ni -- recursos, sirve para expresar secuencia lógica.

EVENTO INICIAL

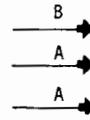
EVENTO FINAL



CADENA DE ACTIVIDADES :

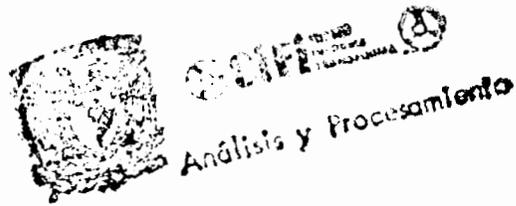


ES PRECEDENTE DE
ES SUBSECUENTE DE
DEPENDE DE



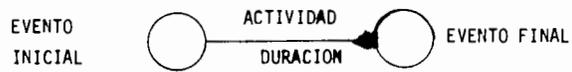
EVENTO FINAL DE
EVENTO INICIAL DE





CONSTRUCCION DE LA RED.

Si consideramos que una actividad queda representada por :

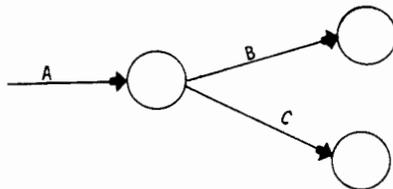


Una cadena de dos actividades se representa como se ilustra el evento 2 en el final de A, pero también el inicial de B y la duración de la cadena = D.

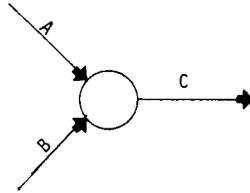


La actividad B podrá ejecutarse solo si A ha sido concluida.

Así mismo :

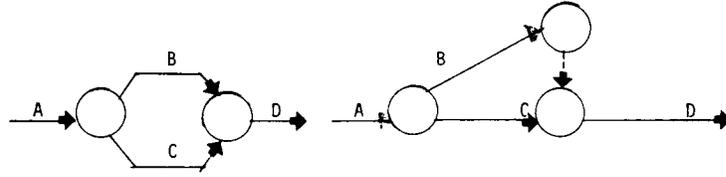


B y C PUEDEN EJECUTARSE DE FORMA SIMULTANEA. PARA ELLO SE REQUIERE QUE A HAYA SIDO CONCLUIDA.



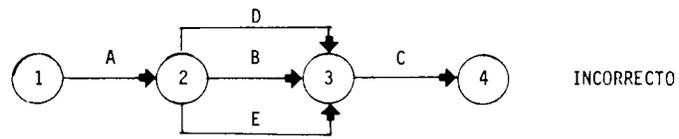
C, DEPENDE DE QUE A y B HAYAN CONCLUIDO.

Tomar en cuenta las siguientes restricciones en la notación.

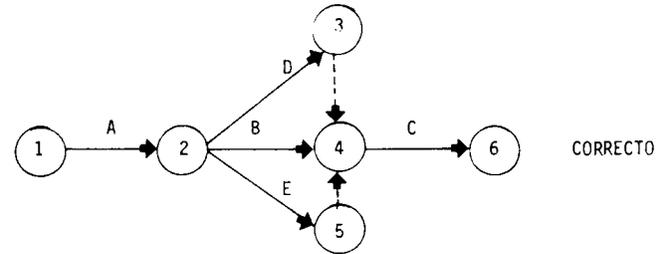


INCORRECTO

CORRECTO

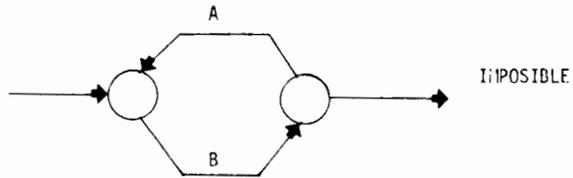


INCORRECTO

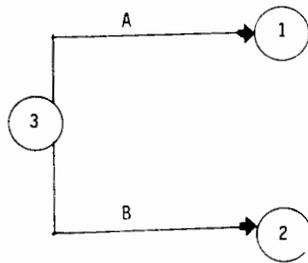


CORRECTO

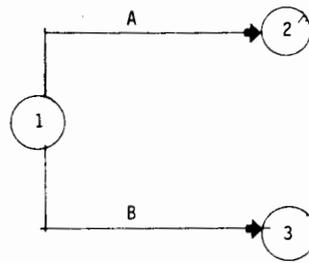
No será posible la formación de circuitos tales como el que se ilustra.



Los eventos serán numerados de tal forma que el numeral del evento final será mayor que el correspondiente al evento inicial.

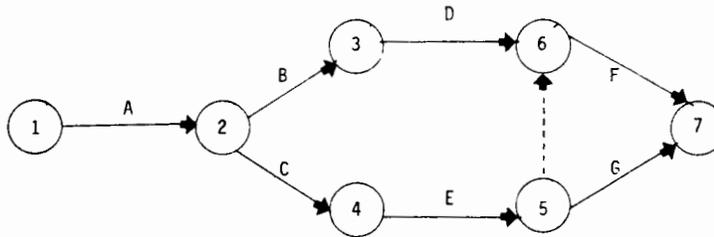


INCORRECTO



CORRECTO

Consideremos el siguiente diagrama :



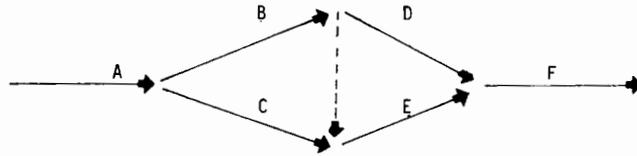
Las restricciones que quedaron expresadas son :

A	NO DEPENDE DE NADA, PRECEDE A B y C
B - C	DEPENDEN DE A, B PRECEDE A D. C PRECEDE A E
D	DEPENDEN DE B, PRECEDE A F.
E	DEPENDEN DE C, PRECEDE A F y G.
F	DEPENDEN DE D y E, CONCURRE DE EVENTO FINAL DEL PROGRAMA
G	DEPENDEN DE E, CONCURRE AL EVENTO FI-- NAL DEL PROGRAMA

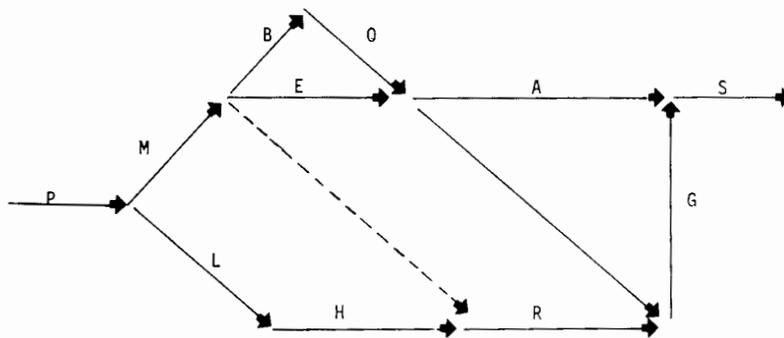
EJERCICIO 1.- CONSTRUIR LA SIGUIENTE RED:

- a.) A es la primera actividad
- b.) B y C pueden iniciarse simultáneamente y deben seguir a A.
- c.) B debe preceder a D
- d.) E no puede iniciarse hasta que B y C terminen
- e.) F depende de la terminación de D y E
- f.) F es la última actividad del proyecto

SOLUCION :



EJERCICIO 2.- IDENTIFIQUE LOS ERRORES DEL SIGUIENTE DIAGRAMA



La primera fase de la planeación de un proyecto consiste en enunciar las actividades que lo constituyen. Con objeto de facilitar el enunciado de las actividades de un proceso y evitar la posible omisión de alguna de ellas, es recomendable proceder en la siguiente forma: Dividir el proyecto en un conjunto de actividades principales o de primer orden. Subdividir en seguida estas actividades en actividades de segundo orden y continuar así sucesivamente. Procediendo de esta manera, es evidente que la planeación de cada una de las actividades de primer orden, por ejemplo, deberá hacerse considerando a esa actividad como un proyecto compuesto por las actividades de segundo orden.

Las actividades de orden más elevado son las componentes básicas o elementales del proyecto. Por otro lado, a medida que el orden de una actividad decrece, aumenta la complejidad de su ejecución y por lo tanto aumenta la responsabilidad del organismo encargado de ella.

Consideramos las siguientes actividades :

DETERMINACION DE LAS DEPENDENCIAS :

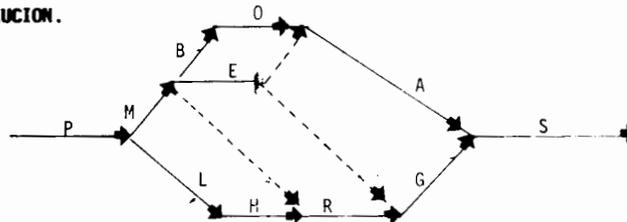
El procedimiento constructivo y las limitaciones en la disponibilidad de recursos, son ejemplos de causas de dependencia, así por ejemplo, no podrá descimbrarse antes de colar; No podrá compactarse el tramo B, antes de compactar el tramo A, si solamente disponemos de un compactador.

Una manera práctica de considerar estas restricciones nos la da la tabla de secuencias :

LAS CONDICIONES A SATISFACER SON :

- 1) S. es la última operación,P es la primera
- 2) A sigue a O
- 3) M y L pueden iniciarse en paralelo después de la terminación de P.
- 4) H sigue a L
- 5) B y E pueden iniciarse simultáneamente pero solo después de la terminación de M.
- 6) B precede a O
- 7) M restringe el inicio de R, el cual sigue después de la terminación de H
- 8) R precede a G
- 9) E y R deben terminarse antes de que G se inicie
- 10) A no puede iniciarse antes que se terminen O Y E
- 11) A y G terminan juntos y S no puede iniciarse hasta que A y G terminen

SOLUCION.



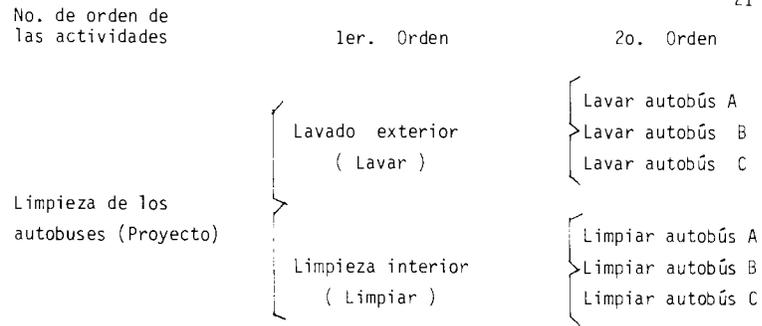
EJERCICIO 3

En la terminal de una compañía de transportes se tienen 3 autobuses para su limpieza. La limpieza interior de cada autobús no puede realizarse hasta que se termine su lavado exterior y solo se dispone de un equipo para ejecutar la limpieza interior y un equipo para realizar el lavado exterior.

Se anotan todas las actividades que constituyen el proyecto como títulos de los renglones y de las columnas, de manera que a cada actividad corresponde un solo renglón y una sola columna. Para llenar la tabla se siguen dos reglas :

- a.) Se analiza la actividad correspondiente a cada uno de los renglones y se determina que actividades pueden hacerse inmediatamente después de terminada la actividad en cuestión. Para ésto se recorre el renglón examinando las columnas de la tabla y colocando una X en los casilleros de las columnas que corresponde a las actividades que pueden realizarse inmediatamente después.

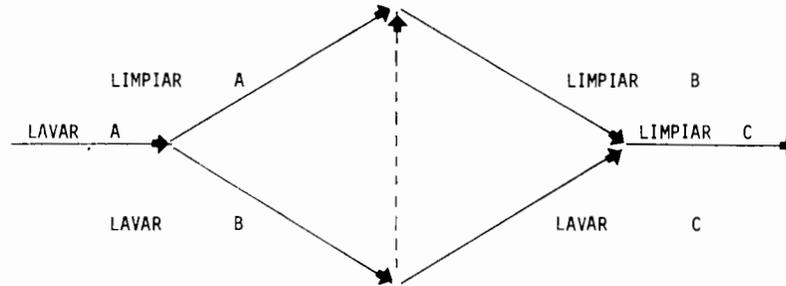
- b.) Se analiza la actividad correspondiente a cada una de las columnas y se determina que actividades deben precederle inmediatamente antes de poder iniciar la actividad en cuestión. Para esto se recorre la columna examinando los renglones de la tabla y colocando una X en los casilleros de los renglones que corresponden a las actividades que deben ejecutarse inmediatamente antes.



Una vez terminada la 1a. fase es necesario analizar el orden en que deben ejecutarse las actividades teniendo en cuenta los requisitos del proyecto mismo y las condiciones particulares de la persona o empresa que va a realizar el proyecto. Para llevar a cabo ordenadamente esta fase de la planeación usaremos la "tabla de secuencias"

	LAVAR A	LIMPIAR A	LAVAR B	LIMPIAR B	LAVAR C	LIMPIAR C
LAVAR A		X	X			
LIMPIAR A				X		
LAVAR B				X	X	
LIMPIAR B						X
LAVAR C						X
LIMPIAR C						

Si se dispone de la tabla de secuencias, el diagrama de flecha se construye fácilmente recordando las convenciones ya definidas. El diagrama de flechas que corresponde a la tabla 1 se muestra en la fig.



FECHAS DE INICIO Y TERMINACION DE CADA ACTIVIDAD.

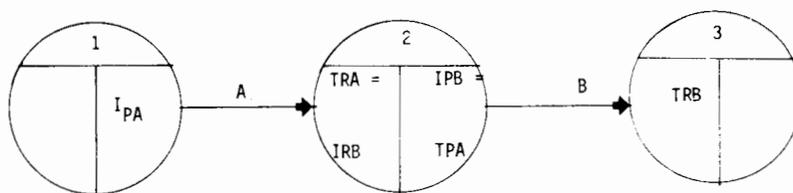
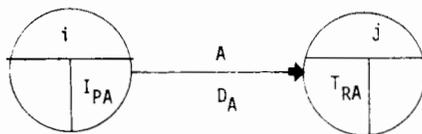
I_D = Es la fecha de inicio mas próxima o mas temprana de cada actividad.

I_R = Es la fecha de inicio mas remota o mas tardía de cada actividad.

Asociados a estas fechas están las terminaciones correspondientes ya que si a fecha de inicio sumamos la duración habremos encontrado la fecha de terminación.

$$T = I + D$$

NOTACION



1
2
3

LA RED

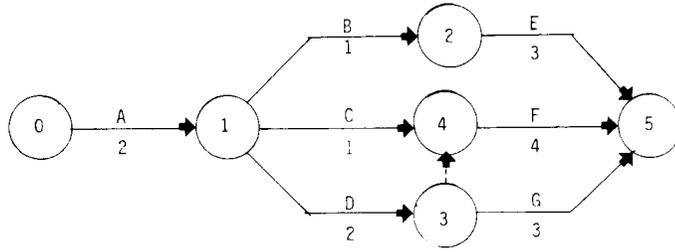
La construcción de la Red se hace mediante prueba y error se recomienda observar lo siguiente :

- 1) Dibuje la Red de acuerdo con las restricciones que se expresaron como procedencias o dependencias.
- 2) Lea la Red para verificar que no incluyó dependencias innecesarias.
- 3) Simplifique el dibujo eliminando actividades ficticias-innecesarias.
- 4) Numere los eventos de manera que el sentido de la flecha quede expresado por el valor absoluto de los números inicial y final; el número del evento final será mayor que el del evento inicial.

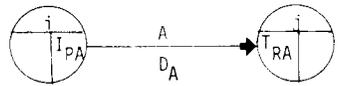
CALCULO DE LA RED

Considere las siguientes condiciones y duraciones: dibujemos la red.

ACTIVIDAD	ACTIVIDADES PRECEDENTES	DURACION SEMANAS
A	-	2
B	A	1
C	A	1
D	A	2
E	B	3
F	C, D	4
G	D	3



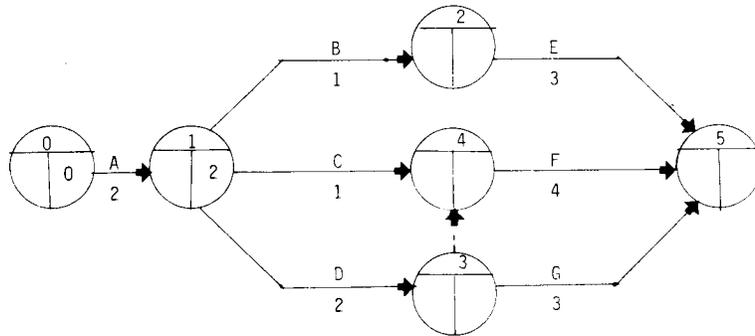
NOTACION



I_{PA} = INICIO PROXIMO A
 T_{RA} = TERMINO REMOTO A
 D_A = DURACION A

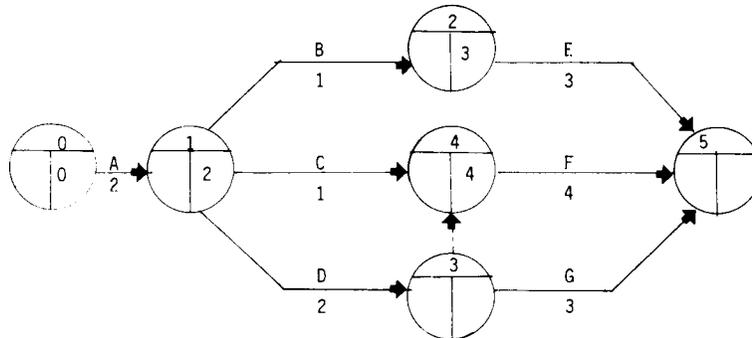
CALCULO DE LA INICIACION PROXIMA DE CADA ACTIVIDAD (I_p)

El evento ① es el "arranque" del programa, consideremos que - una vez iniciado empieza a contarse el tiempo, así la actividad A se concluye una vez transcurrida su duración, para este caso dos - unidades de tiempo. En ese momento podrán iniciarse las actividad des que dependen de A: B, C y D.



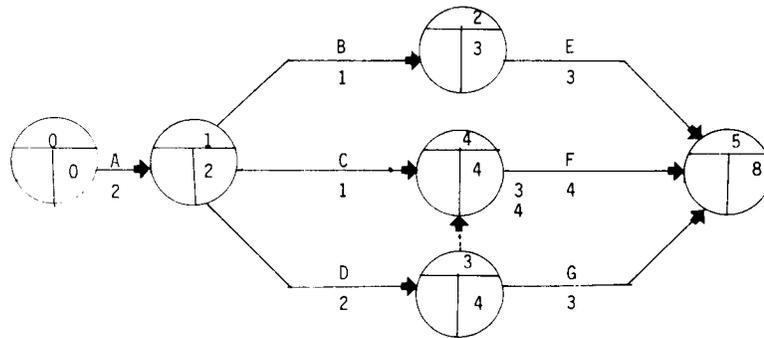
La actividad E podrá iniciarse una vez concluida su precedente B, -
o sea :

Si B se inició a las 2 unidades de tiempo después de iniciado el proceso, B habrá concluido a la tercera unidad de tiempo: $(2+1=3)$ y hasta entonces se podrá iniciar E.



Observemos el evento A: siguiendo la cadena 0-1, 1-4, F se puede iniciar la 3a. semana, pero siguiendo la cadena 0-1, 1-3, 3-4, F podrá iniciarse una vez concluida la actividad 1-3, o sea a la 4a. semana.- dominando la 2a. restricción; deberá registrarse el 4 como iniciación próxima de la actividad 4-5.

Así la red, en cuanto a iniciaciones próximas quedará como sigue:



la cadena A - B - E dura: $2 + 1 + 3 = 6$,

la cadena A - C - F dura: $2 + 2 + 3 = 7$

la cadena A - D - G dura: $2 + 2 + 3 = 7$

la cadena A - D - F dura: $2 + 2 + 4 = 8$

La duración de la obras es de 8 semanas.

La cadena A - B - E termina 2 semanas antes por lo tanto se dice que tiene 2 semanas de holgura. Si se alargara en 2 semanas su duración no se modificaría la duración de la obra, pero esto solamente podría ocurrir excluyendo a la actividad A, que también pertenece a la cadena mas larga (A, D, F),

Lo anterior equivale a que :

B, se inicie con retraso 2 semanas

B puede durar 3 semanas en cuyo caso la duración de esta-cadena sería.

$$2 + (1 + 2) + 3 = 8$$

Perdiéndose la holgura de la cadena o bien, a cambio de lo anterior :

que E se inicie la semana 5

que E dure 5 semanas

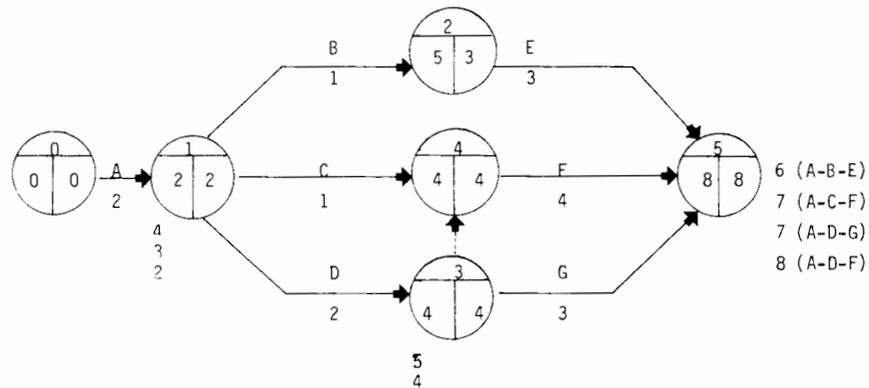
CALCULO DE LA TERMINACION REMOTA (T_R)

En el último evento ⑤, observamos que no tiene sentido hablar de inicio de alguna actividad, puesto que ya no la hay. Sin embargo hemos encontrado que la duración de la obra es de 8 semanas, lo que también significa que aquellas actividades que en el momento terminan no tienen oportunidad de hacerlo después, ello significaría un alargamiento del programa; por lo tanto hemos encontrado la terminación remota de las actividades E, F y G.



Si a esta cantidad restamos la duración de cada actividad habremos encontrado la terminación remota de cada actividad precedente.

Entonces :

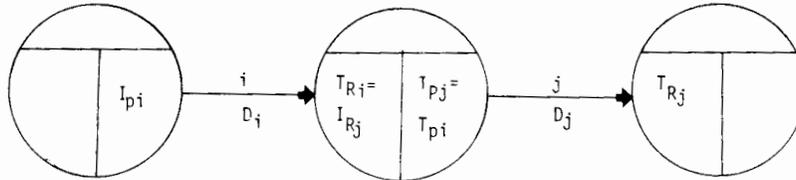
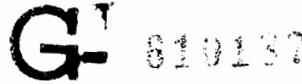




FACULTAD DE INGENIERIA

Observe el evento 3 la terminación remota de D podría ser : -
 8 - 3 = 5 ó bien 4 ya que la duración de la actividad 3 - 4, va-
 le cero. Se elegirá el menor número posible. Lo mismo ocurre en-
 el evento 1 .

Recordemos la notación :



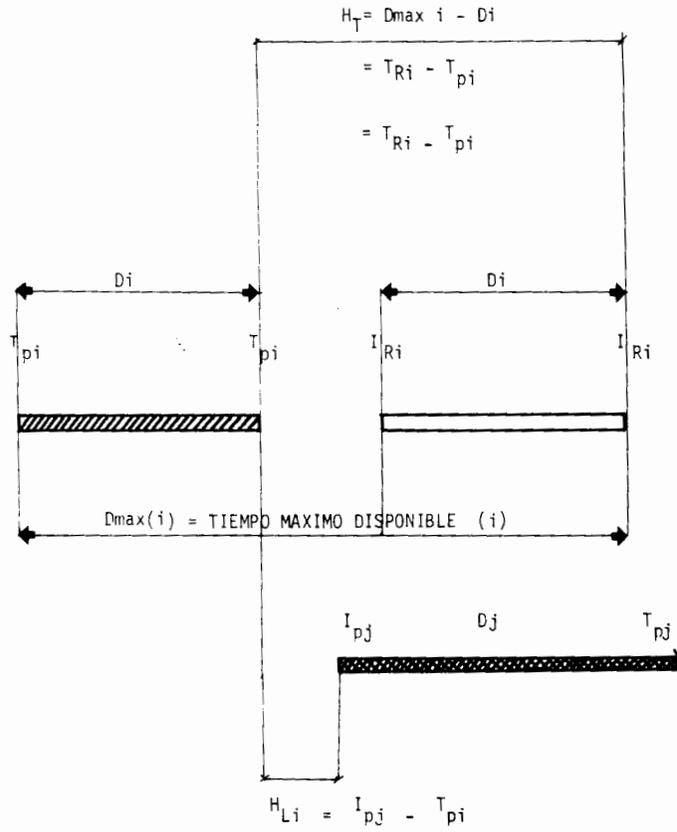
La holgura total de i será la diferencia de su terminación remota-
 menos su iniciación próxima menos la duración de i.

$$HT_i = TR_i - IP_i - D_i$$

HOLGURA TOTAL: es el tiempo que puede desplazarse la iniciación de
 una actividad o alargarse su duración sin que se altere la dura-
 ción del proyecto.

HOLGURA LIBRE: es el tiempo que puede desplazarse una actividad --
 sin que se modifiquen las fechas de inicio de las actividades que
 le siguen en cadena.

$$H_{Ti} = \text{TIEMPO MAXIMO DISPONIBLE} - D_i$$



$$= I_{pj} - (I_{pi} + D_i) = I_{pj} - I_{pi} - D_i$$

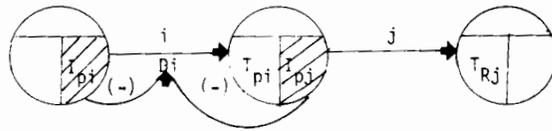
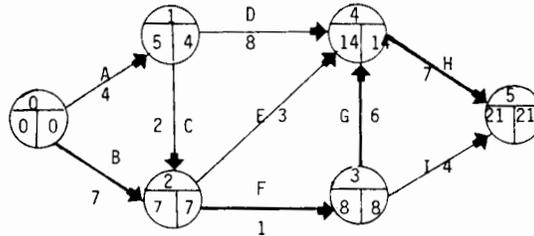


TABLA DE CALCULO DE HOLGURAS :

PRIMER PASO : Se calculan : I_p y T_R de cada actividad.



SEGUNDO PASO : se lleva la tabla siguiente:

1 ACTIVIDAD	2 NOMBRE	3 D	4 INICIA CIONES		5 TERMINA CIONES		8 H_T	9 H_L
			P	R	P	R		
0 - 1	A	4	0	1	4	5	1	0
0 - 2	B *	7	0	0	7	7	0	0
1 - 2	C	2	4	5	6	7	1	1
1 - 4	D	8	4	6	12	14	2	2
2 - 3	F *	1	7	7	8	8	0	0
2 - 4	E	3	7	11	10	14	4	4
3 - 4	G *	6	8	8	14	14	0	0
3 - 5	I	4	8	17	12	21	9	9
4 - 5	H *	7	14	14	21	21	0	0

* **ACTIVIDAD CRITICA :** SON CRITICAS TODAS AQUELLAS ACTIVIDADES CUYA $H_T = 0$

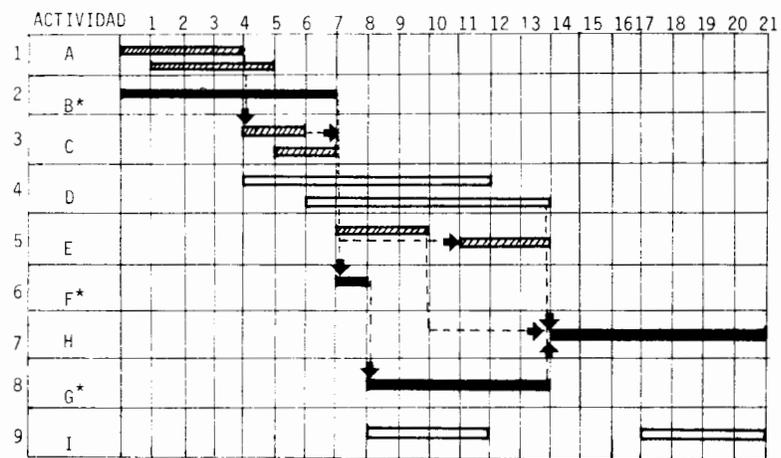
Las columnas 1 , 2 , 3 , 4 y 7 se leen de la Red.

La columna 5 se calcula como la resta de las columnas 7 y 3
 $IR = TR - D$

La columna 6 se calcula como $4 + 3$: $T_p = I_p + D$

La columna 9 se obtiene de la red:

Dibujo del diagrama de barras:



* ACTIVIDADES CRITICAS

Consultemos la cadena crítica para observar que las terminaciones coinciden con el inicio de las actividades subsecuentes, por lo que ninguna actividad tiene holgura.

OBSERVEMOS LA ACTIVIDAD "A"

- 1.) Si usa la Holgura total de "A" (1 semana) la actividad - "C" ya no tendrá Holgura lo anterior porque la Holgura - libre de "A" es cero. En este caso (que equivale a que - "A" tenga una duración de 5 semanas, aparecerá una nueva cadena crítica: A-C-F-G-H.
- 2.) Supongamos que la actividad "A" la ejecuta de acuerdo a - su l_p ; concluye la semana 4. En este caso "C" tiene -- una semana de holgura. Ello no significa que "E" pueda - adelantarse una semana porque tendrá, para poder iniciar - se, que esperar la terminación de "B".
- 3.) Si "C" consume su holgura o si optamos por usar su dura - ción máxima, (3 semanas) la actividad "E" no sufrirá al - teración en sus posibilidades de ejecutarse de la semana 8 a la 10, ó bien de la semana 12 a la 14, ó también - - usar cualquier duración comprendida entre las semanas -- 8 y 14.

ASIGNACION DE RECURSOS

Hemos logrado un programa, finalmente de barras, en el que se han optimizado los tiempos de ejecución y se han respetado aquellas - restricciones involucradas en el proceso constructivo, de recursos disponibles, etc. pero seguramente no ha sido posible tomar - en cuenta todos los factores que intervienen en el proceso.

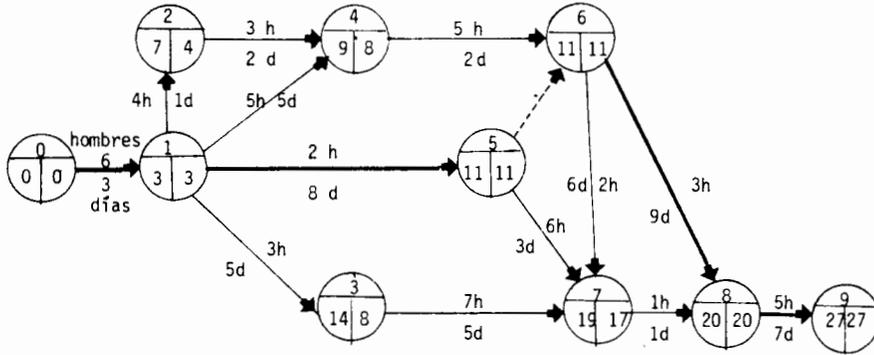
Las barras representan a escala la duración de cada actividad, pero también pueden representar a cada uno de los recursos. Pueden expresarse en términos de dinero, de obreros (en cada una de sus especialidades), de diversos tipos de máquinas, etc.

Si en cada espacio de tiempo anotamos el recurso que queremos analizar, podrán totalizarse sumando todo lo que requiere cada actividad que se ejecute en forma simultánea en el mismo período de tiempo y si su distribución a lo largo de la ejecución no es satisfactoria haremos los corrimientos o alargamientos de las actividades que lo permitan (de acuerdo con las reglas para uso de las holguras) hasta obtener la mejor distribución, evitando picos en las necesidades o logrando hacer el mismo trabajo con un menor número de máquinas, mejor utilizadas, evitando así entradas a ellas a la obra por períodos cortos de tiempo.

No siempre se logran evitar algunas variaciones en la distribución de los recursos, quedando esta posibilidad limitada por la estructuración de las holguras.

EJEMPLO No. 4

Dada la siguiente Red, calcule : I_p , I_R , T_i , T_R , H_T , H_L , Dibuje el diagrama de barras y haga la nivelación de recursos :



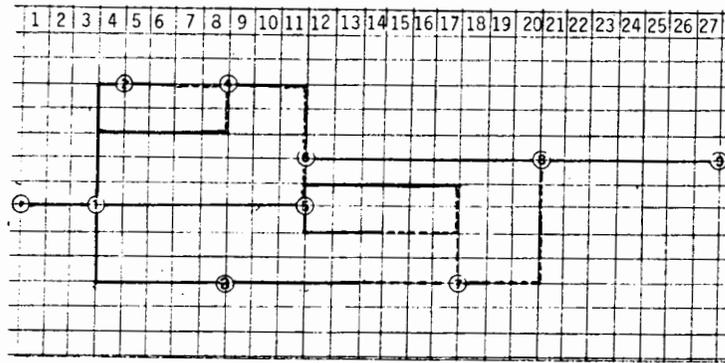
ACTIVIDAD	duración (días)	I _P	T _P	I _R	T _R	H _T	H _L	CRITICA
0 - 1	3	0	3	0	3	0	0	X
1 - 2	1	3	4	6	7	3	0	
1 - 3	5	3	8	9	14	6	0	
1 - 4	5	3	8	4	9	1	0	
1 - 5	8	3	11	3	11	0	0	X
2 - 4	2	4	6	7	9	3	2	
3 - 7	5	8	13	14	19	6	4	
4 - 6	2	8	10	9	11	1	1	
5 - 6	0	11	11	11	11	0	0	X
5 - 7	3	11	14	16	19	5	3	
6 - 7	6	11	17	13	19	2	0	
6 - 8	9	11	20	11	20	0	0	X
7 - 8	1	17	18	19	20	2	2	
8 - 9	7	20	27	20	27	0	0	X

Una presentación útil para el balanceo de recursos es el diagrama de -- proyecto: consiste en dibujar la red a escala, primero usando solamente las Holguras libres:

Como primer paso, dibuje la Ruta crítica, las actividades ficticias se dibujan verticales.

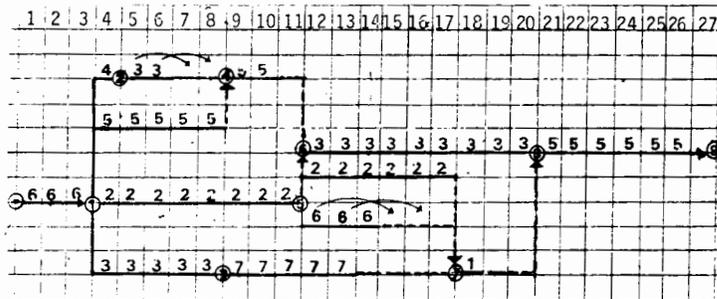
A continuación dibuje todas las cadenas, cuidando no omitir ninguna.

Dibuje a línea llena la Duración y la Holgura libre con una línea discontinua.



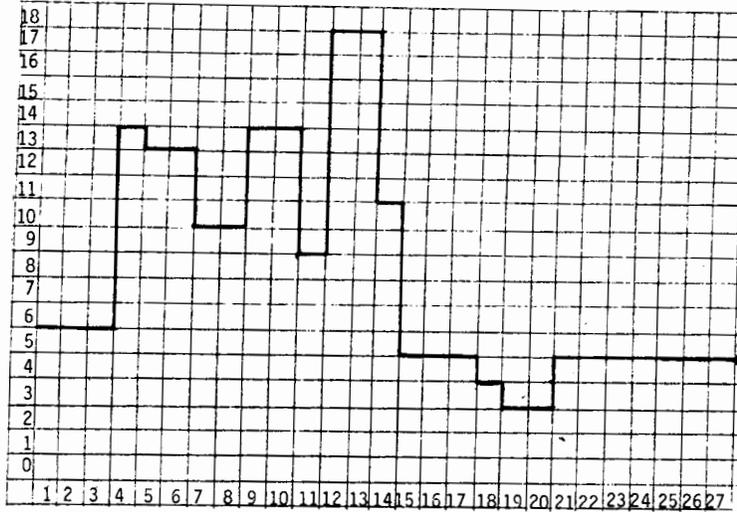
Anote en cada espacio el recurso analizado y obtenga los totales en cada período.

Si su distribución no se satisface, haga uso de las holguras libres e intente una distribución más equilibrada.

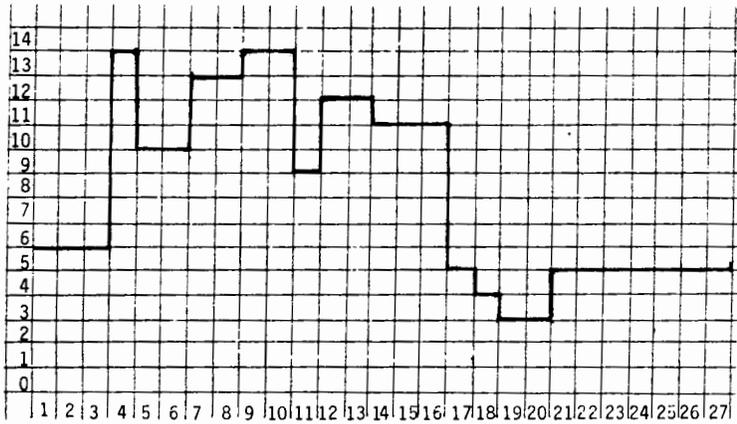


1a. Distribución
2a. Distribución

6	6	6	14	13	13	10	10	14	9	18	12	11	5	5	4	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	14	10	13	13	14	14	9	12	12	11	11	11	5	4	3	3	5	5	5	5	5	5	5



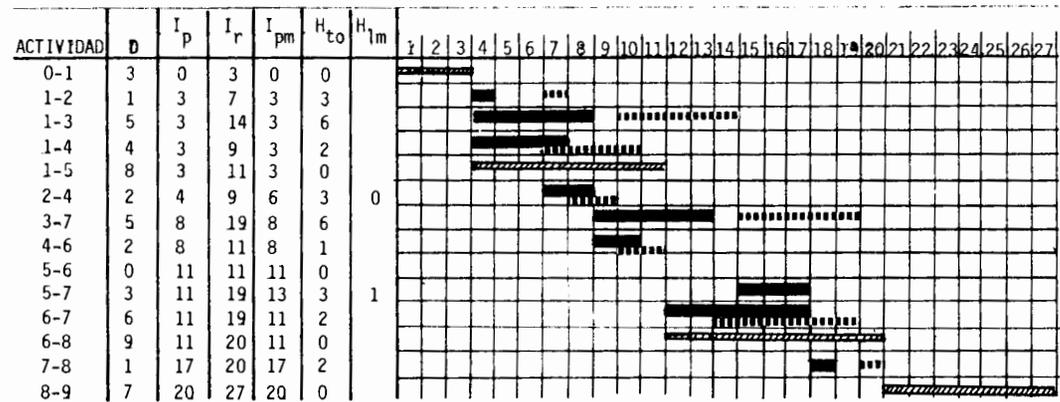
DISTRIBUCION DE PERSONAL INICIANDO TODAS LAS ACTIVIDADES EN SU FECHA MAS PROXIMA.



DISTRIBUCION DE PERSONAL, USANDO SOLAMENTE ALGUNAS HOLSURAS LIBRES:

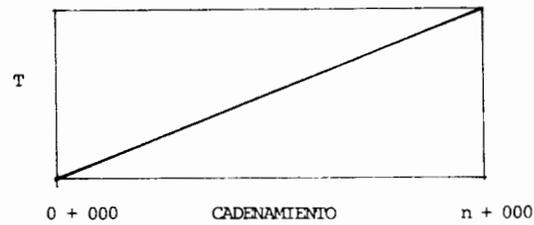
Act. 2-4: $H_L = 2$.- SE USO TODA
 5-7: $H_L = 3$.- SE USARON 2 DIAS

SI LA DISTRIBUCION DE RECURSOS YA LE SATISFACE, CONVIENE DIBUJAR EL DIAGRAMA DE BARRAS, INICIANDO LAS ACTIVIDADES EN IPM: INICIO PROXIMO MODIFICADO, QUE SE HA TOMADO DEL DIAGRAMA DE OBRA. LA HT, EN AQUELLAS ACTIVIDADES DESPLAZADAS PUDO MODIFICARSE, TAL ES EL CASO DE LA ACTIVIDAD 5-7 Y LA HOLGURA LIBRE, SE MODIFICO EN LAS ACTIVIDADES DESPLAZADAS DURANTE EL BALANCEO DE RECURSOS.

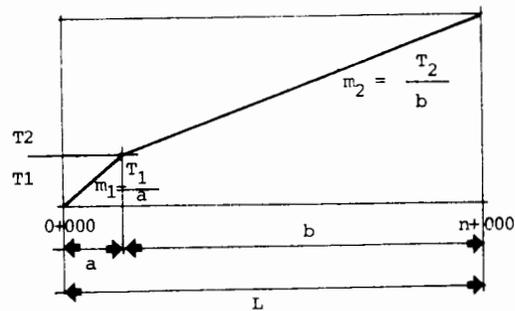


DETERMINACION DEL NUMERO DE FRENTES:

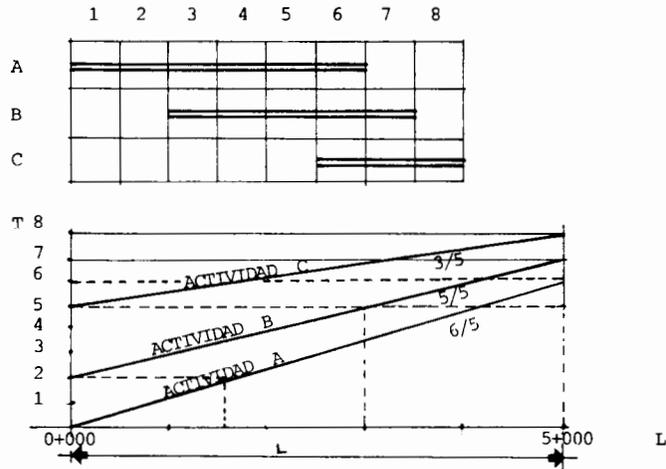
En algunos trabajos como canales, caminos y túneles, es posible analizar el comportamiento de la obra, --graficando el avance programado, registrando en las abcisas el cadenamiento y en las ordenadas el tiempo requerido para su construcción, así si la obra se ejecuta en un solo frente y consiste de una sola actividad y si el rendimiento es constante, su representación será como sigue:



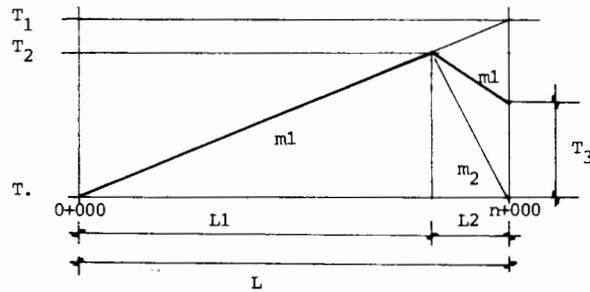
Ahora bien si como es frecuente, al inicio el avance es menor que el avance normal, podemos esperar que se requiera en una cierta longitud de la obra un tiempo mayor -- para la ejecución:



Si consideramos un avance promedio y tomamos 3 actividades estas quedarán representadas en la forma siguiente:



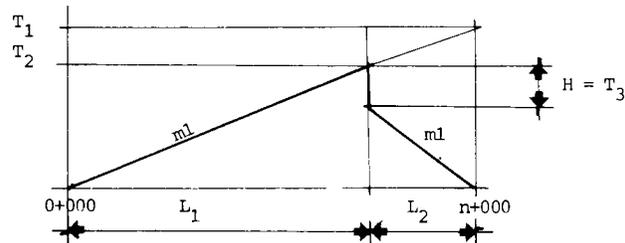
En caso de que se requiera acortar la duración de la obra, podemos aumentar recursos, mejorando rendimientos y conservando un solo frente. También podemos abrir más frentes de trabajo, conservando los avances promedio del primer programa.



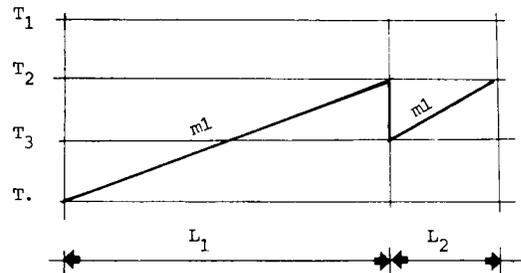
Del diagrama anterior podemos deducir:

- 1).- Si T_z es el tiempo correcto de ejecución debemos abrir un nuevo frente.
- 2).- Si este frente lo establecemos a partir de T_0 , M_2 por ser mayor que m_1 podría resultar más caro (suponemos que m_1 corresponde al avance óptimo).
- 3).- En ese caso conviene posponer la iniciación hasta T_3 .
- 4).- El "cierre de la obra ocurrirá en L_1 .

Otra opción será iniciar en T_0 , conservar m_1 y establecer una holgura entre los frentes 1 y 2.



Los casos analizados han considerado que el sentido del ataque es contrario, pero también puede proponerse hacerlo siempre en el sentido del cadenamamiento:



... y Proyectos

En este caso el nuevo frente se iniciará hasta T_3 y comenzará en L_1 . Finalmente, si así conviene, podrá iniciarse el nuevo frente de construcción en T_0 ó entre T_0 y T_3 .

El razonamiento anterior puede repetirse, según lo pida el tiempo disponible y lo que aquí hemos llamado m o pendiente de avance en tantos frentes como sea necesario.

* La pendiente del avance es el rendimiento promedio o producción promedio, en unidades de obra terminada (VOT) para su cálculo pueden tomarse unidades de longitud o volúmenes por unidad de longitud.

REPORTES DE OBRA.

La duración de cada actividad se ha considerado tomando en cuenta un avance uniforme a lo largo de su ejecución.

En la realidad esto no ocurre, así, por lo tanto es conveniente reconocer que hay fluctuaciones, pero que al final el promedio es como se programó.

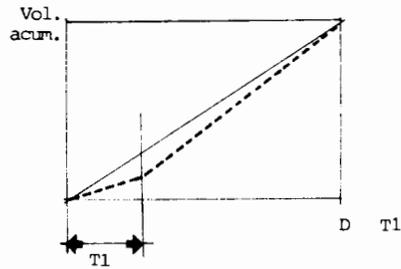


Fig. 1

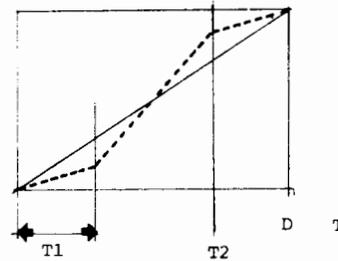


Fig. 2

En los casos que se ilustran, se observa que si al principio se alcanzan avances menores -- que el programado a partir de T1 se tendrán que lograr avances superiores al promedio para que la duración D se conserve. (Fig. 1)

Hay casos (Fig. 2) en que al final se reduce al avance, en relación con el promedio. Entonces entre T1 y T2 el avance será superior al que se requiere en la (Fig. 1) entre T1 y D.

Para poder tomar las decisiones que a cada período correspondan se requiere de un seguimiento permanente del desarrollo de cada actividad. Para ello en el programa de barras requerimos las columnas (2), (3) y (4).

OBRA _____											
FRONTE _____											
FECHA DE LA REVISION _____											
(1)	(2)	(3)	(4)			AVANCE	VOLUMEN	DIAS	DIAS	Vol.	R
ACTIVIDAD	VOLUMEN	D.	Redn. Prom.			%	EJECUTADO	TRANSC.	DISP.	F	NEC.
				P							
				R							
				P							
				R							
				P							
				R							
				P							
				R							
				P							
				R							
				P							
				R							
				P							
				R		(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)

(Fig. 3)

Así mismo, incluir las barras del programa y de los avances registrados así podremos llenar las columnas (5) a la (10).

Es recomendable llevar en paralelo una gráfica de volúmenes acumulados como los ilustrados en las figuras (1) y (2) de este capítulo.

La determinación de los recursos necesarios para el cumplimiento de las duraciones del programa se obtiene de un registro como el que se ilustra :

ACTIVIDADES	VOLUMEN DE OBRA	D.	REND. PROM.	VOL. EJEC. A LA FECHA.	VOL. FALTANTE	DIAS DISP.	REND. OBS.	REND. ESP.	RECURSOS NEC.

COMPRESION DE REDES

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

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

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

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

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

El costo para reducir una actividad por unidad de tiempo, una vez conocidas las duraciones y costos normales y de premura, se determina con la siguiente fórmula :

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

PROCEDIMIENTO PARA LA COMPRESION

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

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

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

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

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

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

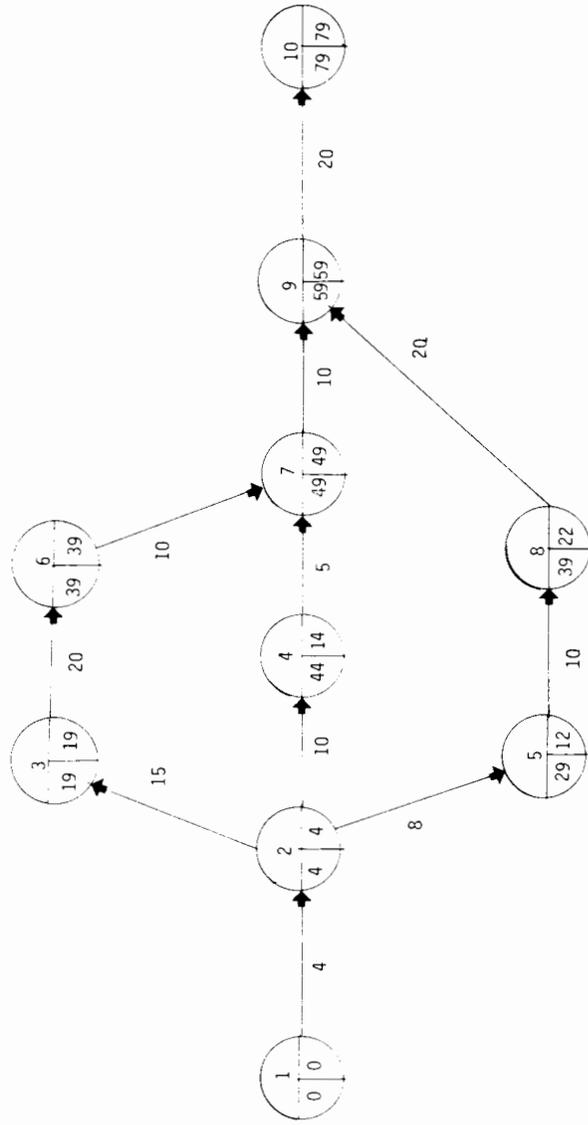
$$\text{COSTO } n = \text{COSTO } n-1 + (\text{COSTO}/\text{día } n) \text{ (No. días acortados)}$$

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

En base a lo anterior, podemos decir lo siguiente:

- a.) La duración mínima de un proceso productivo, resulta cuando todas las actividades en la o las RUTA (S) CRITICA (S) tienen duraciones de premura.
- b.) El costo máximo de ejecución de un proceso cuando la duración de éste es la mínima, resulta de efectuar todas las actividades en condiciones límites de premura.
- c.) Hay muchas duraciones del proceso entre la duración mínima y la duración normal.

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



Para en cual han sido calculados los siguientes datos :

TABLA DE DURACIONES Y COSTOS

Actividad	Dn	Dp	Cn	Cp	Pesos/día
1-2	4	2	100	400	150
2-3	15	10	50	150	20
2-4	10	5	20	100	16
2-5	8	5	20	80	20
3-6	20	10	30	150	12
4-7	5	3	15	105	45
5-8	10	5	5	20	3
6-7	10	5	10	30	4
7-9	10	5	300	700	80
8-9	20	10	200	500	30
9-10	20	10	100	300	20
S U M A S			850	2535	

Costo para terminar la obra en condiciones normales de 79 días:

$$C_n = \$ 850.00$$

La suma de los costos de premura de todas las actividades constituye el costo de ruptura :

$$C_r = \$ 2 535.00$$

Necesitamos acortar nuestro proyecto 30 días, por lo tanto escogemos una de las actividades críticas que salga más bajo su costo por acortar un día, -- por ejemplo la actividad 6-7.

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

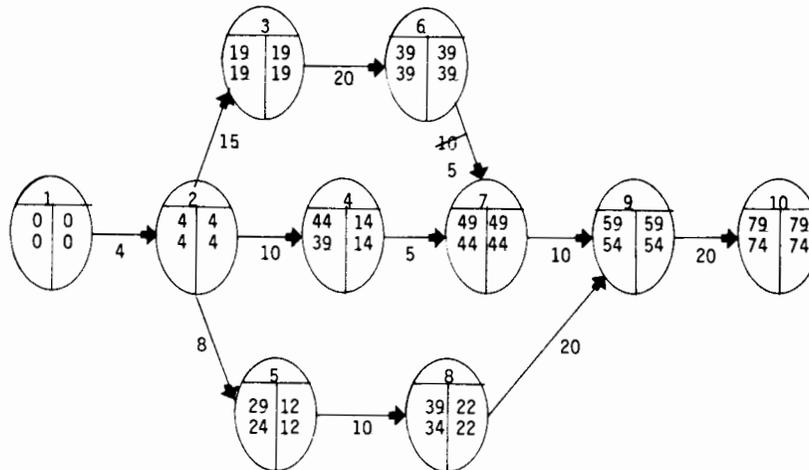
$$C = 850.00 + 4.00 \times 1 = \$ 854.00$$

1a. compresión.- Si la actividad 6-7 la acortamos a su límite, o sea, cinco días:

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

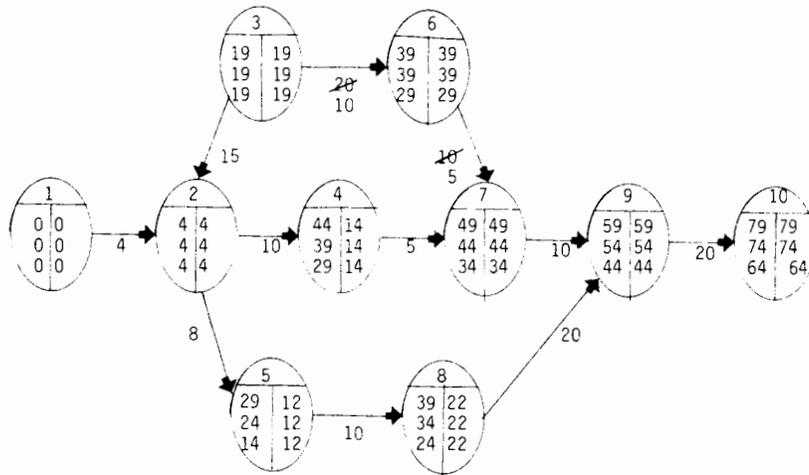
Esta actividad ya no podemos acortarla más pues ya llegó a su duración - de premura.

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

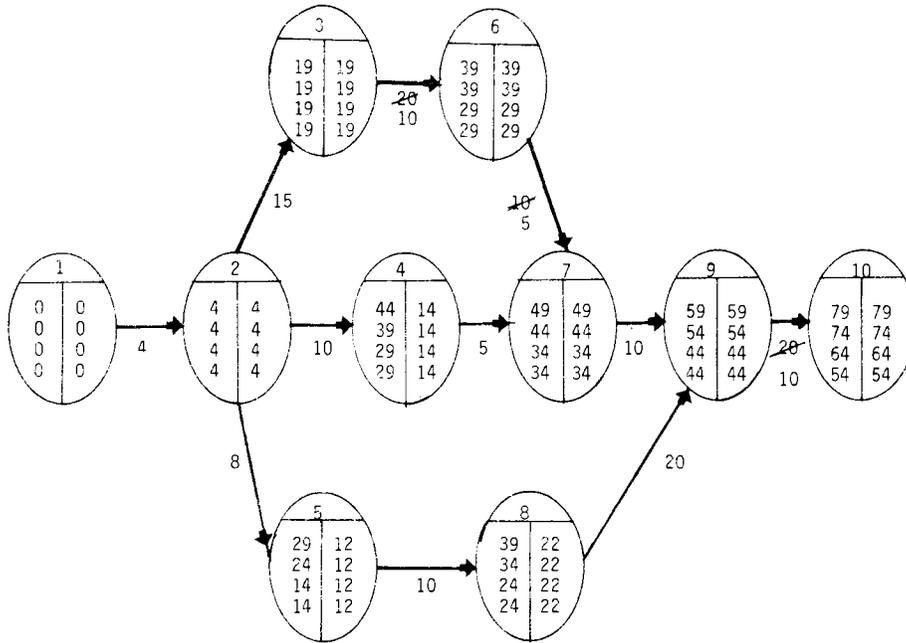


2a. compresión.- La actividad 3-6 puede reducirse 10 días.

El diagrama quedaría :

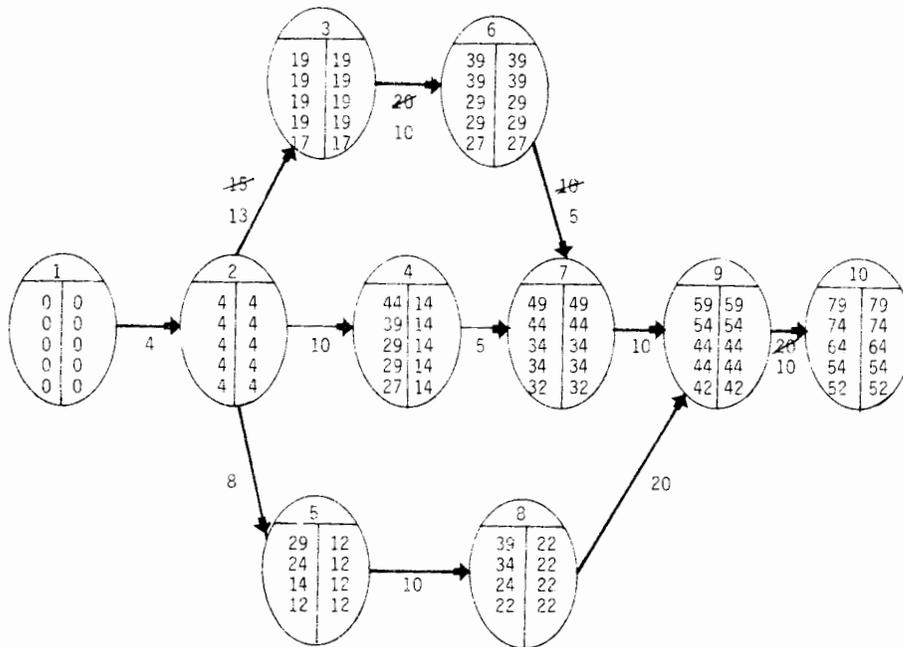


3era. compresión.- Hemos llegado a la duración de premura de las actividades críticas 6-7 y 3-6. Ahora tenemos, que hay otras dos actividades críticas cuyo costo por día acortado es el más bajo de las que quedan en esa cadena; escogeremos - la actividad 9-10 ya que si comprimimos la 2-3 en 5 días se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



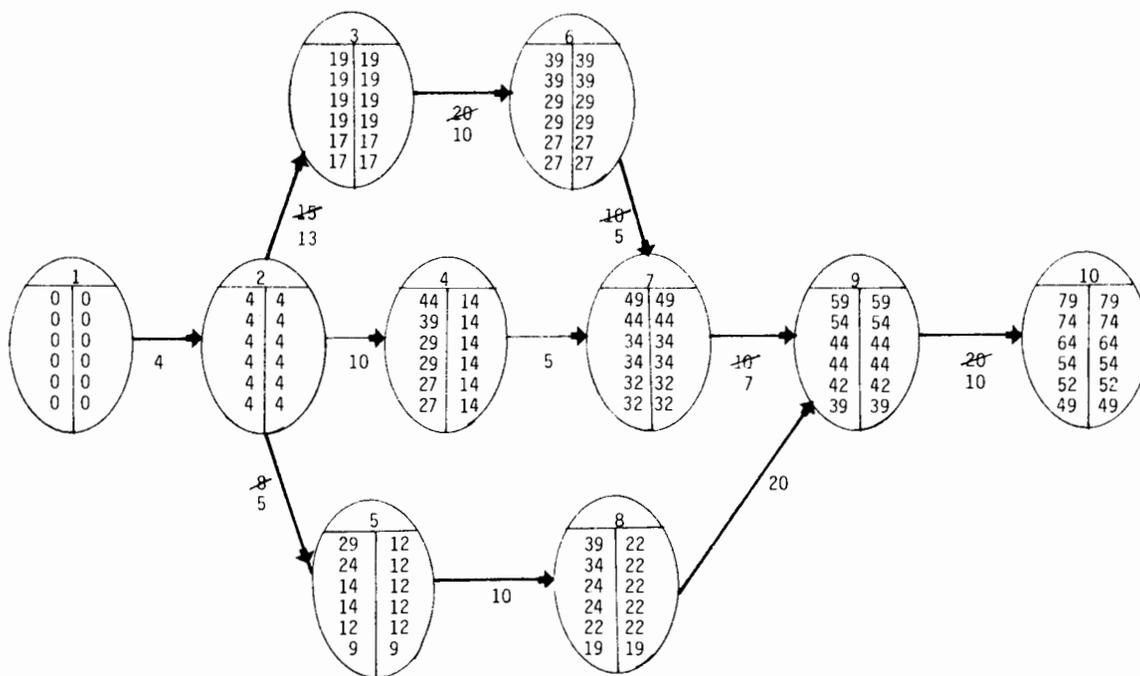
4ta. compresión.- Comprimiaremos la actividad 2-3 en 2 días para no alterar la ruta crítica original.

En esta compresión no se afecta la ruta crítica original, pero se forma otra en la cadena 1-2-5-8-9-10.



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

Por lo tanto, comprimiaremos simultáneamente las actividades 2-5 y 7-9 en tres días. En esta compresión ambas actividades quedarán totalmente comprimidas. El diagrama nos quedaría:



Por lo tanto, con cinco compresiones llegamos a la duración requerida. -
 La compresión de la red se ha terminado, según se ha pedido, y el diagrama final-
 que ha quedado es :

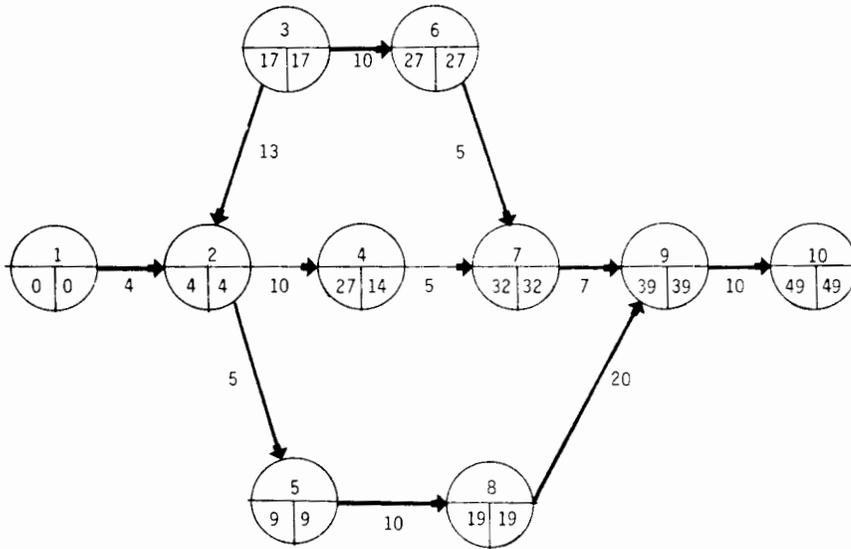


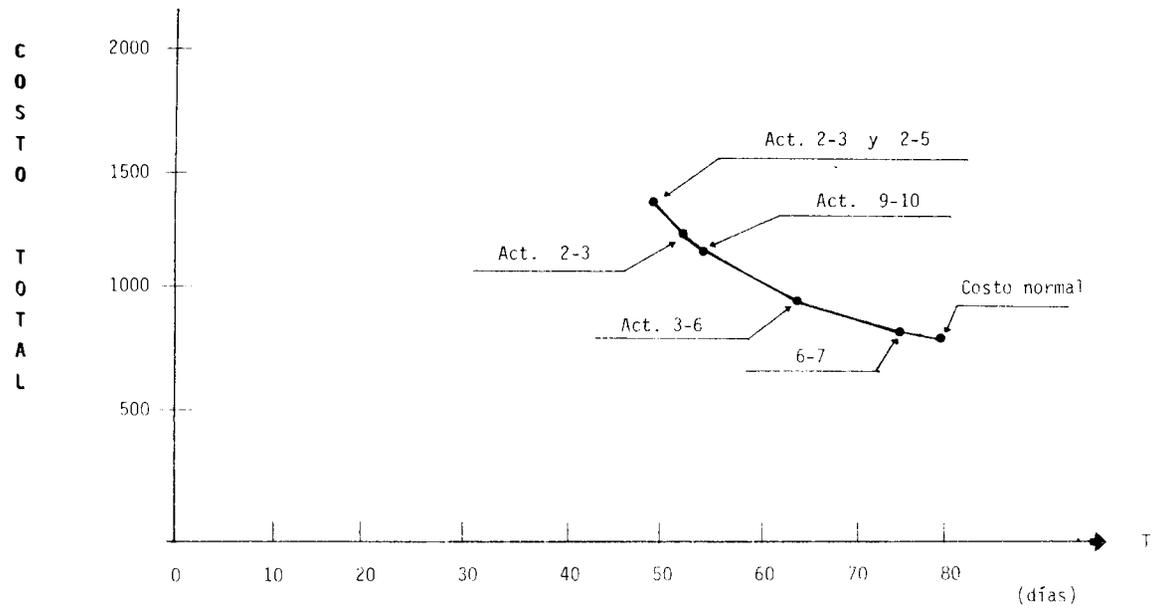
TABLA DE COMPRESIONES

Actividades	Compresiones	Operaciones	Costo Total	Duración acortada
6-7	1a. 5 días	850+4X5	870	79-5 = 74
3-6	2a. 10 días	870+12X10	990	74-10 = 64
9-10	3a. 10 días	990+20X10	1190	64-10 = 54
2-3	4a. 2 días	1190+20X2	1230	54-2 = 52
7-9 y 2-5	5a. 3 días	1230+20X3+20X3	1350	52-3 = 49

Para una duración de 49 días, obtenemos por medio de la compresión de redes un aumento en el costo de \$ 850.00 hasta \$ 1,350.00

COSTO DE PREMURA = 1,350.00

COSTO TOTAL - DURACION



BIBLIOGRAFIA.

METODO DEL CAMINO CRITICO
Catalytic construction company
Ed. Diana - 1970

CRITICAL PATH METHOD
L. N. Morris
Pergamon Press Ltd. - 1967

PROJECT MANAGEMENT
Moder and Phillips
Reinhold Publishing Corporation - 1964

METODOS MODERNOS DE PLANEACION, PROGRAMACION Y CONTROL
Melchor Rodríguez Caballero, Sc. D.
Ed. Limusa Wiley - 1972

ADMINISTRACION Y CONTROL DE PROYECTOS
TOMO I, II y III
Dr. R. L. Martino