



27
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**LA RUTA CRITICA EN LA PROGRAMACION
DE OBRAS**

Ingeniero Civil
LUIS CARLOS CANTU ZURITA



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

C A P I T U L O I

GENERALIDADES

ANTECEDENTES HISTORICOS.-

Los primeros trabajos sobre el C.P.M. (Critical Path Method), método de la ruta crítica, se desarrollaron en enero de 1957, en los Estados Unidos de Norteamérica, y tenían como fin el mejorar las técnicas existentes de Planeación y Programación, Las personas que desarrollaron estos primeros trabajos fueron: M.R. Walker y J.K. Kelly Jr. que a su vez prestaba sus servicios en la Remington Rand, así como el Dr. R. L. Martino de la empresa Mauchly Associates.

Walker fué el autor de la lógica de la técnica, mientras que Kelly formuló y desarrollo el aspecto matemático; el Dr. Martino por su parte trabajó en los refinamientos de la técnica original aplicándola a la reprogramación de obras.

Simultáneamente a estas investigaciones, La Marina de los Estados Unidos en colaboración con el despacho de Consultores Bozz, Allen and Hamilton desarrollaban una técnica similar diseñada para coordinar el proceso de los distintos contratistas y agencias que trabajaban en el proyecto Polaris, esta técnica fué bautizada con el nombre de PERT, que resume las iniciales de: Program Evaluation Reporting Technique (Técnica de Evaluación, Programación y Reporte).

Desde 1958, a partir de la aplicación de éste método en la construcción de una planta química de la Dupont, en la cual se obtuvieron magníficos resultados, la aplicación del método en Estados Unidos y Canadá ha dado logros en la ingeniería, así como en aspectos individuales, comerciales, etc.

En 1959, Catalytic Construction Company, reconociendo el enorme potencial del Método de Camino Crítico en la industria de la construcción, empezó a utilizar ésta técnica en la administración de un proyecto de diseño y construcción de una planta de fenol.

En su forma original, los dos sistemas eran muy similares, con una característica innovadora muy importante: la separación de las funciones de planeación y programación, Ambas técnicas utilizaban diagramas de flechas para indicar las interrelaciones de las distintas actividades componentes del proyecto, culminando con un plan integral y único, lo que permitía una revisión racional por parte del responsable de su ejecución.

EL PERT utiliza tres tiempos de duración, calculados con criterios:

a) Optimista, b) Pesimista, y c) Llamado "mas plausible" y con esto se calcula el tiempo que se espera dure la actividad que se este programando, por lo tanto el tiempo más probable se calcula como:

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

siendo:

T_{pr} Tiempo probable.

T_o Tiempo optimista

T_{pl} Tiempo plausible

T_p Tiempo pesimista

A partir de éste momento, el PERT, es idéntico al método del camino crítico, en el que se utiliza únicamente un tipo de estimación de duración, basado en la experiencia obtenida con anterioridad, o cualquier otro tipo de cálculo basado en procedimientos de construcción, recursos disponibles volumen de obra, calidad, rendimientos, condiciones de la localidad donde se ejecuta la obra, etc.

El método de camino crítico por otra parte, permite estudiar el enlace de tiempo y costo de la ejecución de las actividades y tomar decisiones entre alternativas de diferente duración y costo.

En México, ha sido usado el Método de la Ruta Crítica por diversos organismos, a partir de 1961, entre ellos está la Dirección General de Construcción de Edificios de la Secretaría de Obras Públicas, con excelentes resultados; a partir de 1962 la Comisión Federal de Electricidad lo adoptó para la Planeación, Programación y Control de sus grandes obras. También lo han adoptado otras dependencias gubernamentales y compañías constructoras importantes.

C A P I T U L O I I

REPRESENTACION GRAFICA

SIMBOLOGIA.-

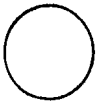
La representación gráfica de cualquier proceso puede llevarse a cabo mediante un diagrama de flechas o red de actividades.

La red se compone de eventos y actividades representadas por círculos y flechas respectivamente; la dirección de éstas últimas indica el flujo del proceso apuntando hacia el objetivo con sus respectivas duraciones.

EVENTO.-

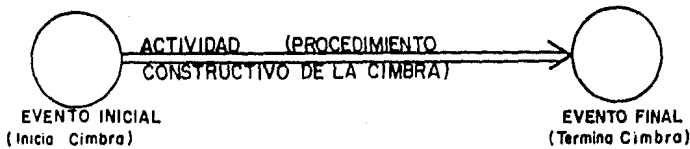
El evento es un momento dentro del proceso que no consume --- tiempo ni recursos: representa la iniciación o la terminación de una actividad.

Los eventos deben sucederse en un orden lógico. La representación común de un evento es mediante un círculo, aunque puede utilizarse cualquier figura geométrica simple como:



... #

Por ejemplo, si en un determinado proceso constructivo tenemos una actividad correspondiente al cimbrado de una losa, los eventos señalarían el inicio y la terminación de esta actividad, esto es:



En resumen el evento:

- Define un punto importante y significativo del trabajo.
- Marca la iniciación o la terminación de una actividad.
- No consume tiempo ni recursos.

ACTIVIDAD.-

Las actividades son la ejecución física de una labor que consume tiempo y recursos. Se representan por flechas y quedan enmarcadas entre dos eventos.

La medida o extensión de una flecha NO indica proporcionalmente el tiempo o el período de duración, como en otros medios de representación por escala.

En el ejemplo que se muestra a continuación la actividad ilustrada con "1-2" consume más tiempo, aunque su longitud es más pequeña que la "1-3"; lo que nos guía es simplemente la anotación numérica de la flecha que en este caso es de 7. "1-3" tiene una duración de 3.

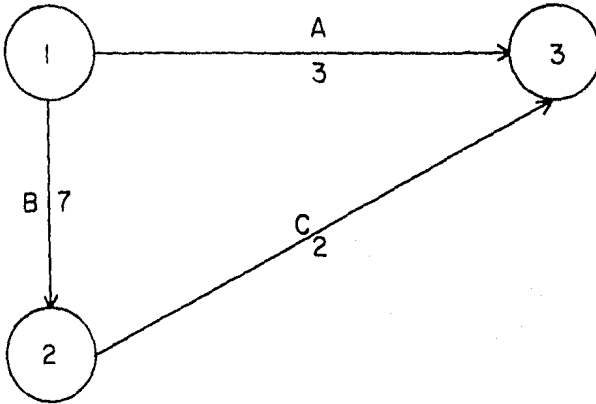


DIAGRAMA 2.1

Así pues, cuando dibujamos las flechas de una red, lo hacemos con la longitud y forma más convenientes para la claridad del diagrama, cuidando únicamente que la dirección de la flecha sea la correcta.

La flecha como expresión gráfica de una actividad se identifica por las claves correspondientes a los eventos iniciales y terminales que limitan su duración como actividad "1-2" y actividad "1-3". también puede asignarse como actividades A, B ó C.

Vale la pena señalar que el evento final de la primera actividad de una secuencia se convierte en el evento inicial de la segunda actividad: así tenemos el caso del evento 2, para las actividades del ejemplo anterior.

En resumen, una actividad:

- Es la realización física de una tarea.
- Constituye la parte dinámica de la red que consume tiempo y recursos.
- Queda enmarcada entre dos eventos.

RED DE ACTIVIDADES.-

El conjunto de actividades constituye una CADENA y el conjunto de cadenas ligadas entre sí constituye la RED O DIAGRAMA.

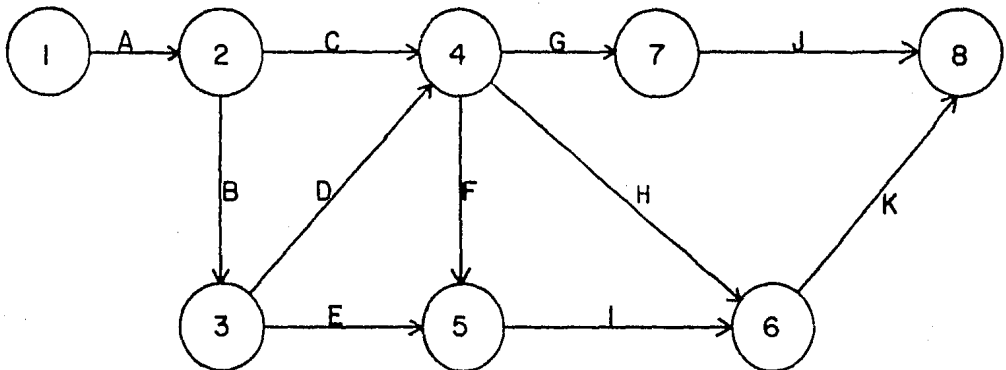


DIAGRAMA 2.2

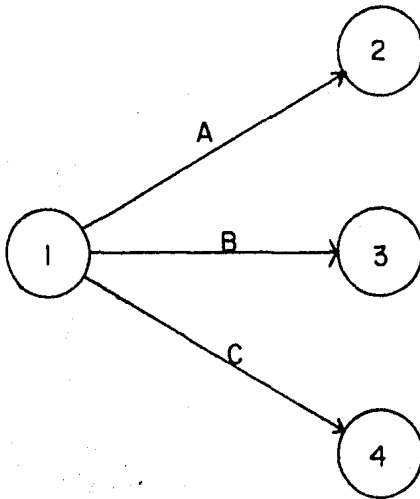
Los eventos que siguen inmediatamente a otros se llaman eventos subsecuentes, y lo mismo sucede con las actividades. En el diagrama 2.1 la actividad C es subsecuente a la actividad B. En otras palabras, para que pueda ejecutarse la actividad C, tiene que haberse ejecutado la actividad B.

Los eventos que están inmediatamente antes de otros se llaman antecedentes o precedentes y los mismo sucede con las actividades. En el diagrama 2.2 el evento 3 es precedente a los eventos 4 y 5 y las actividades C y D son precedentes de las actividades F, G y H.

La precedencia o la subsecuencia de las actividades determinan su interrelación y dependencia; así la actividad H depende de las actividades C y D y la actividad K depende de las actividades H e I, mientras que A no depende de nada.

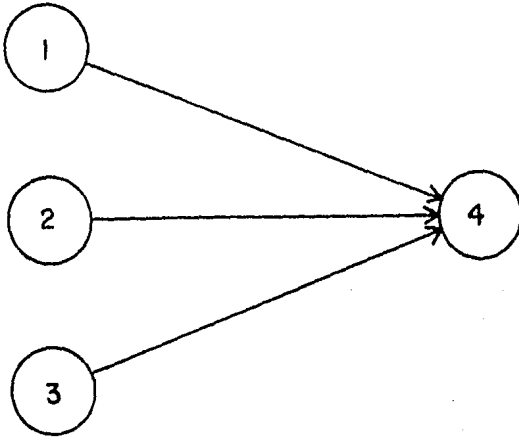
Durante la elaboración de una red, podemos distinguir ciertos casos en la ejecución de actividades tales como:

- ACTIVIDADES QUE PUEDEN REALIZARSE SIMULTANEAMENTE:

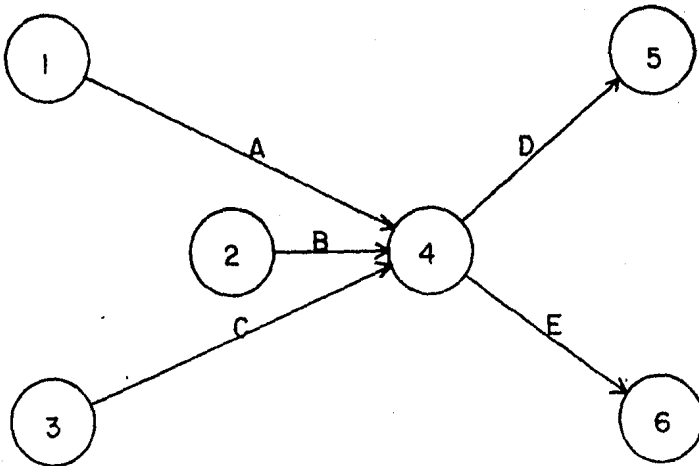


... #

- ACTIVIDADES QUE PUEDEN TERMINARSE SIMULTANEAMENTE:

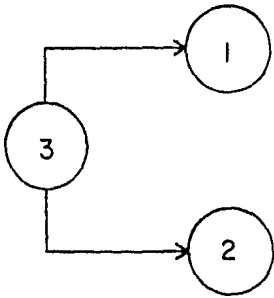


- ACTIVIDADES QUE PUEDEN INICARSE DESPUES QUE TERMINEN TODAS LAS PRECEDENTES.

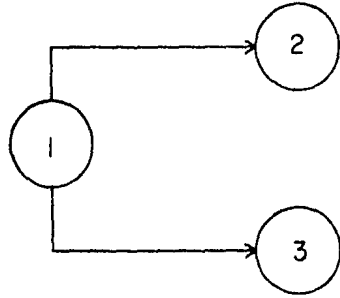


... #

- Es conveniente conservar la numeración progresiva según el desarrollo lógico de la red.



INCORRECTO



CORRECTO

- En ocasiones, la lógica del proceso representado puede requerir la concurrencia de dos o más actividades entre eventos comunes, provocándose una confusión de identidad.

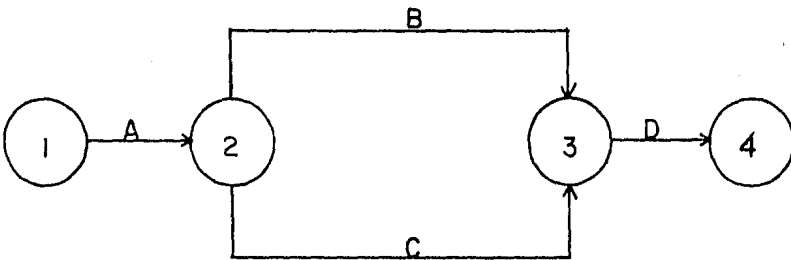


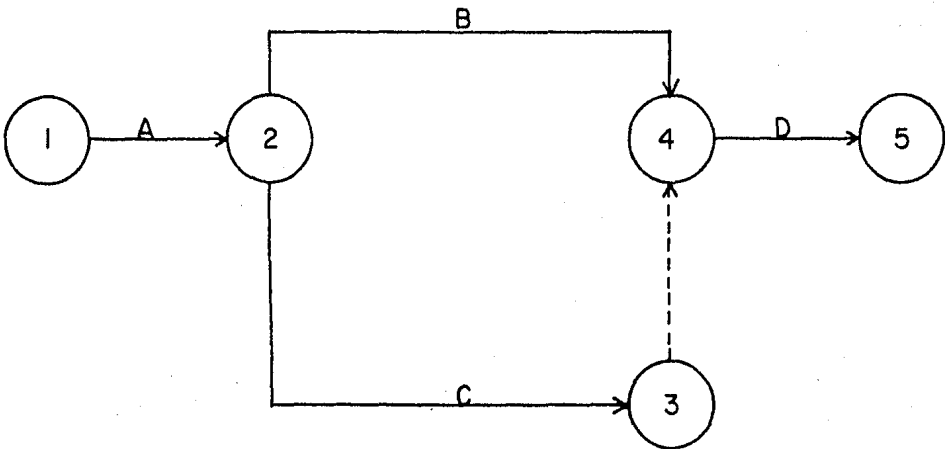
DIAGRAMA 2.3

... #

En el caso anterior, al hablar de la actividad 2-3 queda en du da si nos referimos a la actividad B ó a la C.

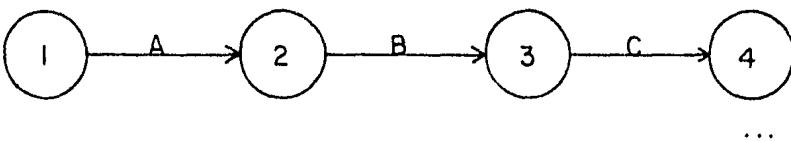
Para obviar este inconveniente se introduce una actividad que no consume tiempo ni recursos. Dicha actividad recibe el nombre de actividad FICTICIA y se representa por una línea discontinua (- - -).

Así en el ejemplo anterior, haciendo uso de una actividad ficticia el diagrama de flechas resulta:



Otra aplicación de la actividad ficticia, es cuando se requiere liberar la dependencia de ciertas actividades.

Suponiendo un proceso compuesto por tres grandes actividades:

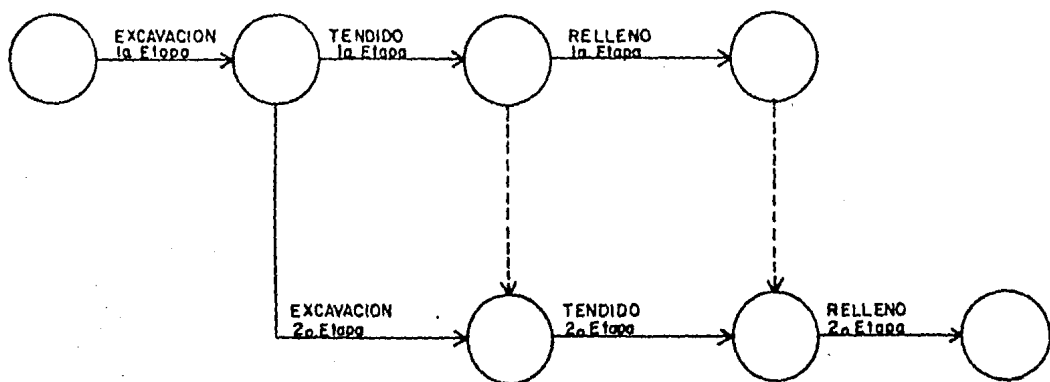


Como ya hemos notado, la actividad B no se puede realizar sin- antes haber finalizado A, ni C puede llevarse a cabo sin haber terminado B.

Sin embargo, pensemos en un proceso tal como el tendido de tuberfa en el que las actividades mencionadas fueran excavación (A), tendido de tuberfa (B) y relleno de zanja (C).

Para un tramo de cierta longitud serfa ilógico pensar en terminar la totalidad de la excavación para ejecutar el tendido, y la totalidad del tendido para proceder a rellenar.

Si consideramos cada actividad compuesta por dos etapas, se -- tendrfa:



Como se observa en esta secuencia, se han tenido que utilizar dos actividades ficticias para cumplir con la lógica del programa.

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

- 1.- Qué actividades preceden inmediatamente a la ejecución de Esta?
- 2.- Qué actividades deben llevarse a cabo inmediatamente después de realizar esta actividad?
- 3.- Qué actividades pueden realizarse al mismo tiempo?

... #

Una manera práctica de visualizar la interdependencia de actividades es mediante la construcción de la llamada MATRIZ DE -- PRECEDENCIAS.

En esta matriz se escriben los conceptos de todas las actividades que forman el proceso, una en cada renglón y una en cada columna formando casilleros, es decir, si son "n" actividades que corresponden a "n" columnas y a "m" renglones, darán por lo tanto "nm" casilleros (ver tabla 1).

REGLAS PARA LA FORMACION DE LA MATRIZ DE PRECEDENCIAS.-

- 1.- Analizar la actividad correspondiente a cada renglón y determinar qué actividades pueden realizarse "inmediatamente después" de terminada la actividad en cuestión: para esto se recorre el renglón examinando las columnas de la tabla y colocando una "X" en los casilleros de las columnas que corresponden a las actividades que pueden efectuarse "inmediatamente después".
- 2.- Analizar la actividad correspondiente a cada columna y determinar que actividad o actividades deben realizarse "inmediatamente antes" de poder iniciar la actividad en cuestión; para esto se recorre por la columna de cada actividad y se coloca una "X" en los casilleros de los renglones correspondientes a las actividades que deben ejecutarse -- "inmediatamente antes".

La aplicación de las dos reglas anteriores puede hacerse en -- cualquier orden; a veces resulta más sencillo definir cuáles -- son las actividades inmediatamente siguientes a otras, o sea, la aplicación de la primera de las reglas, pero en todo caso -- es cuestión de comodidad al aplicar la primera o la segunda como inicio del proceso.

El último paso es una revisión aplicando cuidadosamente las 2 reglas anteriores.

... #

Debe quedar completamente claro que esta matriz ayuda al programador a - visualizar situaciones de secuencia y presentación de la red. Las anotaciones que se hagan en tal matriz quedan a discreción del programador -- sin olvidar que esta es solamente un papel de trabajo.

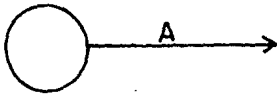
ACTIVIDADES INMEDIATAS PRECEDENTES \ ACTIVIDADES INMEDIATAS SIGUIENTES	PREPARATIVOS	EXCAVACION	CIMENTACION	ESTRUCTURA DE CONCRETO	MUROS DE TABIQUE	MONTAJE ESTRUCTURA ACERO	FABRICACION ESTRUCTURA	ENTREGA LAMINA ASBESTO	FABRICACION HERRERIA	COLOCACION HERRERIA	COLOCACION LAMINA ASBESTO	COLOCACION VIDRIOS	INSTALACION ELECTRICA	APLANADO DE MUROS	RELLENO Y COMPAC. PISOS	PISOS DE CONCRETO	PINTURA	LIMPIEZA
PREPARATIVOS	X																	
EXCAVACION		X																
CIMENTACION			X															
ESTRUCTURA DE CONCRETO				X	X													
MUROS DE TABIQUE									X			X	X					
MONTAJE ESTRUCTURA ACERO												X	X					
FABRICACION ESTRUCTURA						X												
ENTREGA LAMINA ASBESTO								X										
FABRICACION HERRERIA									X									
COLOCACION HERRERIA											X							
COLOCACION LAMINA ASBESTO																X		
COLOCACION VIDRIOS													X				X	
INSTALACION ELECTRICA													X					
APLANADO DE MUROS																	X	
RELLENO Y COMPAC. PISOS																X		
PISOS DE CONCRETO																	X	
PINTURA																		X
LIMPIEZA																		

Como ejemplo, elaboramos la red que representa el conjunto de actividades siguientes:

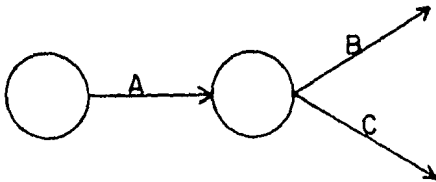
- 1.- A es la primera actividad del proyecto y no depende de nada.
- 2.- Las actividades B y C se inician simultáneamente y dependen de la realización de A.
- 3.- D y E dependen de B y se inician simultáneamente.
- 4.- F depende de C.
- 5.- G depende de D, E y F.
- 6.- H depende de E y F.
- 7.- I depende de E y F y se inician simultáneamente con H.
- 8.- J depende de G y H.
- 9.- K depende de I y junto con J es la actividad final del proyecto.

REPRESENTACION GRAFICA:

- 1.- A no depende de nada.

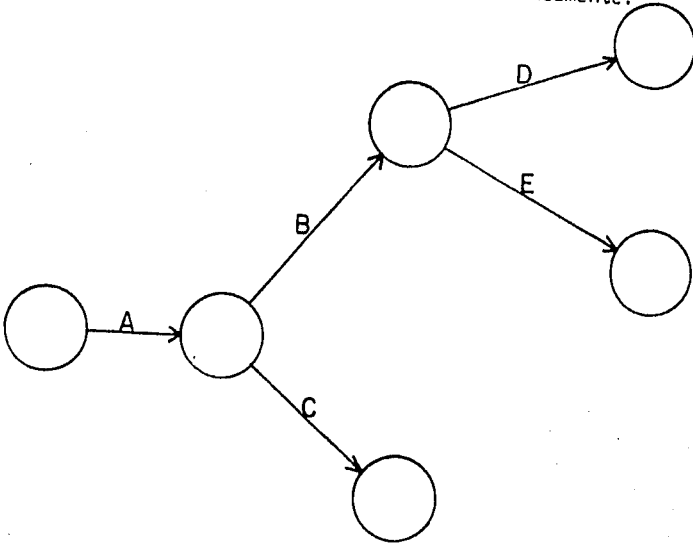


- 2.- Las actividades B y C se inician simultáneamente y dependen de la realización de A.

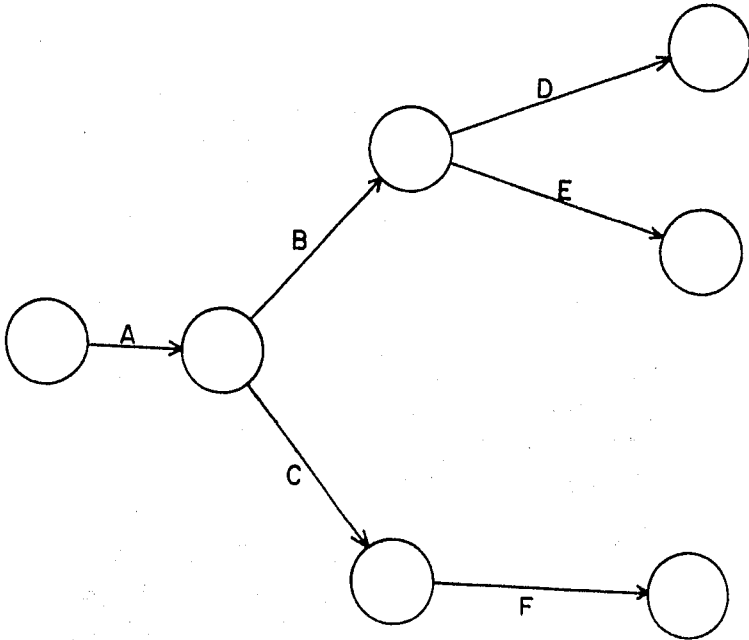


... #

3.- D y E dependen de B y se inician simultáneamente.

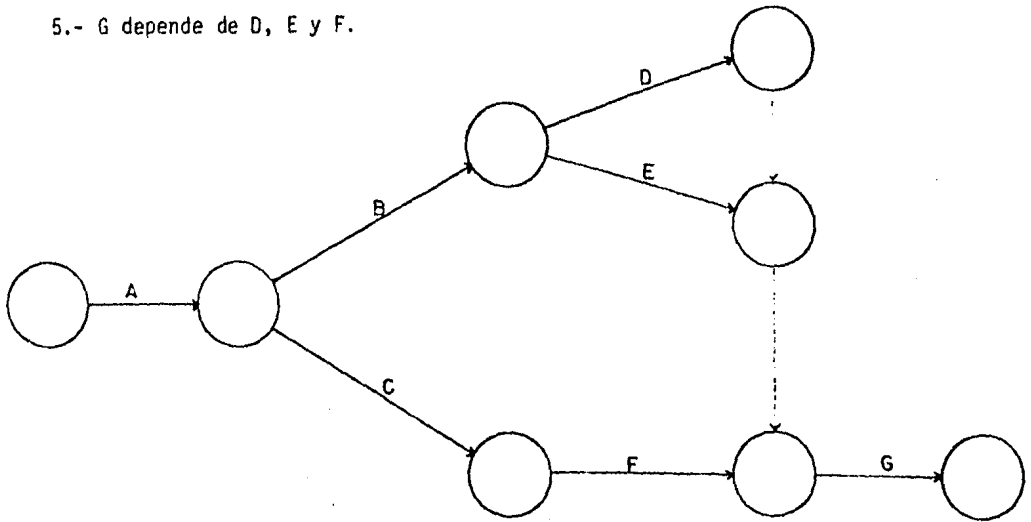


4.- F depende de C.

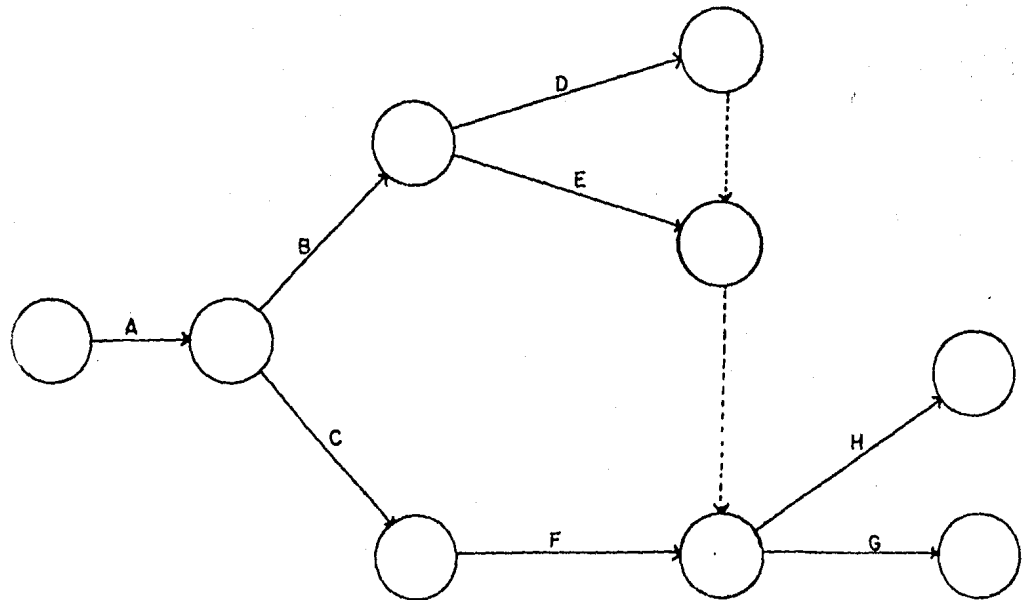


... #

5.- G depende de D, E y F.

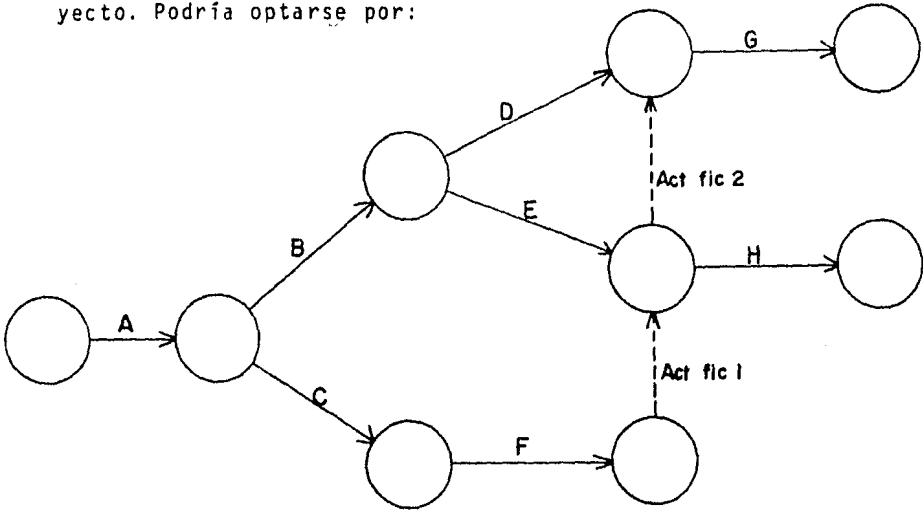


6.- H depende de E y F.

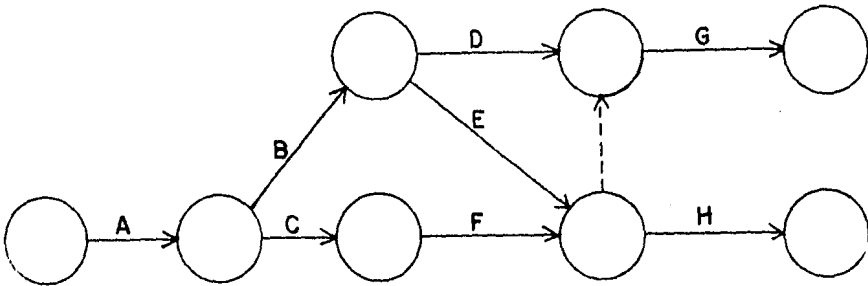


... #

Atención.- tal como se ha dibujado H. depende tambien de D, - lo cual no es correcto porque no es una restricción del proyecto. Podría optarse por:

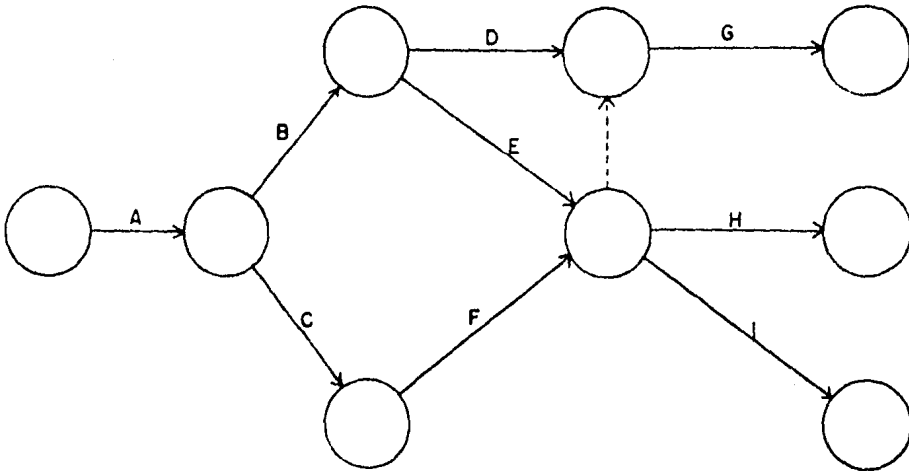


En esta representación, que es correcta; nos damos cuenta que la actividad ficticia número 1 NO tiene razón de ser. Por lo tanto, la sexta instrucción resulta:

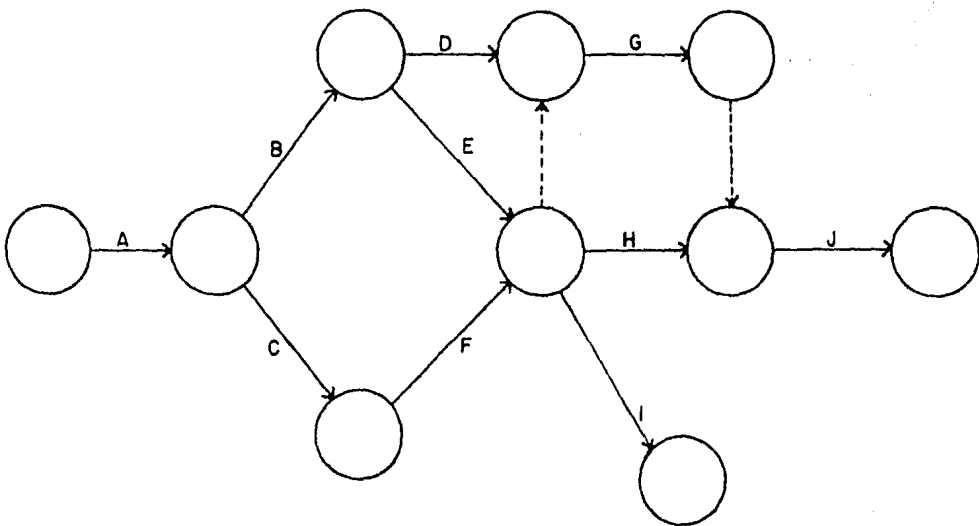


... #

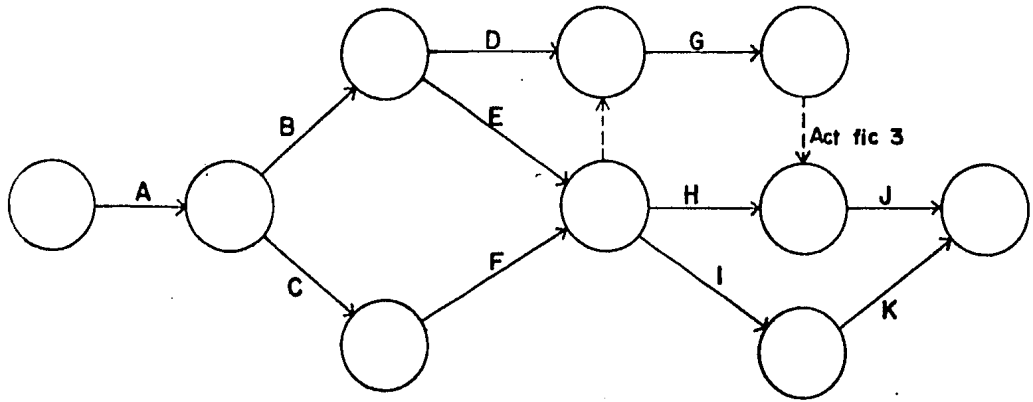
7. I depende de E y F y se inician simultáneamente con H.



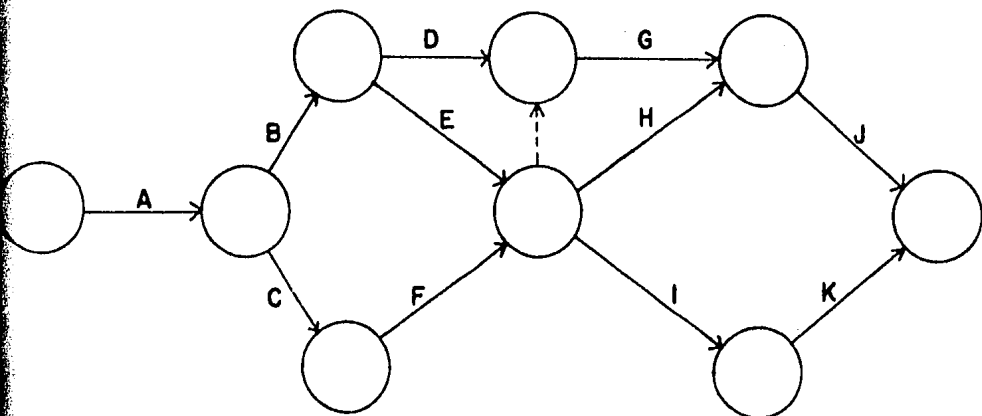
8. J. depende de G y H.



9. K depende de I y junto con J es la actividad final del --- proyecto.



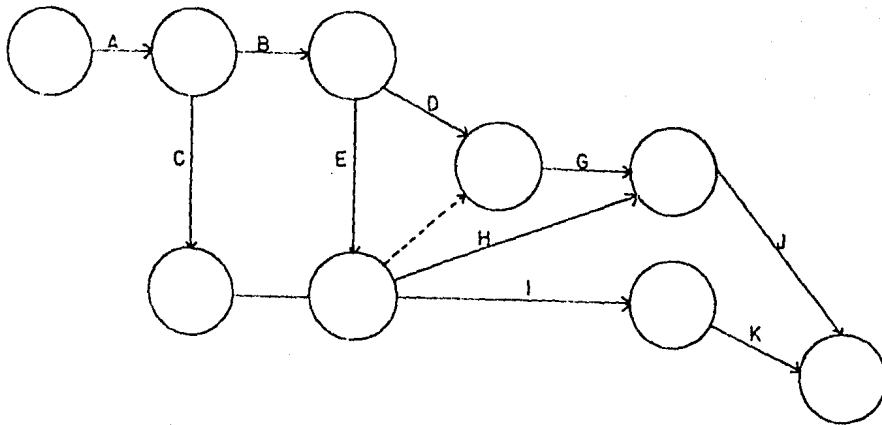
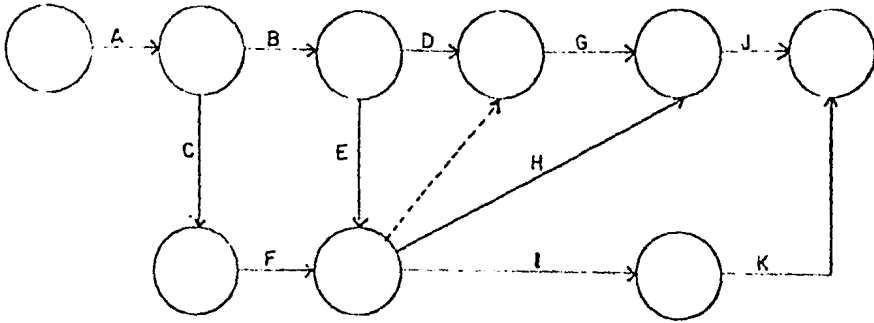
Al igual que en la instrucción sexta, nos damos cuenta que la actividad ficticia número 3 no es necesaria, por lo que la -- red queda representada finalmente de la siguiente manera:



... #

Hasta aquí, se ha presentado exclusivamente la logística del - proyecto, sin embargo, se requiere de más información para uti - lizar el diagrama de flechas como elemento de programación y - control.

Evidentemente el aspecto geométrico de la red puede variar de - acuerdo a la colocación de los eventos.



C A P I T U L O I I I

CONSTRUCCION Y CALCULO DE LA RED

SIMBOLOGIA.-

Habiendo definido en el capítulo anterior los elementos que integran la red de actividades, adoptaremos en el siguiente capítulo la simbología que a continuación se indica:

EVENTO



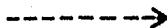
Significa iniciación o terminación de una actividad.

ACTIVIDAD



Consumo de tiempo y recursos. Significa la ejecución de una labor.

ACTIVIDAD FICTICIA



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



CADENA DE ACTIVIDADES:



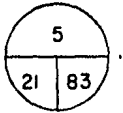
- \xrightarrow{A} es precedente de \xrightarrow{B}
- \xrightarrow{B} es subsecuente de \xrightarrow{A}
- \xrightarrow{B} depende de \xrightarrow{A}
- ② evento final de \xrightarrow{A}
- ② evento inicial de \xrightarrow{B}

... #

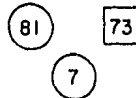
El círculo generalmente se utiliza como la representación gráfica de un evento, aunque diferentes autores prefieren utilizar su propia simbología para marcar el tiempo de inicio y de terminación. Estos datos son los que siempre acompañan al símbolo, por ejemplo:

$$\frac{81}{97} \\ \hline 7$$

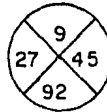
RODRIGUEZ CABALLERO



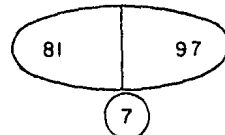
R.L.MARTINO



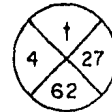
TERCERO



WHATTINGHAM



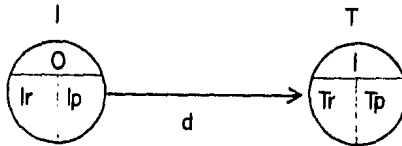
ANTILL & WOOD H.



SCHJETMAN

CALCULO DE LA RED.-

Consideremos la actividad 0-1 del siguiente diagrama:

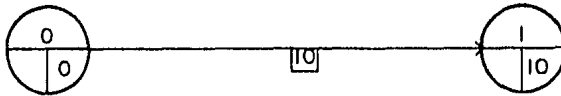


Donde:

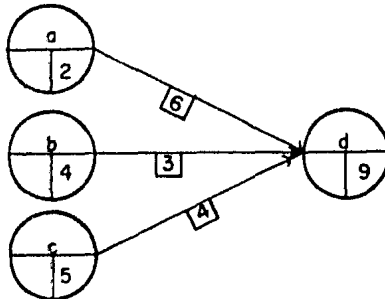
- I evento inicial
- T evento final
- lp tiempo de iniciación más próximo a la actividad
- lr tiempo de iniciación más remoto de la actividad
- Tp tiempo de terminación más próximo a la actividad
- Tr tiempo de terminación más remoto de la actividad
- d duración de la actividad

... #

Si previamente se ha tenido cuidado de anotar la duración estimada para todas las actividades, la fecha de terminación más próxima de cualquiera de ellas, será simplemente igual a su fecha de iniciación más la duración correspondiente.



Por supuesto la terminación más próxima de la actividad 0-1 -- se convierte en la iniciación más próxima de la actividad o actividades que le siguen. Cuando varias actividades concurren en un solo evento, la terminación próxima que deberá considerarse será la cantidad mayor que resulte de sumar las diferentes fechas de iniciación con sus duraciones respectivas, esto es:

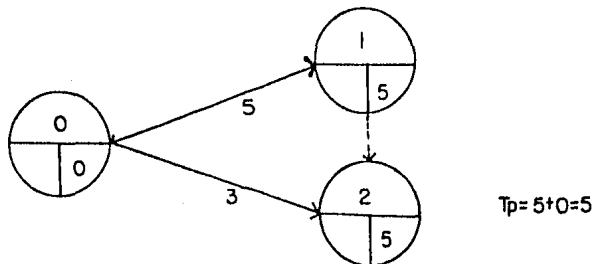


$$T_p = 5 + 4 = 9$$

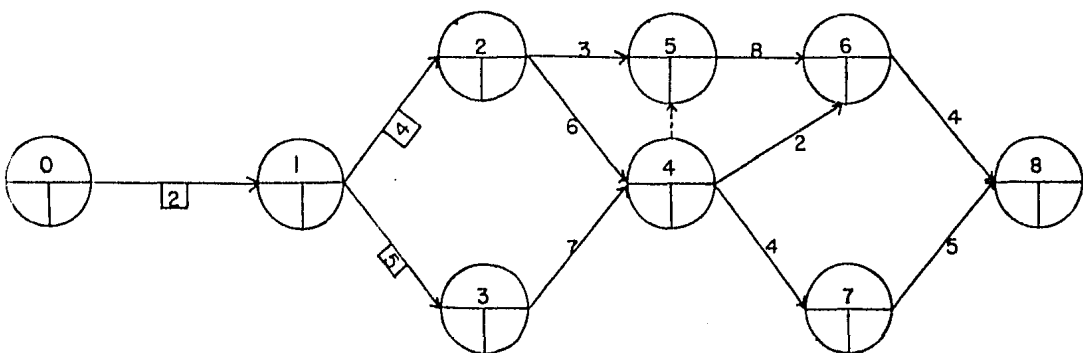
El hecho importante de este ejemplo, es que las actividades -- que se inician en el evento "d" no pueden llevarse a cabo antes de la fecha 9 aunque por los otros caminos "ad" y "bd" se termine con anticipación (8 y 7 respectivamente); luego la ruta "cd" es la crítica y la condicionante para esta parte del proceso. Los otros dos caminos tendrán cierta holgura con respecto a la fecha 9 de ejecución (1 y 2 semanas respectivamente).

... #

Otro caso particular es cuando se tiene la presencia de una actividad ficticia, misma que deberá tratarse para este efecto como una actividad normal con duración igual a cero:

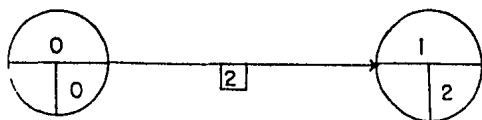


Refiriendonos al diagrama 3-1 que a continuación se muestra con sus duraciones correspondientes, calculamos las fechas próximas de iniciación y terminación:



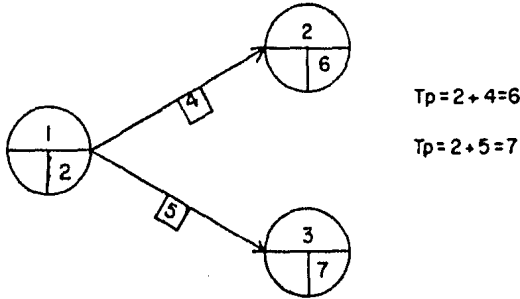
Analicemos paso a paso la secuencia de cálculo; para la actividad 0-1:

$$T_p = 0 + 2 = 2$$

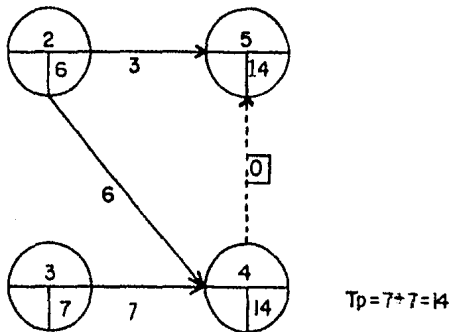


... #

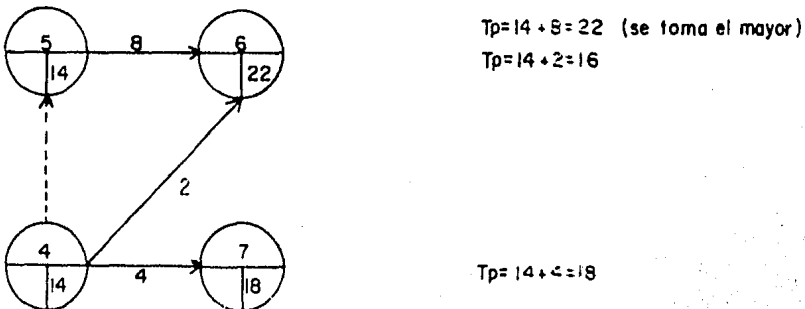
La terminación próxima de la actividad J-1 se convierte en la iniciación de la actividad 1-2 y 1-3:



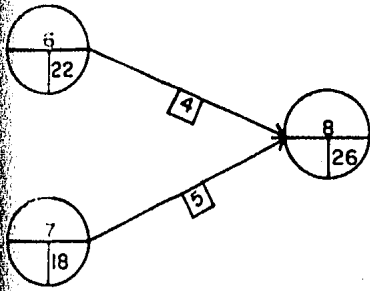
De igual manera se procede para obtener las fechas de los eventos 4 y 5:



Como hemos observado se llevará el mismo proceso para toda la red, tomando la cantidad mayor cuando concurren 2 o más eventos.



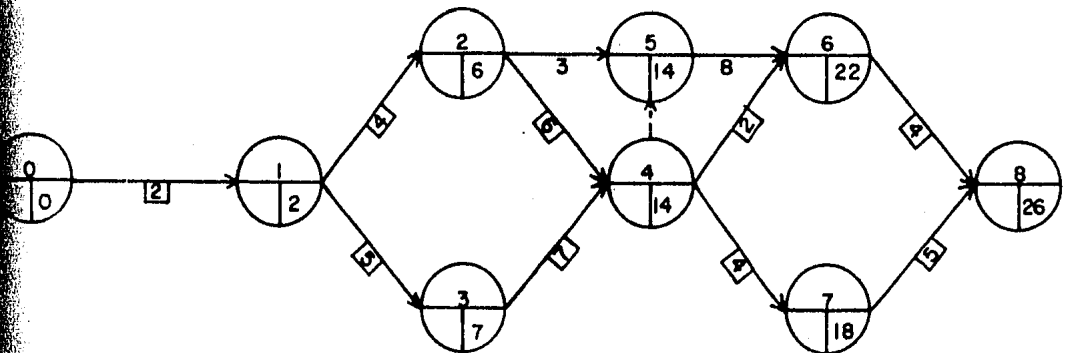
Al termino de la red:



$$Tp = 22 + 4 = 26 \text{ (se toma el mayor)}$$

$$Tp = 18 + 5 = 23$$

Los tiempos próximos de terminación resultan finalmente:



... #

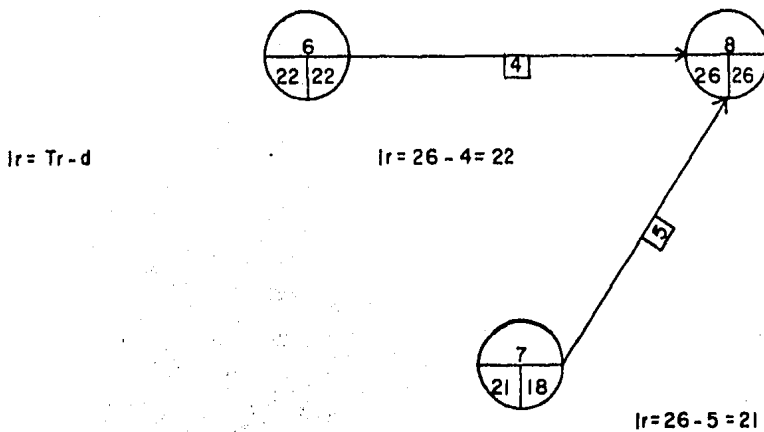
CALCULO DE LOS TIEMPOS REMOTOS DE INICIACION Y TERMINACION.-

Al terminar el cálculo en el inciso anterior, hemos determinado que la duración del proyecto será de 26 días.

Esta terminación próxima deberá corresponder, para no retrasarnos en la ejecución del proyecto, al tiempo remoto de terminación.

Por lo tanto en el evento final: $Tr = Tp$

Refiriendonos a la misma red, el cómputo de las tiempos límites se efectúa "regresandose" del evento final o meta hacia el inicio del programa, utilizando la fecha 26 obtenida anteriormente. La operación consiste en restar las duraciones de cada una de las actividades de los eventos que las anteceden, determinándose primeramente los tiempos de aquellos eventos donde se hace una sola actividad y anotando la cantidad menor cuando se tengan dos o más resultados posibles.



... #

En la figura anterior se presenta la determinación de los eventos 6 y 7 cuyo resultado es simplemente:

$$(26-4)=22$$

$$(26-5)=21$$

En seguida para el evento 5, se tiene que: $Ir = 22-8=14$

En el evento 4 nacen 3 actividades: 4-5, 4-6 y 4-7

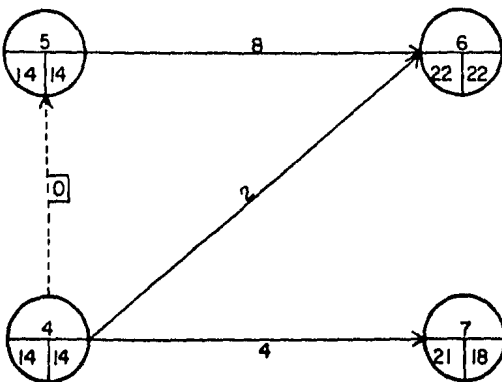
Siempre escogeremos el resultado menor de éstos como el tiempo límite. Por la ruta 4-7 el tiempo es:

$$21-4=17$$

Por el camino 4-6:

$$22-2=20$$

Por la vía 4-5, $Tr = 14-0=14$, que es el menor de las tres y determina el resultado que se anotará:



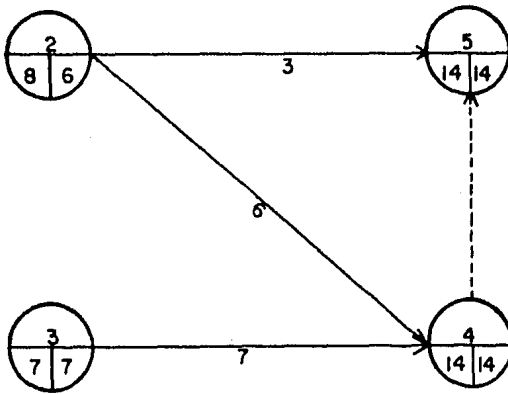
... #

Proseguimos al siguiente tramo, es decir, obtener el tiempo límite de los eventos 2 y 3 en igual forma que en los pasos anteriores.

Una ruta produce: $14-3=11$ y la otra $14-6=8$ que es el resultado menor y por lo tanto el tiempo límite.

Este número 8 lo colocamos en la casilla izquierda del evento 2 como se ha hecho con los anteriores tiempos límite.

Para el evento 3: $Tr = 14-7=7$



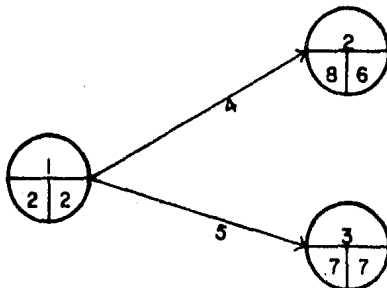
En seguida determinamos el valor numérico del evento 1 escogiendo el que arroje la menor cantidad de las obtenidas por los caminos 1-2 y 1-3.

A través de 1-3 el resultado es:

$$7-5=2$$

que será el tiempo límite, ya que por la ruta 1-2 su valor es mayor:

$$8-4=4$$



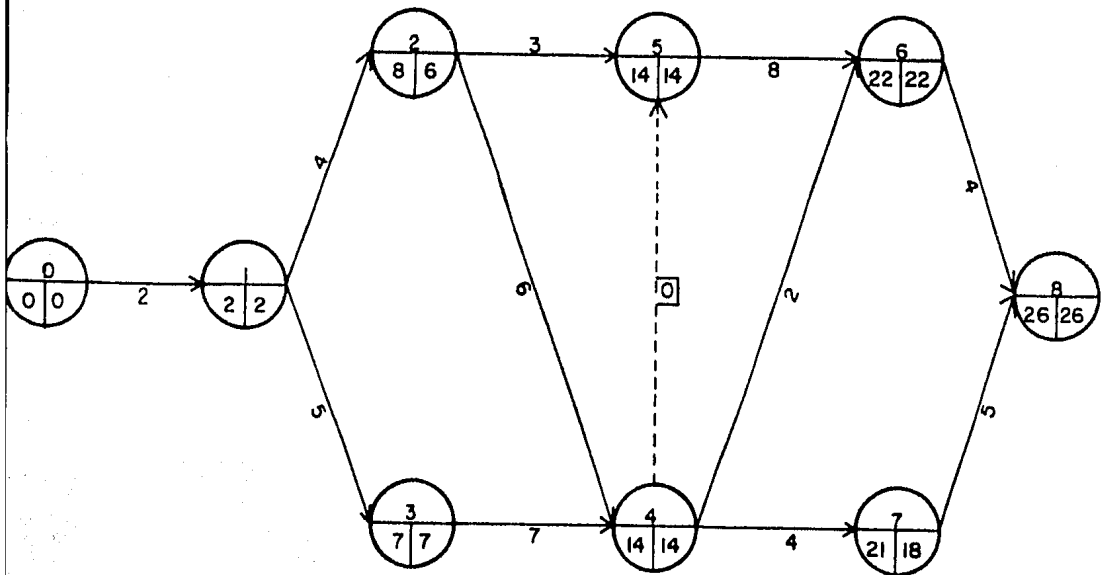
... #

Finalmente obtenemos el tiempo límite del evento inicial 0 -- que es: $2-2=0$



En el evento inicial la iniciación remota deberá ser igual a cero, en vista de que es el inicio del programa. Si no lo es debemos revisar el cómputo de la red en sus tiempos próximos y tiempos remotos en forma completa, ya que obviamente existe un error de cálculo.

En seguida se muestra la figura que ilustra la red con los cómputos completos utilizados en ésta etapa:



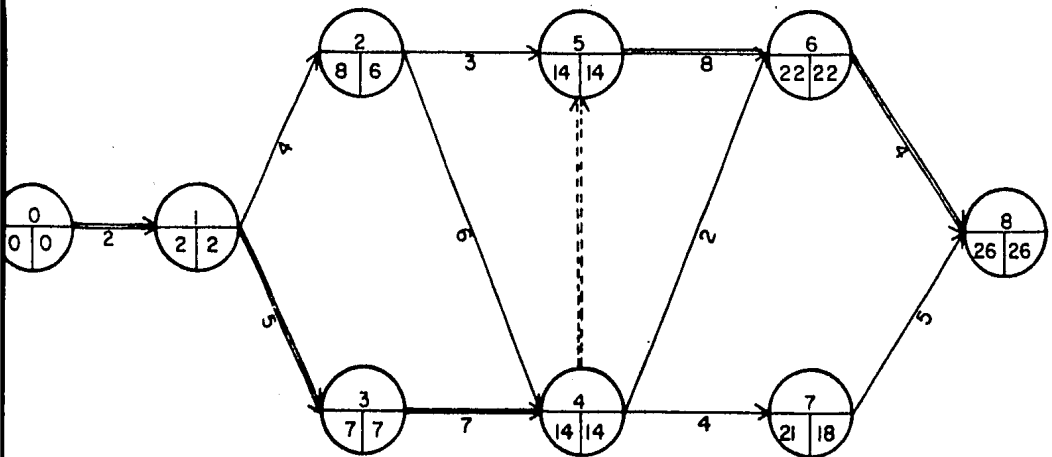
EVENTOS CRITICOS, TIEMPOS OBLIGADOS.-

Por medio de una inspección de la red que acabamos de determinar, podemos observar cuales son los eventos críticos, es decir, aquellos donde sus tiempos próximos y límite son idénticos. Es obligado a cumplir con ellos en vista de que no existe holgura posible y cualquier desviación de este tiempo impuesto cambiaría el resultado total.

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

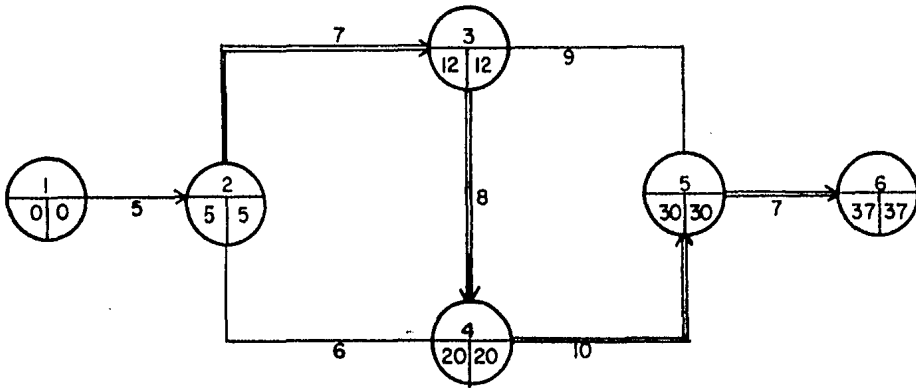
- 1.- Los valores del evento inicial y del final de una actividad deben ser idénticos tanto en el evento inicial como en el final, respectivamente.
- 2.- La diferencia entre T_r y I_p debe ser igual a la duración de la actividad.

En el ejemplo desarrollado, basta aplicar la primera condición para definir perfectamente la ruta crítica.



... #

Sin embargo, hay ocasiones en que es indispensable recurrir a la segunda condición, como sucede en el siguiente ejemplo:



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

La actividad 1-2 tiene una duración de 5 días y si obtenemos la diferencia entre los dos eventos vemos que : $5-0=5$ que es igual a la duración, por lo tanto la actividad 1-2 es CRITICA.

En la actividad 2-3 la duración es 7 por lo que: $12-5=7$ así que la actividad 2-3 también es CRITICA.

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

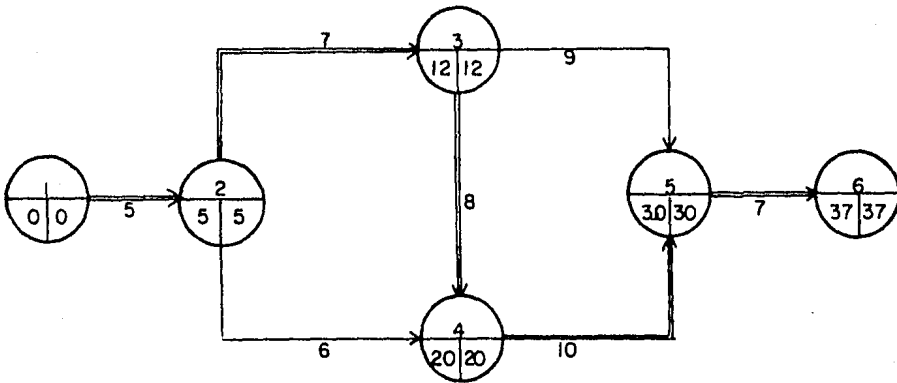
La actividad 3-4 tiene una diferencia de 8 que es igual a su duración. La actividad es CRITICA.

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

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

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

Todo este conjunto de actividades críticas constituyen la RUTA CRITICA que al indicarla en el diagrama quedaría así:



HOLGURA.-

Las actividades que no son críticas tienen holguras o tiempos flotantes para su realización:

El máximo tiempo disponible para llevar a cabo una actividad es:

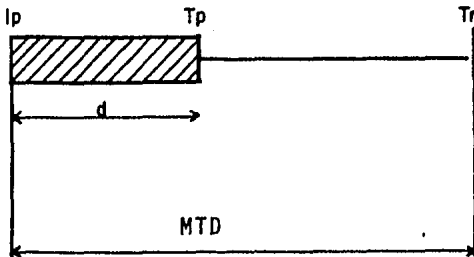
$$Tr - Id = MTD$$

Donde: Tr tiempo remoto de terminación
 Ip tiempo próximo de iniciación
 MTD máximo tiempo disponible

La fecha próxima de terminación de una actividad es:

$$T_p = I_p + d$$

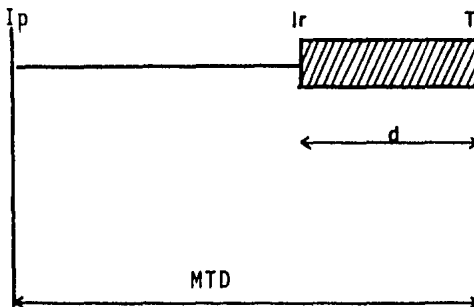
donde d es igual a la duración de la actividad.



El tiempo remoto de iniciación de una actividad es:

$$I_r = T_r - d$$

donde I_r es el tiempo remoto de iniciación de la actividad.



... #

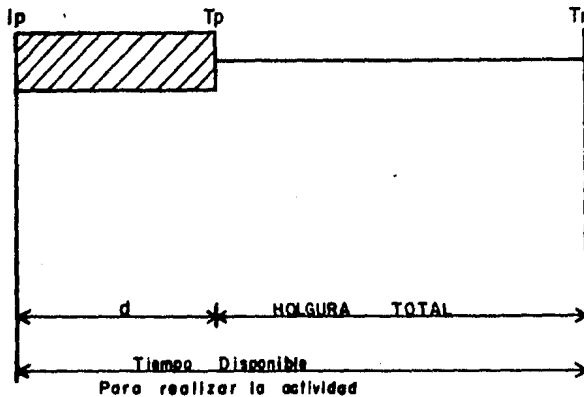
Para el mejor manejo de las holguras se han hecho comunmente 3 clasificaciones:

- 1.- Holgura total
- 2.- Holgura libre
- 3.- Holgura independiente

De ellas, analizamos las dos primeras por ser las más usuales **HOLGURA TOTAL**.-

Es el tiempo que puede desplazarse una actividad sin que se modifique la duración del proyecto.

La holgura total de una actividad depende del tiempo máximo disponible y corresponde al lapso que existe entre el tiempo de iniciación más próximo de la actividad y su tiempo remoto. Si el tiempo disponible para realizar una actividad es superior a su duración, el exceso se denomina **HOLGURA TOTAL**.

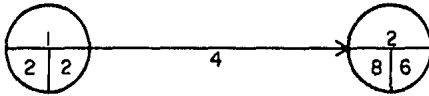


$$H_t = T_r - T_p \text{ y como } T_r = I_r + d \text{ y } T_p = I_p + d$$

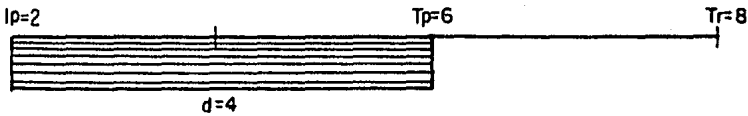
entonces

$$H_t = I_r - I_p$$

Tenemos la actividad 1-2 de nuestro ejemplo. Sus tiempos respectivos son:



$$h_{Total} = Tr - Tp = Ir - Ip$$



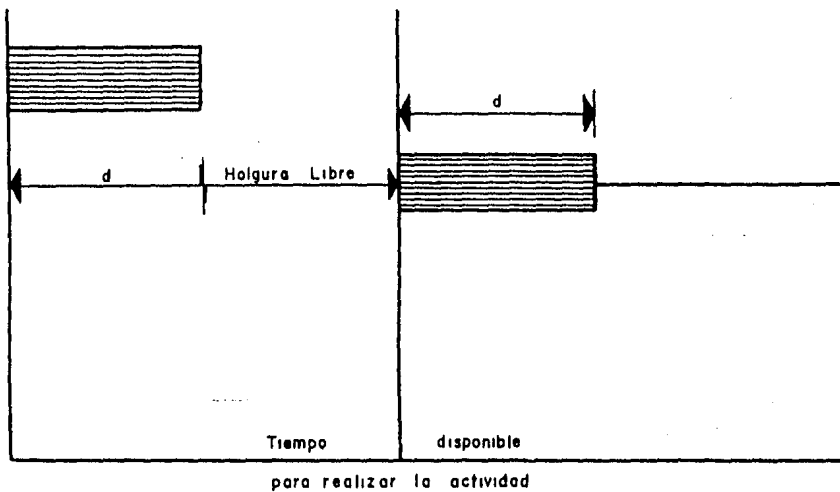
$$HI = 8 - 6 = 4 - 2 = 2$$

Obviamente la actividad 1-2 podría iniciarse hasta el 4o día sin alterar por ello la duración total del proyecto, ya que las actividades subsiguientes 2-4 y 2-5 se terminarán en ambos casos el día 14.

... #

HOLGURA LIBRE.-

Es el tiempo que puede desplazarse una actividad sin modificar la fecha de iniciación más próxima de las actividades que en orden le siguen. Lo anterior puede expresarse gráficamente de la siguiente manera:



La holgura libre se calcula directamente del diagrama de flechas con la siguiente expresión:

$$HL = T_p - I_p - d$$

Donde:

T_p = tiempo de terminación más próximo de la actividad.

I_p = tiempo de iniciación más próximo de la actividad.

d = duración de la actividad.

Algebraicamente $HL = T_p - (I_p + d)$ que es igual a $T_p - T_p = 0$ por ésta razón insistimos que los datos correspondientes a T_p , I_p y d se lean directamente del diagrama de flechas.

Referido al primer ejemplo de éste capítulo, analicemos las actividades 4-6 y 6-8:

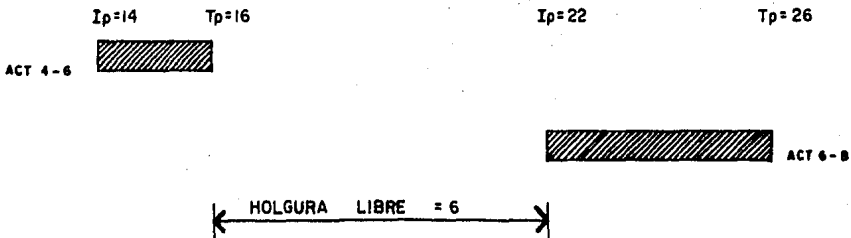


DIAGRAMA DE BARRAS.-

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

El diagrama se forma como sigue:

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

Para la construcción del diagrama de barras, son fundamentales las I_p (iniciación próxima), la duración y la holgura; de tal manera que si dibujamos para cada actividad una barra, --- iniciandola en la fecha correspondiente a una I_p y prolongando la a la escala debida por toda su duración, habremos logrado un programa en el que no se han usado holguras. Estas se utilizarán posteriormente en la etapa de balance de recursos.

Previamente a la representación gráfica por barras, es conveniente tabular los cálculos realizados. La secuencia es la -- siguiente:

(tabla 3.1)

1.- Se enlistan las actividades cuidando que el orden sea progresivo, es decir aumentando el primer digito que -- identifica la actividad hasta terminar con todas las -- actividades que se inician en él. (columna 1)

2-4	2-4
3-5	2-6
2-6	3-5
incorrecto	correcto

2.- Se escriben la duración de las actividades. (columna 2)

3.- Se escriben copiando del diagrama los tiempos próximos de iniciación Ip. (columna 3)

4.- Se calculan los tiempos próximos de terminación, como $T_p = I_p + d$. (columna 5)

5.- Se escriben, copiandolo del diagrama los tiempos remotos de terminación. (columna 6)

6.- Se calculan los tiempos remotos de iniciación como $I_r = T_r - d$. (columna 4)

7.- Se calcula con los datos de la tabla, la holgura total $H_t = T_r - T_p$. (puede verificarse con $H_t = I_r - I_p$). --- (columna 7)

8.- Se calcula la holgura libre; $H_l = T_p - I_p - d$ directamente de la red. (columna 8)

9.- Las actividades ficticias pueden o no incluirse sin --- afectar el cálculo.

Nuestra fabricación del cálculo en la red será:

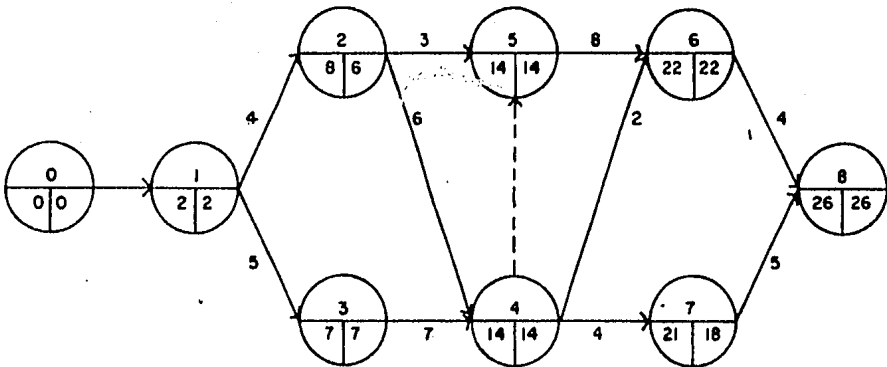
... #

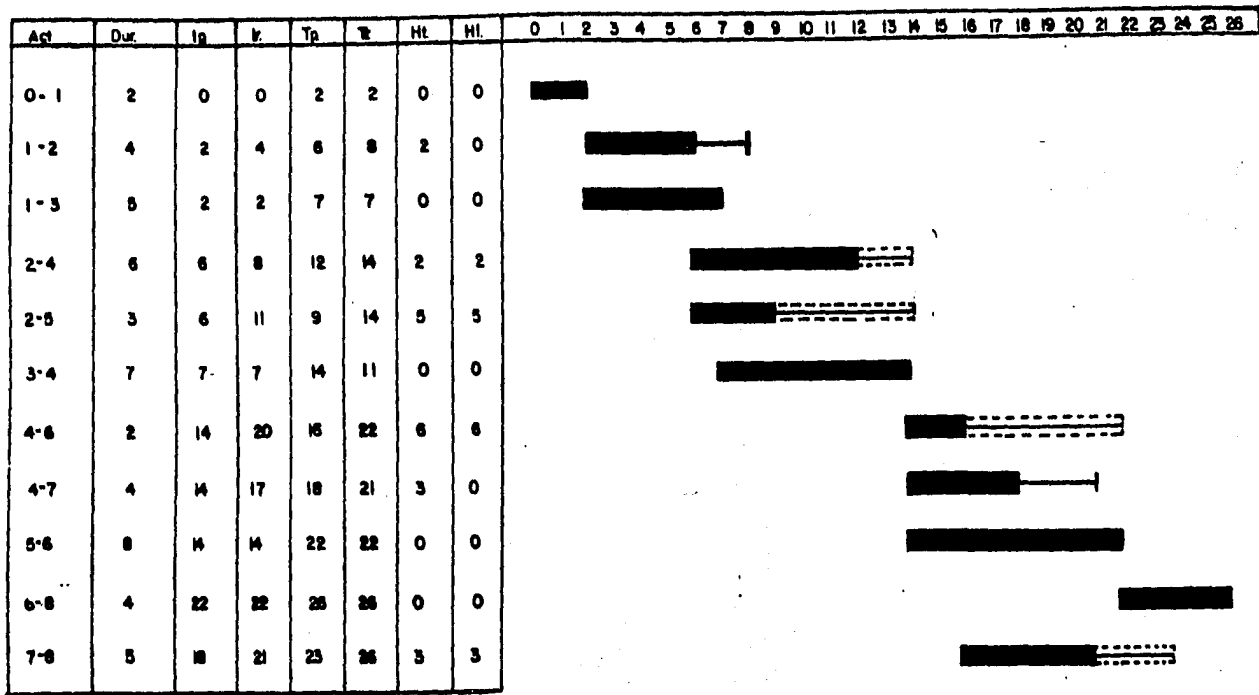
T A B U L A C I O N D E L A R E D

ACTIVIDAD	DURACION	Ip DEL DIAGRAMA	Ir = Tr - d	Tp = Ip + d	Tr DEL DIAGRAMA	HT = Tr - Tp	(DEL DIAGRAMA) HL=Tp-Ip-d
(1)	(2)	(3)	(4)=(6)-(2)	(5)=(3)+(2)	6	(7)=(6)-(5)	(8)
0-1	2	0	0	2	2	0	0
1-2	4	2	4	6	8	2	0
1-3	5	2	2	7	7	0	0
2-4	6	6	8	12	14	2	2
2-5	3	6	11	9	14	5	5
3-4	7	7	7	14	14	0	0
4-5	0	14	14	14	14	0	0
4-6	2	14	20	16	22	6	6
4-7	4	14	17	18	21	3	0
5-6	8	14	14	22	22	0	0
6-8	4	22	22	26	26	0	0
7-8	5	18	21	23	26	3	3

TABLA 3:1

Ahora veamos el caso particular de las redes 3-1 y 3-2 y como serían sus diagramas de barras:





[Dashed line] H. LIBRE

[Solid line with T-bar] H. TOTAL

DIAGRAMA DE BARRAS 3.1

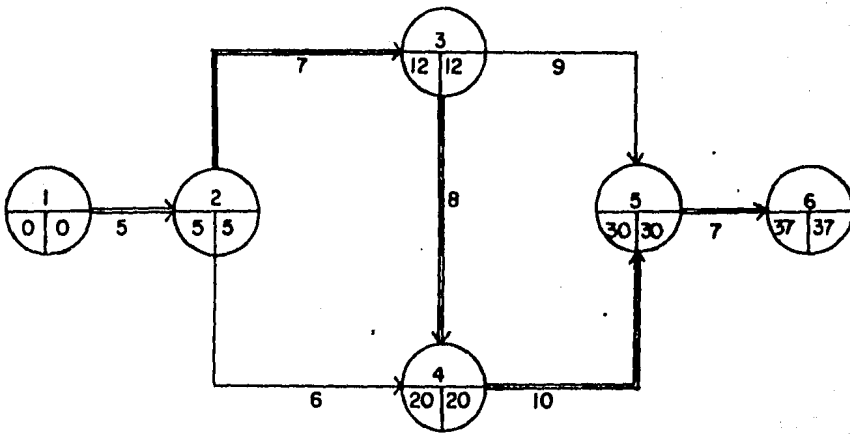
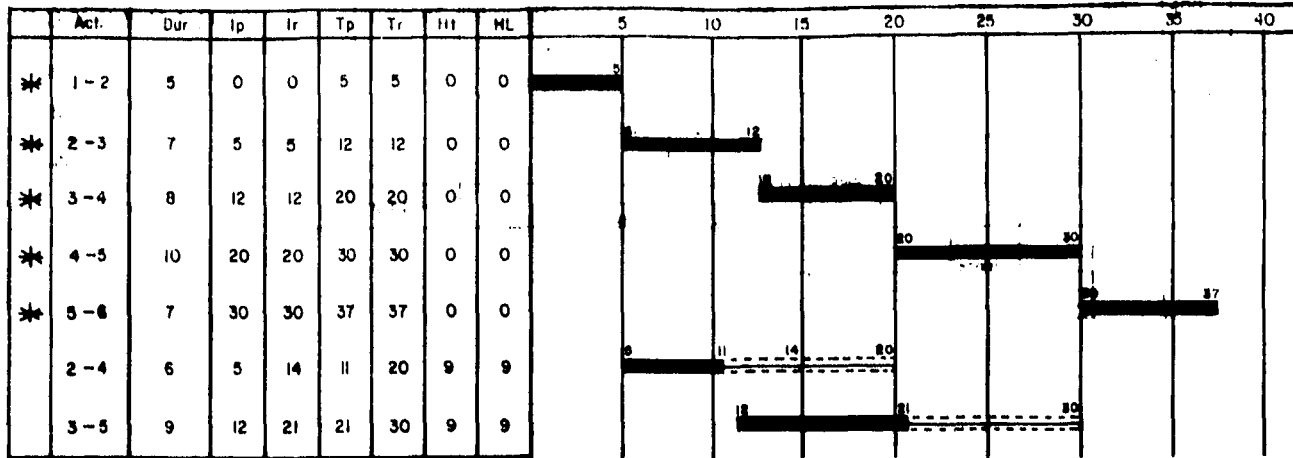


Diagrama 3-2



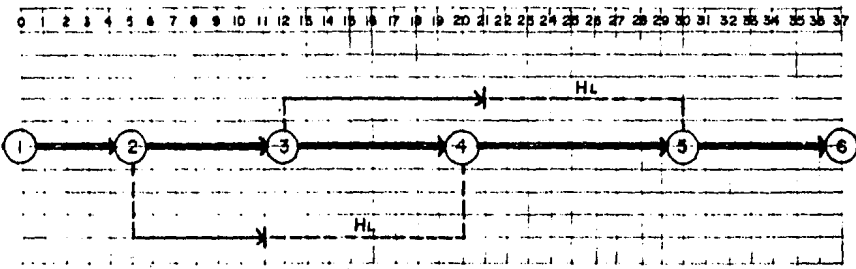
----- H.LIBRE
 _____ H.TOTAL

DIAGRAMA DE BARRAS 3.2

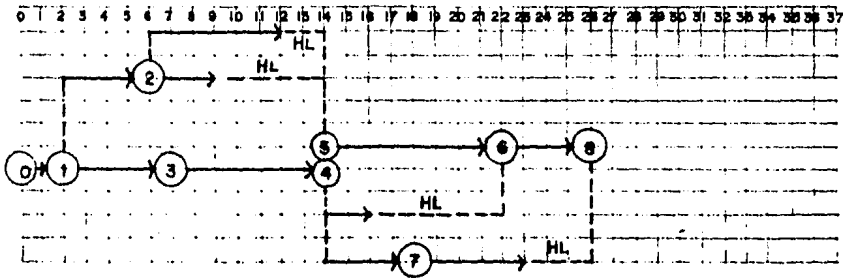
Otra representación gráfica, consiste en dibujar a escala las actividades que integran el proyecto, señalando sus dependencias y las holguras entre ellas. Dicha representación recibe el nombre de " Mapa de Proyecto ".

Por comodidad, se sugiere dibujar primero la ruta crítica y - posteriormente las demás actividades.

Para el diagrama 3-2, el " Mapa de Proyecto " es:



PARA EL DIAGRAMA 3.1:



Como se ve, los mapas de proyecto tienen ventaja sobre los -- diagramas de barras porque permiten visualizar rápidamente la dependencia entre actividades y sus holguras correspondientes.

CAPITULO IV

BALANCE DE RECURSOS

En los ejemplos desarrollados en el capítulo anterior se ha tomado la duración de las actividades como un dato del problema. No debemos perder de vista que dicha duración se determina en función del volumen de obra por ejecutar y de los rendimientos de los recursos utilizados.

Si tenemos por ejemplo: 1000 m^3 . de excavación y tenemos los siguientes recursos:

1er. caso; cuadrillas de 5 personas con un rendimiento de 4 m^3 x jornal c/u sería $5 \times 4 = 20 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$

El tiempo de ejecución sería $= \frac{1000 \text{ m}^3}{20 \text{ m}^3/\text{días}} = 50 \text{ días}$

2o. caso; tenemos una retroexcavadora que tiene un rendimiento de 100 m^3 jornal. El tiempo de ejecución sería $\frac{1000}{100} = 10 \text{ días}$.

En conclusión vemos que el tiempo de ejecución depende directamente de los recursos empleados: Obtenida la Ruta Crítica y las holguras de las actividades de un proyecto, se procede al balance de los recursos requeridos para su ejecución.

Al decir recursos nos referimos a mano de obra, materiales y equipo.

Estos recursos representan, evidentemente, erogaciones de dinero en la realización del proyecto.

La asignación o distribución de recursos requeridos para la ejecución de las actividades de un proyecto dependen de numerosos factores, entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

... #

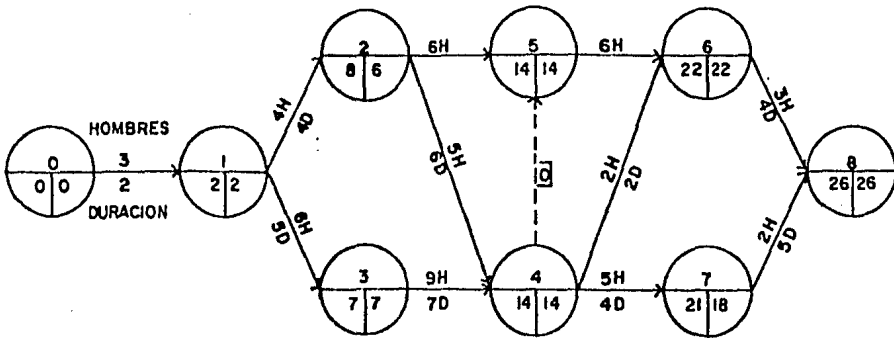
- 1.- Número de unidades en que pueden medirse las actividades.
 - 2.- Duración del proyecto.
 - 3.- Métodos de ejecución.
 - 4.- Número de actividades que pueden ejecutarse por unidad de tiempo; ciertos grupos básicos de trabajo integrados por cierto personal y cierto equipo.
 - 5.- Espacios y servicios requeridos para cada grupo básico de trabajo.
- etc.

Teniendo en cuenta factores como los mencionados y fijada una duración "Crítica o no Crítica", es posible elaborar una lista de "recursos requeridos" y determinar la intensidad requerida para cada uno de ellos.

Esta intensidad puede obtenerse dividiendo la cantidad total del recurso en estudio que se necesita en el tiempo que dura la actividad, entre el tiempo que dura dicha actividad.

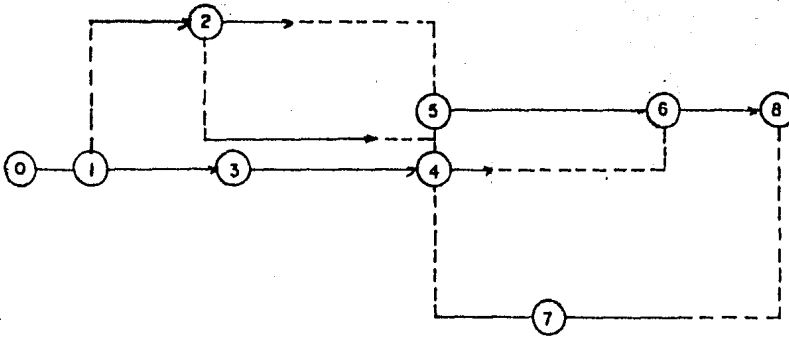
No obstante, como los recursos deben de estar de acuerdo con los ingresos y egresos del proyecto, en muchas ocasiones se llegan a presentar situaciones de falta de dinero en un momento dado. Esto es debido principalmente a que se tienen concentraciones de inversiones muy fuertes que sobrepasan las cantidades disponibles. Si se hace un balance lógico de recursos de acuerdo con las holguras disponibles, es muy posible llegar a preveer anticipadamente la cantidad de recursos requeridos, así como también cuando éstos sobran en el proyecto, sobre todo en lo que se refiere a personal y equipo.

Desarrollemos un ejemplo con la siguiente red en la cual se han indicado el número de hombres que se requieren para cada actividad.

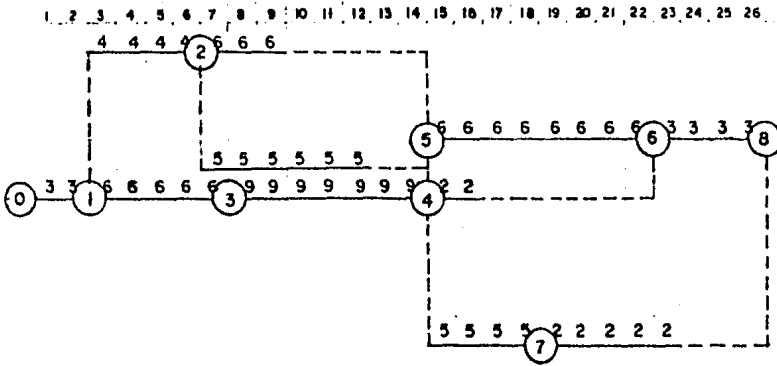


ACT	DURACION	PERSONAS
0-1	2	3
1-2	4	4
1-3	5	6
2-4	6	5
2-5	3	6
3-4	7	9
4-5	0	0
4-6	2	2
4-7	4	5
5-6	8	6
6-8	4	3
7-8	5	2

Dibujemos con línea llena la duración y la holgura libre con una línea discontinua.

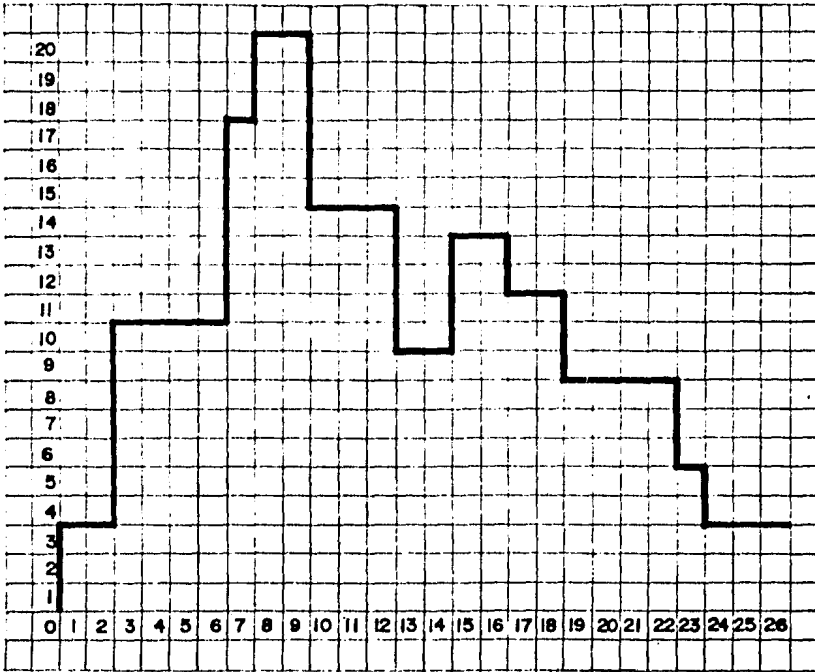


Anotemos en cada espacio el recurso analizado y obtengamos los totales en cada periodo.

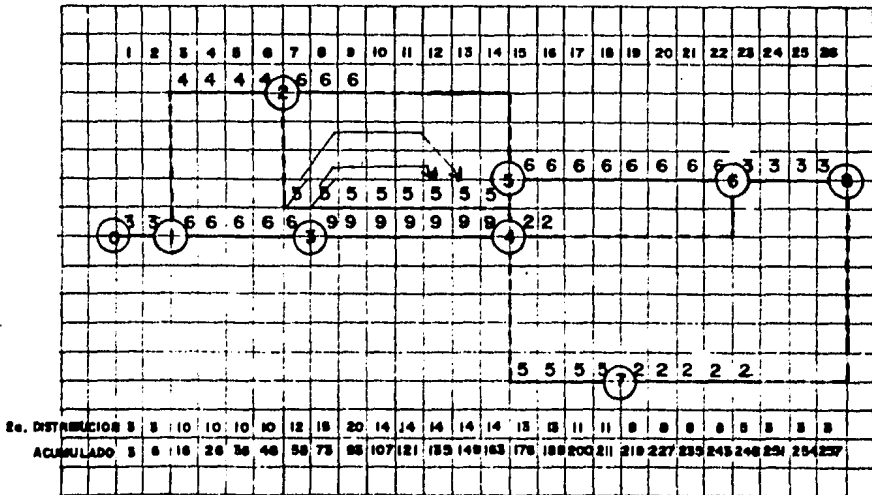


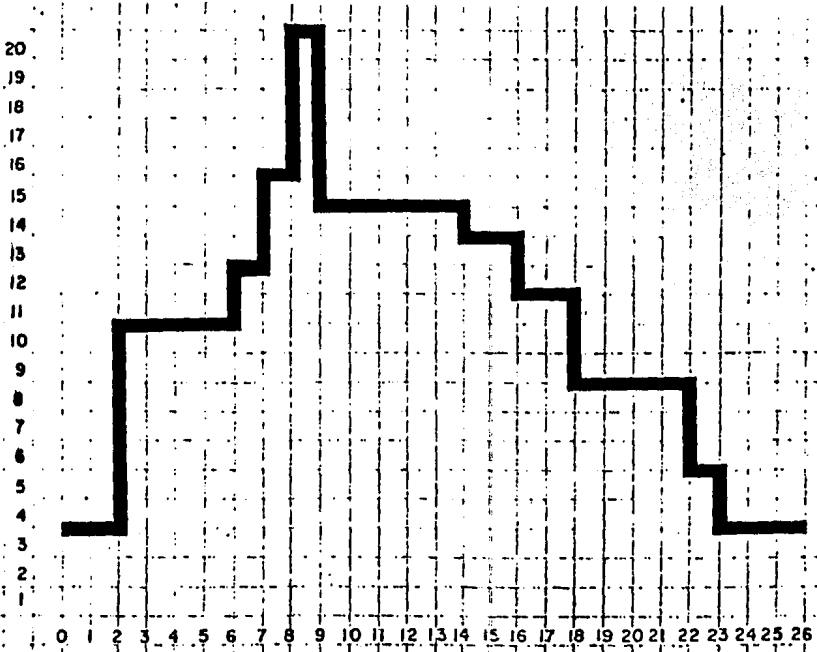
DISTRIBUCION	3	3	10	10	10	17	20	20	14	14	14	9	9	13	13	11	11	8	8	8	8	5	3	3	3	
CUMULADO	3	6	16	26	36	46	63	83	103	117	131	145	154	163	176	189	200	211	219	227	235	243	248	251	254	257

Grafiquemos la distribución por día.



Desplacemos la actividad 2-4, con holgura hasta su tiempo remoto de iniciación.





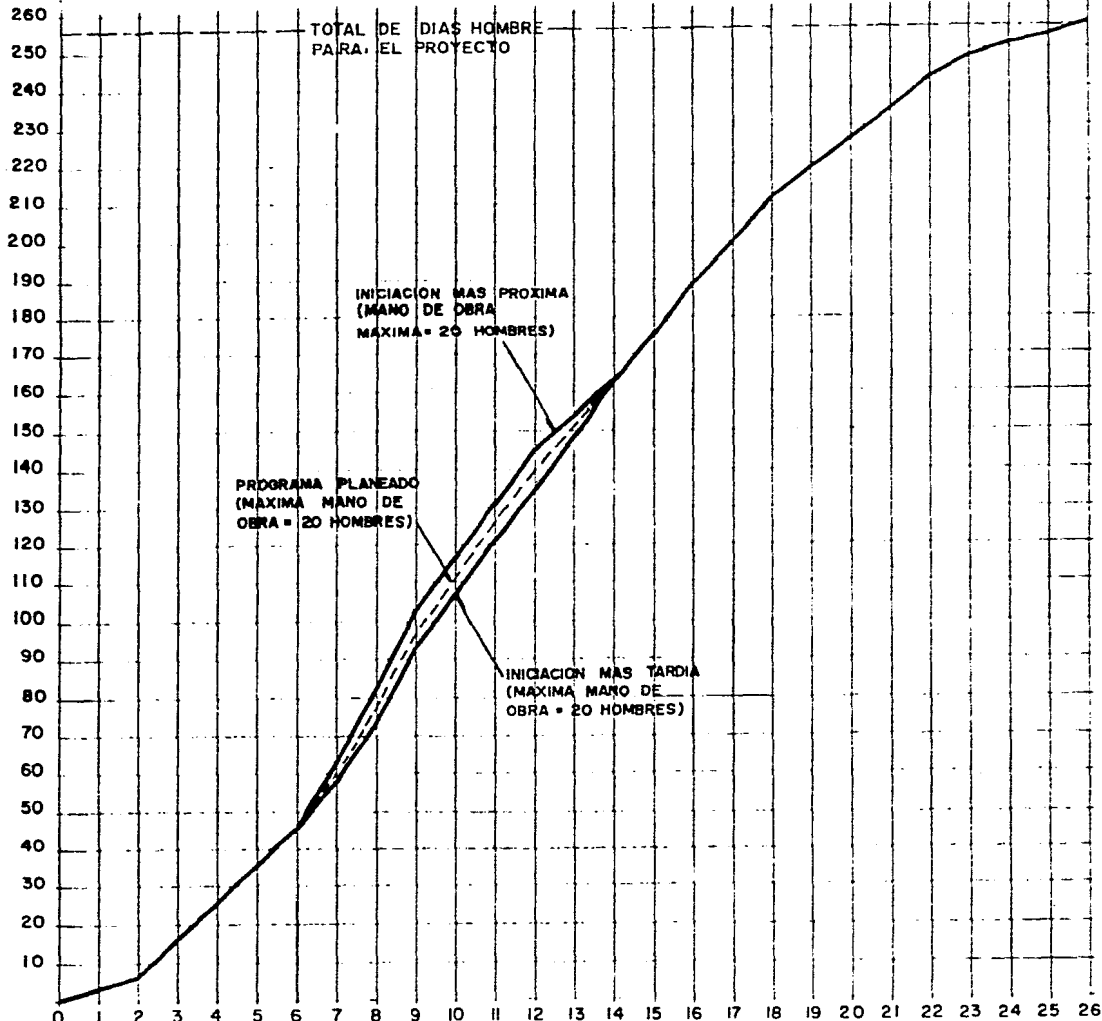
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
2a. DISTRIBUCION	3	3	10	10	10	10	12	15	20	14	14	14	14	13	11	11	8	8	8	8	5	3	3	3	3	3	3
ACUMULADO	3	6	16	26	36	46	58	73	93	107	121	135	149	163	176	189	200	211	219	227	235	243	248	251	254	257	

En el ejemplo anterior, se aprecia con toda claridad como varía la distribución de los recursos, al utilizar la holgura - como medio de distribución. En muchos proyectos, es de suma utilidad aprovechar esta circunstancia para lograr un mejor balance de los recursos.

En igual forma, la distribución acumulada de los recursos --- grafica 4.1 a emplear, permite definir la " estrategia " de ataque a la obra.

TASA DE INVERSION DE LA MANO DE OBRA UNICAMENTE

No de trabajadores
Acumulados

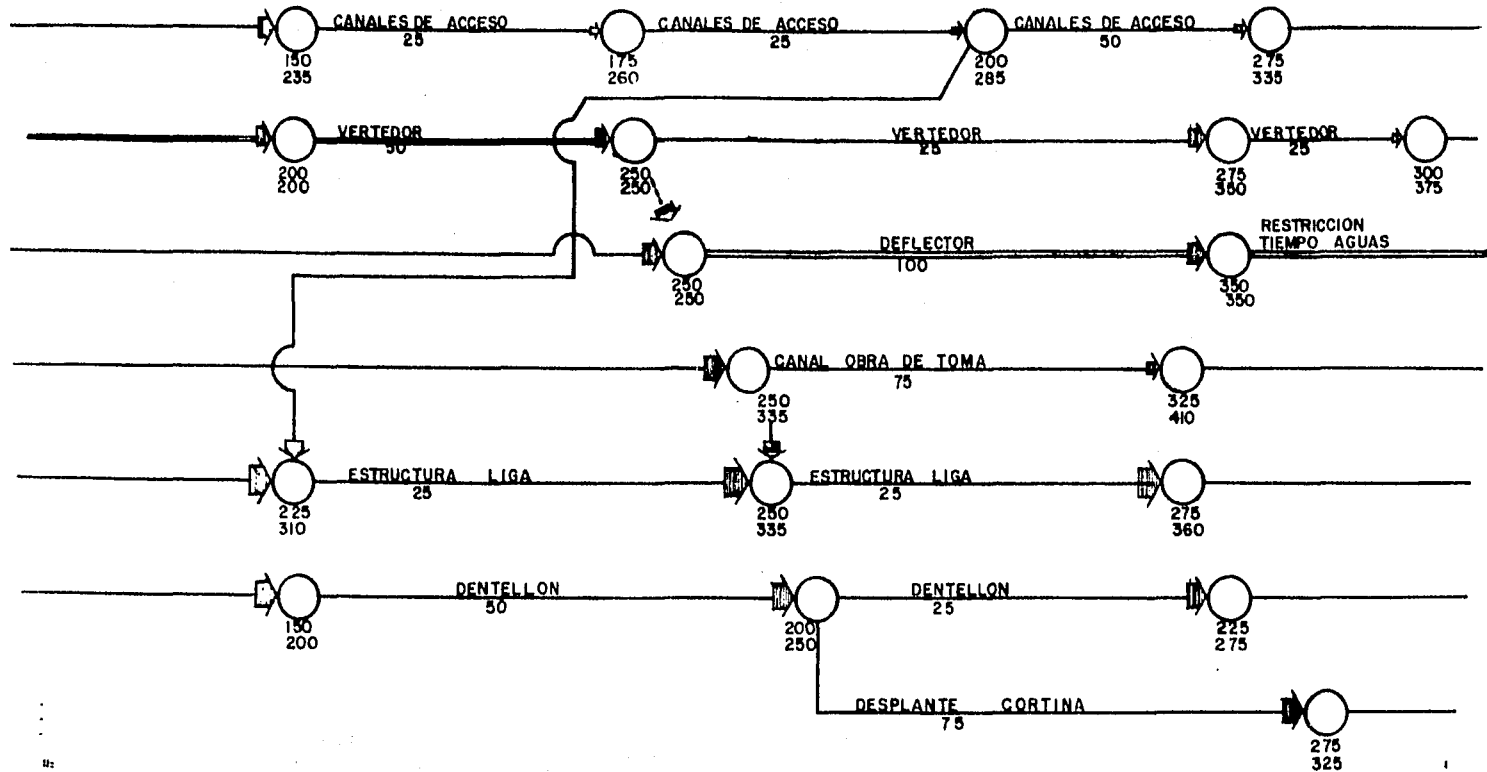


Grafica 4-1

Dias

Supongamos que en un proyecto determinado, se tienen como parte de él las actividades que se muestran; correspondientes a volúmenes de concreto por colar:

En la primera distribución de los volúmenes, se tiene un máximo de 95,000 m³, lo que obligará a tener un cierto número de recursos para su ejecución. A continuación, haciendo uso de las holguras, se ha logrado bajar el máximo a 70,000 m³ lo cual, indudablemente, nos permitirá reducir el número de recursos por utilizar.



CONCEPTO	m ³	50 ¹	175 ²	200 ³	225 ⁴	250 ⁵	275 ⁶	300 ⁷	325 ⁸	350 ⁹	375 ¹⁰	400 ¹¹
CANALES DE ACCESO	20000	10000										
CANALES DE ACCESO	15000		10000									
CANALES DE ACCESO	12000			8000	8000							
VERTEDOR	70000			40000	30000							
VERTEDOR	30000					30000						
VERTEDOR	39000						30000					
DEFLECTOR	120000					30000	30000	30000	30000			
CANAL OBRA TOMA	24000					8000	8000	8000				
ESTRUCTURA LIGA	2000				2000							
ESTRUCTURA LIGA	2000					2000						
DENTELLON	50000	25000	25000									
DENTELLON	10000			10000								
DESPLANTE CORTINA	80000			30000	25000	25000						
SUMA PARCIAL		48000	40000	86000	83000	95000	77000	58000	30000			
SUMA ACUMULADA		48000	88000	171000	234000	329000	406000	444000	474000			

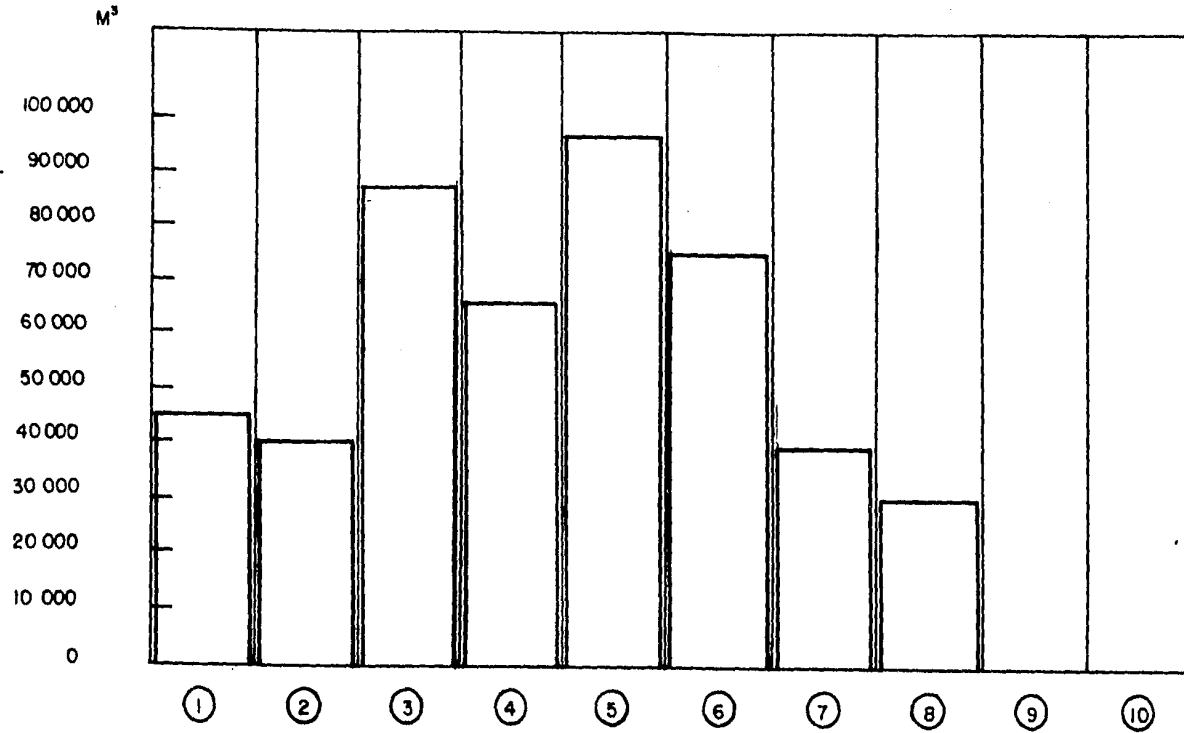
□ DURACION DE LA ACTIVIDAD

⋯ TIEMPO FLOTANTE LIBRE

⋮ TIEMPO FLOTANTE TOTAL

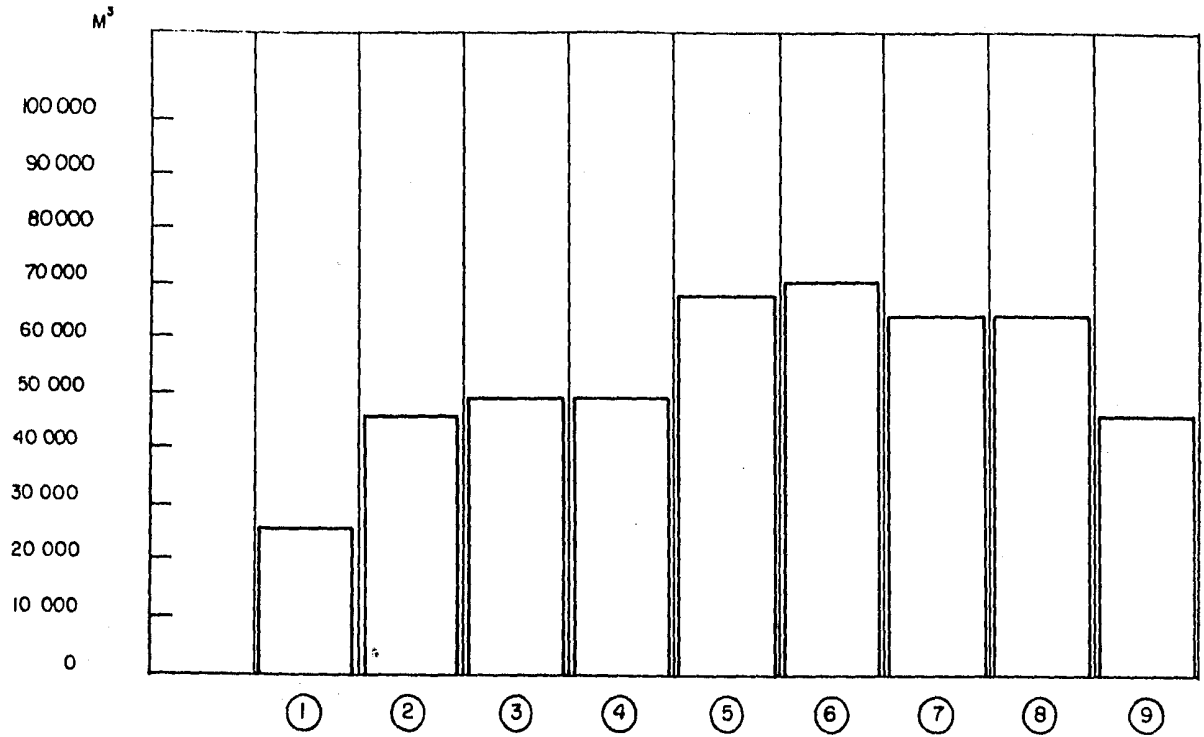
◻ ACTIVIDAD CRITICA

LA DISTRIBUCION DE VOLUMENES DE EXCAVACION SERA



#

CONCEPTO	m ³	150 ¹	175 ²	200 ³	225 ⁴	250 ⁵	275 ⁶	300 ⁷	325 ⁸	350 ⁹	375 ¹⁰	400 ¹¹
CANALES DE ACCESO	20000											
CANALES DE ACCESO	15000											
CANALES DE ACCESO	12000											
VERTEDOR	70000											
VERTEDOR	30000											
VERTEDOR	39000											
DEFLECTOR	120000											
CANAL OBRA TOMA	24000											
ESTRUCTURA LIGA	2000											
ESTRUCTURA LIGA	2000											
DENTELLON	50000											
DENTELLON	10000											
DESPLANTE CORTINA	80000											
SUMA PARCIAL		25000	45000	47500	47500	68000	70000	64000	64000	43000		
SUMA ACUMULADA		25000	70000	117500	165000	233000	303000	367000	431000	474000		



..
..
..

METODO DE BURGESS.

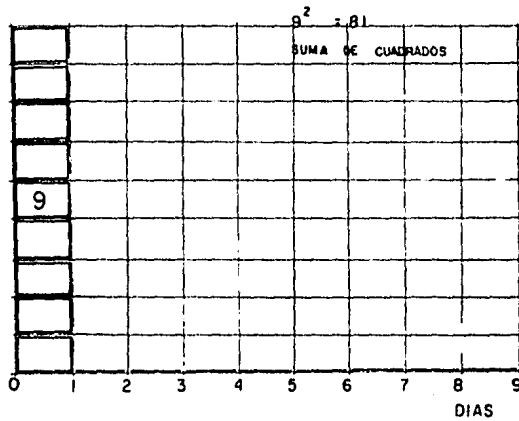
ANALISIS DE RECURSOS:

Un aspecto importante dentro de la ejecución de un proyecto, es el de balancear la cantidad de recursos disponibles que se requieren para la realización de cada una de las actividades que integran este proyecto, minimizando el costo total.

El metodo de Burgess, consiste en un balanceo de recursos --- (mano de obra) utilizando el procedimiento de los mínimos cuadrados.

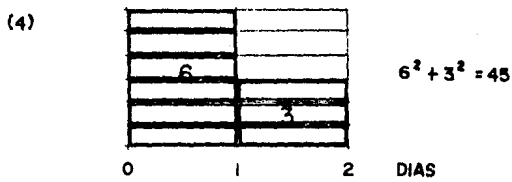
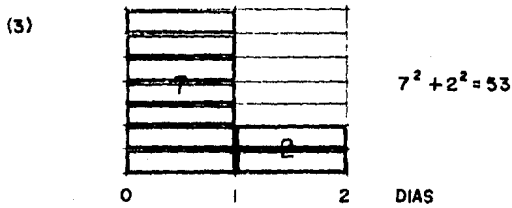
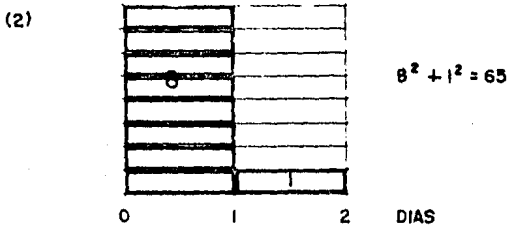
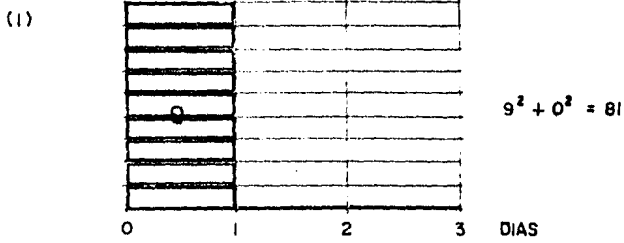
Supongamos que se tiene una actividad que requiere 9 hombres, para la ejecución:

- a).- Si la duración es de 1 día, se requiere el esfuerzo de 9 hombres para la ejecución:



- b).- Si la duración es de 2 días, se pueden hacer las siguientes combinaciones:

... #



El caso b) (5) es el que nos da la mínima suma de cuadrados, -
siendo por tanto la mejor distribución.

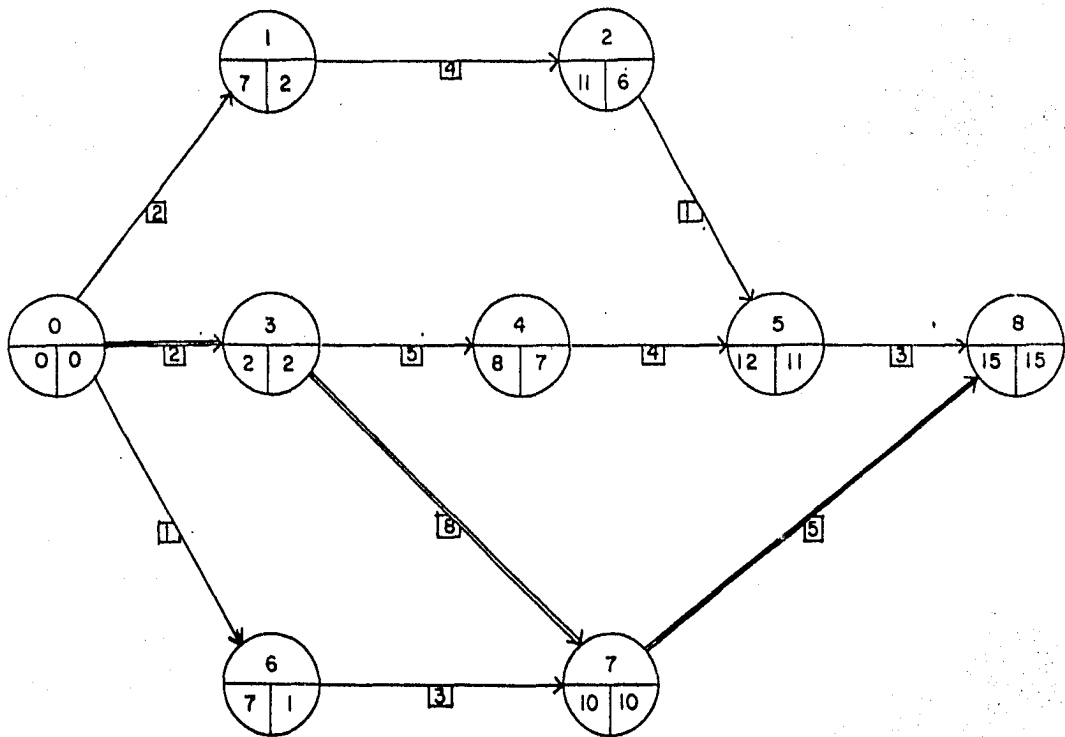
... #

La aplicación del método se hace sobre el diagrama de barras-obtenido a partir de la Ruta Crítica, anotando en una nueva columna la cantidad de personal (recursos) necesarios para --efectuar cada una de las actividades que lo ameriten.

OBSERVACIONES :

- 1.- Los movimientos de personal se efectúan solo en las actividades con holgura.
- 2.- No se harán balances ó movimientos de recursos en actividades críticas.
- 3.- Se empieza el procedimiento a partir de la última actividad enlistada que tengan holgura.
- 4.- Se procede a desplazar actividades, una por una realizando en cada movimiento la suma de cuadrados correspondientes.
- 5.- Es conveniente enlistar las actividades en orden ascendente dependiendo del número del evento subsecuente al cual concurren; si dos ó más actividades concurren al mismo --evento, se enlistan en orden ascendente dependiendo del --número del evento antecedente.

Se presenta el siguiente ejemplo para la aplicación del método.



...

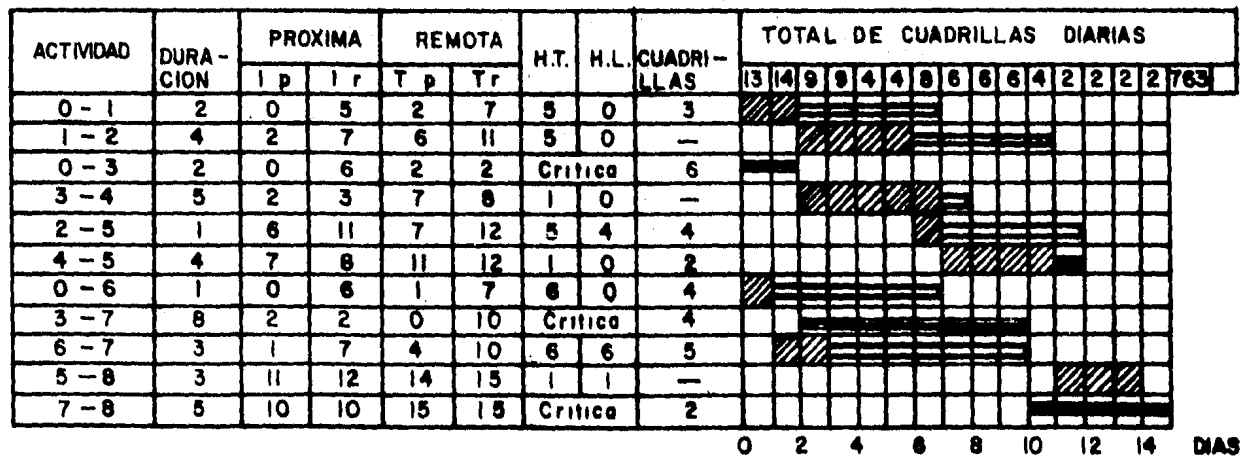


TABLA 4.1

La primera suma de cuadrados se obtiene con las posiciones -- originales del Diagrama de Barras; ver tabla 4.1

Como ilustración al procedimiento, tomemos la actividad 4-5 - si desplazamos un día hacia la derecha, el total de la suma - de cuadrados solo es afectada en los días 8 y 12.

	Sin despla- zamiento.	Con despla- zamiento.
Cuadrillas para el día 8	$2+4=6$	4
Cuadrillas para el día 12	2	4
	$\frac{6^2+2^2}{\quad}=40$	$\frac{4^2+4^2}{\quad}=32$

En cualquiera de los dos casos el total de cuadrillas utiliza- das es 8, ya que $6+2=8$ y $4+4=8$, pero la suma de cuadrados es menor para la nueva posición de la actividad "4-5", siendo la reducción obtenida de $40-32=8$.

Este proceso se aplica en el ejemplo según lo dicho en los -- incisos 1).- , 2).- , 3).- y 4).- como sigue:

- 1o.- La actividad "7-8" no la movemos, es CRITICA.
- 2o.- La actividad "5-8" la podemos desplazar 1 día hacia la - derecha sin que se produzca cambio en la suma de cuadra- dos ya que no requiere de ninguna de las cuadrillas con- sideradas (condición del problema).
- 3o.- La actividad siguiente que es la "6-7", moviéndola 1 día hacia la derecha obtenemos:

	Sin despla- zamiento.	Con despla- zamiento.
Cuadrillas para el día 2	$5+6+3=14^2$	$6+3= 9^2$
Cuadrillas para el día 3	$5+4 = 9^2$	$5+4= 9^2$
Cuadrillas para el día 4	$5+4 = 9^2$	$5+4= 9^2$
Cuadrillas para el día 5	$4 = 4^2$	9^2
	374	324

Obtenemos una disminución en la suma de cuadrados de 50.

$$374 - 324 = 50$$

Si esta actividad la desplazamos otro día más hacia la derecha:

	Con desplazamiento
Cuadrillas para el día 2	$6+3= 9$
Cuadrillas para el día 3	$4 = 4$
Cuadrillas para el día 4	$5+4= 9$
Cuadrillas para el día 5	$5+4= 9$
Cuadrillas para el día 6	$5+4= 9$
	$9^2+4^2+9^2+9^2+9^2= 340$

vemos que se produce aumento en la suma, por lo cual éste desplazamiento no se efectúa.

40.- Procedemos ahora con la actividad "3-7", es Crítica, no se mueve.

50.- Con la actividad "0-6" se efectúan movimientos semejantes a los de la "6-7", tratando de reducir la suma de cuadrados, y así consecutivamente con las actividades restantes, hasta la 0-1.

60.- Se empieza nuevamente con la última actividad que pueda desplazarse, que para nuestro caso es la "6-7", dando --

... #

lugar a un segundo ciclo, con el cual se obtiene, una --
solución satisfactoria en donde la suma de cuadrados es-
la mínima. Ver tabla 4:2.

El diagrama que se presenta a continuación muestra la solu---
ción del ejemplo. Tabla 4:3.

ACTIVIDAD	DURA- CION	PROXIMA		REMOTA		H.T.	H.L.	CUADRI- LLAS
		l p	l r	T p	T r			
0-1	2	0	5	2	7	5	0	3
1-2	4	2	7	6	11	5	0	-
0-3	2	0	6	2	2	Crítica		6
3-4	5	2	3	7	8	1	0	-
2-5	1	6	11	7	12	5	4	4
4-5	4	7	8	11	12	1	0	2
0-6	1	0	6	1	7	6	0	4
3-7	8	2	2	10	10	Crítica		4
6-7	3	1	7	4	10	6	6	5
5-8	3	11	12	14	15	1	1	-
7-8	5	10	10	15	15	Crítica		2

6	7									653	8	III
	7			9						665	7	
				8						665	6	II
				8						665	5	
				4				4		665	4	
9				8						673	3	I
9		9								73	2	

TOTAL DE CUADRILLAS DIARIAS

3	4	9	9	4	4	5	5	6	6	4	2	2	2	2	763	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---

0 2 4 6 8 10 12 14 DIAS

TABLA 42

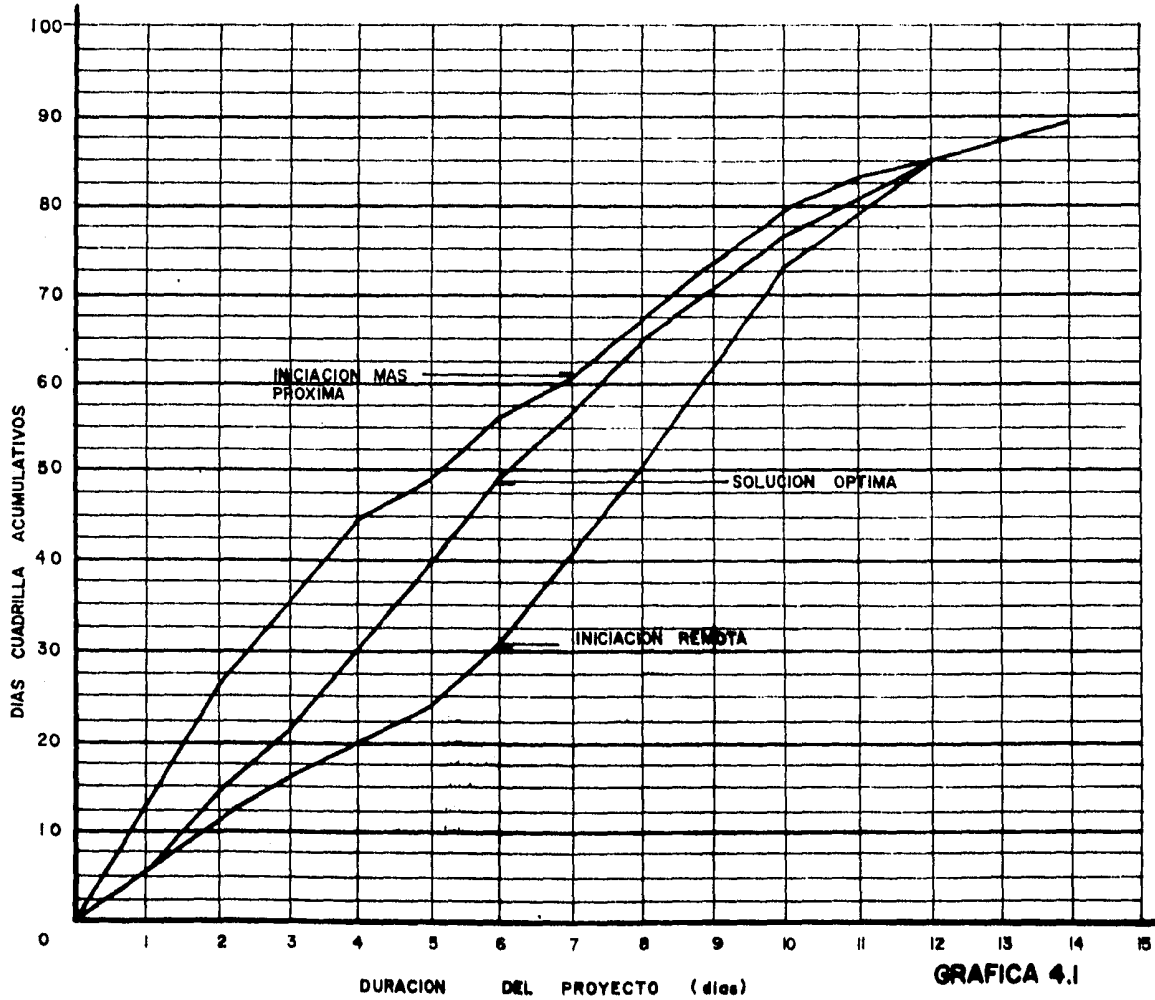
R E S U M E N

No. EN LA TABLA	CICLO	DESPLAZAMIENTO DE ACTIVIDADES	SUMA DE CUADRADOS
1	I	Posición Original	763
-	I	"5-8" de 11 - 14 a 12 - 15	-
2	I	"6-7" de 1 - 4 a 2 - 5	713
3	I	"0-6" de 0 - 1 a 5 - 6	673
4	I	"4-5" de 7 - 11 a 8 - 12	665
5	I	"2-5" de 6 - 7 a 10 - 11	665
-	I	"3-4" de 2 - 7 a 3 - 8	-
-	I	"1-2" de 2 - 6 a 7 - 11	-
6	II	"0-6" de 5 - 6 a 6 - 7	665
7	III	"6-7" de 2 - 5 a 3 - 6	665
8	III	"0-1" de 0 - 2 a 1 - 3	653

En la gráfica 4:1, se ha dibujado el número acumulado de cuadrillas requeridas por día para tres condiciones de ejecución del proyecto: iniciando todas las actividades en I_p , iniciando todas las actividades en I_r , la solución óptima de acuerdo al método de Burges.

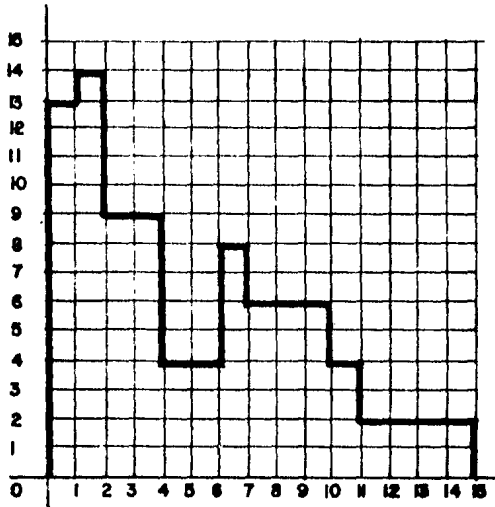
Finalmente, la gráfica 4:2 y 4:3, muestran el hisfograma correspondiente a la distribución de cuadrillas por día. Se -- aprecia como al aplicar el método de optimización de Burges, -- se ha logrado reducir el máximo de solo 9 cuadrillas, además de tener una mejor distribución de este recurso a lo largo -- del tiempo.

TASA DE INVERSION DE LA MANO DE OBRA UNICAMENTE



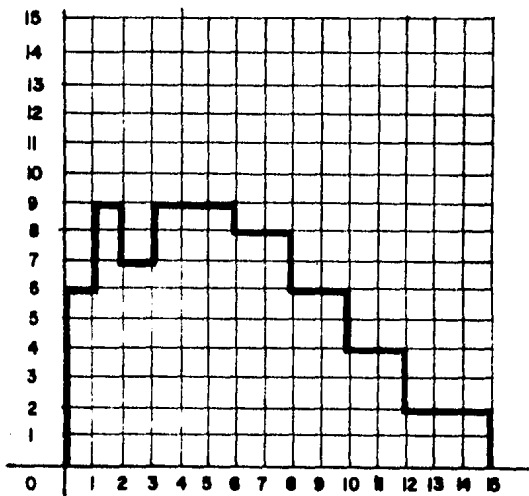
GRAFICA 4.1

DISTRIBUCION ORIGINAL



GRAFICA 4.2

SOLUCION OPTIMA



GRAFICA 4.3

C A P I T U L O V

COMPRESION DE REDES

¿EN QUE CONSISTE COMPRIMIR UNA RED?

La terminación de cada actividad dentro de un proyecto requiere el empleo de cierta cantidad de recursos y una cantidad específica de tiempo. Con un mínimo de recursos y un máximo de tiempo, se termina una actividad en su duración y costos normales. Una cantidad adicional de recursos asegura la terminación de la actividad en un tiempo menor que el normal. Esta aceleración de una actividad, que puede ser descrita como "compresión de la duración de una actividad", depende únicamente de la disponibilidad de recursos.

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.

Para iniciar la compresión de cualquier actividad, es esencial conocer los datos de costo-tiempo completos pertenecientes a esa actividad. Por conveniencia estos datos pueden ser indicados por medio de alguna conversión en la red, a lo largo de la flecha que corresponde a la actividad bajo consideración.

... #

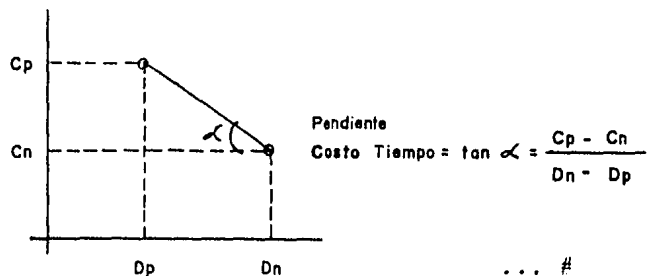
Cuando la duración de un proyecto se acorta, el costo aumenta si la parte del costo asociada a los recursos aumenta más que lo que disminuye la asociada con el tiempo. Si la duración del proyecto aumenta, también puede ocurrir que el costo aumente si la parte del costo asociada con el tiempo crece más de lo que disminuye la parte asociada a los recursos. También cuando el control del proyecto es deficiente pueden aumentar los costos considerablemente por efecto de los 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 el volumen entre el rendimiento, pero con la utilización de un mayor número de recursos que aunque aumentan la producción no lo hacen en forma lineal, 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 formula:

$$\text{COSTO POR UNIDAD DE TIEMPO ACORTADA} = \frac{\text{COSTO DE PREMURA} - \text{COSTO NORMAL}}{\text{DURACION NORMAL} - \text{DURACION PREMURA}}$$



PROCEDIMIENTO PARA LA COMPRESION.-

El procedimiento básico para comprimir un modelo de red es hacer fallar las actividades que componen la ruta crítica, comenzando con la actividad que tenga la menor pendiente de costo y después considerar sucesivamente las más inclinadas. Se deberán tomar precauciones para que la compresión propuesta no interfiera con el resto de la red, si así sucediera, se deberán tomar precauciones también respecto a la falla a fin de mantener la compresión lógica.

En cada etapa de los cálculos de compresión de la red, deberá realizarse un análisis lógico de acuerdo a con las siguientes reglas:

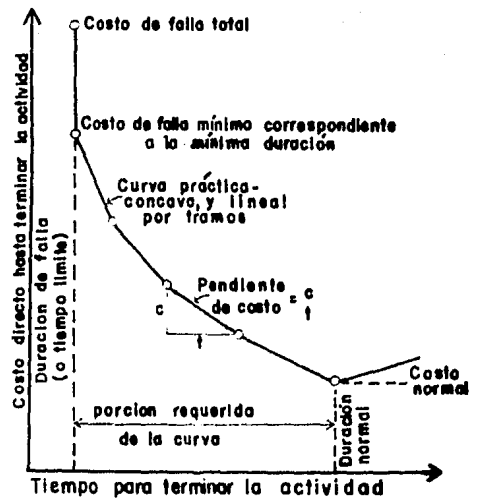
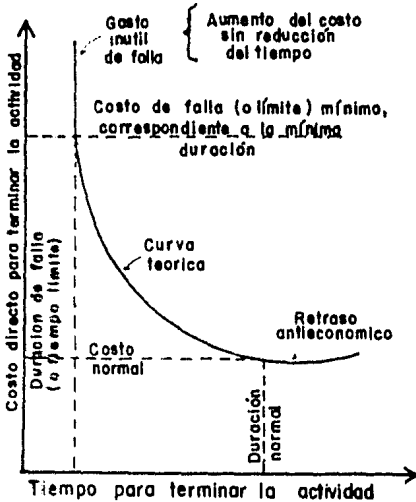
- 1.- Enumerar las actividades de la ruta crítica.
- 2.- Tachar aquellas actividades cuyo potencial de compresión sea 0 (cero). Entre ellas se incluirán las actividades cuyas duraciones normales y de falla sean idénticas, así como las que se han llevado a la falla en etapas anteriores.
- 3.- Seleccionar la actividad con la mínima pendiente de costo, que será la que dé la compresión más barata.
- 4.- Determinar la cantidad en que esta actividad puede ser comprimida y su costo correspondiente.
- 5.- Determinar si existe cualquier limitación de red para ésta compresión y la razón de su existencia.
- 6.- Llevar a cabo la compresión dentro de las limitaciones impuestas.
- 7.- Calcular la nueva duración del proyecto y su costo directo correspondiente.

Si se proporciona un incremento adicional de mano de obra y equipo a la solución normal, se obtienen una serie de puntos en la curva que muestran como cada incremento reduce la duración-

del proyecto (aunque aumenta el costo directo). Es decir, se hace una investigación del efecto de fallar sucesivamente varias actividades.

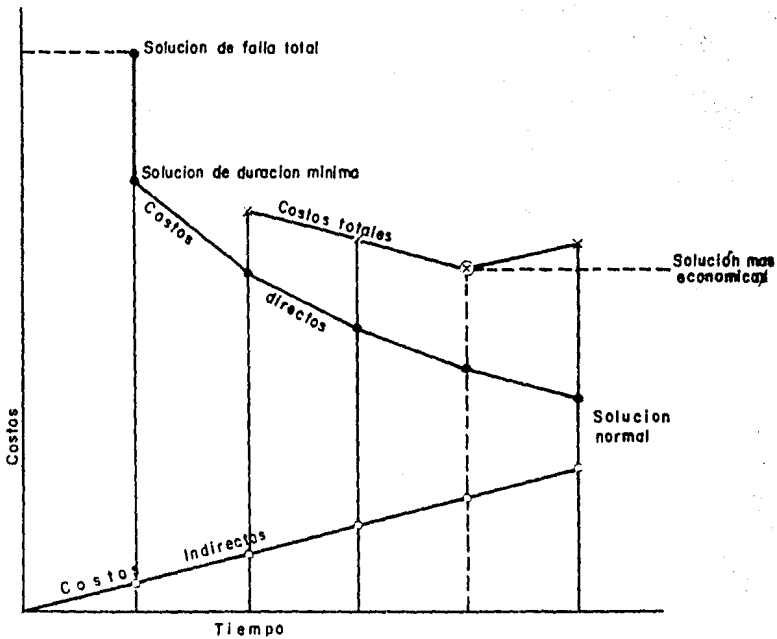
Esto puede continuarse por soluciones óptimas consecutivas, hasta que ya no sea posible acelerar el proyecto. Este procedimiento se conoce como COMPRESION.

De los datos de costo tiempo que muestran los tiempos de terminación-factibles, y los costos directos correspondientes para cada actividad es fácil calcular la pendiente de costo de todas las actividades del-proyecto. La pendiente de costo es el incremento de costo directo por unidad de tiempo, e indica la rapidez de variación del costo directo-de una actividad con respecto a la reducción de su duración.



Si observamos cuidadosamente el modelo de red normal, resulta rã evidente que una reducci3n en la duraci3n del proyecto es posible únicamente por medio de la falla de las actividades - situadas a lo largo del camino crítico y lo que es más, la compresi3n más barata de obtiene acelerando la actividad con la pendiente del costo más barata (es decir la menos inclinada).

Al surgir nuevas rutas críticas, otras actividades se vuelven disponibles para su compresi3n económica, y estas fallan a su vez, hasta que sea impracticable una nueva compresi3n del proyecto y finalmente, se alcanza la soluci3n del tiempo mínimo de falla.



Esta técnica de compresión no está plenamente garantizada para trabajos de construcción pequeños, pero desde luego, es -- digna de consideración en proyectos más largos y complejos.

Otro acercamiento al problema de soluciones óptimas es:

Si el proyectista tiene los datos de costo-tiempo de la solución normal y de falla le será también posible encontrar puntos de la curva costo-directo-tiempo, llevando el procedimiento de compresión al revés, es decir, comenzando sus cálculos en la solución de falla.

Este procedimiento es conocido con el nombre de DESCOMPRESION.

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 escogemos la actividad de menor costo por día acortado.

Para reducir el proceso se escogen actividades de la ruta crítica debido a que no tiene 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 va ya 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 de termina:

$$\text{Costo}_n = \text{Costo}_{n-1} + \frac{\text{Costo}}{\text{día}} \times \text{No. días acortados.}$$

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 in- cesario del costo del proceso, pues como se ha visto deben -- acelerarse las actividades que producen acortamientos de tiem po. Hay actividades que no es útil acortar porque 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 (s) RUTA (S) CRI- TICA (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 pre- mura.
- c) Hay muchas duraciones del proceso entre la duración- mínima y la duración normal.

Para la explicación del método proponemos el siguiente ejem-- plo:

... #

ACTIVIDAD	DURACION NORMAL	COSTO NORMAL	DURACION DE LIMITE	COSTO LIMITE	PENDIENTE COSTO
0-1 Organización del personal y equipo.	10	\$ 200,000	10	\$ 200,000	0
1-2 Transporte al lugar de la obra.	20	\$ 200,000	20	\$ 200,000	0
1-3 Adquisición de -- tubería	40	\$ 180,000	40	\$ 180,000	0
1-6 Adquisición de -- válvulas.	28	\$ 500,000	20	\$ 580,000	\$ 10,000
2-4 Trazo de ejes.	8	\$ 150,000	8	\$ 150,000	0
3-5 Ligas (de secuencias).	0	0	0	0	0
3-6 Acondicionamiento de accesorios.	10	\$ 100,000	6	\$ 260,000	\$ 40,000
4-5 Excavaciones de - zanjás.	30	\$3'000,000	10	\$6'600,000	\$ 180,000
5-6 Preparar cajas pa - ra válvulas	20	\$2'800,000	8	\$3'400,000	\$ 50,000
5-7 Colocar y juntar - la tubería	24	\$1'000,000	14	\$1'650,000	\$ 65,000
6-8 Colocar válvulas	10	\$ 200,000	6	\$ 520,000	\$ 80,000
7-8 Anclajes de concre - to.	12	\$ 400,000	8	\$ 520,000	\$ 30,000
8-9 Liga (de identifi - cación).	0	0	0	0	0
8-10 Rellenar	10	\$ 200,000	5	\$ 500,000	\$ 60,000
8-11 Terminar cajas pa - ra válvulas	6	\$ 200,000	3	\$ 320,000	\$ 40,000
9-10 Probar la red de - tuberías.	6	\$ 150,000	4	\$ 290,000	\$ 70,000
10-11 Limpieza.	4	\$ 300,000	4	\$ 300,000	0
11-12 Retirar equipo y - personal.	4	\$ 100,000	2	\$ 180,000	\$ 40,000

S U M A :
TOTAL DEL PROYECTO

\$11'300,000

\$17'470,000

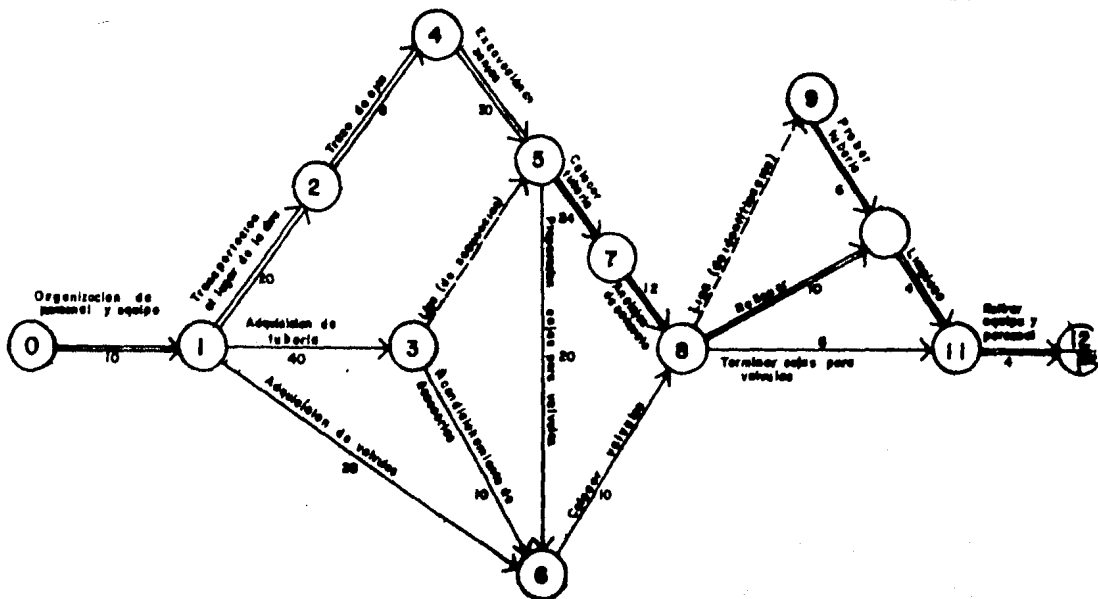
n
C
D

costo directo
normal

f
C
D

costo directo
de falla

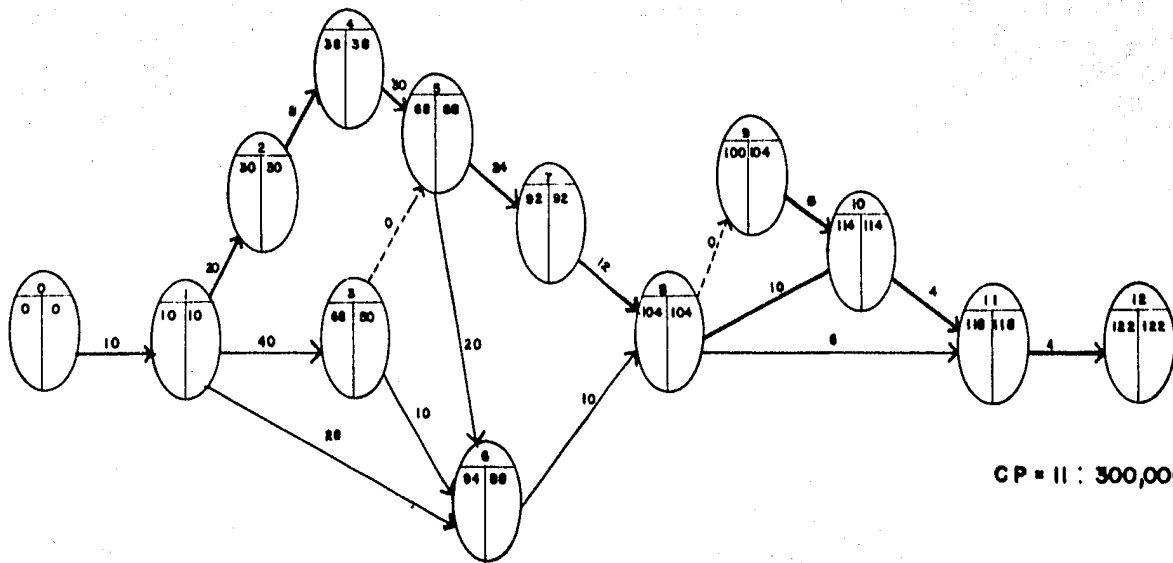
... #



EL MODELO DE RED LISTO PARA SU COMPRESION.-

El estado inicial de este modelo de red mostrado en la figura anterior, es la solución normal en la que la ruta crítica sigue la cadena: 0-1-2-4-5-7-8-10-11-12 y determina la duración del proyecto T_p^n de 122 días. (Ver figura 5:1)

Para los cálculos de compresión sólo es necesario indicar las duraciones de las actividades y los datos de costo-tiempo para aquellas actividades que están en la ruta crítica. Lo que es más, se podrá considerar a cualquier actividad que tenga potencial de compresión cero como en estado de falla total, y por lo tanto, podrá marcarse con el símbolo X. Estas actividades tienen su duración de falla igual a la normal y como --



RED LISTA PARA COMPRIR
 FIGURA : 5 . 1

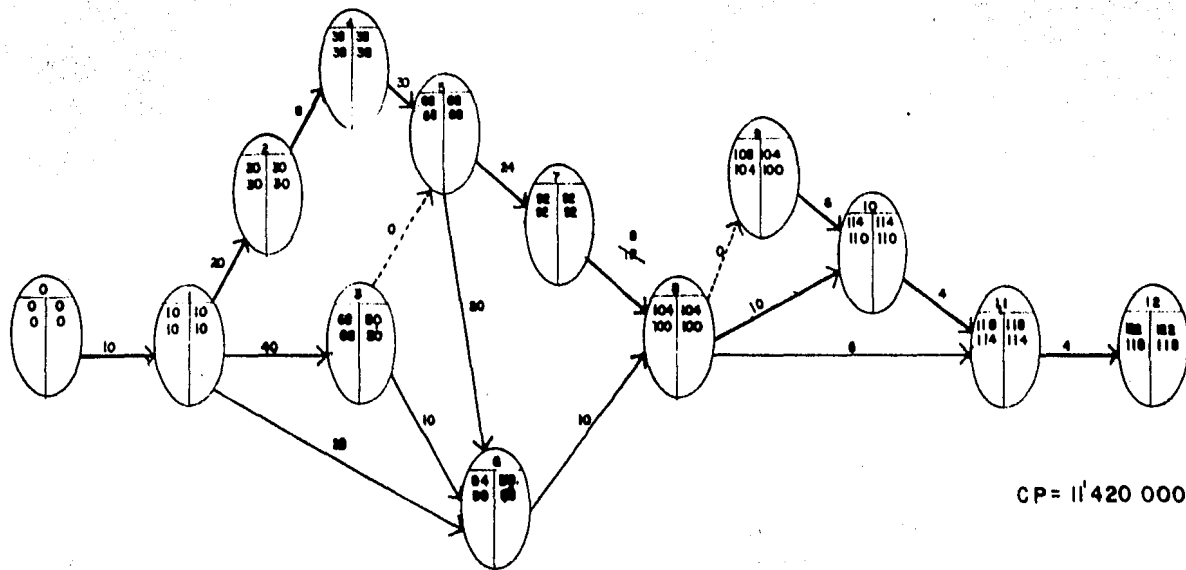
por esta razón, sus curvas de datos de costo-tiempo consisten en un solo punto, no se requiere ninguna información de tales datos en el modelo.

Los cálculos de compresión determinan en cada etapa la reducción en la duración del proyecto y el aumento en el costo directo del mismo, facilitando así, que muestren en cada modelo de red, las duraciones totales progresivas y los costos directos reales totales del proyecto durante el procedimiento de compresión.

PRIMERA COMPRESION.-

De todas las actividades disponibles para la compresión a lo largo de la ruta crítica, la que tiene la pendiente de costo mínima es la actividad 7-8. Es posible comprimir por cuatro (4) días para así llevarla a su falla total. Si se realiza esta compresión completa, el evento 8 ocurrirá 4 días antes, así como todos los eventos que se sigan. Todas las actividades no-críticas que terminan en el evento 8 (1-6-8, 1-3-6-8 y 5-6-8) se inician en eventos que no se afectarán en tiempo y que tienen una holgura libre que excede de 4 días.

Por lo tanto comprimiaremos la actividad 7-8 por cuatro días hasta su falla completa a un costo de 120,000 pesos. Duración del proyecto = 118 días. (fig. 5:2).



RED DESPUES DE LA 1^{er} COMPRESION

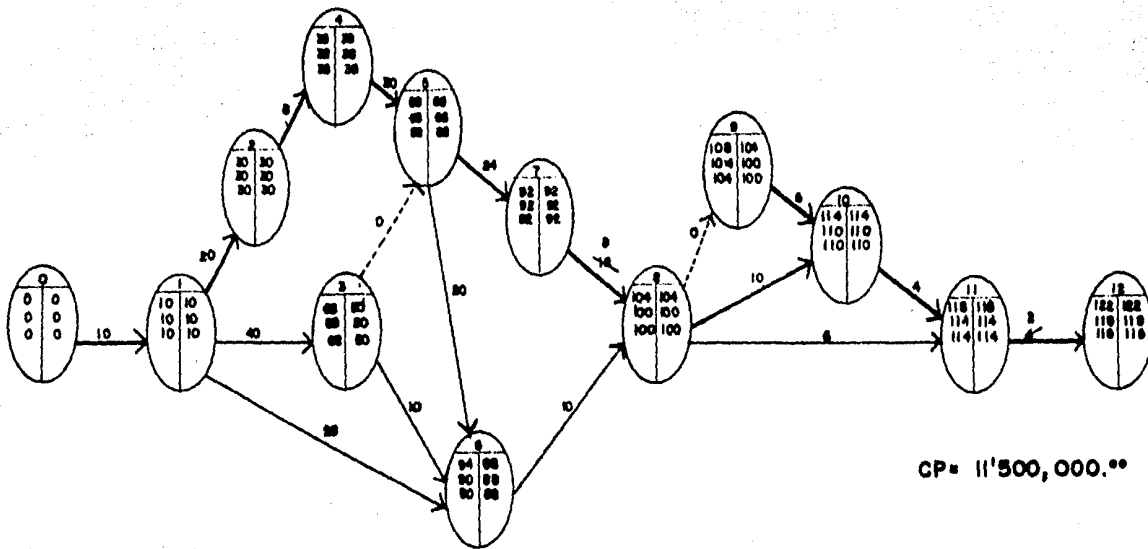
FIGURA: 5.2

SEGUNDA COMPRESION.-

Debido a que se altera el tiempo para el evento 8, la holgura libre para la cadena 5-6-8 queda ahora reducido a dos (2) días y por lo tanto, es casi crítica. Esta cadena más adelante impondrá una limitación de red a las próximas compresiones de la cadena 5-7-8; por otro lado, como los tiempos de los eventos - 5 y 6 no se alteraron, la holgura libre de las cadenas 1-3-5, - 1-3-6 y 1-6 tampoco se alteran.

La actividad 7-8 (ahora en estado de falla) está marcada con una X pero todavía está disponible para la prolongación de su duración (si fuera necesaria) y así lo indican sus datos de utilidad costo-tiempo.

Por lo tanto comprimirémos la actividad 11-12 por dos (2) días hasta su estado de falla completa a un costo de 80,000 pesos.- Duración del proyecto = 116 días. (fig. 5:3).



CP = 11'500,000.00

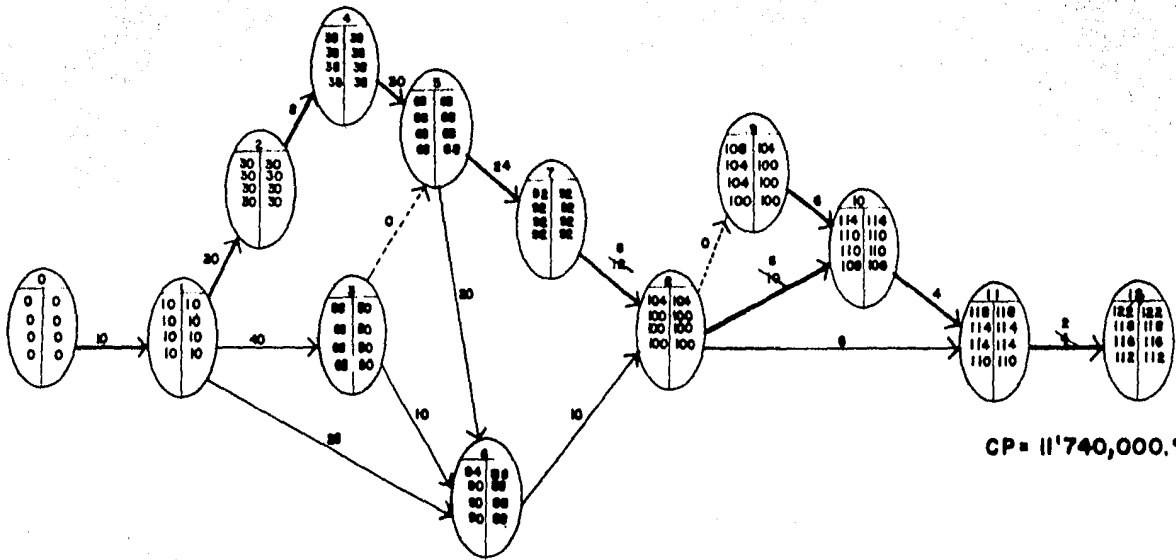
RED DESPUES DE LA SEGUNDA COMPRESION
 FIGURA : 5.3

TERCERA COMPRESION.-

La actividad 8-10 es ahora la actividad crítica con la misma pendiente de costo y es posible una compresión de cinco (5)-días. Siendo esto factible el evento 10 ocurrirá cinco (5)-días antes. Sin embargo la cadena 8-9-10 tiene una holgura libre de sólo cuatro (4) días, creando así una limitación de red.

Debe comprenderse que en este caso una compresión de 5 días de la actividad 8-10, con una compresión simultánea de un -- (1) día en la actividad 9-10 es posible y así daría tiempo compatible para el evento 10. Sin embargo, esta compresión alteraría las bases lógicas para seleccionar la actividad -- 8-10 como la más barata en la ruta crítica, pues primero, la compresión de la actividad 9-10 indica una pendiente de costo adicional de 70,000 pesos, y segundo, actualmente es una actividad no crítica. Aún más, esta doble compresión (4 -- días con una pendiente de 60,000 pesos, más un día a 130,000) no es la compresión de 5 días más barata, por el contrario los primeros cuatro días a 60,000 pesos, es ahora la compresión lógica y óptima, donde el quinto día puede lograrse a un costo de 65,000 pesos (en lugar de 130,000).

Así, siempre será mejor seguir la lógica de compresión de -- red. Por lo tanto comprimirémos la actividad 8-10 por 4 --- días solamente a un costo de 240,000 pesos. La duración del proyecto es = 112 días. (fig. 5:4).



RED DESPUES DE LA TERCERA COMPRESION

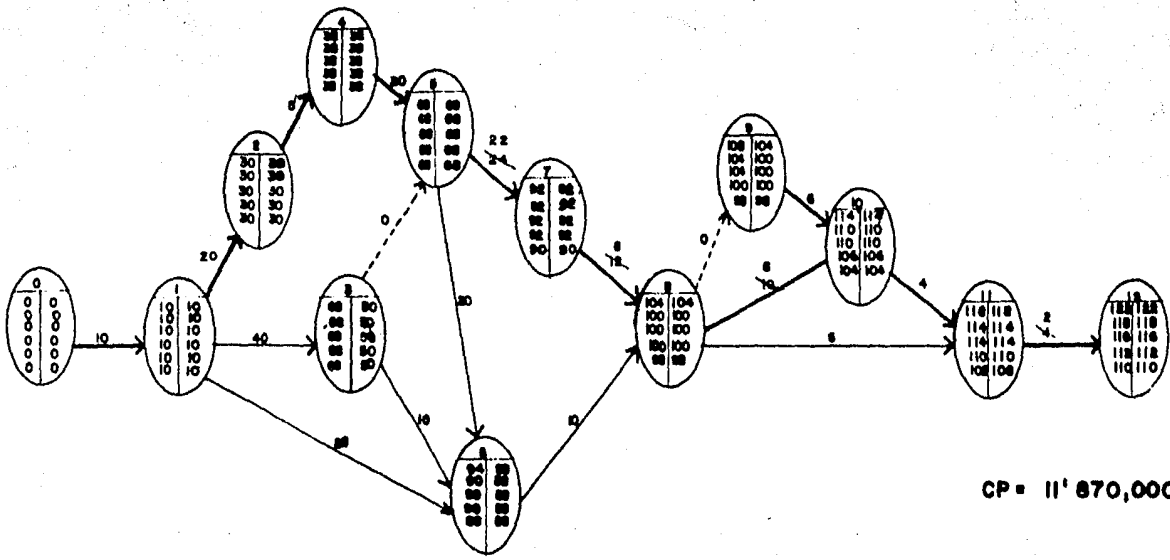
FIGURA : 5:4

CUARTA COMPRESION.-

La tercera compresión ha generado una nueva ruta crítica debido al gasto de la holgura libre de una cadena no-crítica, por lo que la condición de la actividad 9-10 ha cambiado de no -- crítica a crítica y por lo tanto sus datos de costo-tiempo se han añadido al modelo. Es más, la actividad 8-10 no está en estado de falla total por lo cual en la red se indica que esta actividad esta disponible tanto para compresión como para descompresión.

Aunque la actividad 8-10 tiene la menor pendiente de costo de todas las actividades en las dos rutas críticas, cualquier -- compresión debe ocasionar simultáneamente la de la actividad- 9-10, y por lo tanto esta compresión tiene una pendiente de - costo combinado de 130,000 pesos, entonces la actividad 5-7 - que tiene una pendiente de costo de 65,000 pesos por día, es la compresión real más barata disponible.

Esta actividad tiene un potencial de 10 días, sin embargo, un tiempo de ocurrencia más próximo para el evento 7, significa un tiempo más próximo para el evento 8. Pero la cadena no- - crítica 5-6-8 tiene una holgura libre disponible de sólo 2 -- días, por lo que existe una limitación de red que restringe - la compresión de ésta cantidad. Por lo que comprimirémos la- actividad 5-7 por 2 días únicamente a un costo de 130,000 pesos. Duración del proyecto = 110 días. (fig. 5:5).



CP = 11'870,000.00

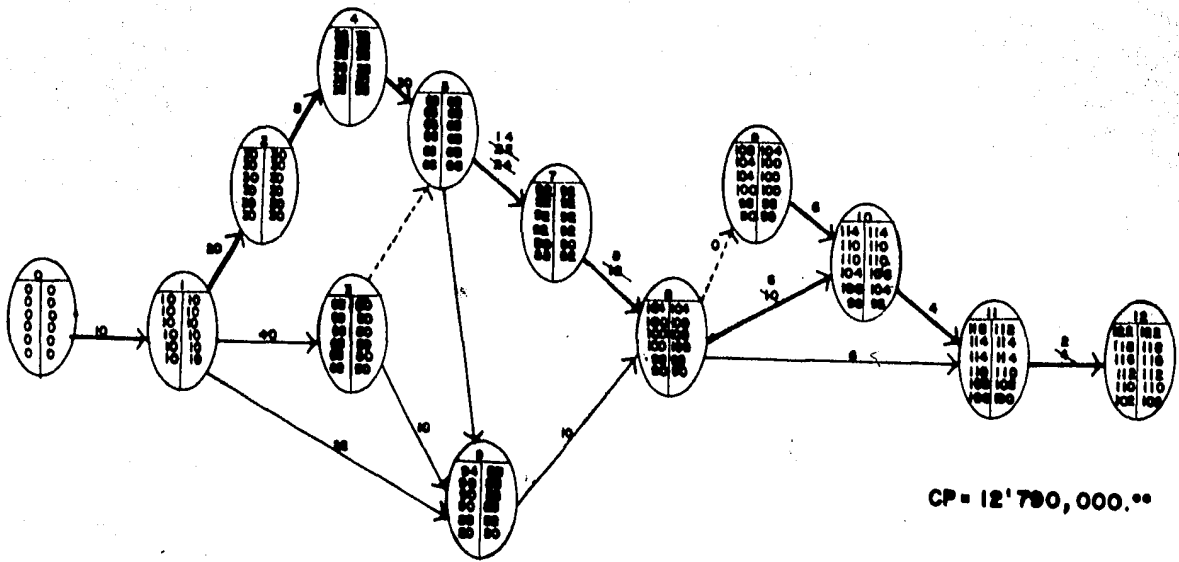
RED DESPUES DE LA CUARTA COMPRESION

FIGURA : 5.5

QUINTA COMPRESION.-

Como se ve en la cuarta compresión, se añade una nueva ruta crítica (5-6-8) al modelo de red. Hay que hacer notar que aunque el evento 6 está en una nueva ruta crítica, su tiempo de terminación más próximo todavía no se ha afectado, y quedan intactas las holguras libres en las cadenas no-críticas - 1-3-6 y 1-6.

La compresión simultánea de las actividades 5-7 y 5-6 es la seleccionada ahora ya que es la que da el costo mínimo. La actividad 5-6 tiene un potencial de compresión de 12 días, -- pero la actividad 5-7 está en falla total después de una compresión de 8 días; así que existe una limitación de la compresión a sólo 8 días, por lo que al comprimirse las actividades 5-6 y 5-7 simultáneamente por 8 días, da un costo de 92,000 pesos. Duración del proyecto = 102 días. (fig. 5:6).



RED DESPUES DE LA QUINTA COMPRESION

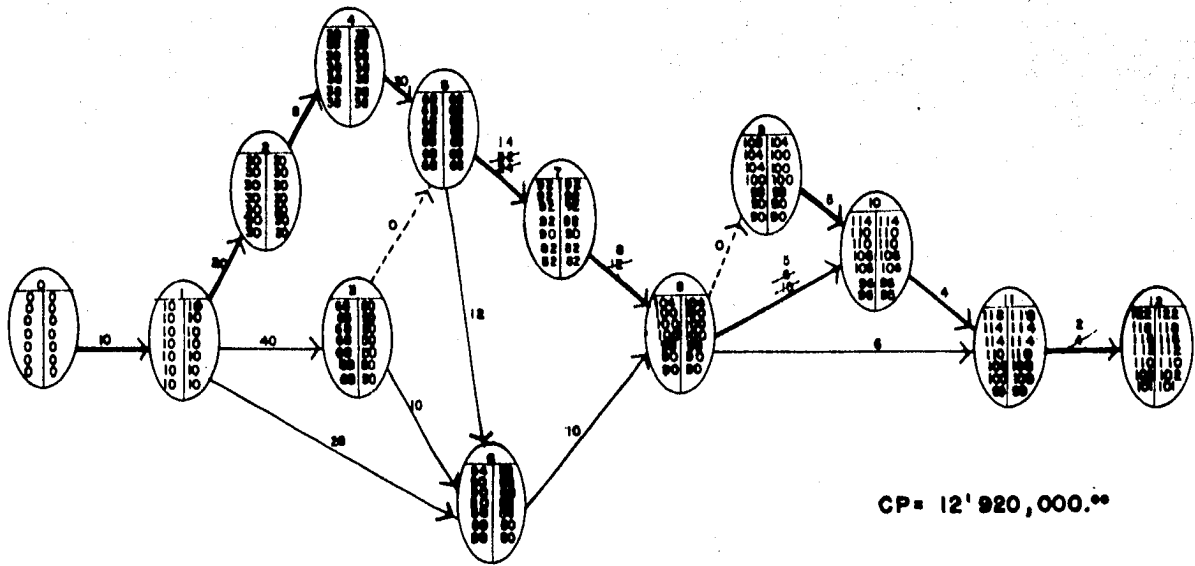
FIGURA : 5.6

CP = 12'790,000.00

SEXTA COMPRESION.-

Ahora, después de la quinta compresión, el evento 6 podrá ocurrir más pronto, pues el resultado de las holguras libres de las cadenas que terminan en este evento (1-3-6 y 1-6) se -- reduce a 8 días, como el el evento 5 no se altera queda la -- misma holgura para la cadena 1-3-5.

Es obvio que en la ruta crítica entre los eventos 5 y 8 la se cuencia crítica 5-7-8 está ahora en falla completa, por esto no será posible ninguna compresión futura para ninguna de las actividades en las cadenas que principian en el evento 5 y -- que terminan en el evento 8, aún cuando la actividad 5-6 tiene la pendiente de costo mínima. De esta manera, la pendiente real de 130,000 pesos por día para la compresión simultanea de las actividades 8-10 y 9-10 es la próxima selección -- (pues es más barata que la pendiente de costo real de ----- 180,000 pesos para la actividad 4-5). Los dos días de compresión posibles para la actividad 9-10 estan limitados por -- un día de falla completa de la actividad 8-10 y 9-10 simultaneamente, a un costo de 130,000 pesos por día. Duración del proyecto es = 101 días. (fig. 5:7).

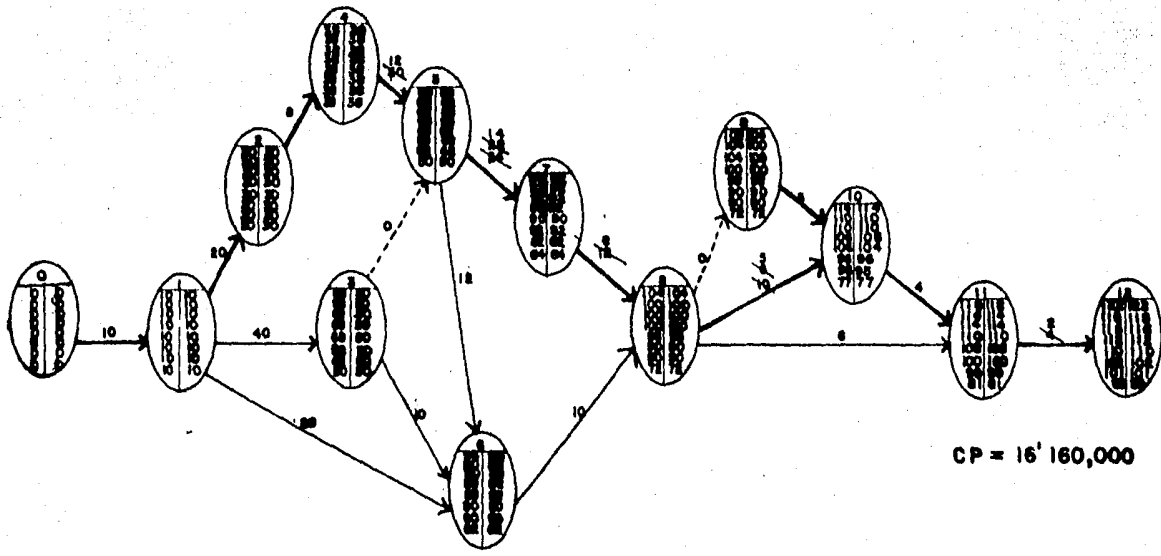


RED DESPUES DE LA SEXTA COMPRESION

FIGURA : 5:7

SEPTIMA COMPRESION.-

La holgura libre de la cadena 8-11 ha quedado reducida y el -
circuito cerrado entre los eventos 8 y 11, pues tienen una --
ruta crítica en estado de falla completa. Ambos circuitos --
cerrados críticos estan totalmente comprimidos y la única ---
actividad crítica restante disponible para compresión es la -
4-5 que tiene un potencial de 20 días con una pendiente de --
costo de 180,000 pesos, sin embargo, hay una limitación de --
esta compresión que la disminuye a 18 días a causa de la hol-
gura libre en la cadena 1-3-5, por lo que comprimiremos la --
actividad 4-5 por 18 días únicamente a un costo de 324,000 --
pesos. Duración del proyecto = 83 días. (fig. 5:8).



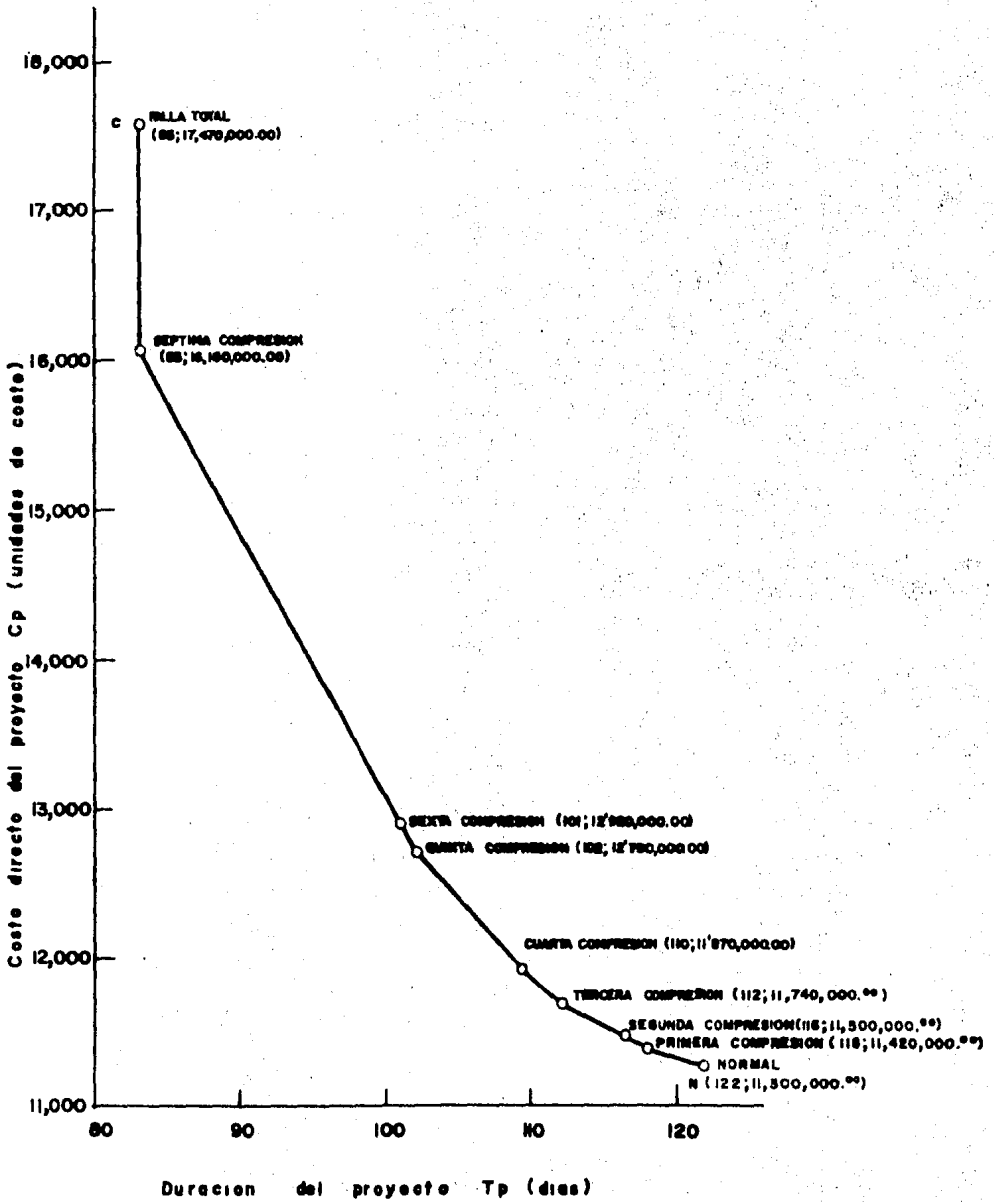
CP = 16'160,000

RED DESPUES DE LA SEPTIMA COMPRESION
 FIGURA: 5.8

El estudio de la séptima compresión confirma que ya no es posible ninguna compresión futura. Ha aparecido un nuevo camino crítico (1-3-5) y sería de esperarse que sus actividades - (ahora críticas) se pudiesen comprimir, y este sería el caso si no fuera por el hecho de que el estado normal de la cadena 1-3-5 es también la condición de falla como lo muestra la tabla del ejemplo que venimos siguiendo.

ACTIVIDADES	COMPRESIONES	OPERACIONES	COSTO TOTAL	DURACION
7-8	1o. 4 dfas	11'300000+4x30000	11'420,000	122 - 4 = 118 dfas
11-12	2o. 2 dfas	11'420000+2x40000	11'500,000	118 - 2 = 116 dfas
8-10	3o. 4 dfas	11'500000+4x60000	11'740,000	116 - 4 = 112 dfas
5-7	4o. 2 dfas	11'740000+2x65000	11'870,000	112 - 2 = 110 dfas
5-6	5o. 8 dfas	11'870000+8x50000	12'270,000	110 - 8 = 102 dfas
5-7	5o. 8 dfas	12'270000+8x65000	12'790,000	110 - 8 = 102 dfas
8-10	6o. 1 dfa	12'790000+1x60000	12'850,000	102 - 1 = 101 dfas
9-10	6o. 1 dfa	12'850000+1x70000	12'920,000	102 - 1 = 101 dfas
4-5	7o. 18 dfas	12'920000+1x18000	13'100,000	101 - 18 = 83 dfas

Hemos encontrado que, para reducir la red en 39 dfas, el costo ha aumentado de: -
 \$ 11'300,000 a \$ 13'100,000.



Conforme a todo lo anterior, existe un programa de falla completa para la ruta crítica entre el evento 0 (iniciación del proyecto) y el evento 12 - (terminación del proyecto), que es la solución óptima de tiempo mínimo -- para este proyecto y cuya representación geométrica es el punto 7.

Al considerar las siete etapas de compresión, se observa que los primeros dos implican una falla simple de actividades; las siguientes dos etapas - tienen compresiones limitadas por las holguras libres de cadenas no críti cas; la quinta y sexta se refieren a rutas críticas paralelas; la séptima etapa, implica una compresión limitada por un tiempo flotante que intro-- duce la limitación final de rutas críticas en el estado de falla.

En los modelos de red, compuestos principalmente por cadenas con poca interconexión, las únicas compresiones que se hallan son similares a las -- que se han discutido y, por lo tanto, se manejan fácilmente. Sin embargo, algunas veces especialmente en redes con una gran interconexión, surgen - situaciones difíciles que requieren un tratamiento especial.

Otras veces los modelos de red pueden simplificarse temporalmente, elimi nando cadenas de actividades que tienen holguras libres extraordinariamen te grandes en su estado normal. Si nos referimos a la actividad 1-6 en -- nuestro modelo de la tubería, con un flotante inicial de 50 días, nos de muestra que su estado final todavía proporciona una holgura libre de 24 - días; por lo tanto, en cuanto a cálculo de compresión se refiere, esta -- actividad pudo haberse ignorado por completo; eliminándola de la red para su análisis posterior. Por supuesto, tales eliminaciones deben hacerse -- con precaución, y teniendo una justificación en la experiencia. Por ejem plo la cadena 1-3-5 con su gran holgura libre inicial de 18 días, de ---- hecho, controló la terminación de los cálculos de compresión en este proy ecto, y no pudo haberse ignorado.

Los cálculos de compresión de redes, que acabamos de ver nos proporcionan puntos salientes (o coordenados) de la curva del costo directo del proyec to los cuales se muestran en la figura anterior. Como se supuso que todas las actividades individuales tenían curvas de costo-tiempo válidas y con-

tinuas implica que es factible cualquier programa para el proyecto, entre la mínima duración de 83 días y la duración normal de 122 días. La curva es cóncava y la magnitud de su pendiente aumenta monotónicamente a medida que se reduce la duración del proyecto; en otras palabras, la pendiente de costo es negativa a lo largo de toda la curva, lo que indica que los cálculos de compresión de la red se llevarón a cabo en el orden lógicamente correcto. Esta es una característica de los problemas de programación lineal paramétrica.

Una característica interesante y muy importante de nuestra gráfica es la relación entre la solución de falla y la solución óptima de tiempo mínimo para el proyecto.

C A P I T U L O VI

EL SISTEMA DE RUTA CRITICA POR COMPUTADORA

El sistema de ruta crítica permite lo siguiente:

- Que el personal directivo tenga un conocimiento de lo que esta sucediendo en un proyecto, sin tener que estar supervisando todo el proyecto.
- Que puedan deslindarse responsabilidades de las diferentes partes que intervienen en el proyecto.
- Descomponer un proyecto en un gran número de actividades de muy diferente índole, lo que permite la coordinación de varios trabajos diferentes.
- Determinar cuáles son las actividades que controlan la duración de un proyecto (actividades críticas y la holgura de las demás actividades).
- Conocer de antemano los recursos requeridos en cualquier momento (materiales, mano de obra, equipo, capital, etc.)
- Analizar el efecto de cualquier situación imprevista y así poder tomar medidas directivas eficientes.
- Con el sistema de ruta crítica, se ve la dependencia exacta de cada una de las actividades, lo que no se distingue en el diagrama de barras.
- La planeación y la programación se hacen por separado evitando así suposiciones falsas, las que si pueden ocurrir con el diagrama de barras.
- Se logra un control efectivo del proyecto, ya que un retraso o adelanto sólo afecta a la programación y NO a la planeación original, lo que indica que solo hay que reprogramar la parte afectada.
- Permite cuantificar la magnitud de la desviación y -- sus efectos a la terminación del proyecto.

- Por medio de las holguras se pueden balancear los recursos a lo largo de toda la obra.
- La agilización de las ventajas anteriores se logra in dudablemente con el empleo de la computadora.

PROCESO PRODUCTIVO.-

Todo proceso productivo requiere de tres fases que son:
Planeación, Programación y Control.

Fases que a continuación explicaremos:

PLANEACION.-

Es un antecedente directo de la programación, y se entiende como la determinación de la secuencia lógica de las actividades dirigidas a la realización de una obra, esto es, construir un modelo gráfico de la obra.

Este modelo gráfico se conoce con el nombre de RED en el cual deben describirse específicamente solo las características del proyecto.

Es muy importante desarrollar la red con suficiente detalle, - para así mostrar con validez las características de los métodos de construcción que han de adoptarse. Las necesidades de información que fijan el personal directivo y el Departamento de Planeación, marcan la magnitud y el detalle necesario para la elaboración de la red.

Un diagrama de RED es un modelo determinístico, en virtud de - que es una representación rígida de una forma de llevar a cabo un trabajo, y por lo mismo, es esencial decidir los procedi---

mientos de construcción antes del trazo de la red. Esto no -- quiere decir que se nieguen la flexibilidad en la planeación, por el contrario, la flexibilidad es asegurada al considerar - tantas posibilidades como se desee para la realización del proyecto y al revisar cada una de éstas alternativas se podrá escoger la mejor.

La ventaja sobresaliente del diagrama de red, es que obliga a una presentación completa y precisa de todas las actividades de un proyecto desde su inicio por medio de todas sus relaciones, hasta su terminación.

PROGRAMACION.-

Una vez trazado el plan de trabajo siguiendo las consideraciones anotadas anteriormente, se procede al cálculo de fechas en que se debe empezar cada una de las actividades planeadas.

Como primer paso se hace el análisis de tiempos que consiste - en la determinación de la duración de cada una de las actividades que integran el proceso. Este análisis está basado en la experiencia del constructor, en el conocimiento de los volúmenes a ejecutar, asociados a cada una de las actividades, en la cantidad de recursos disponibles y sus rendimientos.

Una característica interesante del método de la ruta crítica - es que inicialmente se proporcionan una serie de datos de tiempos factibles; no sólo se obtienen soluciones óptimas en terminos del tiempo para el proyecto, sino también todas las especificaciones de tiempo para cada actividad.

Hecho esto, se pasa al cálculo de las fechas de inicio y de terminación tanto de las actividades como del proyecto, y a la determinación de las actividades críticas y no-críticas, las cuales tienen holguras.

Los análisis de costos y los análisis de recursos son dos estudios íntimamente relacionados con el programa, los análisis de costos se refieren a las variaciones que tienen los costos respecto al tiempo de ejecución tanto de las actividades como del proyecto, y los análisis de recursos se refieren a la distribución óptima de ellos y a su cuantificación respecto al tiempo.

CONTROL.-

Los proyectos de construcción deben estar cuidadosamente planeados y evaluados, de tal forma que puedan ser terminados satisfactoriamente en cuanto a calidad, tiempo y costo.

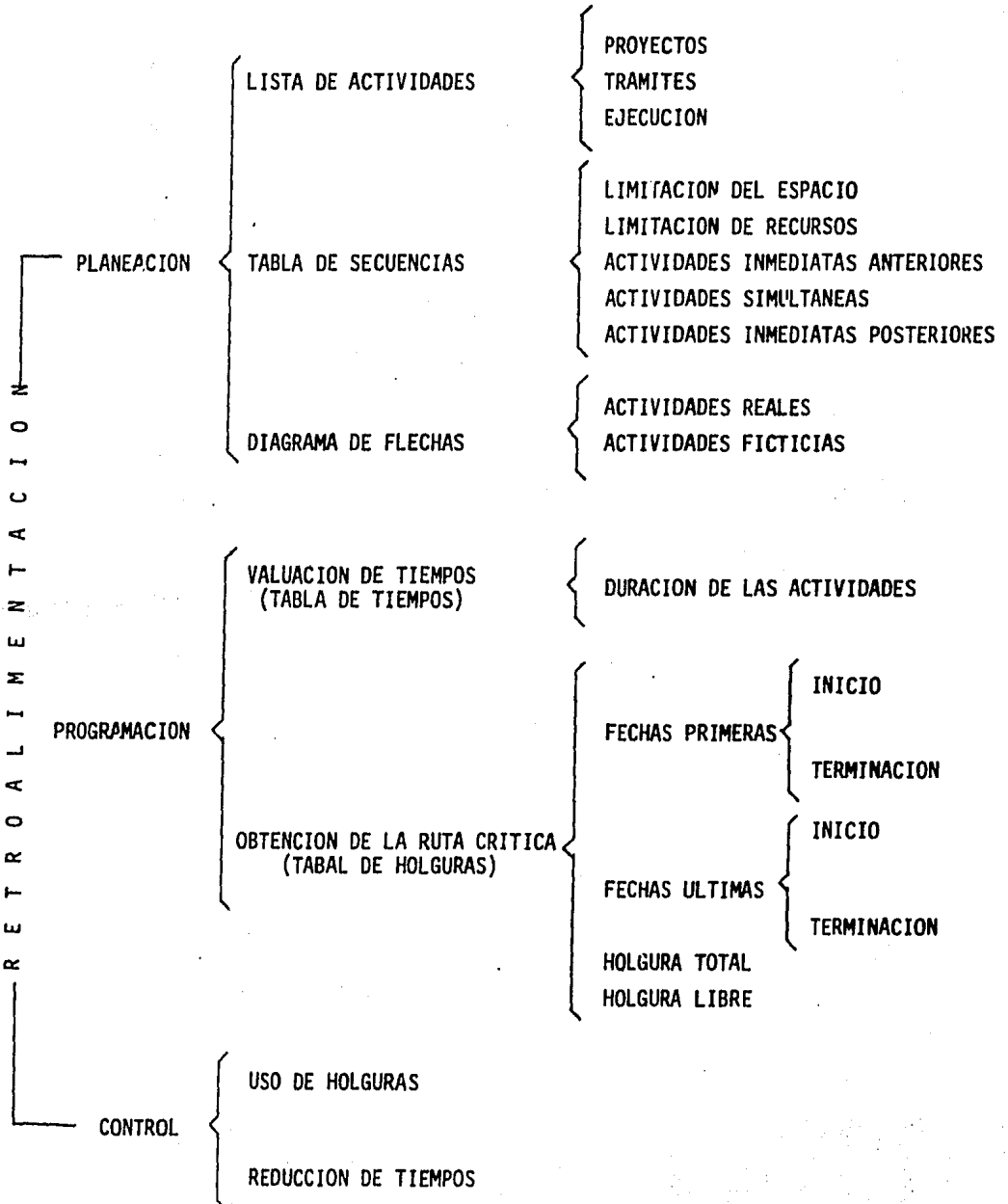
Sin embargo, se puede considerar que ningún plan trazado en papel trabajará con una continuidad perfecta en la práctica. La operación uniforme tal como se muestra en la red o en una gráfica de barras, se verá afectada por retrasos imprevistos, restricciones impredecibles o factores desconocidos.

Para terminar un proyecto satisfactoriamente, el sistema utiliza y compara la información obtenida en el programa base de control de ejecución con los avances reales medidos en obra, esos avances se toman físicamente reportando para cada una de las actividades en proceso de ejecución el porcentaje de avance en -- tiempos que estas presentan y para las actividades ya terminadas la fecha de terminación de las mismas, con estos datos se -

procesa la red obteniendo un reporte de control que contiene la siguiente información: La duración supuesta inicialmente, la duración que ha tenido o que tendrá la actividad en función del avance, las nuevas fechas de iniciación y terminación próximas y remotas, las holguras existentes, los porcentajes de avance - que tienen actualmente las actividades y el que deberán tener - antes de la siguiente revisión. Finalmente se tienen los atrasos y adelantos que se ha presentado y que serán indicaciones para conocer que actividades deberán ser aceleradas por presentar retrasos.

La experiencia ha demostrado que las obras que se ejecutan siguiendo los lineamientos establecidos en los programas originales de trabajo o reprogramación hechas a tiempo, a pesar de que sufran variaciones en los periodos de ejecución concluye con mejores resultados que aquellas obras en las que sufriendo algún retraso son atacadas en diferentes frentes, sin una previa solución de gabinete.

INTEGRACION DE LAS FASES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO



SECUENCIA DE PROGRAMACION DE RUTA CRITICA.-

Los pasos para la secuencia de programación son los siguientes:

- 1.- Definición de actividades.
- 2.- Definición de la secuencia lógica e interrelación de actividades.
- 3.- Evaluar duración de acuerdo a la experiencia del programador o a las tablas.
- 4.- Elaboración de la red de flechas.

Estos pasos se utilizan en la programación de cualquier proyecto independientemente de utilizar o no un sistema computacional.

Ahora veamos los pasos para el sistema computacional, el cual se le denomina B.A.T.C.H. que significa que es un trabajo que entra a proceso en lote sin resultados inmediatos:

- 1.- Crear el archivo que nos servirá para calcular el C.P.M. (Critical Path Method). El programa que calcula el C.P.M. nos informa actividades y las posibles fallas que pueda tener la red de flechas. Este programa calcula la ruta crítica a nivel día/obra sin proporcionar fechas.
- 2.- Conocer el calendario de la obra el cuál nos servirá posteriormente para calcular el programa base de control de nuestro proyecto (este programa únicamente genera la matriz días/obra).
- 3.- Crear el archivo para calcular el programa base, aquí debemos incluir nuestras actividades así como también la matriz calculada por el calendario. Este programa nos proporciona la ruta crítica tanto a nivel de obra como a nivel de calendario. Por otra parte nos proporciona las holguras totales y libres de cada una de las actividades que conforma la red de flechas.

- 4.- Una vez que ha quedado definido el programa base es necesario llevar a cabo controles o revisiones perfo
dicas las cuales determinan hasta que punto se está
cumpliendo con la planeación, así como también se po
drá conocer en que actividades del proyecto es donde
se encuentra el problema que está retrasando nuestro
programa.
- 5.- Con objeto de representar visualmente el desarrollo
del proyecto se utiliza el diagrama C.P.M.Gantt, el
cuál nos indica tanto la duración como las holguras
de las distintas actividades de este diagrama que -
se puede obtener tanto del programa base como de un
reporte de control o revisión. También el diagrama
se puede obtener por medio de un Graficador Electró
nico o por una impresora.

Simbologfa:

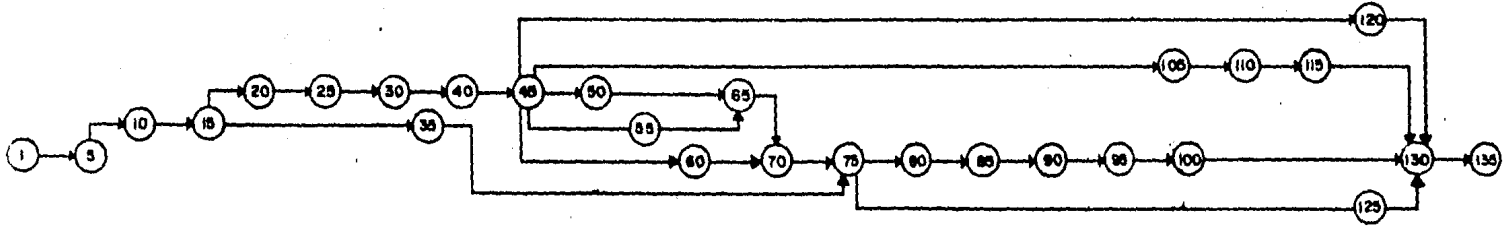
CR	Ruta crítica
I	Iniciación
J	Final o terminación
RESP.	Responsable
*	Duración
++	Holgura total

EJEMPLO:

Programación de una Casa Habitación.

- 1.- Diagrama de flechas.
- 2.- Descripción de zonas y responsables.
- 3.- Listado de actividades y cálculo de la red.
- 4.- Diagrama de barras.
- 5.- Calendario de decenas.
- 6.- 1a. Revisión del programa.
- 7.- 2a. Revisión del programa.
- 8.- Diagrama de barras por computadora.

DIAGRAMA DE FLECHAS DE UNA CASA HABITACION



UNA
1
2
3
4
5

DESCRIPCION
CIMENTACION
ESTRUCTURA
INSTALACIONES
ACABADOS
OBRAS EXTERIORES

RESP	DESCRIPCION
1	TERRACERIAS
2	ALBANILERIA
3	PRECOLADOS
4	ELECTRICIDAD
5	IMPERMEABILIZAC.
6	PLOMERIA
7	YESERIA Y PINTURA
8	HERRERIA
9	CARPINTERIA
10	TAPIZ
11	JARDINERIA
12	LIMPIEZA

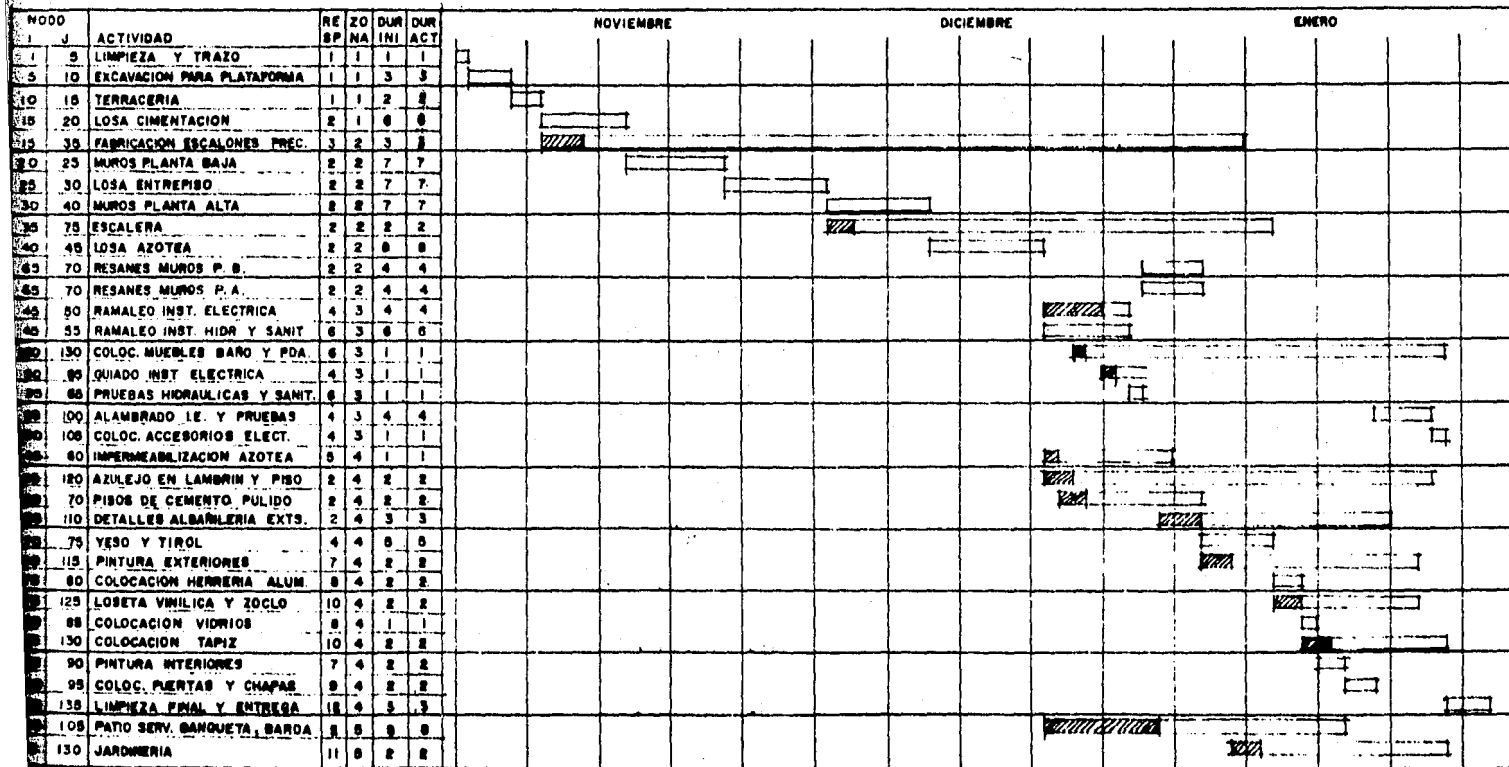
...

176CT81

EJEMPLO

CR	N O D O		DESCRIPCION	ZONA	DURACION TOTAL		C H A S		H O L G U R A S		
	J	RESP			DURACION	PRIMERA	ULTIMA	TOT	LIB		
					DIAS	INICIAR	TERMINAR	INICIAR	TERMINAR	TOT	LIB
Y	1	5	1	LIMPIEZA Y TRAZO	1	1	0	1	0	1	0
Y	5	10	1	EXCAVACION PARA PLATAFORMA	1	3	1	4	1	4	0
Y	10	15	1	TEFRACERIA	1	2	4	6	4	6	0
Y	15	20	2	LOSA CIMENTACION	1	6	6	12	6	12	0
Y	15	30	3	REPLICACION ESCALONES PREC	2	3	6	9	52	55	46
Y	20	25	2	MUROS PLANTA BAJA	2	7	12	19	12	19	0
Y	25	30	2	LOSA ENTREPISO	2	7	17	26	17	26	0
Y	30	40	2	MUROS PLANTA ALTA	2	7	26	33	26	33	0
Y	35	75	2	ESCALERA	2	2	26	28	55	57	27
Y	40	45	2	LOSA AZOTEA	2	8	33	41	33	41	0
Y	45	50	4	RAMALEO INST. ELECTRICA	3	4	41	45	43	47	2
M	45	55	6	RAMALEO INST. HIDR. Y SAN.	3	6	41	47	41	47	0
Y	45	60	5	IMPERMEABILIZACION AZOTEA	4	1	41	42	49	50	2
Y	45	105	2	PATIO SERV. RAQUETA, DARDA	5	8	41	49	54	62	13
Y	45	120	2	ABULEJO EN LANJIRIN Y PISO	4	2	41	43	64	68	25
Y	50	65	4	CUCHARO INST. ELECT.	3	1	45	46	47	48	2
M	55	65	6	PRUEBAS HIDRAULICAS Y SAN.	3	1	47	48	47	48	0
Y	60	70	4	PISOS DE CEMENTO PULIDO	4	2	42	44	50	52	8
Y	65	70	2	RESANES MUROS P.D.	2	4	48	52	48	52	0
Y	65	70	2	RESANES MUROS P.A.	2	4	48	52	48	52	0
Y	70	75	7	YESO Y TIROL	4	5	52	57	52	57	0
Y	75	80	8	COLOCACION HERRERIA ALUM.	4	2	57	59	57	59	0
Y	75	125	10	LOSETA VINILICA Y ZOCLO	4	2	57	59	65	67	3
Y	80	85	8	COLOCACION VIDRIOS	4	1	57	60	59	60	0
Y	85	92	7	PINTURA INTERIORES	4	2	60	62	60	62	0
Y	90	95	2	COLOC. PUERTAS Y CHAPAS	4	2	62	64	62	64	0
Y	95	100	4	ALAMBRADO I.E. Y PRUEBAS	3	4	64	68	64	68	0
M	100	130	4	COLOC. ACCESORIOS ELEC.	3	1	68	69	68	69	0
Y	105	110	2	DETALLES ALBAHILERIA EXTS	4	3	49	52	62	65	13
Y	110	115	7	PINTURA EXTERIORES	4	2	52	54	65	67	13
Y	115	130	11	JARDINERIA	5	2	54	56	67	69	13
Y	120	130	6	COLOC. MUEBLES DAÑO Y PDA.	3	1	68	69	68	69	20
Y	125	130	10	COLOCACION TAPIZ	4	2	59	61	67	69	8
M	130	135	12	LIMPIEZA FINAL Y ENTREGA	4	3	69	72	69	72	0

DIAGRAMA DE BARRAS



CALENDARIO

CASA EJEMPLO

CASA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	15-OCT/81	20-OCT/81	21-OCT/81	22-OCT/81	23-OCT/81	24-OCT/81	26-OCT/81	27-OCT/81	28-OCT/81	29-OCT/81
1	16-OCT/81	31-OCT/81	3-NOV/81	4-NOV/81	5-NOV/81	6-NOV/81	7-NOV/81	9-NOV/81	10-NOV/81	11-NOV/81
2	17-NOV/81	13-NOV/81	14-NOV/81	16-NOV/81	17-NOV/81	18-NOV/81	19-NOV/81	21-NOV/81	23-NOV/81	24-NOV/81
3	25-NOV/81	29-NOV/81	27-NOV/81	28-NOV/81	30-NOV/81	1-DIC/81	2-DIC/81	3-DIC/81	4-DIC/81	5-DIC/81
4	7-DIC/81	8-DIC/81	9-DIC/81	10-DIC/81	11-DIC/81	14-DIC/81	15-DIC/81	16-DIC/81	17-DIC/81	18-DIC/81
5	19-DIC/81	21-DIC/81	22-DIC/81	4-ENE/82	5-ENE/82	6-ENE/82	7-ENE/82	8-ENE/82	9-ENE/82	11-ENE/82
6	12-ENE/82	13-ENE/82	14-ENE/82	15-ENE/82	16-ENE/82	18-ENE/82	19-ENE/82	20-ENE/82	21-ENE/82	22-ENE/82
7	23-ENE/82	25-ENE/82	26-ENE/82	27-ENE/82	28-ENE/82	29-ENE/82	30-ENE/82	1-FEB/82	2-FEB/82	3-FEB/82
8	4-FEB/82	6-FEB/82	8-FEB/82	9-FEB/82	10-FEB/82	11-FEB/82	12-FEB/82	13-FEB/82	15-FEB/82	16-FEB/82
9	17-FEB/82	18-FEB/82	19-FEB/82	20-FEB/82	22-FEB/82	23-FEB/82	24-FEB/82	25-FEB/82	26-FEB/82	27-FEB/82
10	1-MAR/82	2-MAR/82	3-MAR/82	4-MAR/82	5-MAR/82	6-MAR/82	7-MAR/82	9-MAR/82	10-MAR/82	11-MAR/82
11	12-MAR/82	13-MAR/82	15-MAR/82	16-MAR/82	17-MAR/82	18-MAR/82	19-MAR/82	20-MAR/82	22-MAR/82	23-MAR/82
12	24-MAR/82	25-MAR/82	26-MAR/82	27-MAR/82	29-MAR/82	30-MAR/82	31-MAR/82	1-ABR/82	2-ABR/82	3-ABR/82
13	5-ABR/82	6-ABR/82	7-ABR/82	12-ABR/82	13-ABR/82	14-ABR/82	15-ABR/82	16-ABR/82	17-ABR/82	19-ABR/82
14	25-ABR/82	21-ABR/82	22-ABR/82	23-ABR/82	24-ABR/82	26-ABR/82	27-ABR/82	28-ABR/82	29-ABR/82	30-ABR/82
15	4-MAY/82	5-MAY/82	6-MAY/82	7-MAY/82	8-MAY/82	10-MAY/82	11-MAY/82	12-MAY/82	13-MAY/82	14-MAY/82
16	15-MAY/82	17-MAY/82	18-MAY/82	19-MAY/82	20-MAY/82	21-MAY/82	22-MAY/82	24-MAY/82	25-MAY/82	26-MAY/82
17	27-MAY/82	28-MAY/82	29-MAY/82	31-MAY/82	1-JUN/82	2-JUN/82	3-JUN/82	4-JUN/82	5-JUN/82	7-JUN/82
18	8-JUN/82	9-JUN/82	10-JUN/82	11-JUN/82	12-JUN/82	14-JUN/82	15-JUN/82	16-JUN/82	17-JUN/82	18-JUN/82
19	17-JUN/82	21-JUN/82	22-JUN/82	23-JUN/82	24-JUN/82	25-JUN/82	26-JUN/82	28-JUN/82	29-JUN/82	30-JUN/82
20	1-JUL/82	2-JUL/82	3-JUL/82	5-JUL/82	6-JUL/82	7-JUL/82	8-JUL/82	9-JUL/82	10-JUL/82	12-JUL/82
21	13-JUL/82	14-JUL/82	15-JUL/82	16-JUL/82	17-JUL/82	19-JUL/82	20-JUL/82	21-JUL/82	22-JUL/82	23-JUL/82
22	24-JUL/82	26-JUL/82	27-JUL/82	28-JUL/82	29-JUL/82	30-JUL/82	31-JUL/82	2-AGO/82	3-AGO/82	4-AGO/82
23	5-AGO/82	6-AGO/82	7-AGO/82	9-AGO/82	10-AGO/82	11-AGO/82	12-AGO/82	13-AGO/82	14-AGO/82	16-AGO/82
24	17-AGO/82	18-AGO/82	19-AGO/82	20-AGO/82	21-AGO/82	23-AGO/82	24-AGO/82	25-AGO/82	26-AGO/82	27-AGO/82
25	28-AGO/82	30-AGO/82	31-AGO/82	1-SEP/82	2-SEP/82	3-SEP/82	4-SEP/82	6-SEP/82	7-SEP/82	8-SEP/82
26	9-SEP/82	10-SEP/82	11-SEP/82	13-SEP/82	14-SEP/82	15-SEP/82	17-SEP/82	18-SEP/82	20-SEP/82	21-SEP/82
27	22-SEP/82	23-SEP/82	24-SEP/82	25-SEP/82	27-SEP/82	28-SEP/82	29-SEP/82	30-SEP/82	1-OCT/82	2-OCT/82
28	4-OCT/82	5-OCT/82	6-OCT/82	7-OCT/82	8-OCT/82	9-OCT/82	11-OCT/82	12-OCT/82	13-OCT/82	14-OCT/82
29	15-OCT/82	16-OCT/82	18-OCT/82	19-OCT/82	20-OCT/82	21-OCT/82	22-OCT/82	23-OCT/82	25-OCT/82	26-OCT/82
30	27-OCT/82	28-OCT/82	29-OCT/82	30-OCT/82	3-NOV/82	4-NOV/82	5-NOV/82	6-NOV/82	8-NOV/82	9-NOV/82
31	10-NOV/82	11-NOV/82	12-NOV/82	13-NOV/82	15-NOV/82	16-NOV/82	17-NOV/82	18-NOV/82	19-NOV/82	22-NOV/82
32	23-NOV/82	24-NOV/82	25-NOV/82	26-NOV/82	27-NOV/82	29-NOV/82	30-NOV/82	2-DIC/82	3-DIC/82	4-DIC/82
33	5-DIC/82	7-DIC/82	8-DIC/82	9-DIC/82	10-DIC/82	11-DIC/82	13-DIC/82	14-DIC/82	15-DIC/82	16-DIC/82
34	17-DIC/82	18-DIC/82	20-DIC/82	21-DIC/82	3-ENE/83	4-ENE/83	5-ENE/83	6-ENE/83	8-ENE/83	8-ENE/83
35	10-ENE/83	11-ENE/83	12-ENE/83	13-ENE/83	14-ENE/83	15-ENE/83	17-ENE/83	18-ENE/83	19-ENE/83	20-ENE/83
36	21-ENE/83	22-ENE/83	24-ENE/83	25-ENE/83	26-ENE/83	27-ENE/83	28-ENE/83	29-ENE/83	31-ENE/83	1-FEB/83
37	2-FEB/83	3-FEB/83	4-FEB/83	7-FEB/83	8-FEB/83	9-FEB/83	10-FEB/83	11-FEB/83	12-FEB/83	14-FEB/83
38	15-FEB/83	16-FEB/83	17-FEB/83	18-FEB/83	19-FEB/83	21-FEB/83	22-FEB/83	23-FEB/83	24-FEB/83	25-FEB/83
39	26-FEB/83	28-FEB/83	1-MAR/83	2-MAR/83	3-MAR/83	4-MAR/83	5-MAR/83	7-MAR/83	8-MAR/83	9-MAR/83
40	10-MAR/83	11-MAR/83	12-MAR/83	14-MAR/83	15-MAR/83	16-MAR/83	17-MAR/83	18-MAR/83	0-ENE/81	0-ENE/81

ULTIMA HOJA

NO DE ACTIVIDADES 37

DURACION TOTAL ACTUAL 72

DIAS PERDIDOS 72

NO. CR. ACTIV	H O D O		RESP	DESCRIPCION	ZONA	DURACION EN DIAS	F P R I M E R A		U L T I M A		HOLGURAS TOT. LIB.	
	I	J					INICIAR	TERMINAR	INICIAR	TERMINAR		
1	1	5	1	LIMPIEZA Y TRAZO	1	1	19/OCT81	20/OCT81	19/OCT81	20/OCT81	0	0
2	5	10	1	EXCAVACION PARA PLATAFORMA	1	3	20/OCT81	23/OCT81	20/OCT81	23/OCT81	0	0
3	10	15	1	TERRACERIA	1	2	23/OCT81	26/OCT81	23/OCT81	26/OCT81	0	0
100	15	20	2	LOSA CIMENTACION	1	6	26/OCT81	31/NOV81	26/OCT81	31/NOV81	0	0
303	15	35	3	FABRICACION ESCALONES PREC.	2	3	26/OCT81	29/OCT81	22/DIC81	6/ENE82	46	17
101	20	25	2	MUROS PLANTA BAJA	2	7	31/NOV81	11/NOV81	31/NOV81	11/NOV81	0	0
200	25	30	2	LOSA ENTREPISO	2	7	11/NOV81	19/NOV81	11/NOV81	19/NOV81	0	0
201	30	40	2	MUROS PLANTA ALTA	2	7	19/NOV81	28/NOV81	19/NOV81	28/NOV81	0	0
302	35	75	2	ESCALERA	2	2	19/NOV81	23/NOV81	6/ENE82	8/ENE82	29	29
300	40	45	2	LOSA AZOTEA	2	8	28/NOV81	8/DIC81	28/NOV81	8/DIC81	0	0
202	65	68	2	RESANES MUROS P.A.	2	4	17/DIC81	22/DIC81	17/DIC81	22/DIC81	0	0
102	65	70	2	RESANES MUROS P.D.	2	4	17/DIC81	22/DIC81	17/DIC81	22/DIC81	0	0
403	45	50	4	RAMALEO INST. ELECTRICA	3	4	8/DIC81	14/DIC81	10/DIC81	16/DIC81	2	0
402	45	55	6	RAMALEO INST. HIDR. Y SAN.	3	6	8/DIC81	16/DIC81	8/DIC81	16/DIC81	0	0
407	120	130	6	COLOC. MUEBLES BAÑO Y PBA.	3	1	10/DIC81	11/DIC81	21/ENE82	22/ENE82	25	25
405	50	65	4	GUIADO INST. ELECT.	3	1	14/DIC81	15/DIC81	16/DIC81	17/DIC81	2	2
405	55	65	6	PRUEBAS HIDRAULICAS Y SAN.	3	1	16/DIC81	17/DIC81	16/DIC81	17/DIC81	0	0
409	95	100	4	ALAMBRADO I.E. Y PRUEBAS	3	4	16/ENE82	21/ENE82	16/ENE82	21/ENE82	0	0
408	100	130	4	COLOC ACCESORIOS ELEC.	3	1	21/ENE82	22/ENE82	21/ENE82	22/ENE82	0	0
301	45	60	5	IMPERMEABILIZACION AZOTEA	4	1	8/DIC81	9/DIC81	18/DIC81	19/DIC81	8	0
500	45	120	2	AZULEJO EN LAMBRIN Y PISO	4	2	8/DIC81	10/DIC81	19/ENE82	21/ENE82	25	0
304	60	70	2	PISOS DE CEMENTO PULIDO.	4	2	9/DIC81	11/DIC81	19/DIC81	22/DIC81	8	8
601	105	110	2	DETALLES ALBAÑERIA EXTS	4	3	18/DIC81	22/DIC81	14/ENE82	15/ENE82	13	0

19/OCT81

CASA EJEMPLO

BASE

19/OCT81

25/ENE82

NO. DE ACTIV	M O D O		RESP D E S C R I P C I O N	ZONA	DURACION EN DIAS	P R I M E R A		U L T I M A		H O L G U R A S	
	I	J				INICIAR	TERMINAR	INICIAR	TERMINAR	TOT.	LIB.
501	70	75	7 YESO Y TIROL	4	5	22/DIC81	8/ENE82	22/DIC81	8/ENE82	0	0
505	110	115	7 PINTURA EXTERIORES	4	2	22/DIC81	5/ENE82	18/ENE82	20/ENE82	13	0
401	75	80	8 COLOCACION HERRERIA ALUM.	4	2	8/ENE82	11/ENE82	8/ENE82	11/ENE82	0	0
504	75	125	10 LOSETA VINILICA Y ZOCLO	4	2	8/ENE82	11/ENE82	18/ENE82	20/ENE82	8	0
404	80	85	8 COLOCACION VIDRIOS	4	1	11/ENE82	12/ENE82	11/ENE82	12/ENE82	0	0
503	125	130	10 COLOCACION TAPIZ	4	2	11/ENE82	13/ENE82	20/ENE82	22/ENE82	8	8
502	85	90	7 PINTURA INTERIORES	4	2	12/ENE82	14/ENE82	12/ENE82	14/ENE82	0	0
410	90	95	9 COLOC. PUERTAS Y CHAPAS	4	2	14/ENE82	16/ENE82	14/ENE82	16/ENE82	0	0
700	130	135	12 LIMPIEZA FINAL Y ENTREGA	4	3	22/ENE82	26/ENE82	22/ENE82	26/ENE82	0	0
600	45	105	2 PATIO SERV, DANQUETA, BARDA	5	8	8/DIC81	12/DIC81	5/ENE82	14/ENE82	13	0
602	115	130	11 JARDINERIA	5	2	5/ENE82	7/ENE82	20/ENE82	22/ENE82	13	13

ULTIMA HOJA

NO DE ACTIVIDADES 37
DURACION TOTAL BASE 72

NO DE ACTIVIDADES 37
DURACION TOTAL ACTUAL 77

DIAS PERUIDOS 5

J	RESP	DESCRIPCION	ZONA	DURACION INI ACT	FECHAS				TERMINAR BASE	HOLGURAS TOT. LIB.	AVANCES REA ESP	RETRAE TERC PPM			
					PRIMERAS INICIAR	PRIMERAS TERMINAR	ULTIMAS INICIAR	ULTIMAS TERMINAR							
5	1	LIMPIEZA Y TRAZO	1	1	1	19/OCT81	20/OCT81	19/OCT81	20/OCT81	20/OCT81M	0	0	100	100	0
10	1	EXCAVACION PARA PLATAFORMA	1	3	3	20/OCT81	23/OCT81	23/OCT81	23/OCT81	23/OCT81M	0	0	100	100	0
15	1	TERRACERIA	1	2	4	23/OCT81	28/OCT81	23/OCT81	28/OCT81	26/OCT81M	0	0	100	100	0
20	2	LOSA CIMENTACION	1	6	7	28/OCT81	6/NOV81	28/OCT81	6/NOV81	3/NOV81M	0	0	100	100	2
35	3	FABRICACION ESCALONES PREC	2	3	14	28/OCT81	14/NOV81	15/DIC81	12/ENE82	29/OCT81	38	9	100	100	2
25	2	MUROS PLANTA BAJA	2	7	8	6/NOV81	16/NOV81	6/NOV81	16/NOV81	11/NOV81M	0	0	100	100	3
20	2	LOSA ENTREPISO	2	7	8	16/NOV81	26/NOV81	16/NOV81	26/NOV81	19/NOV81M	0	0	20	100	4
40	2	MUROS PLANTA ALTA	2	7	7	26/NOV81	4/DIC81	26/NOV81	4/DIC81	28/NOV81M	0	0	0	100	5
75	2	ESCALERA	2	2	2	26/NOV81	28/NOV81	12/ENE82	14/ENE82	23/NOV81	29	29	0	100	5
45	2	LOSA AZOTEA	2	8	8	4/DIC81	15/DIC81	4/DIC81	15/DIC81	8/DIC81M	0	0	0	100	5
63	2	RESANES MUROS P.A.	2	4	4	4/ENE82	8/ENE82	4/ENE82	8/ENE82	22/DIC81M	0	0	0	0	5
70	2	RESANES MUROS P.B.	2	4	4	4/ENE82	8/ENE82	4/ENE82	8/ENE82	22/DIC81M	0	0	0	0	5
50	4	RAMALEO INST. ELECTRICA	3	4	4	15/DIC81	19/DIC81	17/DIC81	22/DIC81	14/DIC81	2	0	0	100	5
55	6	RAMALEO INST. HIDR. Y SAN.	3	6	6	15/DIC81	22/DIC81	15/DIC81	22/DIC81	16/DIC81M	0	0	0	67	5
130	6	COLOC. MUEBLES BAÑO Y PBA.	3	1	1	17/DIC81	18/DIC81	27/ENE82	28/ENE82	11/DIC81	25	25	0	100	5
65	4	GUIADO INST. ELECT.	3	1	1	19/DIC81	21/DIC81	22/DIC81	4/ENE82	15/DIC81	2	2	0	0	5
65	6	PRUEBAS HIDRAULICAS Y SAN.	3	1	1	22/DIC81	4/ENE82	22/DIC81	4/ENE82	17/DIC81M	0	0	0	0	5
100	4	ALAMBRADO I.E. Y PRUEBAS	3	4	4	22/ENE82	27/ENE82	22/ENE82	27/ENE82	21/ENE82M	0	0	0	0	5
130	4	COLOC ACCESORIOS ELEC.	3	1	1	27/ENE82	28/ENE82	27/ENE82	28/ENE82	22/ENE82M	0	0	0	0	5
60	5	IMPERMEABILIZACION AZOTEA	4	1	1	15/DIC81	16/DIC81	5/ENE82	6/ENE82	9/DIC81	8	0	0	100	5
120	2	AZULEJO EN LAMURIN Y PISO	4	2	2	15/DIC81	17/DIC81	25/ENE82	27/ENE82	10/DIC81	25	0	0	100	5
70	2	PISOS DE CEMENTO PULIDO	4	2	2	16/DIC81	18/DIC81	6/ENE82	8/ENE82	11/DIC81	8	8	0	100	5
110	2	DETALLES ALBAÑILERIA EXTS	4	3	3	5/ENE82	8/ENE82	20/ENE82	23/ENE82	22/DIC81	13	0	0	0	5

NO DE REVISION
22/NOV81

EJEMPLO
REPORTE DE CONTROL

INICIACION 19/OCT81
TERMINACION 17/FEB82

J	RESP	DESCRIPCION	ZONA	DURACION		FECHAS				TERMINAR BASE	HOLGURAS TOT. LIB.	AVANCES REA ESP	RETRAS- TERO PA	
				INI	ACT	PRIMERAS INICIAR	ULTIMAS TERMINAR	INICIAR	TERMINAR					
7	75	7 YESO Y TIROL	4	5	5	8/ENE82	14/ENE82	8/ENE82	14/ENE82	8/ENE82	0	0	0	5
						57	62	57	62	57				
3	115	7 PINTURA EXTERIORES	4	2	2	8/ENE82	11/ENE82	23/ENE82	26/ENE82	5/ENE82	13	0	0	5
						57	59	70	72	54				
5	20	8 COLOCACION HERRERIA ALUM.	4	2	2	14/ENE82	16/ENE82	14/ENE82	16/ENE82	11/ENE82	0	0	0	5
						62	64	62	64	57				
5	125	10 LOSETA VINILICA Y ZOCLO	4	2	2	14/ENE82	16/ENE82	23/ENE82	26/ENE82	11/ENE82	8	0	0	5
						62	64	70	72	59				
5	65	8 COLOCACION VIDRIOS	4	1	1	14/ENE82	18/ENE82	16/ENE82	18/ENE82	12/ENE82	0	0	0	5
						64	65	64	65	69				
5	130	10 COLOCACION TAPIZ	4	2	2	16/ENE82	19/ENE82	26/ENE82	28/ENE82	13/ENE82	8	8	0	5
						64	66	72	74	61				
5	50	7 PINTURA INTERIORES	4	2	2	10/ENE82	20/ENE82	10/ENE82	20/ENE82	14/ENE82	0	0	0	5
						65	67	65	67	62				
3	95	9 COLOC. PUERTAS Y CHAPAS	4	2	2	20/ENE82	22/ENE82	20/ENE82	22/ENE82	16/ENE82	0	0	0	5
						67	69	67	69	64				
3	135	12 LIMPIEZA FINAL Y ENTREGA	4	3	3	28/ENE82	1/FEB82	28/ENE82	1/FEB82	26/ENE82	0	0	0	5
						74	77	74	77	72				
5	105	2 PATIO SERV, BANQUETA, DANDA	5	8	8	15/DIC81	5/ENE82	11/ENE82	20/ENE82	18/DIC81	13	0	0	50
						66	54	59	67	49				
5	130	11 JARDINERIA	5	2	2	11/ENE82	13/ENE82	26/ENE82	28/ENE82	7/ENE82	13	13	0	5
						59	61	72	74	56				

ULTIMA HOJA

DIAGRAMA DE HARRAS
 CASA - EJPPIC
 FECHA INICIO 19 OCT 81

N O D O S				FECHA	DURAN	OCT19	OCT30	NOV12	NOV24	DIC07	DIC10	ENE12	ENE23	FEB26										
J	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	RESP	ZONA	INICIO	CIEN	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	
1	LIMPIEZA Y TRAZO	C1	1	19 OCT 81	1																			
03 10	EXCAVACION PARA PLATAFORMA	C1	1	20 OCT 81	3	***																		
10 15	TERRENERIA	C1	1	23 OCT 81	2	**																		
15 20	LOSA CIMENTACION	C2	1	26 OCT 81	6	*****																		
15 35	FABRICACION ESCALONES PREC	C3	2	26 OCT 81	3	*****																		
21 29	MURDE PLANTA MAJA	C2	2	03 NOV 81	7	*****																		
25 30	LOSA ENTREPISO	C2	2	11 NOV 81	7	*****																		
30 40	MURDE PLANTA MAJA	C2	2	19 NOV 81	7	*****																		
35 40	ESQUEMA	C2	2	19 NOV 81	2	*****																		
40 45	LOSA AZOTEA	C2	2	26 NOV 81	8	*****																		
45 48	REPAROS MURDE P. P.	C2	2	17 DIC 81	4	*****																		
45 70	REPAROS MURDE P. B.	C2	2	17 DIC 81	4																			
45 50	REPARO INST. ELECTRICA	C4	3	8 DIC 81	4																			
45 55	REPARO INST. HIDR. Y SAN.	C6	3	8 DIC 81	4																			
20 130	COLC MUEBLES BAÑO Y PBA.	C6	3	10 DIC 81	1																			
50 65	GUIADO INST. ELEC.	C6	3	14 DIC 81	1																			
55 65	PRUEBAS HIDRAULICAS Y SAN.	C6	3	16 DIC 81	1																			
90 100	ALUMBRADO I.F. Y PALERA	C4	3	16 DIC 81	1																			
100 130	COLC. ACCESORIOS ELEC.	C4	3	21 DIC 82	1																			
45 60	IMPERMEABILIZACION AZOTEA	C5	4	8 DIC 81	1																			
45 120	APULEJO EN LIBRATA Y FISO	C2	4	8 DIC 81	2																			
60 70	PTSC DE CEMENTO PULIDC	C2	4	9 DIC 81	2																			
105 110	DETALLE ALBAÑILERIA ESTE	C2	4	18 DIC 81	3																			
70 75	YESO Y TIROL	C7	4	22 DIC 81	3																			
110 115	PINTURA EXTERIORES	E7	4	22 DIC 81	3																			
75 80	COLOCACION HERRERIA ALUP	O8	4	8 ENE 82	2																			
75 85	LOBETA VINILICA Y ZOCLO	H10	4	8 ENE 82	2																			
80 85	COLOCACION VIDRIOS	C8	4	11 ENE 82	1																			
125 130	COLOCACION TAPIS	H10	4	11 ENE 82	1																			
85 90	PINTURA INTERIORES	C7	4	12 ENE 82	2																			
90 95	COLC. PUERTAS Y CHAPAS	E9	4	12 ENE 82	2																			
130 135	LIMPIEZA FINAL Y ENTREGA	E12	4	22 ENE 82	3																			
45 105	MDIO SERV.BANQUETA,BARDA	C2	5	8 DIC 81	8																			
115 130	JARDINERIA	H11	5	5 ENE 82	2																			

C O N C L U S I O N E S

APLICACION Y BENEFICIOS.

La aplicación potencial del Método de la Ruta Crítica, abarca desde los estudios iniciales para un proyecto determinado, hasta la planeación y operación de sus instalaciones.

El Método de la Ruta Crítica es una técnica de Planeación, -- Programación y Control de un proyecto que representa un poderoso auxiliar al que puede recurrir el ejecutivo para tomar de cisiones en base a la exactitud y oportunidad de la información obtenida mediante su aplicación.

Es un método que se adapta admirablemente a la Industria de la Construcción, pues brinda un enfoque mucho más útil y preciso.

Fundamentalmente su novedad consiste en aplicar una red de -- flechas para representar el flujo e interdependencia dentro de un proceso, por el cual se llega a cierto objetivo, más -- aún, permite la evaluación y comparación rápida de distintos programas de trabajo, método de construcción y tipos de equipo.

El beneficio primordial que nos brinda el Método de la Ruta Crítica es que resume en un solo documento la imagen de interrelación de sus elementos, combinada con sus duraciones respectivas, lo que evita omisiones en todo el proyecto, identifica rápidamente contradicciones en la programación de activi

dades, facilita la previsión de un abastecimiento ordenado y oportuno de recursos, y en general, logra que el proyecto sea llevado a cabo acorde con el plan dinámico que ha sido trazado.

Otros beneficios específicos son los siguientes:

- Determina el tiempo estrictamente necesario para realizar un objetivo de acuerdo con los recursos disponibles.
- Señala con exactitud aquellos factores críticos de los que dependen directamente los resultados.
- Suministra datos precisos para formular el programa planeado, por medio del cual puedan conocerse las opciones de los tiempos límite, así como las holguras para la iniciación y terminación de las actividades seriadas que le corresponden.
- Cuando es imperativo o conveniente un cambio de programación, el Método de la Ruta Crítica identifica la o las actividades esenciales que puedan acelerarse, sin desperdiciar recursos o tiempo en aquellas que no tienen importancia.
- Permite aprovechar el manejo de los elementos secundarios de un proyecto para obtener el máximo rendimiento de los recursos disponibles.
- Convierte la programación en una técnica cuantificable de manera que los directivos de una empresa puedan tomar decisiones sustentadas o en su caso, aceptar o rechazar los riesgos calculados que se presenten, recurriendo a los datos precisos que se ponen a su disposición.
- Permite un control continuo del proyecto, durante el lapso de su ejecución, eliminando sorpresas desagradables que pudieron haberse evitado, aplicando una revisión metódica y dinámica denominada "Retroalimentación"

en relación directa con las personas encargadas de la producción en cualquier ramo, modesto o complicado, - el Método de la Ruta Crítica ofrece la orientación necesaria para:

- 1.- Appreciar el orden como un elemento fundamental en toda planeación.
- 2.- Saber valorizar los recursos disponibles.
- 3.- Prever situaciones y plantear alternativas.
- 4.- Desarrollar el hábito de una revisión comparativa y constante.

LIMITACIONES E INCONVENIENCIAS.-

Los beneficios de la aplicación del Método de la Ruta Crítica se presentan en proporción directa a la habilidad con que se haya aplicado su técnica; la calidad de un progreso refleja las cualidades o errores de quién lo ha elaborado.

El Método de la Ruta Crítica no es una panacea que resuelve - por sí sola los problemas que surjan durante la Planeación, - Programación y Control de un Proyecto. Su función entonces - es proporcionar datos precisos, ordenados y clasificados, que sirvan de base para la ponderación de las decisiones.

BIBLIOGRAFIA

- Administración y Control de
Proyectos, Tomos I, II y III
Dr. R.L. Martino.
- Aplicación del Método del
Camino Crítico para el Con-
trol de Obras.
Segunda Edición 1967
Manuel de la Mora Prieto
Ing. Civil.
- Métodos Modernos de Pla-
neación, Programación y
Control.
Melchor Rodríguez Caballero
Profesor, Facultad de Inge-
niería. U.N.A.M.
- El Método Pert
Traducción al Español
Federal Electric Corporation.
- Critical Path Method
L.N. Morris.
- Project Management
Moser and Phillips.
- Planeación y Programación
por el Método de Ruta Crí-
tica.
Tesis Profesional 1965
E. Tellez Martínez
Ing. Civil U.N.A.M.
- Método del Camino Crítico
Centro Industrial de Producti-
vidad.
- Apuntes de Clase
Ing. Emilio Gil Valdívia.
- Método del Camino Crítico
Catalytic Construcción Company.

Apuntes de Programación y
Control de Obras.

Ing. Emilio Gil Valdivia.

Método de la Ruta Crítica

Ing. James M. Antill.

Ing. Ronald W. Woodhead.

Ruta Crítica
al alcance de todos

Mario Schjetnan Dantán.
U.N.A.M.