

300615

20

2º y



UNIVERSIDAD LA SALLE

**ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.**

PROGRAMA Y OPTIMIZACION DE COSTOS EN OBRA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
OSCAR PADILLA CAÑEDO**

MEXICO, D.F.

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

I N D I C E

I N T R O D U C C I O N

CAPITULO I

METODOS DE PROGRAMACION, PLANEACION Y CONTROL DE UNA OBRA.

CAPITULO II

DIFERENCIAS ENTRE TECNICAS DE CONTROL Y PLANIFICACION DE PROYECTOS

CAPITULO III

METODO DE LA RUTA CRITICA

CAPITULO IV

ASIGNACION DE RECURSOS

CAPITULO V

COMPRESION DE UNA RED

CAPITULO VI

APLICACION DE LA PROGRAMACION LINEAL EN LA COMPRESION DE UN PROYECTO

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

I N T R O D U C C I O N

La intención fundamental de este estudio; es en primer término, describir de una manera breve y clara, algunas técnicas desarrolladas a partir de la Segunda Guerra Mundial y clasificadas dentro de la "Investigación de Operaciones". - Por medio de este trabajo se deja clara la importancia y -- los beneficios, que se pueden obtener al aplicar estas técnicas a problemas de Ingeniería Civil. El desarrollo notable de estas técnicas, se debe al gran número de aplicaciones prácticas que se les ha encontrado, constituyen una herramienta formidable que ayuda al sentido común y por tanto que sean tomadas decisiones mas racionales y objetivas. Lo efectivo de su empleo, depende de la precisión de los datos suministrados y de la elección de la técnica conveniente.

El avance de estas técnicas, es debido en gran parte - a la utilización de la programación lineal, un instrumento que se ha ido aplicando con cada vez mayor éxito en la solución de problemas ingenieriles como son: Asignación de Recursos, Optimización de costos, etc....

La tesis se desarrolla de la siguiente manera: Como se mencionó en párrafos anteriores, en primera instancia, durante los primeros dos capítulos se hace mención de los diferentes métodos que han sido creados para llevar a cabo la

programación, planeación y control de una obra. Así como -- las ventajas y deficiencias de cada uno de estos métodos y las diferencias entre éstos. La factibilidad y la manera en que pueden ser relacionados a problemas propios de la Ingeniería Civil.

Esta información se maneja como antecedentes y punto -- de inicio, con el fin de mostrar la evolución de las diferentes técnicas para un control más cercano a la realidad, -- de cualquier proceso constructivo, un control que se traduce en un uso óptimo del tiempo y dinero.

No es objetivo primordial de esta tesis desarrollar un trabajo que se relacione exclusiva y unicamente con el método de la ruta crítica, como puede ser: La manera en que se elabora, ni el proceso de operaciones que son realizadas en este método, etc....Sin embargo, estos puntos van a ser tratados como un medio para apoyar la obtención y exposición -- de los objetivos que se siguen en este trabajo. Esta es la razón por la que se ha incluido este tema, en el tercer capítulo. Además en este capítulo ya se hace mención de un -- concepto que será nombrado en los siguientes capítulos. La curva costo-tiempo.

El capítulo cuarto se refiere al tema relacionado con la asignación de Recursos. Esto es, se dispone de un cierto número de Recursos (Capital, hombres, equipo, etc...) que --

han de combinarse para obtener uno o más productos a ciertas restricciones; tales como, una cierta cantidad disponible de cada recurso, un cierto nivel de producción, etc.... y se busca la forma de combinarlo para que se optimice un objetivo dado, que puede ser; el obtener máxima utilidad, - mínimo costo, empleo mínimo de tiempo. Las ideas expuestas en este capítulo, fundamentan el fin de esta tesis.

En el capítulo quinto, se desarrollan, describen y perfeccionan los conceptos necesarios para llevar a cabo el objetivo fundamental: Optimización de Costo-tiempo en la realización de cualquier proceso constructivo. Se determina el modelo matemático lineal, por medio del cual se obtendrán los resultados deseados. La solución de este modelo se logra, al ser planteado como un problema de programación lineal, que consta esencialmente de dos partes: La primera, un sistema de ecuaciones simultáneas, las cuales representan las condiciones lineales del problema, y la segunda, una función lineal que expone el objetivo del problema. Estas ecuaciones estarán sujetas a ciertas restricciones. Este Sistema de ecuaciones es resuelto por el Método Simplex.

Para una fácil y mejor comprensión, de los conceptos mencionados hasta este capítulo, se han desarrollado pequeños ejemplos.

Por último en el capítulo sexto. Se aplica todo lo des

crito en el capítulo quinto, a un problema de mayor magnitud. Exponiendo los resultados y la selección del punto óptimo con relación al costo - tiempo.

C A P I T U L O

I

MÉTODOS DE PROGRAMACION, PLANEACION Y CONTROL DE UNA OBRA.

En este capítulo se presenta un breve resumen, de los diferentes métodos para la programación, planeación y control de una obra. Se mencionarán además algunos antecedentes históricos de los mismos.

1.1 DIAGRAMA DE BARRAS.

Durante mucho tiempo la única forma para realizar un programa de trabajo fué el Diagrama de barras o "Diagrama de Gantt". Levándose a cabo de una manera sencilla como sigue:

- a) Determinar las diferentes actividades del proyecto.
- b) Cálculo aproximado de las duraciones de cada actividad.
- c) Se hace una lista de las actividades, correspondiéndole a cada una de ellas un renglón, estableciendo un orden de ejecución.
- d) Delante de cada actividad se sitúa una barra, cuya longitud a escala (escala común para todas las actividades), representa la duración de la actividad. Se hace coincidir el origen de la barra de cada actividad, con la fecha de inicio de la actividad, prolongándose dependiendo de la duración de la misma.
- e) Se convierte la escala de tiempos efectivos, en una escala de "días de calendario".
- f) Se descuentan los días no laborales (Domingos y días fes-

DIAGRAMA DE BARRAS

ACTIVIDAD	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
A	■				
B		■			
C		■			
D			■	■	
E			■	■	
F					■

tivos) y el estado probable de tiempo, si este factor --
tiene importancia en la duración y ejecución de la obra.
g) Si la fecha de terminación del proceso resulta idónea se-
gún las necesidades, se acepta.

Si no, de acuerdo con la experiencia se hacen modifica--
ciones aumentando y/o disminuyendo las longitudes de al-
gunas barras.

1.2 DEFICIENCIAS DEL PROGRAMA DE BARRAS.

Aunque se han ideado una serie de simbolismos, para ha-
cer lo más completo posible un diagrama de barras, éste co-
mo método de planeación, programación y control, presenta -
varias deficiencias como son:

- a) Sólo es posible descomponer el proceso en actividades --
principales, es decir actividades que por su volúmen o -
significación merecen una mayor atención. La planeación-
y programación de las actividades "menores". que consti-
tuyen a las principales, se dejan a juicio de personal -
secundario. Decidiendo este personal la necesidad de ini-
ciar o terminar una actividad, dejando a esta actividad-
aislada sin tomar en cuenta la incidencia de ésta con --
las demás actividades del proceso.
- b) No hay una diferencia clara entre la programación y la -
planeación, obligándonos a no tener un control de la du-
ración del proceso, siendo ésta una cantidad arbitraria.

- c) No se puede determinar que actividades son las que controlan la duración del proceso constructivo. Porque con el programa de barras aparentemente todas las actividades tienen la misma importancia. Esto produce que cuando una de las actividades principales se retrase, únicamente tengamos como soluciones. Retrasar por completo el proyecto un cierto tiempo o precipitar todas las actividades para compensar el retraso y cumplir con el programa.
- d) La falta de precisión en la terminación de cada actividad, en algunos procesos en los que el estado del tiempo es de importancia, se corre el riesgo de que ocurran lluvias, vientos, nevadas, etc... antes de que se terminen ciertas actividades que pueden ser determinantes en la terminación del proyecto, ocasionando graves retrasos.
- e) Hace difícil la determinación más o menos exacta de los recursos, como pueden ser: Personal, maquinaria, material, etc... que serán requeridos durante el proceso. Por la misma causa sucede que dichos recursos no son distribuidos durante la duración del proceso de una manera regular. Como resultado de esta situación puede suceder lo siguiente:
-) Que se tenga una cantidad innecesaria de material almacenado.

-) Que se tenga equipo desocupado durante mucho tiempo.
-) Que se despidan en cierto momento, una gran cantidad de personal, que en otro momento mas adelante será necesario.

Estos hechos hacen que se eleve el costo de ejecución -- del proyecto.

El diagrama de barras como presentación de un programa es sin duda una herramienta muy útil, ya que nos muestra el programa de una manera objetiva y de fácil entendimiento, - mostrándonos duraciones, las fechas de inicio y terminación posibles para cada actividad del proceso.

1.3 ANALISIS DE UN METODO.

El método debe tener ciertas características que permita, llevar a cabo hasta donde sea posible, la programación, planeación y control de una obra, de una manera satisfactoria de las actividades que entran en una obra.

- a) El funcionario, Organismo público o privado debe escoger un método que le permita ver un panorama claro y preciso del proyecto, para poder coordinar y dirigir las diferentes actividades. Conocer en un momento dado el estado -- exacto de avance, el retraso total y el retraso por conceptos. Que además le presente las actividades críticas- que existen en el proyecto.

Toda esta información ayudará a una previsión y mejor so

lución de los problemas que se presentan durante el proyecto.

b) El método debe permitir al personal directivo tener conocimiento de las fechas en que se pueden realizar las actividades y la secuencia de las mismas. Obteniendo fechas de inicio y de terminación de cada una de las actividades, así como de toda la obra, presentarán una mejor perspectiva para la decisión de cuándo ordenar la adquisición de materiales, cuáles actividades serán afectadas por un retraso en un momento dado y por cuanto tiempo, qué trabajos pueden acelerarse o retrasarse.

c) Será posible obtener una fecha óptima para iniciar y terminar cada una de las actividades. Evitando la contratación excesiva de personal y en general de todos los recursos, en tiempos fuera de lugar que ocasionará un alto costo, por sus tiempos inactivos.

La distribución regular de los recursos significarán un ahorro, que se debe tomar en cuenta.

d) La pronta ejecución de una obra, cuando hay retrasos no se soluciona precipitando todas las actividades, sino sólo algunas de ellas que son de vital importancia y que el método nos debe ayudar a encontrar.

e) La relación existente entre el costo y el tiempo de realización de una actividad permite obtener una solución -

óptima, para el tiempo que mejor nos favorezca.

- f) El método debe hacer posible el uso de tiempos libres para una mejor distribución del personal y de todos los recursos. Para obtener una variación gradual y económica, - al pasar de una actividad a otra o bien durante todo el proyecto.
- g) Teniendo el método que muestre un programa con detalle - las actividades y el estado de avance de ellas. Proporcionará una mejor captación de los problemas y la función exacta de todos los elementos de la obra. Pudiéndose captar también, cuáles actividades tienen en un momento dado, dificultades para su realización y necesitarán una mayor atención.

Con un instrumento de este tipo, es probable que los cambios de personal directivo en una obra, se puedan realizar en menos tiempo y evitando contratiempos en la marcha de los trabajos.

NUEVOS METODOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

La introducción de nuevas técnicas para llevar a cabo con eficacia un proyecto, se produjo cuando la Marina de los Estados Unidos, comenzó el proyecto del submarino atómico "Polaris". En este proyecto había una gran cantidad de contratistas y subcontratistas, haciendo necesario el uso de un sistema que permitiera dirigir con eficiencia, la ---

coordinación y control del proceso. Que diera oportunidad de realizar el proyecto bajo niveles razonables de costo -- tiempo.

Con la participación de la Compañía Booz, Allen y Hamilton, se crearon las bases del Sistema PERT (Project Evaluation and Review Technique). La utilización de este sistema como instrumento de planificación y control, dió como resultado un ahorro de tiempo en la realización de proyectos. Las ventajas que se obtenían de este sistema, hizo que su aplicación se extendiera rápidamente en el Campo Industrial y Comercial.

La Compañía Dupont desarrolló en 1957, un sistema aplicado a la planeación y programación de los proyectos de construcción. A esta técnica se le dió el nombre de Critical Path Method, cuya abreviación es CPM.

Aunque la técnica del CPM tiene aspectos similares al PERT, estos no son iguales. Siendo la diferencia fundamental entre estos dos, la manera en cómo estiman la duración del proceso, ya que el PERT estima la duración de una operación de una forma aleatoria, mientras que el CPM fija la duración de las operaciones de forma determinística, restando cierta flexibilidad al procedimiento.

Como resultado de la comercialización y perfeccionamiento de las computadoras, la utilización de estas técnicas

cas se han incrementado.

Ante la rigidez que presentaba el CPM en 1962, se introduce la técnica del PERT-TIEMPO, dándole un carácter aleatorio a la duración de las actividades. Más tarde se aplicó, la técnica del método de simulación de Montecarlo, para corregir ciertas inexactitudes en que incurría el PERT.

En 1967, IBM, desarrolla el PCS (Proyect Control System) que modifica al CPM, al designar fechas a los tiempos de comienzo y terminación de los nudos que componen todo proyecto.

Hacia 1968 IBM-España, muestra el programa SCAR (Sistema de Control y asignación de recursos), que decide la distribución de recursos entre las actividades que necesitan de ellos. En este mismo año, se crea la última innovación en las técnicas de planificación y control de proyectos, el programa DTSP (Diminution time Pert Simulation) de IBM, que en forma práctica aborda el control de proyectos, obteniendo con el método de simulación de Montecarlo la duración del proyecto así como la obtención de actividades críticas en una primera fase; en la segunda fase obtiene la reducción óptima, a costo mínimo, de la duración del proyecto.

CARACTERISTICAS DEL PERT.

Las técnicas PERT, son una herramienta utilizada por los Directivos para planificar un proyecto de manera óptima. Relacionando todos los factores, que entran en un problema,-

de manera que se presente una perspectiva más clara. Estas técnicas ofrecen un medio eficaz para reducir la incertidumbre en las decisiones que deben ser tomadas por la Dirección.

Las técnicas PERT, ayuda a resolver el problema de coordinación entre las actividades de un proyecto, logrando con ésto, obtener un tiempo y un costo mínimo, es decir, óptimo.

Los objetivos de esta técnica son los siguientes:

- a) La optimización, desde el punto de vista económico, de la ejecución de un proyecto, según:
 -) La duración de las distintas actividades que lo componen.
 -) El costo de ejecución de las mismas.
 -) Los recursos disponibles.
- b) La información a la Dirección sobre las actividades críticas en el proyecto, facilitando la vigilancia y control del mismo así como la distribución óptima de los recursos disponibles.
- c) La información a la Dirección sobre la duración total estimada del proyecto, así como de los límites en que puede variar, previendo ciertos retrasos; información sobre el costo total mínimo, para cada unidad de tiempo que se reduzca la duración del proyecto. Conocimiento de las actividades

tividades que se le pueden asignar más recursos para una reducción en la duración del proceso.

VENTAJAS DE LAS TECNICAS PERT.

Este permite decisiones más precisas, debido a la capacidad para integrar decisiones y actividades que competen a la línea jerárquica. Esto en el pasado no era manejado -- con propiedad. Sin embargo con el paso del tiempo, se ha -- convertido en un sistema útil y aplicable a la Industria de la Construcción. Siendo sus ventajas las siguientes:

- a) Un medio para determinar los objetivos y definir los programas.
- b) Criterios en los que se basan adecuadamente las decisiones.
- c) Una información, para responder a las siguientes preguntas: ¿Qué actividades han de preceder a cuáles otras, y cuándo se deben realizar los acopios de materiales y de medios financieros? ¿De cuántos trabajos se compone el proyecto, y cuántos serán requeridos en cada momento? -- ¿Cuál es la situación del proyecto que está en marcha, en relación con la fecha programada de terminación? ¿Cuáles son las actividades críticas que, al retrasarse cualquiera de ellas, alargan la duración del proyecto? ¿Cuáles son las actividades no críticas y cuánto tiempo pueden retrasarse? Estando el proyecto retrasado, ¿Dónde se pue

de agilizar la marcha para contrarrestar la demora y qué costo supone ésto? ¿Cuál es la planificación y programación de un proyecto con costo total mínimo y duración óptima?

- d) Agiliza la marcha del trabajo y revelan insuficiencias - en los procedimientos constructivos, en los equipos, en la supervisión, en la combinación de fuerza laboral.
- e) Debido a la relación tiempo-costo, permite calcular la - variación de éstos, al aplicar diferentes procedimientos constructivos en un proyecto.

La utilización del PERT, en operaciones rutinarias, repetitivas y frecuentes es poco recomendable. En tales casos pueden usarse métodos gráficos de control.

No se pueden designar reglas fijas y concretas. Ya que según las circunstancias, la medida de aplicación variará - desde una red simple trazada a mano, sin estimaciones de -- tiempo, hasta un sistema elaborado de múltiples redes anali-- zadas por un ordenador y acompañadas de estimaciones deta-- lladas de tiempo y costo.

Saber exactamente las "dimensiones" del proyecto que -- justifique la aplicación de las técnicas PERT, es difícil - saberlo. Esta técnica ha sido utilizada en proyectos de mo-- desto costo, como en programas de varios millones de dóla-- ras.

Cuando la Marina Norteamericana anunció los inicios del PERT al público, los fabricantes de ordenadores comprobaron la utilidad de aplicarlo en otros campos, con enfoques diferentes a los adoptados originalmente por la Marina.

Habiéndose descrito los objetivos y las ventajas de la aplicación de los sistemas PERT. Se puede definir a éste: Como un procedimiento analítico para predecir el tiempo y valorar la incertidumbre en los planes del proyecto.

Todo lo dicho anteriormente es con respecto a las técnicas PERT en general, siendo válidas para el CPM, excepto por la manera de estimar la duración del proyecto. Se puede decir, que siguen los mismos fines.

C A P I T U L O

II

DIFERENCIAS ENTRE TÉCNICAS DE CONTROL Y PLANIFICACION DE PROYECTOS.

Aunque el objetivo de esta tesis, no es exactamente la de aplicar todas las técnicas existentes, ni la elaboración de un programa de computación, que nos proporcione toda la información necesaria para la programación, planeación y -- control de un proyecto de una manera rápida y eficiente. Si se mencionaran divergencias entre las diferentes técnicas, -- dejándose abierta la posibilidad de utilizar programas de -- computación para llevar a cabo alguna técnica en especial, o quizá una combinación de las mismas. Mediante estos programas será posible obtener información de una manera rápida, -- al aplicarlo en proyectos de gran embergadura; que si se -- trataran de llevar de una manera manual, sería imposible.

Como se ha indicado estas técnicas empezaron a ser --- aplicadas en los años 50, por los Estados Unidos. Al principi se les dió el nombre de Sistemas PERT, posteriormente -- a este sistema con algunas modificaciones, se le aplicó el nombre de CPM; y luego hubo una serie de perfeccionamientos que dieron lugar a las técnicas como Project Control System, PCS; Sistema de Control y Asignación de Recursos SCAR; Dimi nution Time Pert Simulation, DTSP; siendo como común denomi nador en todas estas técnicas, el empleo del Diagrama de --

Flecha y como idea básica el concepto del camino crítico.

DIFERENCIA DEL CPM CON EL PCS.

La diferencia entre estas técnicas es mínima. Ambos -- sistemas analizan el proyecto desde un punto de vista deter-minístico, esto es determinar la duración de cada actividad haciendo una estimación única de la misma según los recur-- sos disponibles. La duración total del proyecto, se desvia-- rá de la duración real, dependiendo de la precisión con que se haya estimado la duración de cada actividad que compone el proyecto. En proyectos en los que haya antecedentes y -- sea fácil determinar la duración de las actividades, hace -- propicio la aplicación del CPM.

A diferencia del CPM que se basa en la obtención de -- tiempo de iniciación más próximo (IMP), tiempo de inicia-- ción más tardía (IMT), tiempo de terminación más próxima -- (TMP) y tiempo de terminación más tardía (TMT) para cada su-- ceso y en la determinación de las actividades que componen-- la ruta crítica. El PCS además de obtener los mismos resul-- tados mencionados en el CPM, añade nuevos informes mediante el uso de ordenadores electrónicos.

Los principales informes que podemos obtener con el -- PCS y que en cambio no se pueden obtener con la tradicional técnica del CPM son:

a) El CPM usa el tradicional Diagrama de flechas, para re--

presentar la red de un proyecto. En la que la flecha representa la actividad y los nodos en los extremos, marcan el inicio y terminación de la actividad (fig. 2.1).



fig. 2.1

El PCS utiliza otra notación, que muestra ventajas sobre el Diagrama de flechas y es llamado Diagrama de Precedencias. Este Diagrama usa los nodos como representación de una actividad, utilizando las flechas únicamente como relación de precedencia existente entre las actividades.

Entre las ventajas del Diagrama de Precedencias se pueden mencionar las siguientes:

-) Fácil definición y comprensión de la secuencia del Proyecto.
-) Puede dibujarse más rápidamente la red.
-) Se requiere un menor número de actividades para definir un proyecto, pudiéndose procesar más fácilmente proyectos con gran volumen.

Estas ventajas son posibles porque el PCS, elimina la utilización de actividades ficticias. Esto se puede apreciar mediante los siguientes ejemplos:

El Diagrama de flechas de la fig. 2.2, se puede obser-

var la utilización de la actividad ficticia (3-2) para señalar, que para iniciar la actividad C, es necesario haber terminado las actividades A y B. Esto también puede ser observado en las actividades 5-4 y en la 7-6. En cambio en el Diagrama de precedencias (fig. 2.3), no se hacen necesarias estas actividades ficticias.

En otro ejemplo, se ve la necesidad de utilizar actividades ficticias en el Diagrama de flechas, para representar actividades que tienen inicios y terminaciones comunes (fig. 2.4). En cambio en el Diagrama de precedencias se suprimen estas actividades ficticias. Por último, al surgir la posibilidad de iniciar una actividad en cierto instante anterior o posterior, -- distinto al de terminación de una actividad inmediatamente anterior, se hace necesario la creación de una actividad ficticia en el Diagrama de flechas (fig.2.5) Al indicar que después de haber terminado la primera fase de excavación, se puede iniciar simultáneamente el inicio de la primera fase del encofrado y la segunda fase de la excavación. Terminando estas dos últimas actividades se puede iniciar la segunda fase del encofrado, haciéndose necesario la introducción de la actividad ficticia 3-4, con la misma intención es ---

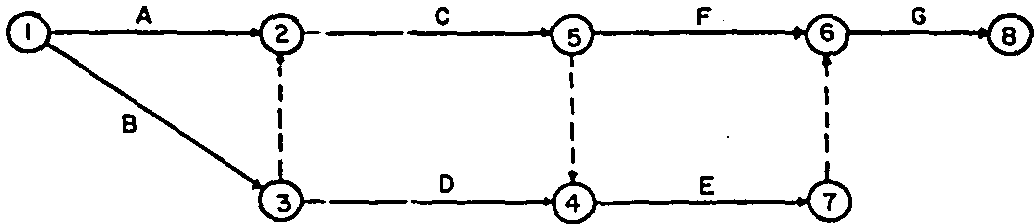


Fig. 2.2

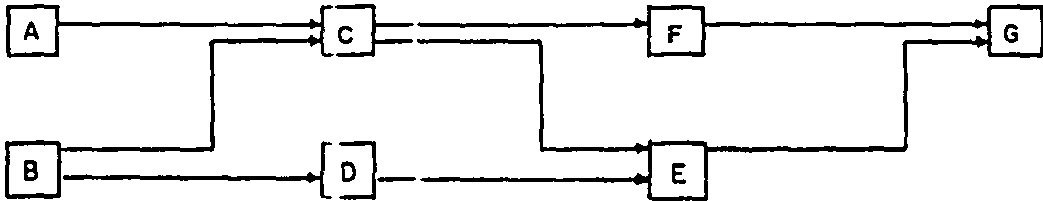


Fig. 2.3

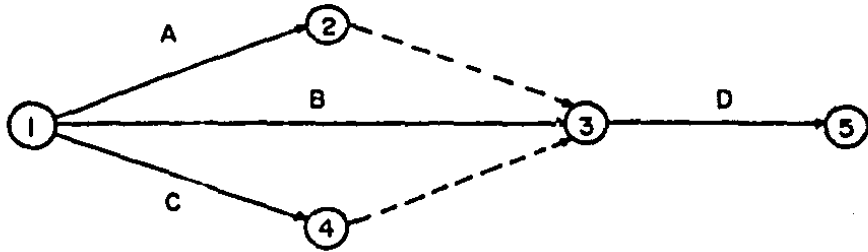


Fig. 2.4

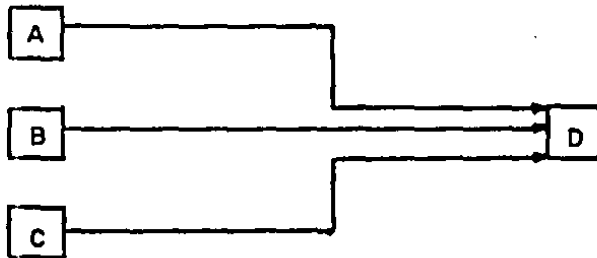


Fig. 2.4 A

creada la actividad 5-6. Para indicar el tiempo de --
fraguado, es creada la actividad 8-9 en el Diagrama -
de flechas. Aunque esta actividad no es ficticia, en-
el Diagrama de precedencias se suprime (fig.2.6).

Esta ventaja se debe a la posibilidad, existente en -
el Diagrama de precedencia, de fijar un desfase en el
inicio, terminación o ambos de una actividad inmedia-
tamente anterior.

Sin embargo el PCS admite indistintamente tanto el --
Diagrama tradicional de flechas como el de preceden--
cias.

- b) La técnica del PCS al igual que el CPM, proporciona los-
tiempos IMP, IMT, TMP y TMT de las actividades, con la -
flecha de terminación del proyecto, con la salvedad que-
el PCS, puede suministrar un calendario en el cual toma-
rá en cuenta los días que componen la semana laboral, --
días festivos, días de vacaciones, jornada laboral, etc.
Estos informes dan a conocer las fechas exactas de los -
diferentes tiempos de iniciación y terminación de las di
ferentes actividades, permitiendo declarar que una acti-
vidad "X" puede iniciar por ejemplo: Un 23 de octubre de
1985 y terminar un 8 de julio de 1986. Esta información-
viene siendo vital para el ejecutivo que ha de seguir el
proyecto.

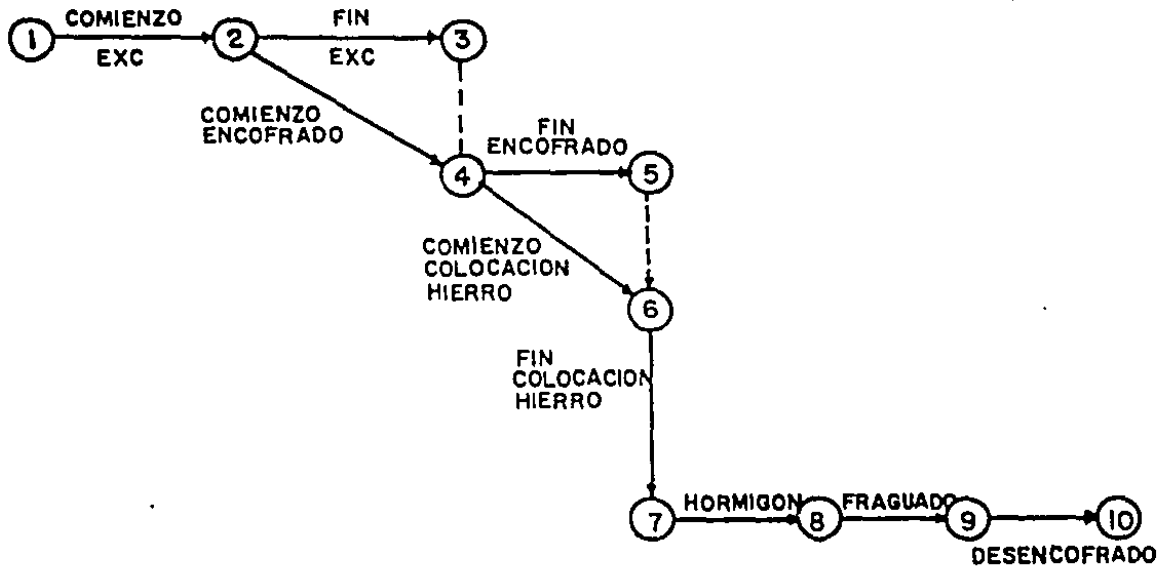


Fig. 2.5



Fig. 2.6

c) Como se mencionó anteriormente el uso de ordenadores --- electrónicos, es una útil herramienta, que en combina--- ción con las metas que sigue el PCS, hace posible obtener de una manera rápida la información mencionada en el inciso anterior, así como en este y los siguientes.

En el PCS de forma sencilla y concisa se puede observar para cada actividad, cuál o cuáles son las actividades - precedentes, es decir, las que de acuerdo con la planifi cación efectuada se deben ejecutar antes de que comience la actividad en cuestión. Así mismo indica cuál es la fe cha IMP de cada actividad, cuál es la fecha TMT de la -- precedente y cuál es la holgura correspondiente.

d) Entre otros informes que pueda proporcionar el PCS, es - que mediante el uso del ordenador electrónico, se le pue de introducir información en un momento dado, acerca de las actividades que ya se han ejecutado y la duración -- real de cada una de ellas. En base a ésto el PCS calcula de nuevo todos los tiempos del proyecto atribuyendo a ca da actividad las nuevas fechas de ejecución y sus nuevas holguras, reestructura la ruta crítica, indica el retraso de esta reestructuración provocada en algunas activi- dades y obtiene una nueva fecha de culminación en el pro yecto. Este informe permite al responsable del proyecto, tener actualizada la situación y la marcha del mismo.

DIFERENCIAS DEL CPM CON EL PERT-TIME.

La manera como se estima la duración de un proyecto, - es la diferencia fundamental entre el CPM y el PERT-TIME. - En el PERT-TIME se efectúan tres estimaciones para cada actividad, evitando de esta forma la posible aleatoriedad de una estimación única; se considera como duración de la actividad el promedio de estas tres estimaciones. Esta práctica del PERT-TIME es acertada en principio, ya que en muchos -- proyectos las duraciones de las actividades son mal conocidas o inciertas.

La duración de cada actividad se basará en el promedio de los tiempos resultantes, de las tres preguntas siguientes, que se efectuarán a los respectivos responsables.

1. ¿En cuánto tiempo estima usted la duración mínima posible de la actividad? o sea la más optimista. (aij).
2. ¿En cuánto tiempo estima usted la duración máxima posible de la actividad? o sea la más pesimista (bij).
3. ¿Qué duración cree usted que es la más probable para la actividad? (mij).

Estas estimaciones, por el hecho de ser subjetivas conviene reunir las tomando ciertas precauciones y cotejarlas con los diversos responsables si fuese posible. Con estos tiempos, la técnica PERT-TIME estima la duración de la actividad en base a la fórmula:

$$t_{ij} = \frac{a_{ij} + 4m_{ij} + b_{ij}}{6}$$

Basándonos en la teoría central del límite. La duración promedio del proyecto será la de la ruta crítica, formada por los promedios de las duraciones de las actividades, y la varianza será la suma de las varianzas de esas actividades críticas.

Considerando que la varianza de la actividad (i-j) es:

$$\nabla_{ij}^2 = \left(\frac{b_{ij} - a_{ij}}{6} \right)^2$$

el promedio de la duración del proyecto será:

$$\sum (t_{ij})$$

y la varianza:

$$\sum (\nabla_{ij})^2$$

Considerando que las actividades (i-j) son las que componen la ruta más larga.

Operando de esta forma, se obtendrá el tiempo total de ejecución del proyecto y la varianza del mismo, estimando que, de acuerdo con la teoría central del límite, la duración total del proyecto sigue la distribución normal. (fig. 2.7).

Suponiendo que la duración del proyecto sigue la distribución normal y conociendo el promedio y la varianza, po

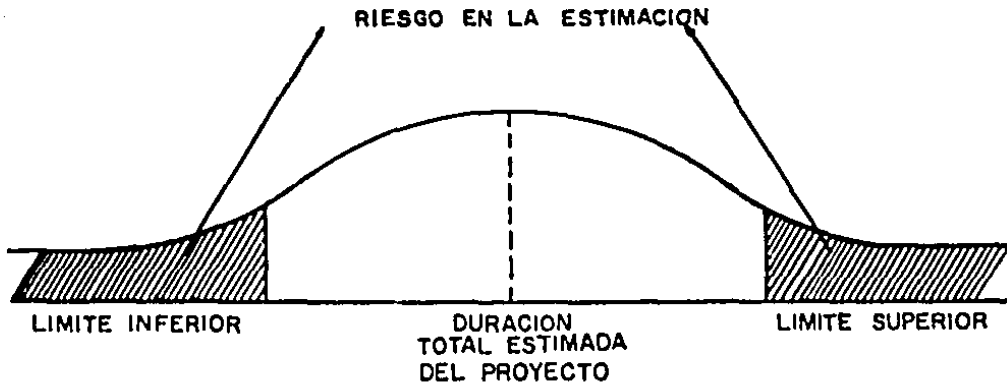


Fig. 2.7

demos estimar entre qué límites estará la duración del proyecto, con un determinado tanto por ciento de riesgo. Asimismo, se puede estimar qué probabilidad existe de que la duración total del proyecto sea superior a la prevista.

Mediante el sistema PERT-TIME se logra que la estimación de la duración total del proyecto sea menos aleatoria y más segura que en el CPM, ofreciendo a la Dirección una mayor base y un mayor conocimiento en que fundamentar sus decisiones, basada primordialmente en la estimación de unas fechas y en una probabilidad de que se cumplan.

DIFERENCIAS DEL PERT-TIME CON EL SCAR.

El SCAR (Sistema de Control y Asignación de Recursos) tiene como característica, el decidir en qué actividades se deben aplicar los recursos disponibles, de entre todas aquellas actividades que necesiten de ellos; y así como en los sistemas PERT-TIME se asigna a cada actividad una fecha de comienzo y una holgura para que los responsables del proyecto decidan el momento de su ejecución, el sistema SCAR asigna una única fecha en la cual deberá comenzar esa actividad, si se quiere utilizar de una forma eficiente los recursos.

En el momento de decidir y asignar recursos en un proyecto se puede presentar las siguientes situaciones, una -- de ellas: el proyecto deberá estar acabado en una fecha determinada, siendo los recursos necesarios una consecuencia-

de este plazo de entrega. Otra situación: Consiste en la -- planificación con recursos limitados, pero sin rebasar en -- ningún momento las disponibilidades.

Algunos criterios en que se basa el SCAR, para la asignación de recursos entre las actividades que los necesitan:

-) Prioridad externa por proyecto.
-) Prioridad externa por actividad.
-) Fecha más temprana de comienzo de la actividad.
-) Margen de la actividad.
-) Duración de la actividad.
-) Situación de carga de los recursos solicitados por la -- actividad.
-) Número de actividades que podrían comenzar si se termina se la actividad en estudio.
-) Capital invertido en las diferentes opciones de procesos constructivos, para realizar un proyecto.
-) etc....

La forma en que se distribuyen los recursos entre las diferentes actividades, dependiendo su prioridad, afectará el resultado de la planificación.

DIFERENCIAS ENTRE EL PERT-TIME Y EL DTFS.

El DTFS está compuesto por dos partes. La primera tiene por finalidad los mismos objetivos que las técnicas PERT:

suministra información sobre la duración total del proyecto, estimando la duración promedio con una precisión y un riesgo máximo; sobre las actividades que componen la ruta crítica; sobre la distribución probabilística, seguida por las distintas fechas de los sucesos-IMP, IMT, TMP y TMT-estimando el promedio de cada una, así como la distinta probabilidad de que las actividades que parten de un nudo pueden comenzar a partir de una determinada fecha; sobre la probabilidad que tiene una actividad de ser crítica; sobre la holgura libre promedio de cada actividad, etc....

En una segunda fase el DTSP, pretende reducir la duración total del proyecto, a base de disminuir la duración de aquellas actividades de tal forma que en total nos supongamos un costo mínimo. Para disminuir la duración total de un programa es preciso disminuir de una o varias actividades críticas: La duración total del proyecto quedará reducida en la misma cantidad. Si elegimos la ruta crítica que, para una disminución de tiempo, provoca el mínimo aumento de costo, habremos reducido el proyecto a costo mínimo.

Como resumen podemos indicar que las principales analogías y diferencias entre las técnicas PERT más características son:

-) CM y PCS obtienen el camino crítico de una forma determinística.

-) PERT-TIME obtiene el camino crítico, utilizando en la estimación de la duración de cada actividad el promedio de las tres estimaciones típicas, con lo que se aproxima -- más a la realidad.
-) SCAR persigue la asignación de los recursos a las distintas actividades que los soliciten, buscando el costo mínimo.
-) DTFS en su primera fase, persigue la obtención del camino crítico, pero al emplear el método de simulación de Montecarlo se aproxima mucho más a la realidad. En su segunda fase, trata de identificar las actividades cuya duración hay que reducir, de tal forma que el costo sea mínimo.

C A P I T U L O

III

METODO DE LA RUTA CRITICA.

El método de la ruta crítica, se le puede dividir en cuatro fases, mediante las cuales se pueden ir obteniendo ventajas progresivas.

Estas fases son las siguientes:

- a) Planeación.
- b) Programación.
- c) Costo Directo.
- d) Superposición de Costos.

3.1 PLANEACION.

La planeación consiste en listar y relacionar todas las actividades de un proceso constructivo, colocándolas en un orden adecuado. LA secuencia entre las diferentes actividades puede ser representado mediante un diagrama de flechas.

Hay restricciones que pueden variar la secuencia de realización de determinadas actividades. Estas restricciones son las siguientes:

-) Restricciones Físicas.
-) Restricciones de Seguridad.
-) Restricciones de Recursos.
-) Restricciones de Mano de Obra.
-) Restricciones Administrativas.

El colado de una losa supone la terminación de actividades como el tendido de acero, la colocación de cimbra; o bien el inicio en la construcción de muros depende de la terminación de cimientos. Estos son ejemplos de Restricciones Físicas, que intervienen en la secuencia de las actividades y quedarán establecidas, sometiendo a cada una de las actividades, que entran en proceso constructivo, a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las actividades precedentes a ésta?
- ¿Qué actividades deben proseguir a ésta?
- ¿Qué actividades pueden realizarse simultáneamente con ésta?

Las Restricciones de Seguridad es otro factor que determina la secuencia de las actividades, obligando a tomar precauciones en actividades que a primera vista se podrían realizar simultáneamente; por ejemplo, se debe evitar realizar trabajos en el piso inferior, mientras se efectúa la colocación de acero o el colado de la losa inmediata superior.

Las Restricciones de Recursos también pueden condicionar la continuidad en la realización de los trabajos; por ejemplo, la falta de capital puede ocasionar que ciertas actividades no se puedan realizar simultáneamente, teniendo que ser realizadas conforme se vá teniendo posibilidad económica de realizar los trabajos; o bien la falta de cierto-

equipo en determinado trabajo, que no se puede utilizar hasta no haber terminado otra actividad que necesita el mismo equipo, debido a que no se cuenta con la cantidad de éste, - que permitiera la posibilidad de iniciar trabajos simultáneos y evitará posponer el inicio de actividades, que tienen que esperar a ser realizadas hasta que esté el equipo disponible.

Puedan ocurrir Restricciones de Mano de Obra; por ejemplo, puede ser que para realizar una construcción, se cuente con un número determinado de personal. Obligando a la secuencia de actividades, a basarse únicamente con la Mano de Obra disponible.

Las Restricciones Administrativas, se presentan cuando la Gerencia toma decisiones de cuándo se deben ejecutar --- ciertas actividades, o en qué orden desea que sean efectuadas en determinadas fechas, etc...

El encargado de llevar el control del Proyecto, debe tener especial cuidado en esta serie de Restricciones y asegurarse que éstas den como resultado un diagrama lo más cercano posible a la realidad.

Al efectuarse la planeación debe prescindirse del tiempo de duración de las actividades. En el cuadro I, se muestra un resumen de los elementos que deben ser considerados durante la planeación.

PLANEACION

LISTA DE ACTIVIDADES

PROYECTO

TRAMITES

EJECUCION

TABLA DE SECUENCIAS

LIM. FISICAS

LIM. DE SEGURIDAD

LIM. DE RECURSOS

LIM. DE PERSONAL

LIM. ADMINISTRATIVAS

ACT. INMD. ANTERIOR

ACT. SIMULTANEA

ACT. INMD. POSTERIOR

DIAGRAMA DE FLECHAS

ACT REALES

ACT FICTICIAS

CUADRO I

3.2 PROGRAMACION.

Consiste en asignar el tiempo de ejecución de cada una de las actividades. La estimación de las duraciones de cada una de las tareas debe efectuarse, haciendo uso de la mejor información posible.

Se debe mencionar que una estimación de tiempo, no importa qué tan calificada sea una actividad y cuánta experiencia la apoye, siempre será una predicción aproximada y no debe ser considerada como inmutable. Sin embargo la flexibilidad que nos proporciona el CPM, permite que los datos no sean tan precisos para que el sistema de trabajo eficientemente y de como resultado una aproximación razonable de un resultado preciso.

La programación solamente puede iniciarse después de que el Proyecto particular en cuestión se haya presentado mediante el Diagrama de Flechas.

En el Cuadro II se puede observar los elementos que deben ser considerados durante la programación.

3.3 DETERMINACION DEL COSTO DIRECTO.

En esta fase debe analizarse las variaciones del Costo en función del tiempo de ejecución, con el fin de obtener el Costo más conveniente de la obra para diferentes plazos.

Durante esta etapa se utilizará una gráfica llamada -- curva de costos (fig. 3.1), que puede ser obtenida para ac-

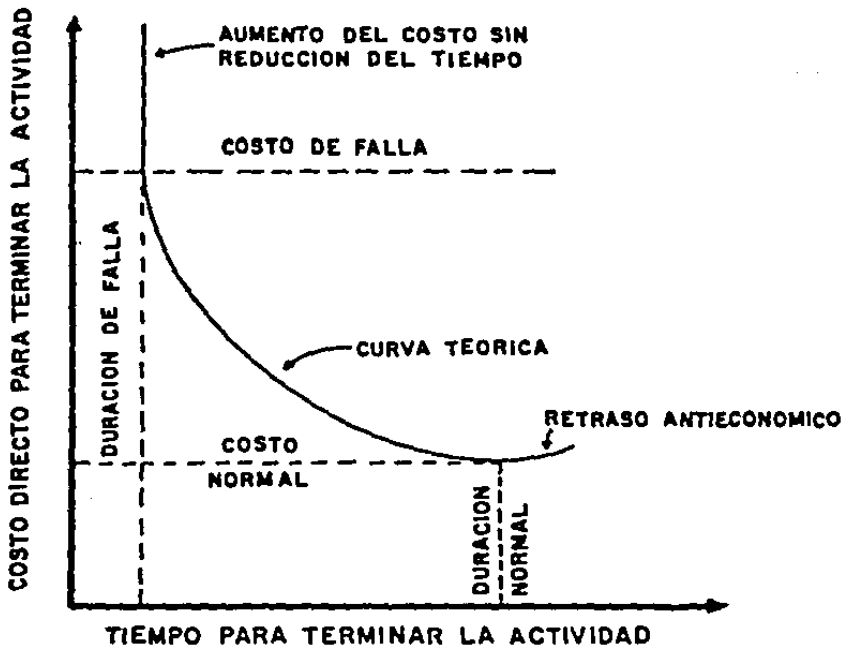
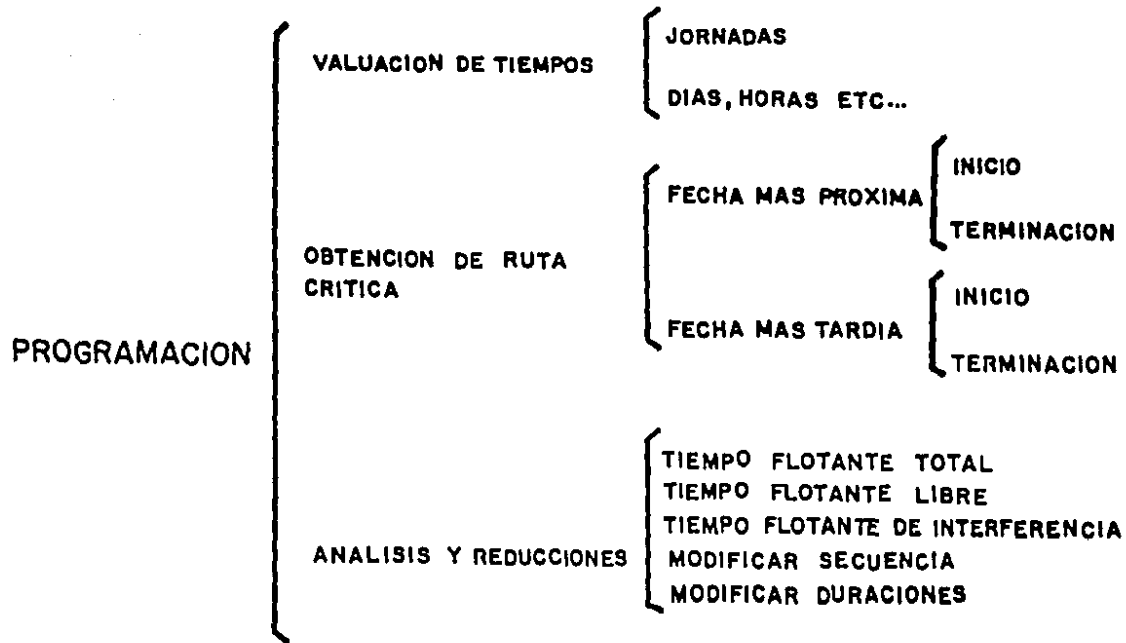


Fig. 3.1



CUADRO 2

tividades individuales o bien para un Proyecto completo. Esta curva representará, la manera en que varían los costos - para distintos tiempos de realización, dependiendo de los - métodos constructivos que se prefieran emplear. Esta información permitirá determinar el Costo y la duración óptima - del Proyecto.

La solución óptima se deberá encontrar entre dos límites que son: La solución del Costo normal y la solución de la duración mínima.

La solución del Costo normal, proporciona el tiempo necesario para determinar un Proyecto con el menor costo directo. La solución de la duración mínima es obtenida al realizar un proyecto en el tiempo más corto posible, y menor costo para ese tiempo de terminación.

A partir de la duración normal de una actividad, ésta puede tener la posibilidad de disminuir su duración hasta - cierto límite, que es llamado punto de falla.

Hacer que todas las actividades de un proyecto se realicen en su punto de falla, reduciría al mínimo la duración total del proyecto. Sin embargo esta solución no sería la - más adecuada, porque resultaría antieconómica. El fin que - se persigue es el de obtener una solución óptima, y ésto se logrará al seleccionar ciertas actividades que se "llevarán" a su punto falla, sin necesidad de hacerlo con todas.

3.4 SUPERPOSICION DE COSTOS.

Esta superposición se hace en base a los costos directos, costos indirectos y pérdidas ocasionadas por el retraso en la terminación de la obra.

La combinación de todos estos elementos dará como resultado llevar un mejor control, en cualquier proceso constructivo.

La planeación tiene como base fundamental dos etapas-- que son:

1. Obtener una relación de todas las actividades físicas o mentales, que forman procesos interrelacionados en un -- proyecto. Esta información puede ser obtenida por medio de las personas que intervienen en la ejecución del proyecto, cada una de estas personas proporcionará información de acuerdo con su responsabilidad y cargos en el -- proyecto.
2. Realización de un Diagrama de Flechas, que represente la secuencia así como la relación entre las diferentes actividades del proyecto.

Se considera una actividad a la serie de operaciones, - realizadas por una persona o grupos de personas, que debe - rán ser ejecutadas de acuerdo a determinados tiempos de inicio y de terminación.

Durante la fase de planeación, no es necesario indicar

la cantidad de trabajo, ni las personas que lo ejecutarán,-- será suficiente con nombrar las actividades.

El listado de actividades pueden incluir desde los trámites o permisos del proyecto, dibujos, cálculos, etc...Por otro lado un trabajo puede ser descompuesto, en varias actividades; por ejemplo se puede identificar una actividad por colado de losa simplemente, o bien descomponer esta actividad en:

- Obtención de materiales necesarios para la hechura del -- concreto.
- La hechura del concreto.
- Colado del concreto.
- Vibrado del concreto.
- Curado del concreto.

Lo detallado de las actividades dependerá del grado de importancia que se le dé al control del proyecto.

Teniendo el conjunto de actividades que deberán ser -- ejecutadas, estas pueden ser colocadas en una columna dividiéndolas por oficios, por forma de trabajo, localización - o equipo requerido. En seguida se establece una lógica de - construcción o un determinado orden que deberá seguirse de acuerdo a las restricciones que se tengan. Primero se tomarán en cuenta las Restricciones físicas y de Seguridad, después las limitaciones de Mano de Obra y otros recursos, fi-

nalmente se toman en cuenta las Restricciones administrativas.

Es mejor realizar al principio un bosquejo de secuencia, tomando en cuenta ciertas restricciones, más adelante se puede ir detallando este bosquejo tomando en cuenta --- otras restricciones o necesidades, que poco a poco proporcionará un resultado más próximo a la realidad.

Por ejemplo, se puede tener una construcción con las siguientes actividades:

- a) LOCALIZACION
- b) EXCAVACION
- c) CIMBRADO
- d) COLADO
- e) OBTENCION DEL ACERO DE REFUERZO
- f) CORTE Y DOBLADO DE VARILLA
- g) COLOCACION DE ACERO DE REFUERZO
- h) OBTENCION DEL CONCRETO.

Esta lista de actividades se pueden agrupar de la siguiente manera.

- 1. CIMENTACION
 - a) LOCALIZACION
 - b) EXCAVACION
 - c) CIMBRADO
 - g) COLOCACION DE ACERO DE REFUERZO

d) COLADO

2. ACERO DE REFUERZO

e) OBTENCION DEL ACERO DE REFUERZO

f) CORTE Y DOBLADO DE VARILLAS

g) COLOCACION DEL ACERO DE REFUERZO

d) COLADO

3. CONCRETO

h) OBTENCION DEL CONCRETO

d) COLADO

Hay ocasiones en que es posible, captar fácilmente --- errores en la secuencia de actividades, como por ejemplo: - el colocar una actividad como el colado antes de haber terminado actividades como pueden ser el armado de acero o el de colocación de cimbra. Sin embargo cuando se tiene un proyecto que abarca una gran cantidad de actividades, es conveniente formular una tabla que muestre todas las actividades, indicando para cada una de ellas, que actividades le preceden, cuáles son posteriores y cuáles se pueden ejecutar simultáneamente. Esto se logra al considerar en cada una de las actividades, las siguientes preguntas:

- ¿Qué actividades deben ser terminadas inmediatamente antes del inicio de ésta?
- ¿Qué actividades son independientes de ésta y pueden realizarse simultáneamente con ella?

- ¿Qué actividades deben iniciarse inmediatamente después de la terminación de ésta?

Como se comentó anteriormente, la respuesta a estas preguntas representa la solución a las Restricciones físicas. Ahora para tomar en cuenta Restricciones de tipo administrativas, basta con responder las preguntas, cambiando las palabras "deben y pueden" por "serán". Si se cambia el "pueden" de la segunda pregunta por "no pueden" es que se han presentado Restricciones de seguridad, recursos y mano de obra.

Tomando en consideración lo descrito anteriormente se hace la tabla de secuencias, quedando como se muestra en la fig. 3.2.

La información obtenida de la tabla de secuencias, facilitará la construcción del Diagrama de Flechas. Analizando la tabla de secuencias, se obtienen las siguientes deducciones: primero, si dos o más actividades aparecen en la columna de "actividades precedentes", entonces dos o más cadenas convergen en el inicio de esa actividad; segundo si dos o más actividades aparecen en la columna de "actividades --subsecuentes", quiere decir que habrá una ramificación al terminar esta actividad; y tercero existen actividades que pueden ser paralelas, ésto ocurre si aparece alguna notación en la columna de actividades simultáneas.

ACTIVIDAD	SIM- BOLO	ACT. PRE- CEDENTES	ACT. SIMUL- TANEAS	ACT. SUB- SECUENTES
TRAZO	A	NINGUNA	E, F, H	B
EXCAVACION	B	A	E, F, H	C
CIMBRADO	C	B	E, F, H	C
COLADO	D	G, H	NINGUNA	NINGUNA
OBTENCION DEL ACE- RO DE REFUERZO	E	NINGUNA	A, B, C, H	F
CORTE Y DOBLADO DE VARILLAS	F	E	A, B, C, H	G
COLOCACION DEL ACERO DE REFUER- ZO	G	C, F	E	D
OBTENCION DEL CON- CRETO	H	NINGUNA	A, B, C, E, F, G	D

FIG. 3.2

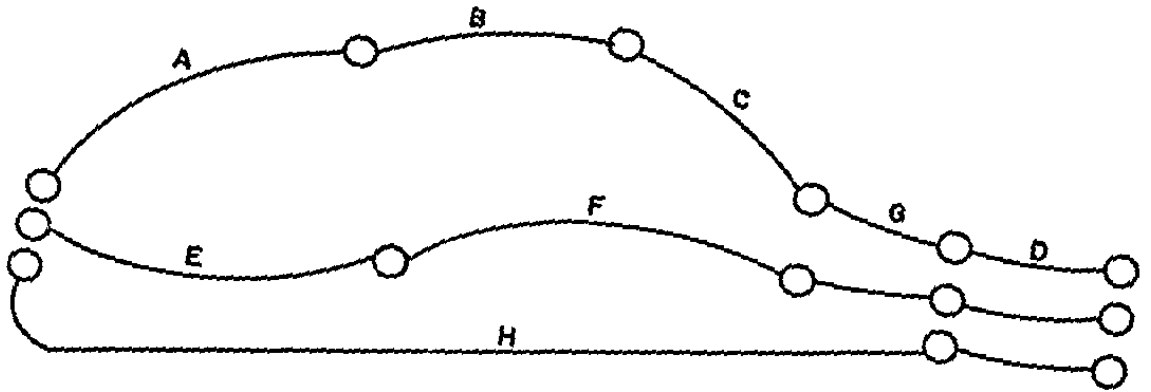


Fig. 3.3

La información obtenida de la tabla de secuencias, permite realizar un bosquejo de Diagrama, como el que se muestra en la fig.3.3. Para el desarrollo más detallado de lo que es en sí, un Diagrama de Flechas, se mencionarán puntos básicos que deben ser tomados en cuenta en la elaboración del mismo.

DIAGRAMA DE FLECHAS.

El Diagrama se elabora con el propósito de disponer de un medio, para representar de una manera detallada un proyecto. Se le dá el nombre de Diagrama de Flechas porque la flecha es el medio representativo de una actividad en el diagrama, y puede ser dibujada como se muestra en la fig. 3.4.

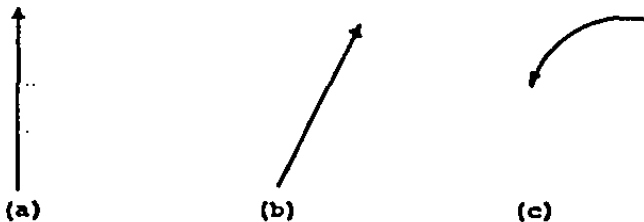


fig. 3.4

En principio, la longitud de la flecha no tiene importancia; la dirección en la cual señala tampoco. Lo significativo es que la flecha, representa una actividad que debe ser realizada.

El principio de la flecha representa el inicio de la -

actividad y la punta representa la terminación de la misma. Se puede decir que la flecha, es un medio para representar de una manera lógica la secuencia de actividades, y la longitud de la flecha sólo muestra un lapso de tiempo entre el inicio y la terminación de la actividad.

Cada actividad debe ser representada por una (y sólo una) flecha en el diagrama, y cada flecha representa una actividad individual.

La unión de las flechas es un punto en el tiempo y como tal, no consume tiempo. Representa el punto en el tiempo, cuando todos los trabajos que en él terminan han sido ejecutados, y cuando pueden iniciarse todos los trabajos subsecuentes que ahí principian. Todos los puntos de unión o nudos son llamados eventos; éstos son puntos que muestran la división entre la terminación de una actividad y el inicio de otra (fig. 3.5).

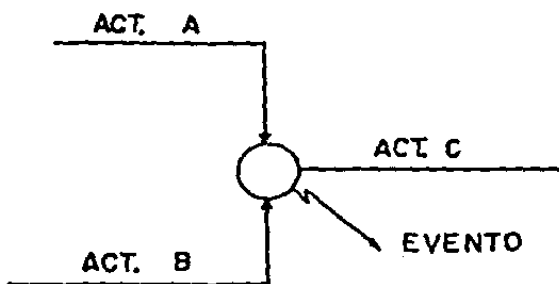
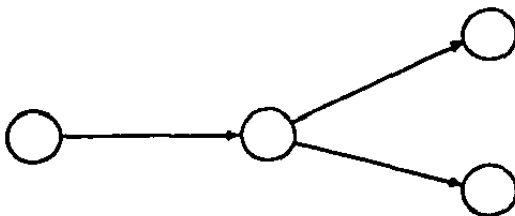


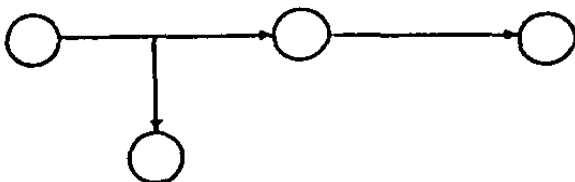
fig.3.5

En todo Diagrama de Flechas, las actividades siempre -
deben salir y deben llegar a eventos o nudos.(fig. 3.6)



CORRECTO

fig. 3.6



INCORRECTO

fig. 3.6

Numerando cada nudo se podrá identificar a una actividad, por los números de nudos entre los cuales esté situada esta actividad, Esto se puede observar en el siguiente ejemplo:

ACTIVIDADES	NODOS
CIMENTACION	1 - 2
LEV. DE MUROS	2 - 3

El Diagrama de flechas puede quedar trazado de la si—

guiente manera:



Se debe realizar un Diagrama de flechas; que la cola de cada una de las flechas sea un número menor que el número indicado en su punta, como se muestra en la fig. 3.7.

Entre las ventajas principales de numerar los eventos se mencionan las siguientes:

- Permite una selección y una identificación inmediata de la actividad que se desee. Al tener una relación de todas las actividades que intervienen en un proyecto, es más fácil identificar cualquiera de ellas por un par de números por ejemplo, la actividad (4-5), que buscar por la descripción de la misma, entre lo que puede ser un "mundo" de actividades.
- Permite relacionar y llevar la secuencia lógica entre las actividades. Por ejemplo, la actividad (3-4) es precedente a la actividad (4-5); las actividades (7-8), (7-9) son simultáneas; las actividades (10-11), (10-12) siguen a la actividad (9-10).

En un Diagrama de flechas, muchas veces es necesario hacer uso de actividades llamadas ficticias, que no consumen tiempo ni recursos, pero son necesarias para mantener una lógica de la red y también para establecer, una identi-

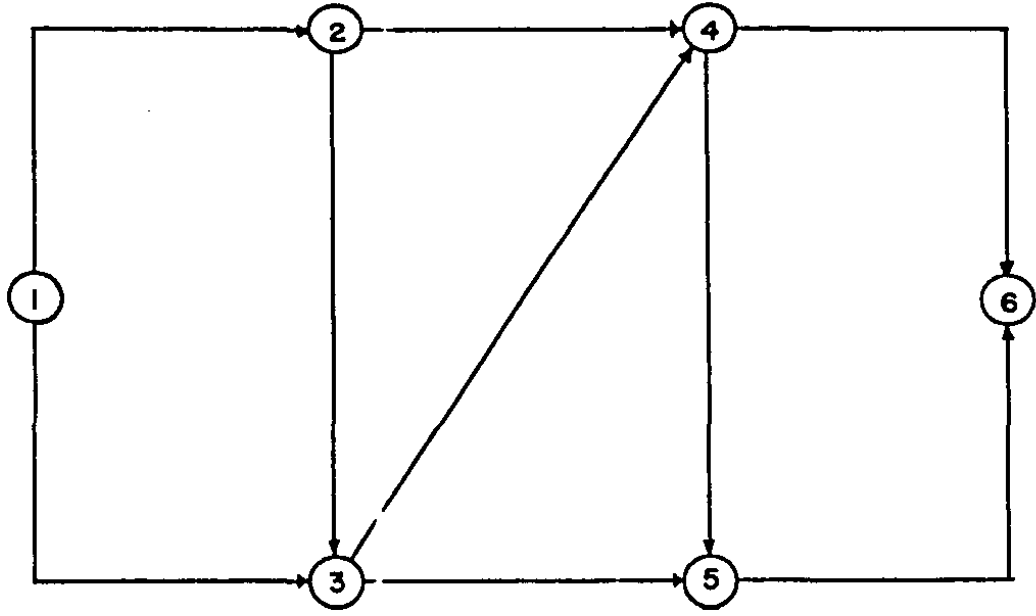


Fig. 3.7

ficación única para cada actividad.

En la fig. 3.8 se muestra un fragmento de una red, en el cual se utilizan actividades ficticias. A y B son actividades independientes y simultáneas; A debe preceder a C y D; las cuales son independientes pero no simultáneas; y B debe preceder a D. La actividad ficticia E se usa para indicar que la iniciación de D, depende de la terminación de las actividades A y B. Mientras que la actividad C sólo depende su iniciación de la terminación de la actividad A.

En otro ejemplo de la fig. 3.9, el inicio de la actividad A depende de la terminación C y D mientras que la actividad D es iniciada al terminar la actividad C.

Hay ocasiones en que podemos dividir una actividad "x" en fases, haciendo posible que al terminar una actividad se pueda iniciar parte de la actividad que es posterior. En este caso el uso de una actividad ficticia evita confusiones en la lógica del diagrama y en la identificación de tareas. Esto se muestra en el siguiente ejemplo:

En determinado proyecto originalmente se toma en cuenta tres actividades que son: Excavación, Colocación de tubo y Relleno. Que da como resultado, la tabla y el diagrama -- mostrado en la fig. 3.10.

Sin embargo, no es necesario terminar toda la excavación para iniciar parte de la colocación del tubo, pudiendo

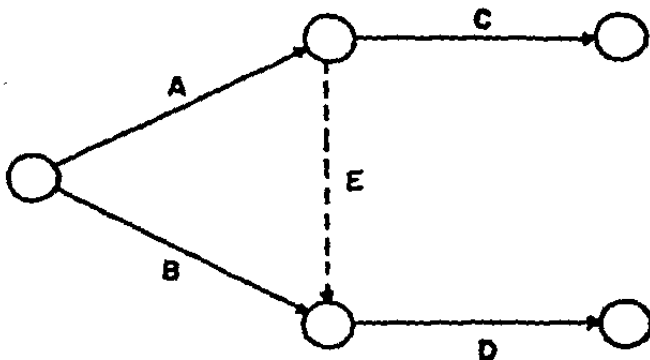


Fig. 38

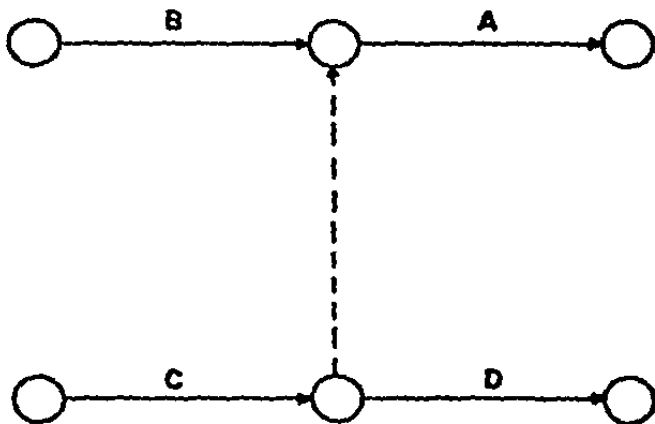


Fig. 39

ACTIVIDAD		NODO
EXCAVACION	A	0-1
COLOCACION DE TUB.	B	1-2
RELLENO	C	2-3

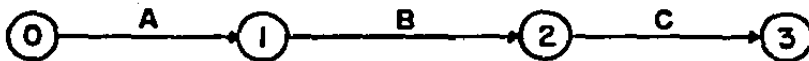


Fig. 3.10

ACTIVIDAD		NODO
EXCAVACION FASE I	A	0-1
COLOCACION DE TUBO FASE I	B	1-2
EXCAVACION FASE II	A'	1-3
COLOCACION DE TUBO FASE II	B'	3-4
BLENDO	C	4-5

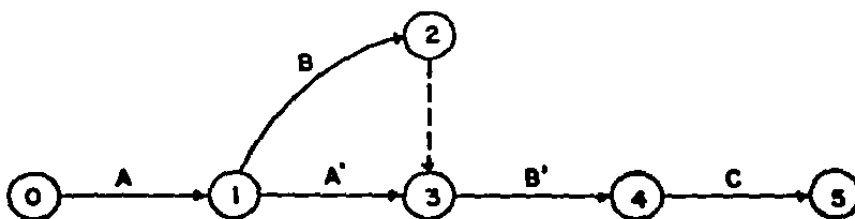
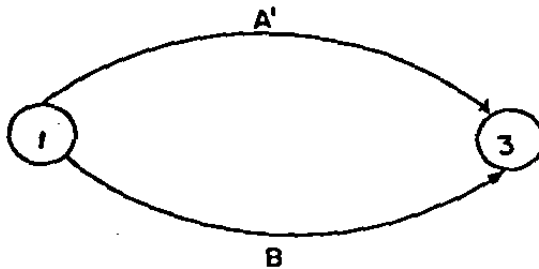


Fig. 3.11

hacer en dos fases la colocación del tubo, resultando la ta
bla de actividades y el Diagrama de flechas que se muestra
en la fig. 3.11.

Sería incorrecto representar como en la siguiente figu
ra, que al terminar la actividad A se puedan iniciar A' y B,



ya que tendríamos dos actividades A' y B con un par idénti-
co de números (1-3). En este caso la incorrecta representa-
ción, podría aparentemente no crear mayor problema. Sin em-
bargo en proyectos, que son constituidos por una cantidad -
considerable de actividades, ésto sería un error que crea-
ría confusiones.

Haciendo uso de la actividad ficticia (2-3), se puede-
observar en la fig. 3.11 que la actividad (3-4) no puede --
ser iniciada sin antes haber terminado las actividades (1-3)
y (2-3). El desfaseamiento de la actividad, también puede --
ser aplicada a la actividad (4-5).

Volviendo a los datos mostrados en la tabla 3.2 y to-
mando en cuenta las bases para la construcción de un Diagra

ma de Flechas, se puede trazar la red que se presenta en la fig. 3.12. Como se ha mencionado el diagrama final que se toma en cuenta en determinado proceso constructivo, se obtiene después de haber tomado en cuenta una serie de consideraciones (Restricciones), ya que lo que al principio puede considerarse un diagrama que cumple determinadas condiciones, puede ya no serlo al presentarse obstáculos nuevos que no habían sido considerados. Es decir, que dependiendo de las condiciones en que deba desarrollarse un proyecto, se elegirá entre un diagrama y otro.

En las fig. 3.13a y 3.13b, se presentan dos modificaciones al diagrama trazado en la fig. 3.12. En la fig. 3.13a se realiza un desfasamiento de la actividad G, esto representa que puede ser iniciado una parte de la colocación de acero e independientemente de la cimbra, mientras que una segunda parte de la actividad G depende de la terminación de la actividad de cimbrado (actividad C). Mientras que en el diagrama de la fig. 3.13 a solo se cuenta con una cuadrilla para realizar el trabajo de la colocación de acero, en el de la fig. 3.13b se usan dos cuadrillas diferentes que permite que las actividades G1 y G2 se realicen simultáneamente, provocando que G2 sólo dependa de la terminación de C.

VENTAJAS DEL DIAGRAMA DE FLECHAS.

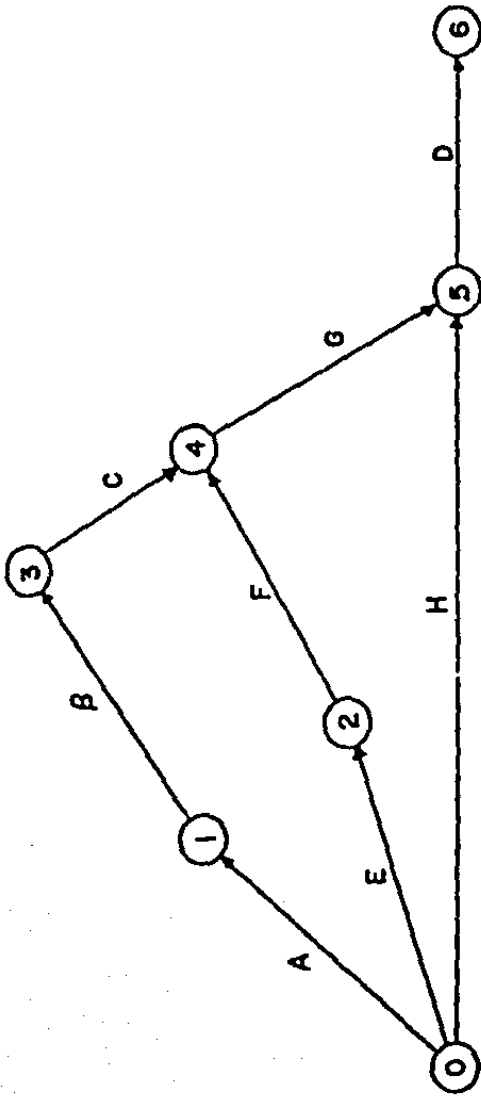


Fig. 3.12

Las ventajas que se obtienen al realizar un Diagrama - de flechas son las siguientes:

1. Permite ser entendido por cualquier persona, después de una breve explicación.
2. Proporciona una rápida visualización de la secuencia y - del alcance real del proyecto completo.
3. Una previsión de los problemas que podrían presentarse y la manera en que podrían ser resueltos. Disminuye la posibilidad de omitir alguna situación.
4. Una mejor coordinación entre el trabajo y la entrega de materiales.

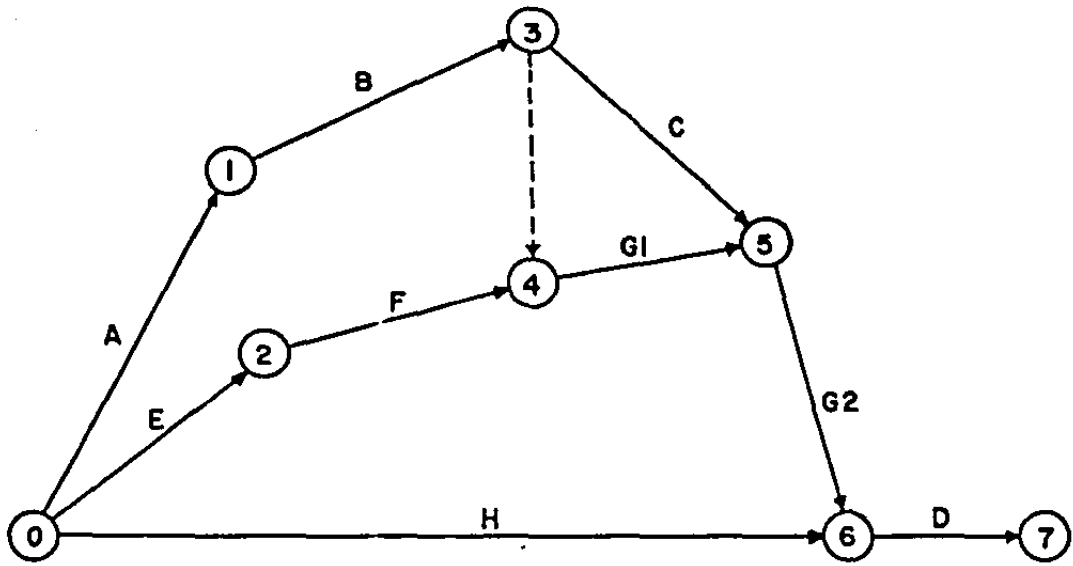


Fig. 3.13a

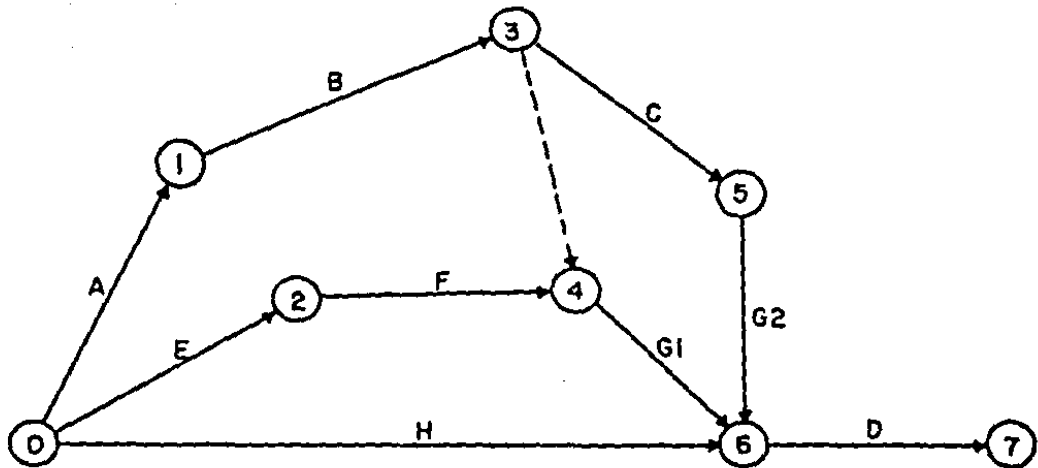


Fig.3.13 b

PROGRAMACION

Una vez que se ha establecido el Diagrama de flechas,-- se continúa a la programación del proyecto, iniciándose con la valuación de los tiempos de duración de las actividades. Este cálculo se hace en base a condiciones normales de trabajo, obteniéndose información de tablas de rendimientos o bien auxiliarse por la experiencia de personal que tiene -- tiempo dedicándose a X actividad. Se debe obtener la mayor información posible, para que estas estimaciones sean las -- más cercanas a la realidad.

Basándose en las tablas de rendimientos, se pueden estimar las duraciones de las actividades de la siguiente manera:

- Primero se hace uso de la siguiente fórmula.

$$JG = \frac{C O}{R G}$$

JG= Jornada por Grupo.

CO= Cantidad de obra.

RG= Rendimiento del grupo.

- Después se obtiene la duración mediante la fórmula.

$$DN = \frac{J G}{N G}$$

JG= Jornada necesarias por grupo.

NG= Número de grupos que pueden trabajar simul
táneamente.

I	J	Descrip. Act.	Un.	Cont. Obra	G	RG	JG, <u>CG</u> RG	NG	DN, <u>JG</u> NG	DN Final

Fig. 3.14

Esta duración puede variar, dependiendo del número de cuadrillas que sea posible asignar a la actividad en cuestión. Estos datos se pueden tabular como se muestra en la fig.(3.14).

Después que se ha estimado la duración de todas las actividades que intervienen en el proceso constructivo, se puede proceder al cálculo de la duración total del proyecto y la determinación de las flechas de inicio y terminación de cada actividad. Para llevar a cabo estos cálculos se hacen las siguientes suposiciones:

- a) El proyecto se inicia en cero de tiempo relativo.
- b) No se debe iniciar ninguna actividad sin antes haber completado las tareas de cuya ejecución depende ésta.
- c) La realización de cada actividad debe iniciarse tan pronto como sea posible.
- d) Una vez iniciada, cada actividad se ejecuta sin interrupciones, hasta ser terminada.

La obtención de tiempos próximos y tardíos de realización de cada actividad, permite al responsable de la ejecución del proyecto, no sólo saber cuándo debe iniciarse cierta actividad, sino también le indicará si el retraso de esta actividad provoca retraso en la duración total del proyecto.

Con esta información, los directivos tienen la posibi-

lidad de decidir, si hacen inversiones adicionales o no para ejecutar el proyecto de acuerdo a la programación original.

TIEMPOS PROXIMOS DE OCURRENCIA.

Con la exposición de un ejemplo se mostrará la manera en que se calculan los tiempos próximos de ocurrencia.

En la tabla de la fig. (3.15), se muestra una serie de actividades con sus respectivas duraciones. Por otro lado - en la fig.(3.16) se representa el Diagrama de flechas de este ejemplo, en el que cada evento le corresponde un óvalo, - en cuyo lado izquierdo se indica la terminación más próxima de dicho evento (TMP).

El tiempo próximo de terminación (TMP_j) para el evento (J), al que llega una sola actividad A_{ij}, se determina sumando la duración t_{ij} de ésta y el tiempo próximo de terminación (TMP_i), para el evento que le precede (I). Empezando por el evento 0.

$$TMP\ 1 - TMP_0 + t_{0-1} = 0 + 10 = 10$$

$$TMP\ 2 = TMP\ 1 + t_{1-2} = 10 + 20 = 30$$

$$TMP\ 3 = TMP\ 1 + t_{1-3} = 10 + 40 = 50$$

En el caso de que dos o más actividades lleguen a un evento, se escoge el mayor de los tiempos, como en el caso - del evento 5:

$$TMP\ 4 + t_{4-5} = 38 + 30$$

ACTIVIDAD	DURACION
0 - 1	10
1 - 2	20
1 - 3	40
1 - 6	28
2 - 4	8
3 - 5	0
3 - 6	10
4 - 5	30
5 - 6	20
5 - 7	24
6 - 8	20
7 - 8	12

Fig. 3.15

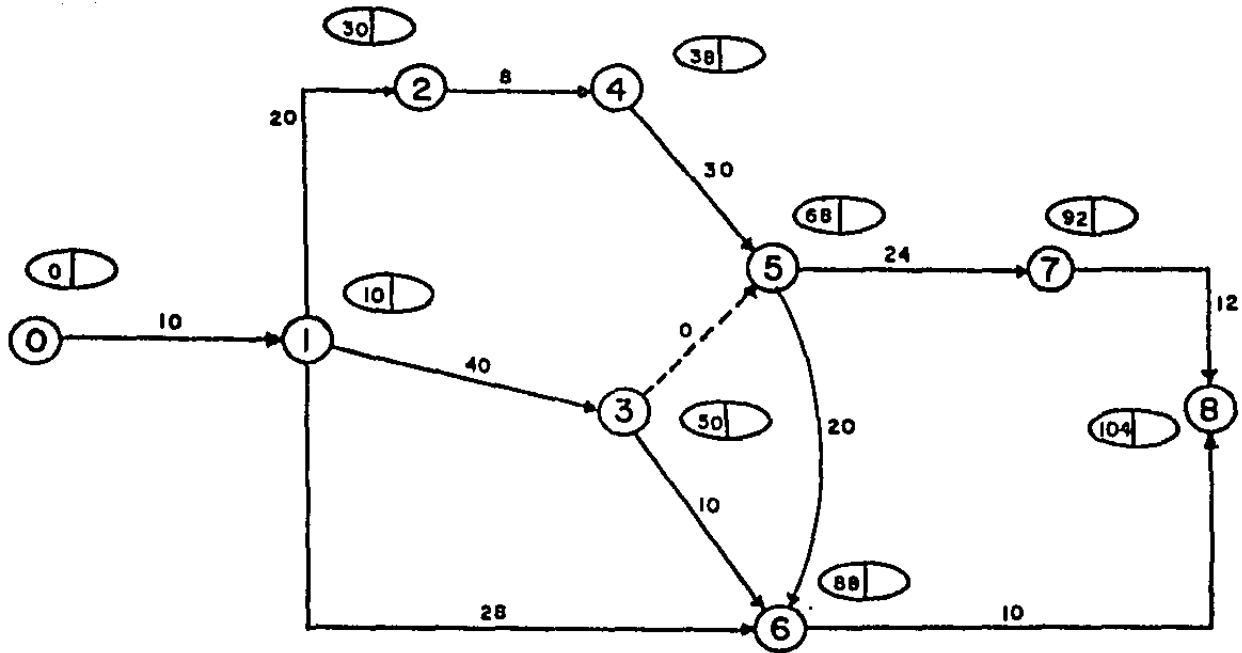


Fig. 3.16

$$TMP\ 3 + t\ 3 - 5 = 50 + 0$$

$$TMP\ 5 = 68$$

Y para el evento 6 al que llegan tres actividades.

$$TMP\ 1 + t\ 1-6 = 10 + 28$$

$$TMP\ 3 + t\ 3-6 = 50 + 10$$

$$TMP\ 5 + t\ 5-6 = 68 + 20$$

$$TMP\ 6 = 88$$

Este proceso se repite para cada uno de los eventos -- que forman la red.

Cuando se terminan los cálculos para todas las actividades con su duración normal, se obtiene un tiempo de 104; a este resultado se le dá el nombre de solución normal.

TIEMPOS TARDIOS DE OCURRENCIA

A continuación de que se han obtenido los tiempos de ocurrencia más próximos, se procede al cálculo del tiempo de ocurrencia más tardío permisible TMTI para cada evento (I). Comenzando por el último evento de la red, y tomando el tiempo de duración del proyecto.

De una manera similar a la usada en el cálculo de los tiempos de ocurrencia más próximos, se calculan los tiempos tardíos de ocurrencia solo que comienzan en el evento de -- terminación del proyecto y se continúan hacia atrás, hasta llegar al evento de iniciación.

En el caso del ejemplo que se está examinando se ini--

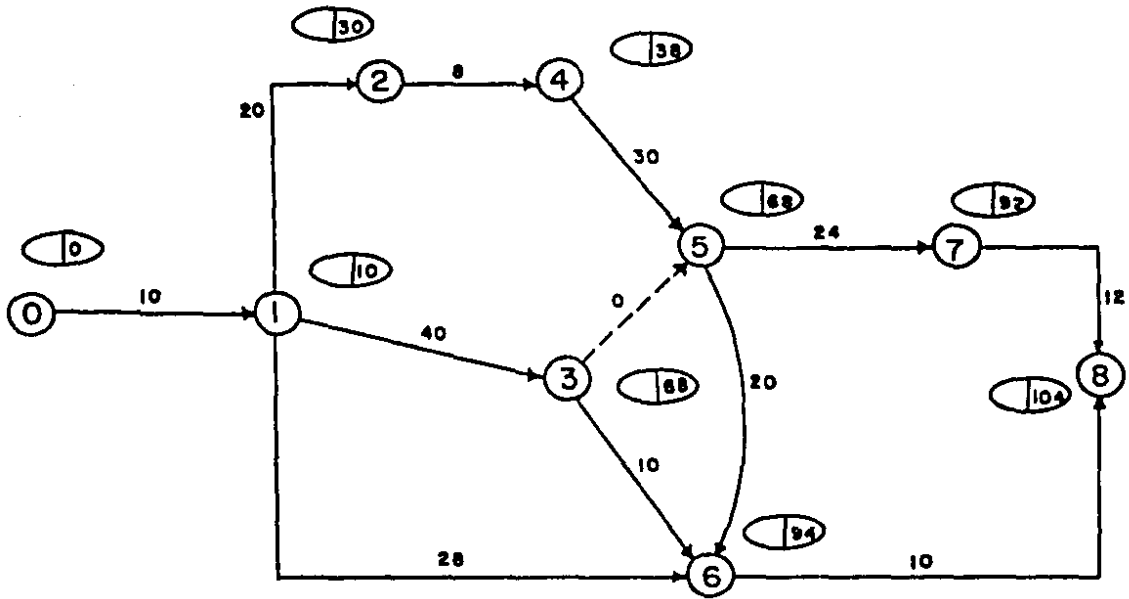


Fig. 3.17

cian los cálculos desde el evento 8 y con la duración de -- 104. En la fig. (3.17) se muestra la red, y en cada evento se ha colocado un óvalo cuyo lado derecho muestra el tiempo de ocurrencia más tardía.

El tiempo TMTI, para un evento (I) que tiene una sola actividad Aij que comienza en él, se determina restando la duración de ésta tij del tiempo TMTJ, para el siguiente --- evento (J). A continuación se muestran algunos resultados - del ejemplo.

$$TMT 7 = TMT 8 - t_{7-8} = 104 - 12 = 92$$

$$TMT 6 = TMT 8 - t_{6-8} = 104 - 10 = 94$$

Para los eventos a los que llegan más de una activi -- dad, se calcula el TMT para ese evento de la siguiente mane -- ra.

$$TMT 7 - t_{5-7} = 92 - 24 = 68$$

$$TMT 6 - t_{5-6} = 94 - 20 = 74$$

$$TMT 5 = 68$$

Este procedimiento se sigue a través de todo el Diagra -- ma, evento por evento, y en orden decreciente.

RUTA CRITICA

La ruta crítica de un diagrama, quedará definida por - cada uno de los eventos que tengan su TMP y TMT idénticos, - ya que cualquier retraso en la terminación de estos eventos automáticamente deja de cumplir en el tiempo de ocurrencia-

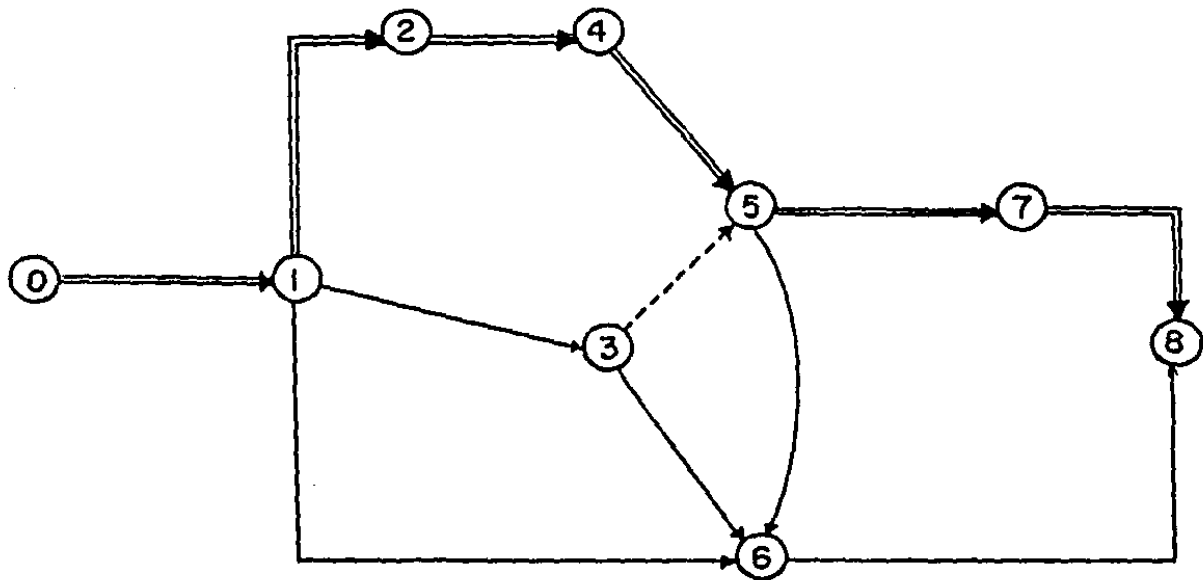


Fig. 3.18

más tardío permisible y esto se refleja en un retraso en el proyecto.

Para los eventos en los que su TMP sean diferentes, se les permite un cierto margen, en el que puede oscilar la terminación del evento, sin que ésto repercuta en el tiempo de terminación del proyecto. Observando las fig. (3.16) y (3.17) se nota que el evento 3 no es crítico ya que podrá ser terminado en cualquier tiempo comprendido entre 50 y 68 días. Por otro lado, el evento 5 es un evento crítico, que cae dentro la ruta crítica, porque TMP 5 y TMT 5 son iguales y no le es permitido ninguna tolerancia en la terminación de este evento, siempre y cuando se quiera terminar el proyecto en 104 días.

Con lo descrito en párrafos anteriores y haciendo un análisis de las fig. (3.16) y (3.17) se puede comprobar que los eventos 0, 1, 2, 4, 5, 7 y 8 son eventos críticos, que caen dentro de la ruta crítica. Los eventos 3 y 6 no son críticos. En la fig. (3.18) se muestra la trayectoria de la ruta crítica.

El tiempo requerido para terminar todas las actividades que componen la ruta crítica es igual a la duración del proyecto, cualquier retraso en una de estas actividades críticas, ocasionará un retraso de todo el proyecto. Sin embargo, las actividades que no son críticas tienen una toleran-

cia de tiempo para ser ejecutadas, que les permite un cierto retraso sin que ésto llegue a provocar un retraso en el proyecto.

TIEMPOS FLOTANTES

Durante la realización de una obra, es muy difícil programar la mano de obra de manera que haya una variación gradual y económica, al pasar de un trabajo a otro. Generalmente la abundancia de mano de obra y la escasés se alterna y es casi imposible predecir con precisión cuál será el nivel de mano de obra en un momento dado.

Para la mayor parte de los trabajos hay una cierta cantidad de tiempo libre del que se puede disponer, es decir, el tiempo disponible para ejecutar el trabajo es mayor para el que se requiere. Es aquí donde los tiempos flotantes juegan un papel importante, para hacer arreglos convenientes a un programa, presentándose la posibilidad de una buena distribución no sólo para mano de obra sino para los recursos en general.

Como se ha mencionado las actividades no críticas tienen un tiempo mayor del que realmente necesitan para ser ejecutadas. El tiempo máximo disponible para llevar a cabo una actividad es:

$$TMT - DMP = MYD$$

TMT = Terminación más tardía

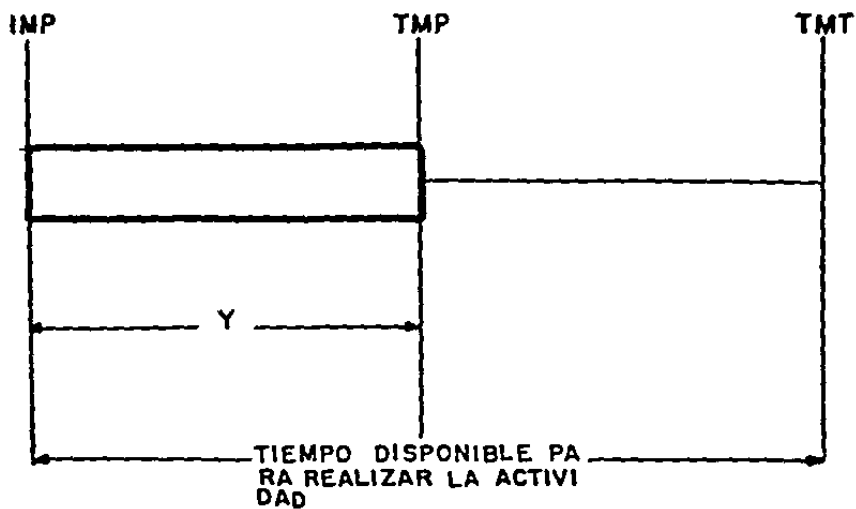


Fig. 3.19 a

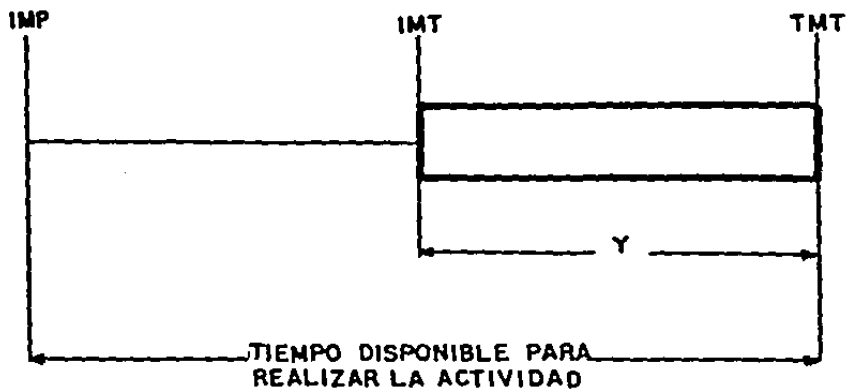


Fig. 3.19 b

IMP = Iniciación más próxima

MTD = Máximo tiempo disponible

Analizando la fig. (3.19) y tomando en cuenta que la -
fecha próxima de terminación de una actividad es:

$$IMP + Y = TMP$$

En donde:

Y = Duración de la actividad

Se puede observar como existe una prórroga de tiempo -
para esta actividad. Esto permite que exista un tiempo de -
iniciación más tardía (IMT) que es igual a:

$$IMT = TMT - Y$$

Como se puede ver, la actividad puede ser realizada en
tre los límites de IMP y TMT. Una actividad no crítica se -
dice que tiene la capacidad de "flotar" dentro del tiempo -
total disponible para su terminación.

A continuación se expone un ejemplo, con el fin de dar
una visión más clara de lo que son los tiempos flotantes.

En la fig. (3.20) se representa un diagrama de "x" pro-
yecto. La duración de cada actividad está señalada dentro -
de un pequeño óvalo. En este proyecto el cálculo de los ---
tiempos próximos de iniciación de cada actividad es sencii--
llo. La fecha próxima de terminación de todas las activida-
des que culminan en un evento X se muestra en la cifra colg -
cada arriba de cada evento. En la fig. (3.21) se representa

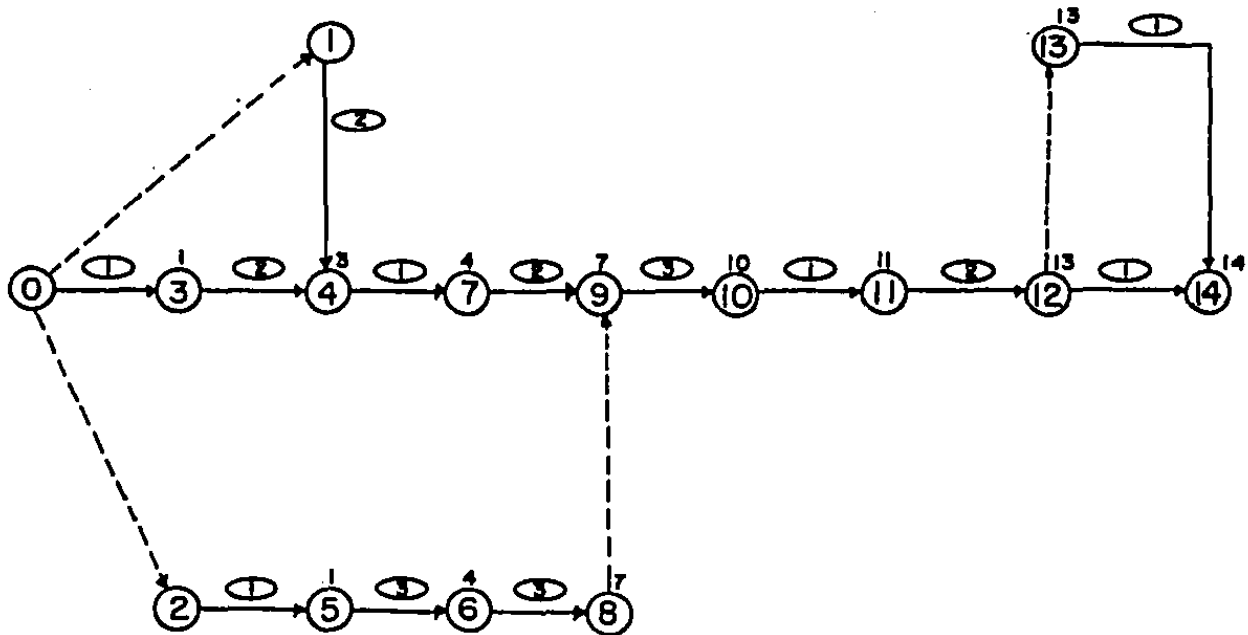


Fig. 3.20

A \ T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0-3	█													
1-4	█													
2-5	█	█												
3-4	█	█	█											
5-8	█	█	█	█										
4-7	█	█	█	█	█									
7-9	█	█	█	█	█	█								
6-8	█	█	█	█	█	█	█							
9-10	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█				
10-11	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█			
11-12	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		
13-14	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
12-14	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Fig:3.21

este mismo proyecto mediante el Diagrama de Gantt. El estudio de las fig. (3.20) y fig. (3.21) muestra lo siguiente:

1. La actividad 1-4 se puede retrasar una unidad de tiempo, sin que afecte la fecha próxima de iniciación de la 4-7.
2. Por lo tanto se puede retrasar la fecha de iniciación de 1-4 a 1 en lugar de 0, o bien alargar su tiempo de ejecución a 3 días en lugar de realizarla en los dos días programados originalmente, todo esto sin afectar la duración total del proyecto.
3. Podemos afirmar, con base a lo anterior que la actividad 1-4 tiene un tiempo flotante de un día.
4. Observando las fig. (3.20) y (3.21) la fecha próxima de inicio de la actividad 9-10 no se ve afectada en ninguna forma aún cuando se demore un día la realización de la actividad 7-9. La cadena de actividades 0-3-4-7-9 puede ser considerada como interdependiente dado que el flotante de un día puede ser aprovechado para concluir cualquiera de las actividades de esa secuencia.
5. En la realización de la actividad 1-4, se puede utilizar un flotante de dos días sin afectar la duración total del proyecto, sin embargo, si utilizamos dicho flotante en la actividad 1-4, las 4-7 y 7-9 pierden su tiempo de tolerancia convirtiéndose en críticas. Por lo tanto la segunda unidad de tiempo flotante de la actividad 1-3 se

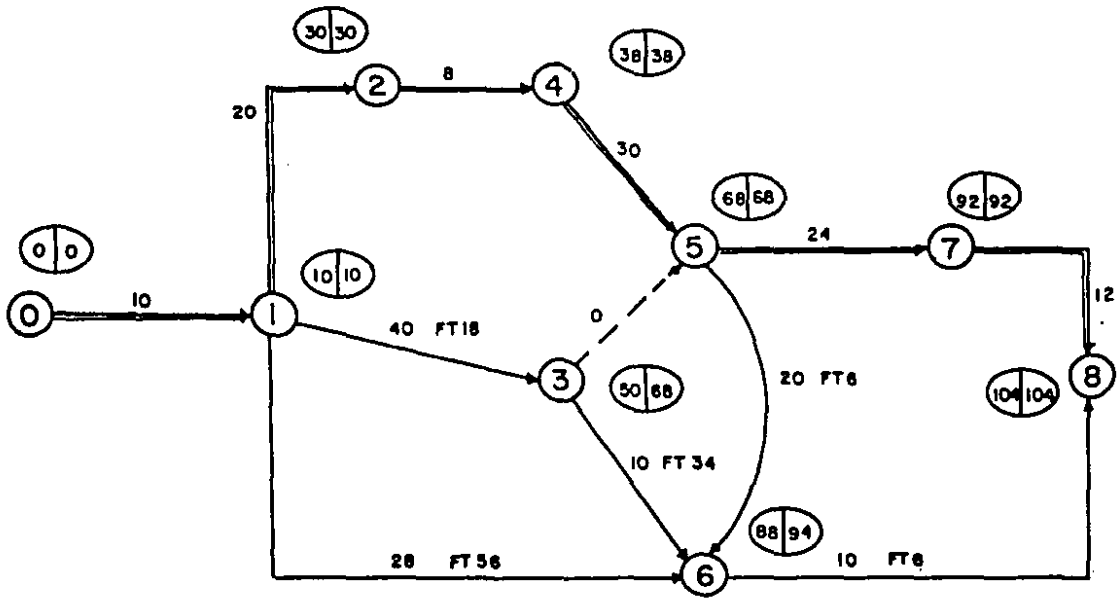


Fig.3.23

denomina "flotante de interferencia".

6. Si se aprovechan dos días del tiempo flotante en la realización de la actividad 1-4, la secuencia de actividades 0-3-4 permanece independiente, pero todas las demás quedan convertidas en críticas.

Mediante el ejemplo anterior, se obtuvo una serie de deducciones que permiten tener una idea más clara de lo que es un tiempo flotante. A continuación se hará mención de los diferentes tiempos flotantes que existen y la manera en que son obtenidos.

FLOTANTE TOTAL

Si el tiempo disponible para realizar una actividad es superior a su duración, al exceso se le denomina flotante total fig. 3.22.

$$FT = TMT_j - (TMP_i + t_{ij})$$

$$FT = \text{Flotante total}$$

Todas las actividades críticas tienen un tiempo flotante igual a cero. Por otro lado las actividades o las cadenas de actividades no críticas tendrán un tiempo flotante total; y mientras mayor sea el número de actividades en la cadena y menor sea el tiempo flotante total más se acerca a ser crítica.

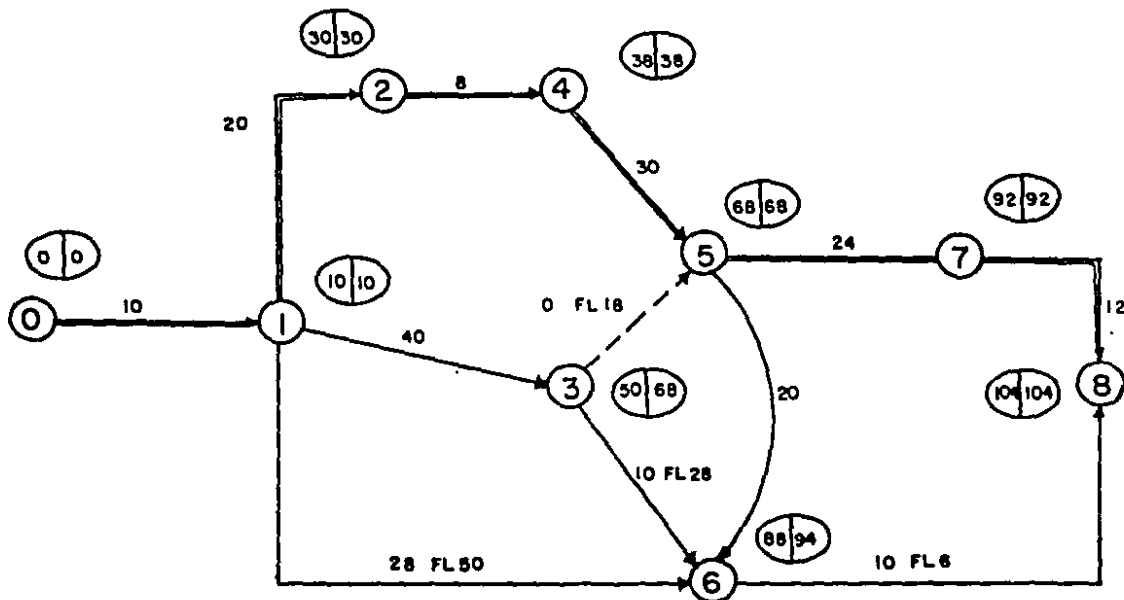


Fig.3.24

En la fig. 3.23 se representa un diagrama con sus tiempos flotantes totales, para cada una de las actividades. En el caso de la actividad 5-6 se obtuvo un FT de 6 días.

$$\begin{aligned} \text{FT } 5-6 &= \text{TMT } 6 - (\text{TMP } 5 + t \text{ } 5-6) \\ &= 94 - (68 + 20) = 6 \end{aligned}$$

Procediendo de la misma manera, se obtiene para la actividad 6-8 un FT de 6 días.

Si en la cadena 5-6-8, la actividad 5-6 utiliza los 6 días completos del FT disponible para la cadena 5-6-8, la actividad 6-8 ya no tendrá flotante total convirtiéndose esta actividad en crítica. El tiempo flotante total disponible para una cadena se podrá usar solamente en una ocasión, ya sea en una de las actividades que compongan esta cadena o bien repartiéndolo entre todas las actividades de la cadena. Es decir, que el FT de 6 días debe ser repartido entre las actividades 5-6 y 6-8, no pudiéndose usar totalmente -- primero en una actividad y después en otra.

Considerando la cadena 1-6-8 con un FT de 56 días; la actividad 1-6 tiene 56 días de FT, mientras que la actividad 6-8 tiene 6. Si la actividad 1-6 consume 56 días, la actividad 6-8 no tendrá FT, convirtiéndose en crítica; sin embargo, se puede tener la alternativa de usar 50 días para la actividad 1-6 y así dejar un FT de 6 días para la actividad 6-8.

TIEMPO FLOTANTE LIBRE

$$FL = TMP_j - (TMP_i + t_{ij})$$

FL = Flotante libre

El tiempo flotante libre, es el lapso que podemos retardar una actividad sin afectar el inicio de la actividad o actividades subsecuentes. Se tiene que tomar en cuenta la suposición de que todas las actividades precedentes se lleven a cabo en sus fecha próximas de realización. Como la actividad crítica no tiene tiempo flotante total, automáticamente tendrán un tiempo flotante libre igual a cero.

En la fig. 3.24 es indicado el tiempo flotante libre para cada una de las actividades que componen la red. En el caso de la actividad 3-6 se obtuvo un FL igual a 28 días:

$$\begin{aligned} FL_{3-6} &= TMP_6 - (TMP_3 + t_{3-6}) \\ &= 88 - (50+10) = 28 \end{aligned}$$

Los tiempos flotantes libres son un parámetro que indica que tan cerca de ser críticas se halla una actividad o cadena de actividades que por el momento no lo es.

El FT ayuda a una mejor determinación de la conexión de actividades para formar una cadena; por ejemplo, la actividad 3-6 de la cadena 1-3-6-8 tiene un FL igual a 28 días y concurre en el evento 6 con la actividad 6-8, que tiene sólo 6 días de FL. La actividad 5-6 también hace conexión con la actividad 6-8, para formar la cadena 5-6-8. Como se-

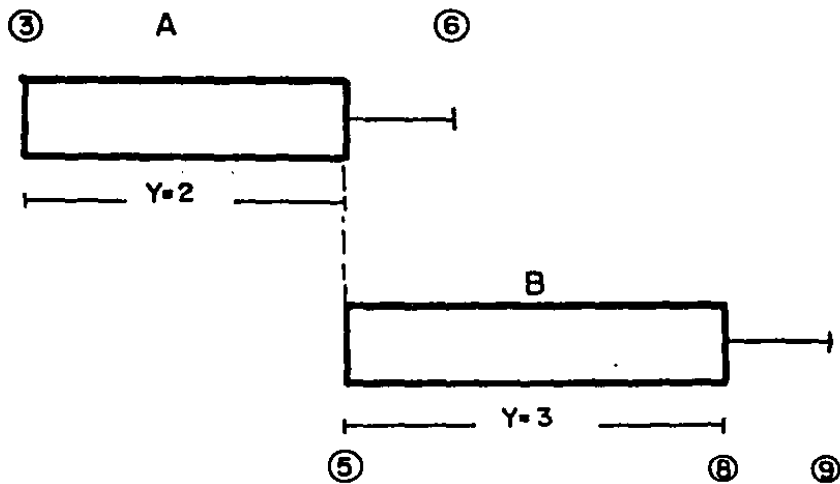


Fig.3.25

puede observar la actividad 5-6 está más cerca de ser crítica, que la cadena 1-3-6; por lo tanto la 6-8 depende más de la actividad 5-6. Por consiguiente lo correcto será clasificar la actividad 6-8 con la 5-6 y formando la cadena 5-6-8, terminando la cadena 1-3-6-8 en el evento 6.

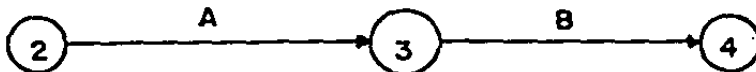
TIEMPO FLOTANTE DE INTERFERENCIA

$$FI = PT - PL$$

FI = Flotante de interferencia

El tiempo flotante de interferencia para cualquier actividad es la diferencia entre el tiempo flotante total y el tiempo flotante libre de la misma.

Cuando dos actividades están seriadas:



Actividad A:

$$IMP A = 3 \quad Y A = 2 \quad TMT = 6$$

Actividad B:

$$IMP B = 5 \quad Y B = 3 \quad TMT = 9$$

Se puede observar en la fig. 3.25, que si se aprovecha el tiempo flotante de la actividad A y posponemos una unidad de tiempo en su realización, tendremos que posponer en esa medida la ejecución de B. Esto es lo que se conoce con-

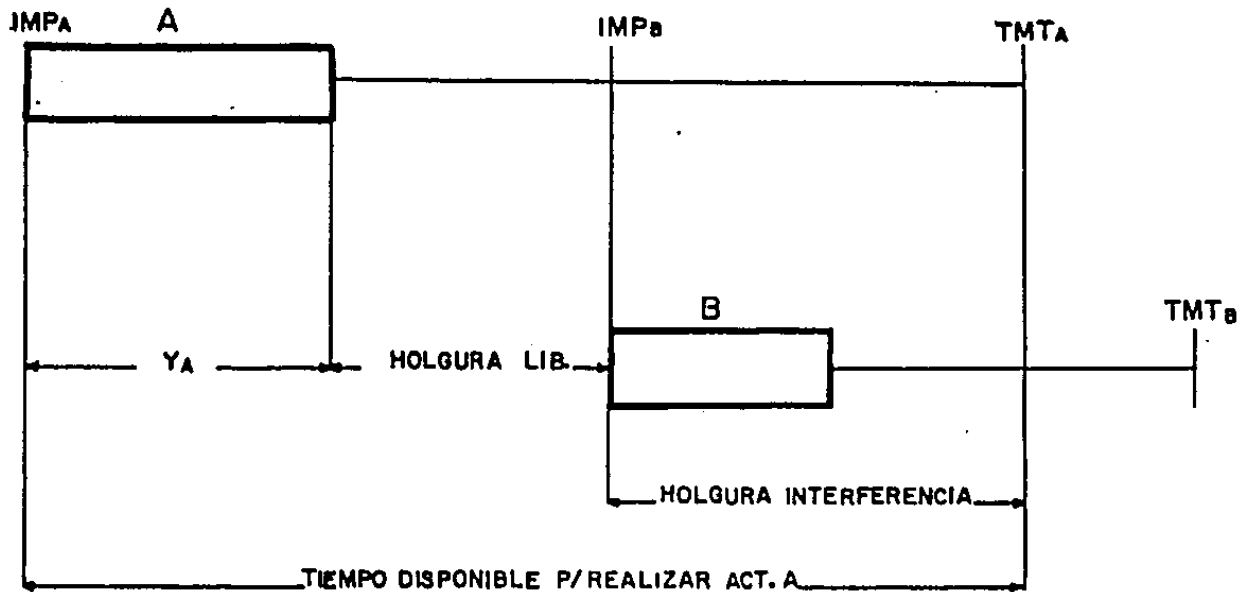


Fig.3.26

el nombre de tiempo flotante de interferencia.

Si una actividad se retrasa un tiempo mayor que su --- tiempo flotante libre, pero menor, o lo mismo que su flotan te total, este retraso interferirá con la iniciación de alguna actividad subsecuente. Si se consume una parte del --- tiempo flotante de interferencia, será necesario volver a - programar todas las actividades subsecuentes en esa cadena. Si se utiliza por completo el tiempo flotante de interferen cia, las actividades subsecuentes de la cadena se vuelven - críticas; y si se sobrepasa, la duración del proyecto aumen tará.

Para una mejor comprensión se ha dibujado el esquema - de la fig. 3.26.

A continuación se mencionan puntos importantes que de- ben ser considerados:

- Si una actividad está programada de manera que principie en su fecha remota de iniciación, después de ella habrá - una o varias rutas críticas.
- Toda actividad cuya ejecución pricipie después de su fe--- cha próxima de iniciación puede eliminar total o parcial- mente el tiempo flotante disponible para realización de - actividades subsecuentes.
- Es necesario mantener actualizado el diagrama de activida des e informes derivados para poder utilizarlas en forma-

dinámica y eficiente.

- Si una actividad se lleva a cabo después de la fecha remota de iniciación, dará como resultado un incremento en la duración total del proyecto y se deberá realizar una nueva programación.

C A P I T U L O

IV

ASIGNACION DE RECURSOS.

Cuando se han obtenido las fechas de inicio y de terminación, así como los tiempos flotantes para cada una de las actividades que intervienen en el proyecto, se procede a -- programar las actividades de manera que puedan ser realizadas dependiendo de la disponibilidad de recursos con que se cuenta.

En pocas palabras el procedimiento que se sigue es el siguiente:

- Primero se asignan los recursos disponibles a las actividades críticas, y se programan a éstas de manera que comiencen en su "tiempo de iniciación más próximo".
- Hacer uso de los tiempos flotantes de las actividades no críticas, para seleccionar las fechas de iniciación de estas actividades, asignando los recursos remanentes.

Cuando no se cuenta con la cantidad suficiente de recursos, se puede presentar que las necesidades de recursos de las actividades críticas puedan exceder la disponibilidad de los mismos, haciendo difícil una buena distribución de recursos, provocando que en ocasiones se:

- Se modifique la secuencia.
- Modificar el método de realización.
- Variar la duración del proyecto.

Por otro lado si se dispone de recursos ilimitadamente y donde no existen criterios para los procedimientos de --- asignación, convierte al mínimo el problema de programación.

Se debe mencionar que dependiendo de los criterios que se empleen en el uso de los recursos, un proyecto puede tener una serie de variantes o alternativas en su programación. Una de estas posibilidades debe ser escogida, teniendo como objetivo principal el obtener un uso óptimo de los recursos asignados.

Durante la realización de un proyecto, es muy probable que se necesite tener personal, que por sus conocimientos y habilidad deben ser fijos, y recibir un sueldo aunque en ocasiones no estén realizando alguna actividad. Si la demanda de este personal fijo, no se controla de una manera adecuada, variará ampliamente y cabrá la posibilidad de tener un gran número de esta gente parada, esperando ser utilizada durante las demandas máximas. Una buena nivelación permitirá obtener un número óptimo de personal fijo, que tenga el mínimo tiempo desocupado.

Otra parte de la mano de obra estará compuesta por personal no adiestrado, el cual se contrata y después se libera sin tener una continuidad. Al igual que el personal fijo, si esta mano de obra no se controla tendrá variantes muy -- grandes durante el proyecto. Mediante una nivelación de es-

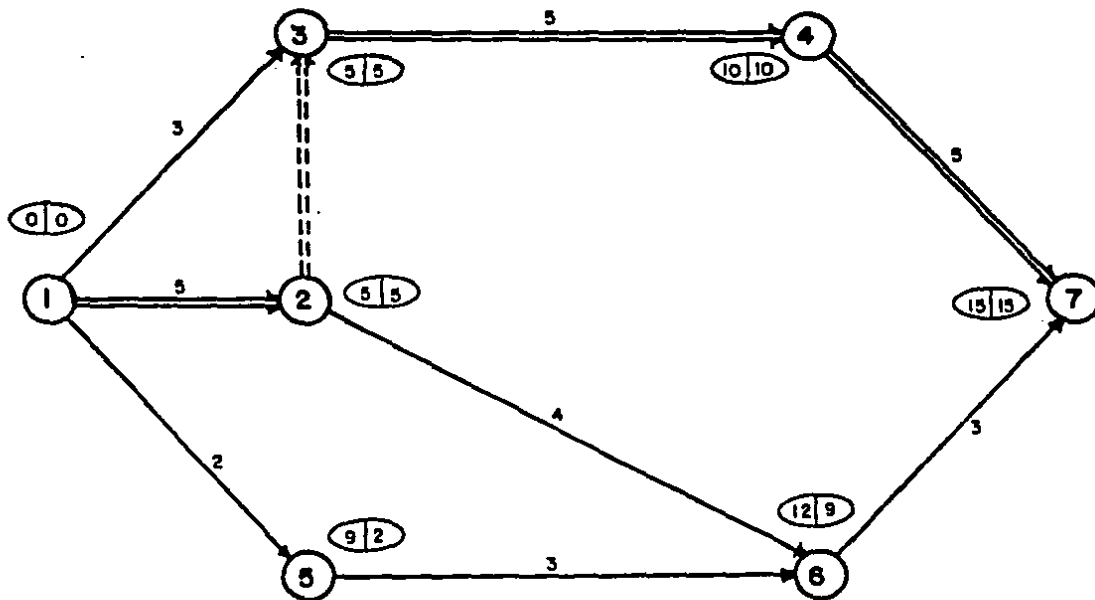


Fig. 4.1

te recurso se intentará tener a partir del inicio del proyecto, un incremento gradual de este personal hasta llegar a un máximo para después ir disminuyendo.

Para obtener una nivelación de los recursos, se harán variar los tiempos de iniciación de las actividades no críticas, de acuerdo a su flotante total. Por lo tanto la nivelación no puede imponerse a las actividades críticas; debe aplicarse a las no críticas.

PROCEDIMIENTO DE ASIGNACION DE RECURSOS.

A continuación se hace un breve resumen del procedimiento que se sigue en la asignación de recursos.

Durante el proceso se programan varias actividades a la vez. Se consideran puntos específicos en el tiempo, a lo largo del proyecto. En cada punto algunas actividades terminan y otras tienen un avance en su realización. En este tiempo "t" tenemos oportunidad de iniciar ciertos trabajos, siendo algunos de ellos iniciados dependiendo de los críticos que sean éstos, y de la cantidad de recursos disponibles en ese momento. Es decir, que se usa un sistema de prioridad para asignar recursos, entre las actividades que pueden iniciarse en el tiempo "t", y cuando los recursos o actividades se terminan avanzamos a un nuevo tiempo, a partir del cual podemos continuar el proceso hasta que se haya

CODIGO SECUENC.	DURACION DIAS	FUERZA HUMANA	DIAS HOMBRE	MAS PROXIMA		MAS TARDIA		FLOTANTE TOTAL
				INICIAR	TERMINAR	INICIAR	TERMINAR	
1-2	5	1	5	0	5	0	5	0
1-3	3	1	3	0	3	2	5	2
1-5	2	1	2	0	2	7	9	7
2-3	0	0	0	5	5	5	5	0
2-6	4	1	4	5	9	8	12	3
3-4	5	1	5	5	10	5	10	0
4-7	5	1	5	10	15	10	15	0
5-6	3	1	3	2	5	9	12	7
6-7	3	1	3	9	12	12	15	3

TOTAL DIAS-HOMBRE 50

SECUENCIA	DURACION	FUERZA HUMANA	D- H	MARGEN TOTAL	PRIORIDAD
1 - 2	5	1	5	0	1
1- 3	3	1	3	2	2
1 - 5	2	1	2	7	3

Fig.4.3

SECUENCIA	DURACION	FUERZA HUMANA	D- H	MARGEN TOTAL	PRIORIDAD
1 - 2	2	1	2	2	2 o 3 7
1 - 3	4	1	4	2	2 o 3 7
1 - 4	10	1	10	0	1

Fig.4.4

SECUENCIA	DURACION	FUERZA HUMANA	D- H	MARGEN TOTAL	PRIORIDAD
1 - 2	4	1	4	2	2 o 3 7
1 - 3	4	1	4	2	2 o 3 7
1 - 4	10	1	10	0	1

Fig.4.5

considerado todo el trabajo.

La prioridad para asignación de recursos se basa en la criticalidad de las actividades. Esto permite que exista la posibilidad de que las relaciones de precedencia de un proyecto, puedan cambiar radicalmente después de cada asignación. Por lo tanto, se requiere una actualización para recalcular las prioridades inmediatas, después de que se programa una actividad.

En un proyecto, la criticalidad no puede definirse completamente sino hasta que los recursos disponibles hayan sido asignados y se haya terminado el programa del proyecto. Ya que en un proyecto pueden existir actividades críticas, que después de la asignación de recursos, ya no lo son o viceversa.

En ocasiones es posible hacer una actividad divisible, es decir, que no se realice continuamente. Frecuentemente resulta ventajoso cambiar equipo o personal de un lugar a otro, entre dos o mas actividades del proyecto. Al recurrir a este tipo de soluciones, puede facilitar la programación de un proceso constructivo, en el que hay restricciones que hacen imposible trabajar continuamente en todas las actividades y terminar el proyecto en el tiempo mínimo. Sin embargo hay trabajos que no se pueden dividir, como son las actividades que dependen de procesos físicos o químicos, tales-

como el curado del concreto, la colocación de una viga de acero o la eliminación de una válvula. Todos los segmentos de actividades críticas y la mayor parte de las casi-críticas, normalmente deben manejarse como no divisibles, aún si pudieran dividirse en realidad en el proyecto.

PROCEDIMIENTO BASICO EN LA ASIGNACION DE RECURSOS.

Mediante un ejemplo sencillo se indicarán los pasos básicos que deben ser llevados a cabo para una buena distribución de recursos.

En la fig. 4.1 se ha trazado una red de determinado proyecto, mientras que en la fig. 4.2 se tiene una tabla que muestra las fronteras de las actividades y las necesidades de la fuerza humana. Se considera que cada actividad de este proyecto requiere la misma clase de recurso y que necesita una unidad de recurso. Además este proyecto se realizará con un límite fijo en el número de trabajadores.

Como un primer intento para determinar el límite fijo-óptimo, se aplica la siguiente regla:

$$\frac{\text{Días - hombre requeridos}}{\text{Duración del proyecto}} = \frac{30}{15} = 2$$

Por lo tanto, como primera aproximación, se programará este proyecto con 2 hombres. En caso de que el resultado hubiera sido un número fraccionario, se escoge el número ma-

por inmediato.

En el siguiente paso será elegir qué actividades se deben primero asignárseles recursos. En este ejemplo hay tres actividades que pueden ser iniciadas que son la (1-2), --- (1-3) y (1-5) pero sólo podemos comenzar dos de ellas -- porque sólo se cuenta con dos hombres. Primero se le dará - prioridad a la actividad crítica y después a la actividad - que esté más próxima a convertirse en crítica. En caso de - que se tuvieran puras actividades no críticas se le dará -- preferencia a la actividad que esté más cerca de ser crítica (tiempos flotantes).

En la fig. 4.3 se muestra una tabla de cómo quedaría - la prioridad de las primeras tres actividades que se pueden iniciar.

Cuando se tienen actividades con un i éntico límite pa - ra llegar a convertirse en críticas, se dá prioridad a la - actividad que requiera más recursos. En la fig. 4.4 se mues - tra una tabla en la que las actividades tienen el mismo mar - gen total. La actividad (1-2) requiere 2 días-hombre, mien - tras que la actividad (1-3) necesita 4 días-hombre, por lo - tanto se dá prioridad a ésta última. El orden de ejecución - queda de la siguiente manera:

ACTIVIDAD	PRIORIDAD
(1-4)	1

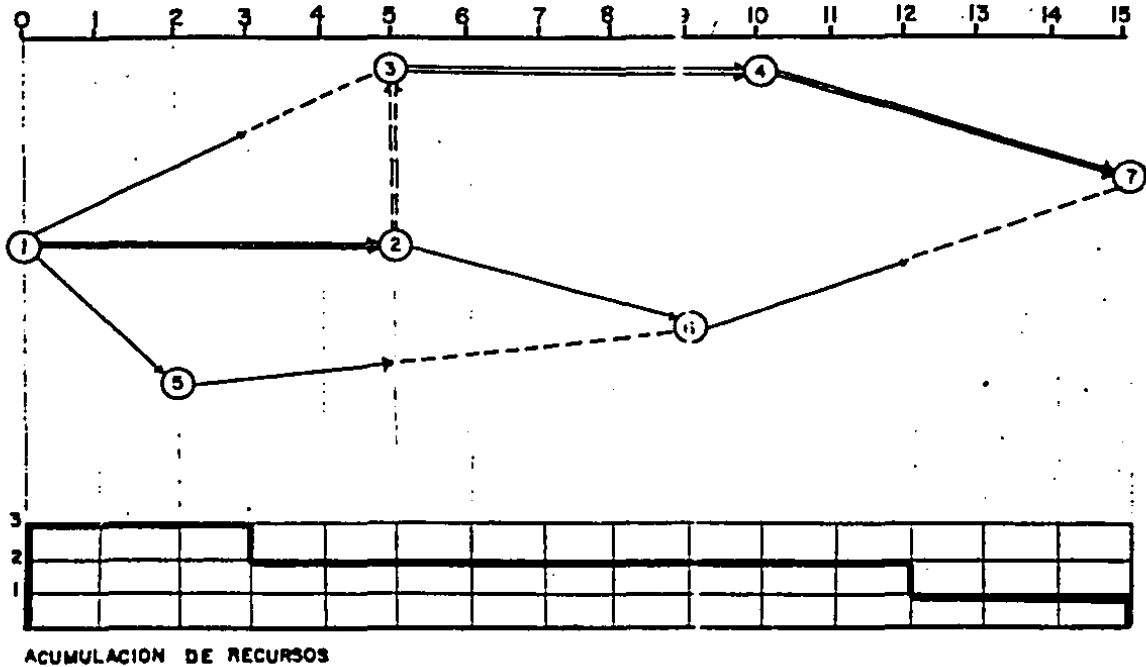


Fig.4.6

ACTIVIDAD	PRIORIDAD
(1-3)	2
(1-2)	3

En la tabla de la fig. 4.5 hay dos actividades (1-2) y (1-3) que tienen el mismo margen total y que además necesitan la misma cantidad de recursos: cuatro días-hombre. En estas situaciones se da prioridad a la actividad que necesite mayor número de hombres. Pero como en este caso todas -- las actividades requieren solo un hombre, se toma en cuenta la secuencia de las actividades. Es decir, que la actividad (1-2) tiene prioridad, pasando por el momento a un segundo-término la actividad (1-3).

Resumiendo, la prioridad en la asignación de recursos, en un tiempo "t" del proyecto, comienza con las actividades que inician en ese tiempo. Dándose preferencia en base a -- las siguientes pruebas y en el orden indicado:

- Margen total mínimo (tiempos flotantes)
- Mayor necesidad de recursos en conjunto
- Mayor tamaño de cuadrilla
- Código de secuencia

Las pruebas anteriores serán aplicadas cada vez que ha ya un "empate" entre actividades, y así poder determinar -- cuál de ellas tiene prioridad sobre las demás.

PROCEDIMIENTO DE PROGRAMACION

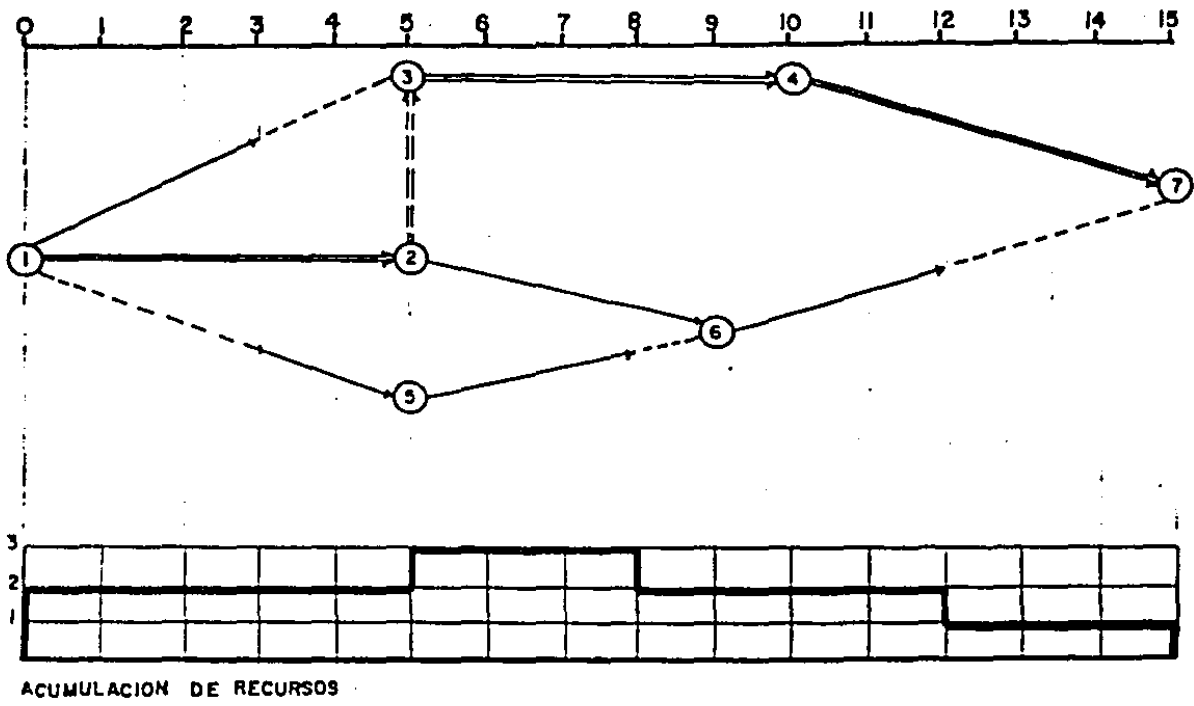


Fig.4.7

Volviendo al ejemplo de la fig. 4.1 y tomando en cuenta la fig. 4.6 en la cual se ha agregado una escala de tiempo al proyecto. Se puede iniciar en el tiempo 0, a tres actividades que son: (1-2), (1-3) y (1-5). La actividad (1-2) se le dá prioridad por ser crítica, ocupando un hombre durante 5 días. Todavía se dispone de un hombre, el cual será asignado a la actividad (1-3), por ser la más próxima a convertirse en crítica.

Se han asignado los dos hombres disponibles, para que inicien sus trabajos en el tiempo cero; uno trabajando en la actividad (1-2), hasta el tiempo 5 y el otro en la actividad (1-3), hasta el tiempo 3. No habiendo más hombres disponibles, se tiene que esperar la actividad (1-5) ha ser programada, y no podrá ser sino hasta después del tiempo 3.

La manera en que se va programando las actividades según los recursos se basa en la siguiente regla: Iniciando en el tiempo cero, Se avanza por unidades de tiempo, cuando, ya sea el trabajo, o los recursos se agoten en la posición-considerada. Se avanza hasta que se encuentre un punto donde existan recursos o bien pueda iniciarse un trabajo.

En la fig. 4.7 se muestra el proyecto actualizado después de la primera asignación. Como se puede observar ha variado la fecha de inicio de la actividad (1-5), a consecuencia de que no hubo recursos para que esta actividad iniciara

en el tiempo cero. Ahora la actividad (1-5) tiene una fecha de inicio en el tiempo 3, siendo su fecha próxima de terminación en el tiempo 5. Este cambio provoca que la actividad (5-6) retrase su fecha de inicio hasta el tiempo 5. Por otro lado la actividad (2-6) tiene su fecha de iniciación más próxima en el tiempo 5, con una duración de 4 días, logrando una terminación más próxima de 9. Por lo tanto, la actividad (6-7) tiene una fecha más próxima de inicio de 9, esto no se verá afectado por los cambios realizados a las actividades (1-5) y (5-6). Esto es, no se necesita cambiar la marca del evento 6.

A medida que las actividades se programan y se va avanzando en la escala de tiempo, los tiempos de iniciación más próximos posibles de algunas actividades, incluyendo las ficticias, pueden resultar afectadas por falta de recursos o por un retraso en la iniciación de alguna actividad precedente. En tales casos, deben cambiarse los tiempos de iniciación más próximos de todas las actividades afectadas, aprovechando sus holguras, lo cual origina cambios en las marcas de los eventos.

En el tiempo 3 sólo se puede programar la actividad (1-5), con una duración de 2 días. Como no existe otro trabajo y no hay recursos disponibles, se avanza hasta el tiempo 5.

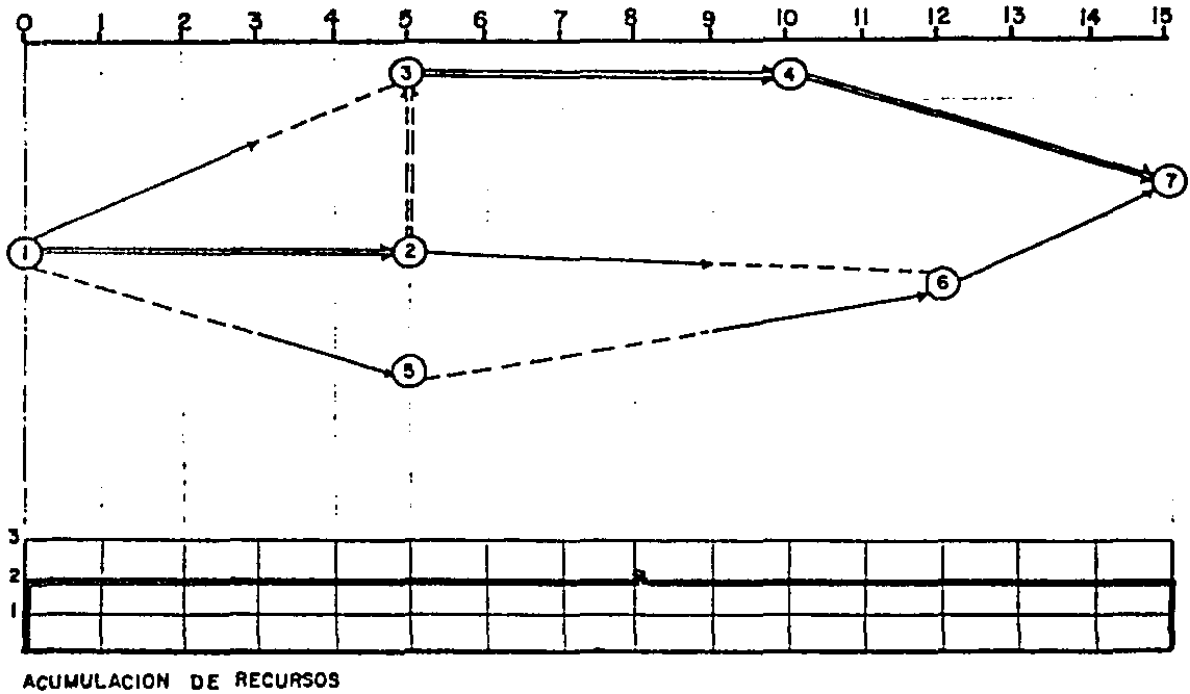


Fig.4.8

En el tiempo 5 se pueden iniciar las actividades (3-4), (2-3), (2-6) y (5-6). Entre las actividades que se pueden programar hay una ficticia, que por regla del procedimiento, debe ser programada inmediatamente aún antes de considerar las prioridades de las actividades reales.

Después de que se ha programado la actividad ficticia se procede a tomar en cuenta las actividades reales que pueden ser iniciadas en el tiempo 5, siendo programadas de acuerdo al procedimiento de prioridad normal.

Las prioridades 1, 2 y 3 se dan a las actividades (3-4) (2-6) y (5-6) respectivamente. La actividad (3-4) utilizará un hombre desde el tiempo 5 hasta el 10. Quedan dos actividades por programar y el recurso de un hombre.

Como tiene prioridad (2-6) se programa a ésta con un hombre desde el tiempo 5 hasta el tiempo 9. Ya no habiendo recursos avanzamos hasta el tiempo 9, punto en el que se dispondrá de recursos (un hombre).

En la fig. 4.8 se ha actualizado la situación, ya que la actividad (5-6) tendrá que cambiar su fecha de iniciación más próxima de 5 a 9; su tiempo de terminación de 8 a 12 y el tiempo flotante se reduce de 4 a 0. Este cambio provoca que la actividad (6-7) tenga que cambiar su fecha próxima de inicio de 9 a 12. No teniéndose otro cambio, se inicia de nuevo el proceso de programación.

En el tiempo 9 sólo puede iniciarse la actividad(5-6), se le dá prioridad 1, y se programa para iniciarla en el -- tiempo 9. Utiliza un hombre durante 3 días, culminando su - tarea en el tiempo 12. Como con este cambio no se vé afecta da ninguna otra actividad subsecuente, no es necesario ac-- tualizar la situación.

En el tiempo 10 sólo puede iniciarse una actividad, la (4-7). Se le dá prioridad 1 y se programa con una duración- de 5 días, desde el tiempo 10 hasta el tiempo 15, utilizan- do un hombre durante este lapso. No quedan recursos en el - tiempo 10 y no puede iniciarse ninguna otra actividad. No - hay actividades que resulten afectadas, para cambiar sus fe chas próximas de inicio, por lo tanto avanzamos al tiempo - 12.

En el tiempo 12 sólo puede iniciarse la actividad ---- (6-7), se programa del tiempo 12 al 15, requiriendo sólo un hombre. Todas las actividades se han programado teniendo un límite fijo (dos hombres) en los recursos.

RESUMEN

Habiendo resuelto el ejemplo anterior, se puede decir- que el procedimiento de asignación de recursos se basa en - dos etapas: Una de iniciación y una de actualización.

PROCESO DE INICIACION.

- Determinar la suma de todos los productos de los recursos multiplicados por la duración (número total de días - hombre). Dividiendo este número entre la duración del proyecto, se obtiene el límite fijo. Si el resultado, es con -- fracción, se selecciona el siguiente número entero.
- Se inicia la asignación del tiempo cero. Se irá avanzando a una nueva posición cuando estén agotados, en la posi--- ción considerada, ya sea los recursos o las actividades - que pueden iniciarse (o ambas). Se detendrá el avance hag ta que se encuentren tanto recursos disponibles, como tra bajo que pueda iniciarse.
- En un punto específico, cuando se tenga que decidir qué - actividades deben iniciarse, las prioridades se asignan - de acuerdo al flotante total mínimo. Si los valores fue-- ran iguales, entonces el producto de los recursos por la- duración es el factor decisivo. Si estos productos son -- iguales, se elige el máximo del recurso. Si aún existe em pate, el código de secuencia determina la prioridad. En - el caso de las actividades ficticias, siempre tendrán --- prioridad máxima en cualquier posición, de la duración -- del proyecto.

ACTUALIZACION

- Inmediatamente después de cada asignación, recalcula las-

prioridades de todas las actividades que pueden iniciarse en la posición considerada.

- Después de cada asignación, se actualiza los tiempos de - iniciación, los tiempos de terminación y el margen de las actividades no programadas, que resulten afectadas por -- los movimientos de las actividades precedentes.
- Después de cada movimiento, actualizar la manera en que - va desarrollando la acumulación de recursos.

ALTERNATIVAS EN LA NIVELACION DE RECURSOS

La manera para evaluar, que tan bien ha sido llevado - a cabo la nivelación de recursos es por medio de la fórmula:

$$EFR = \frac{\text{RECURSO PROGRAMADO}}{\text{RECURSO DISPONIBLE}}$$

$$EFR = \% \text{ de fuerza efectiva}$$

En un proyecto de 8 días al que se le asigna una cua--drilla fija de 2 hombres, tendrá recursos disponibles de: - 2 X 8. o sea 16 días - hombre.

El recurso programado es el resultado obtenido de la - sumatoria de los productos, obtenidos en cada actividad del proyecto, al multiplicar su necesidad de recursos por su duración. Si se tiene por ejemplo un recurso programado de 14 días - hombre, entonces su EFR será:

$$\text{EPR} = \frac{14}{16} = 87.5\%$$

Con el EPR se puede medir que tan cerca estamos de un programa perfecto, en base a los criterios de nivelación -- usados.

Para el ejemplo estudiado en este capítulo en páginas anteriores se obtiene un EPR de:

$$\text{EPR} = \frac{30}{30} = 100\%$$

No es tarea fácil, el intentar obtener en la realidad un EPR igual al 100%. Es posible que en ocasiones, se rebasen los límites de los recursos disponibles, ocasionando -- que se prolongue la duración del proyecto, y además se presenten situaciones en las que aunque no se aumente la duración del proyecto, el porcentaje de fuerza efectiva será menor del 100%.

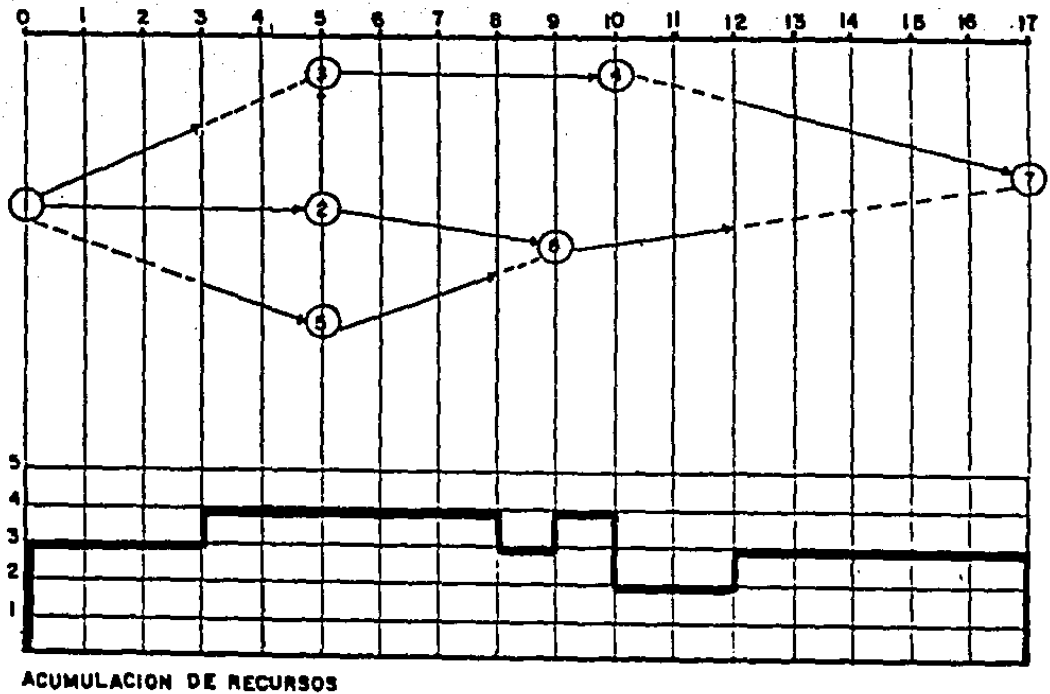
Se puede decir que entre más cercano a 100% se encuentre el EPR es mejor la nivelación y mayor la efectividad de utilización de los recursos disponibles. Un programa perfecto sería en el que:

- No se exceda la duración del proyecto.
- EPR 100%.

Retomando el proyecto de la fig. 4.1 y con una variación en la cantidad de personal asignado a cada una de las-

CODIGO SECUENC.	DURACION DIAS	FUERZA HUMANA	DIAS HOMBRE	MAS PROXIMA		MAS TARDIA		FLOTANTE TOTAL
				INICIAR	TERMINAR	INICIAR	TERMINAR	
1-2	5			0	5	0	5	0
1-3	3			0	3	2	5	2
1-5	2			0	2	7	9	7
2-3	0			5	5	5	5	0
2-6	4			5	9	8	12	3
3-4	5			5	10	5	10	0
4-7	5			10	15	10	15	0
5-6	3			2	5	9	12	7
6-7	3			9	12	12	15	3

TOTAL DIAS-HOMBRE



ACUMULACION DE RECURSOS

Fig. 4.10

actividades, que irá de 1 a 3 hombres, se tendrán las mismas duraciones y fronteras. En la tabla de la fig. 4.9 se establecen las características para este nuevo proyecto.

En principio, para este proyecto se tendrá un límite fijo igual a:

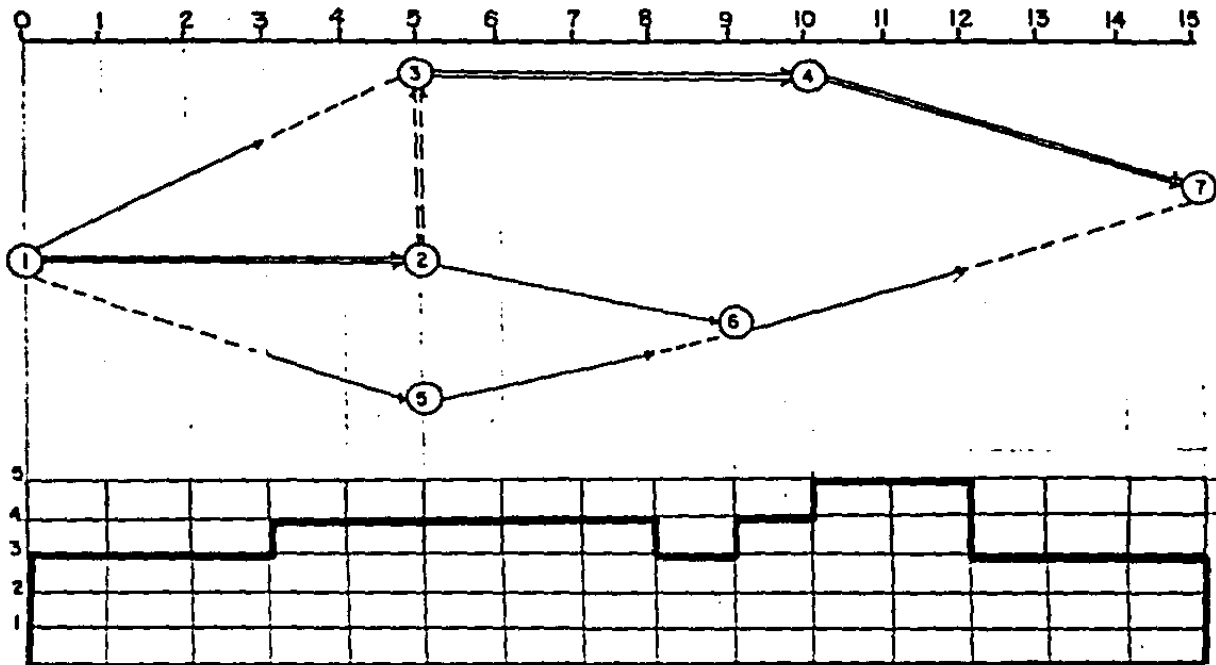
$$\frac{\text{SUMA D-H}}{\text{DURACION DEL PROY.}} = \frac{55}{15} = 3 \frac{2}{3} = 4$$

En la fig. 4.10 se ha llevado a cabo la distribución de recursos con el límite de 4 hombres. Como se puede apreciar la duración original del proyecto, se ha prolongado hasta el día 17, utilizando en pocas ocasiones el máximo posible de mano de obra, que es de 4 hombres. Para este caso se tendrá una fuerza disponible igual a 4×17 o sea 68, obteniéndose un EFR:

$$\text{EFR} = \frac{\text{FUERZA PROGRAMADA}}{\text{RECURSO DISPONIBLE}} = \frac{55}{68} = 81\%$$

La causa por lo que en el proyecto se obtuvo una duración de 17 días, se debió a que la actividad 4-7 no pudo ser iniciada en el tiempo 10, ya que no se contaba con recursos disponibles en ese momento, para esta actividad, pudieron existir recursos solo después de haber ejecutado la actividad 6-7.

Sin embargo, para este mismo proyecto existen una serie de variantes, que dependiendo de las necesidades del --



ACUMULACION DE RECURSOS

Fig.4.11

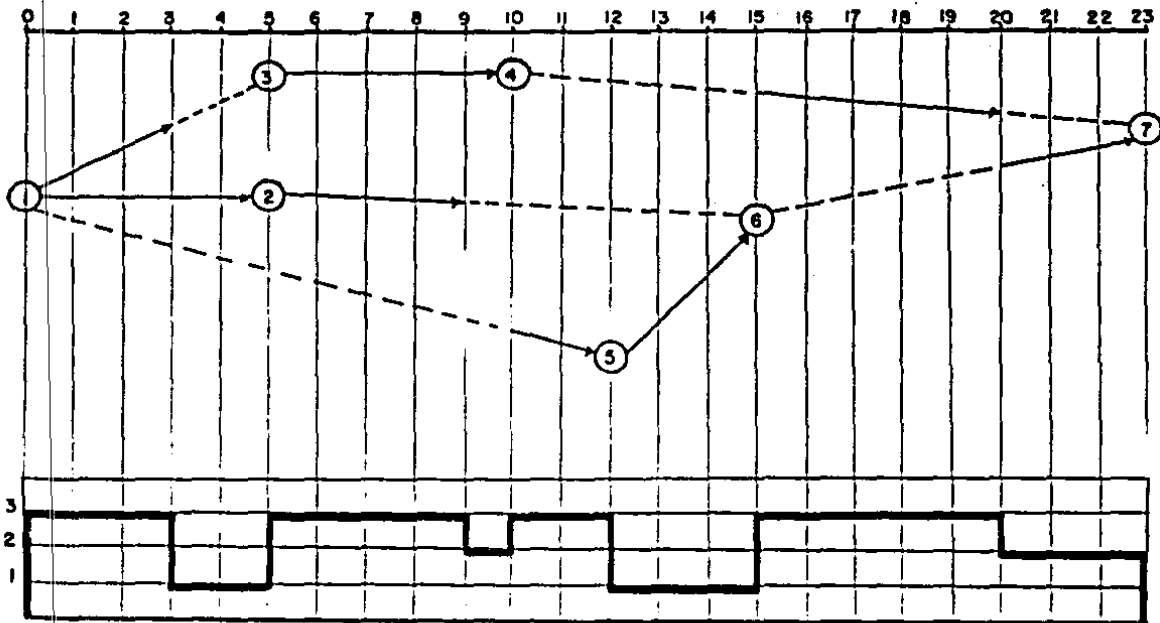


Fig. 4.12

proyectista, pueden ser mejores.

Se puede tener la posibilidad de trabajar con 5 hombres durante todo el proyecto, esto permitiría programar en el tiempo 10, tanto a la actividad 4-7 como a la 6-7, con este cambio se obtendrá una duración de 15 días. Si se bajara de esta manera la distribución de recursos quedaría definida como se muestra en la fig. 4.11.

Trabajando con 5 hombres durante 15 días, se obtiene una fuerza disponible de 15×5 o sea 75. Por lo tanto un EFR igual $55/75$ o sea 73%. Por otro lado si se usa 4 hombres hasta el día 10, y se agrega un quinto a partir de ese tiempo, la duración seguirá siendo de 15 días, y los días-hombre disponibles serán $4 \times 15 + 5$ o sea 65. Se obtendrá un EFR igual a $55/65$ o sea 85%. Mas aún se podría usar el quinto hombre solamente del día 10 al 12. Procediendo de esta manera conseguiremos una duración de 15 días, con una fuerza disponible $(4 \times 15) + (2 \times 1) = 62$. El porcentaje de EFR será de $55/62=89\%$.

Si ahora se utiliza para el mismo proyecto una cuadrilla fija de 3 hombres, originará que el proyecto se prolongue hasta el día 23. La manera como queda programado el proyecto con el uso de 3 hombres se puede observar en la fig. 4.12.

Analizando la fig. 4.10, se vé la posibilidad de utili

zar 3 hombres a lo largo de los 17 días que dura el proyecto, y usar un cuarto hombre del tiempo 3 al 10; es decir durante 7 días. Se tendrá recursos disponibles por $(3 \times 17) + (7 \times 1)$ o sea 58. Con un EPR igual a $55/58=95\%$.

Como se puede percibir, la variación en el tamaño de la cuadrilla en un proyecto, plantea una serie de posibilidades en la manera de como distribuir los recursos. Dependiendo de las necesidades del proyecto y de las ventajas -- que proporcione al mismo, se hará basar el proyecto en una de las alternativas obtenidas al manejar diferentes condiciones en que se han distribuido los recursos.

REFINAMIENTO EN LA DISTRIBUCION DE RECURSOS.

Como se ha visto, puede suceder que se exceda la duración original del proyecto, después de que se ha hecho la programación del proyecto, de acuerdo con los recursos disponibles. Sin embargo, cuando ocurre esto, se debe considerar a todas las actividades como críticas, basándose la --- prioridad, primero, en el número máximo de días - hombre re queridos. Procediendo de esta forma se podrá obtener una me jor alternativa en la distribución de recursos.

Con un límite fijo de 3 hombres, en la fig. 4.13 se ha vuelto a programar el proyecto de la fig. 4.12, con la dife rencia de que ahora se considera a todas las actividades --

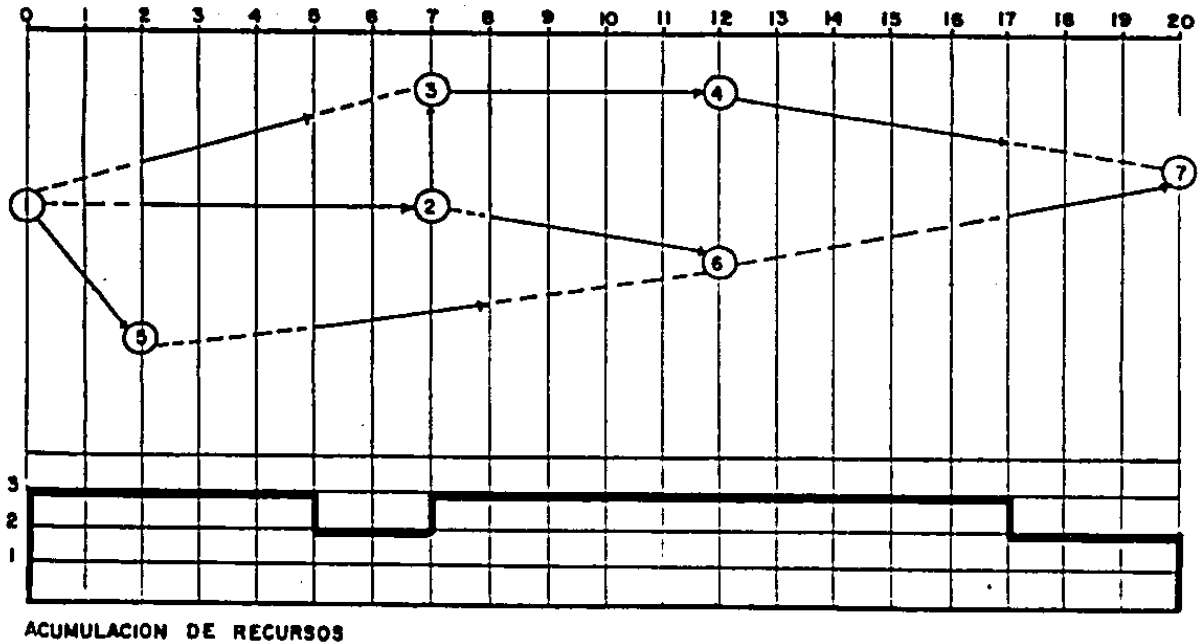


Fig.4.13

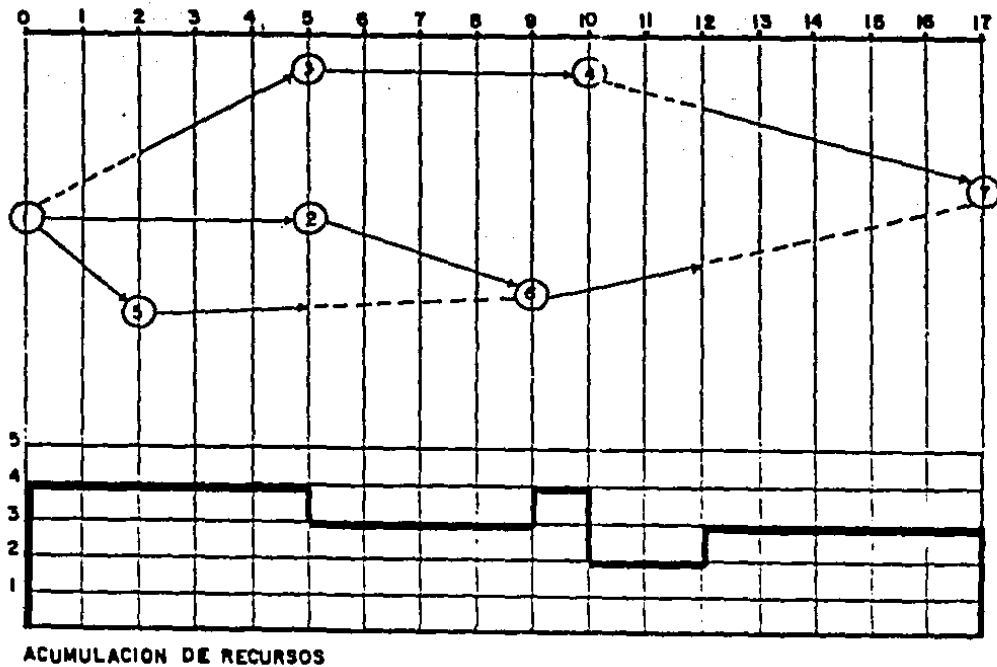


Fig. 4.14

críticas, ya que se prolongó la duración original del proyecto (15 días). El resultado muestra como se ha reducido la duración de 23 días a 20 días, y además se ha obtenido una variación de recursos más regular. Por lo tanto es preferible tomar en cuenta a éste último.

También en la fig. 4.14 se ha vuelto a programar el proyecto de la fig. 4.10. Considerando que todas las actividades son críticas, se puede uno percatar que la diferencia entre uno y otro es mínima. No obstante es preferible el primer programa (fig. 4.10), a causa de que se inicia con una cuadrilla más pequeña.

En la tabla de la fig. 4.15 se han resumido las diferentes alternativas para el proyecto analizado. Como se puede observar a primera vista la posibilidad 5 es la mejor debido al costo obtenido. Las demás posibilidades pueden tener sus ventajas en determinadas condiciones de trabajo. Para esta tabla se ha supuesto un costo de \$25 por D-H de trabajo y además se considera un costo de \$100 por día de indirectos. Si se utiliza una cuadrilla fija se tendrá como mejor solución la posibilidad 1.

TIEMPO EXTRA

Analizando la tabla de la fig. 4.15, se encuentra que tenemos dos posibilidades:

CASO No	TAMANO DE CUADRILLA	DURACION PROYECTO	TOTAL D-H DISPON.	TOTAL D-H NECESA.	E F R	COSTO POR D-H	COSTO DIRECTO D-H	COSTO INDIRECTO	COSTO DIRECTO INDIRECTO
1	5 H SIEMPR.	15	75	55	$\frac{55}{75} = 73\%$	25	1875	1500	3375
2	4 H SIEMPRE	17	68	55	$\frac{55}{68} = 81\%$	25	1700	1700	3400
3	3 H SIEMPRE	20	60	55	$\frac{55}{60} = 92\%$	25	1500	2000	3500
4	4 H MAS UN 5. DE 10 A 15	15	65	55	$\frac{55}{65} = 85\%$	25	1625	1500	3125
5	4 H MAS UN 5. DE 10 A 12	15	62	55	$\frac{55}{62} = 89\%$	25	1550	1500	3050
6	3 H MAS UN 4. DE 3 A 10	17	58	55	$\frac{55}{58} = 95\%$	25	1450	1700	3150

Fig.4.15

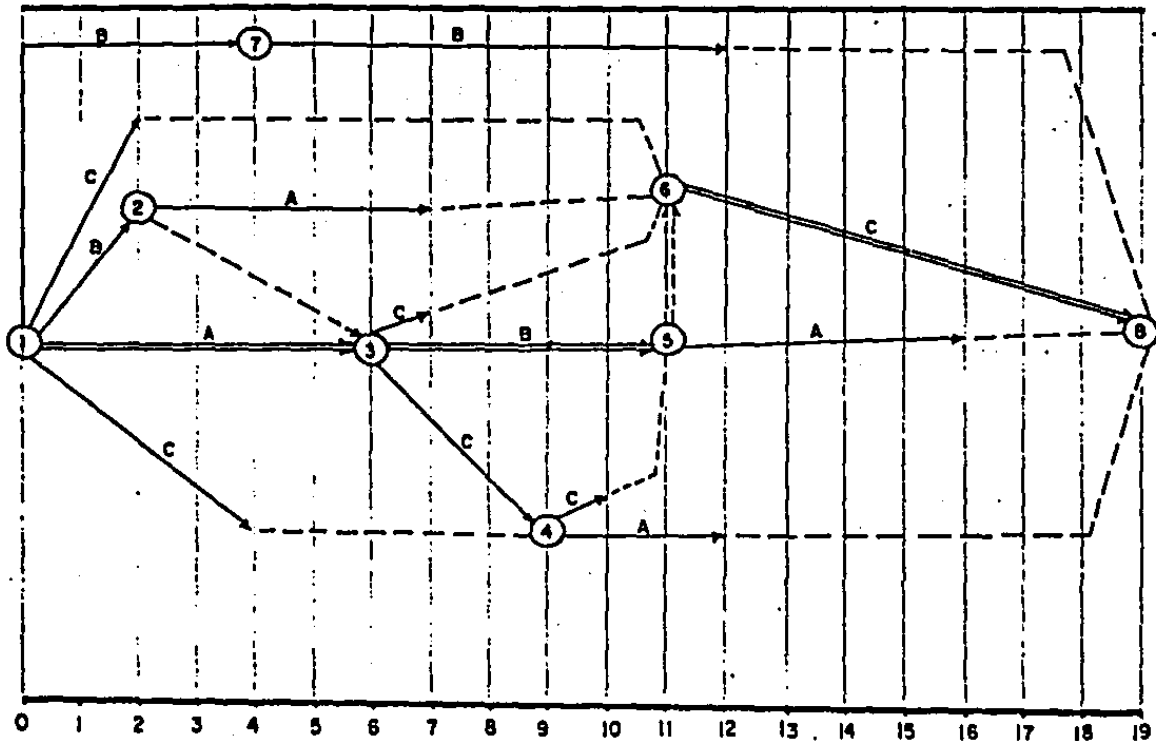


Fig.4.16

1. Existiendo la posibilidad de trabajar con una cuadrilla-combinada, se escoge la solución 4.
2. Sólo es posible trabajar con una cuadrilla fija, se inclina por la solución 1.

Respecto a la solución 4, se pueden usar solamente 4 - hombres, consiguiendo que el costo directo sea menor en --- \$50. De modo que debe recurrirse al tiempo extra siempre y cuando cueste menos de \$50 más el gasto de "trastorno", de entrada y salida de los trabajadores. Si se tiene un costo de "trastorno" de \$100, debe intentarse el tiempo extra, si cuesta menos de \$150.

Si en la solución 1 se usa una cuadrilla de cuatro hombres durante 15 días, este costo total será de \$3000, así - que quedarán disponibles \$375 para tiempo extra. El problema es terminar los dos últimos días de trabajo de la actividad 6-7, empleando tiempo extra a partir del tiempo 10. Si el costo del tiempo extra es menor de \$375, debe ser tomado en cuenta.

ASIGNACION DE MAS DE UN RECURSO

Otro caso que debe ser considerado en la distribución de recursos es cuando se tienen diferentes recursos por distribuir.

En el proyecto de la fig. 4.16 se requieren tres recur

sos, pero solamente se usa uno de cada tipo en cada actividad. Los tres recursos requeridos, designados como tipos A, B y C, también se indican en la fig. 4.16. Los tipos de recursos podrían ser hombres de diferentes oficios o bien cua drillas completas con diferentes oficios.

Como se ha realizado en ejemplos anteriores, se calcula el límite fijo, para cada uno de los recursos:

para A

$$\frac{\text{Necesidad total de recurso A}}{\text{Duración del proyecto}} = \frac{19}{19} = 1A$$

para B

$$\frac{\text{Necesidad total de recurso B}}{\text{Duración del proyecto}} = \frac{19}{19} = 1B$$

para C

$$\frac{\text{Necesidad total de recurso C}}{\text{Duración del proyecto}} = \frac{19}{19} = 1C$$

En la tabla de la fig. 4.17, se muestran las necesidades de D-H y las fronteras de las actividades de este proyecto.

Para este caso se avanzará en la escala de tiempo, de acuerdo a cada uno de los recursos y habrá otro avance con respecto al proyecto en conjunto, ésto se hace como sigue:

1. Se avanza en el tiempo total del proyecto cuando no hay trabajo o no hay recursos disponibles, en la posición -- considerada. Cuando se avanza en el tiempo del proyecto, todos los tiempos de los recursos avanzan. Se pueda no -

CODIGO DE SECUENCIA	DURACION	RECURSOS			DURACION X RECURSOS		
		A	B	C	A - D	B - D	C - D
1 - 2	2	-	1	-	0	2B	0
1 - 3	6	1	-	-	6A	0	0
1 - 4	4	-	-	1	0	0	4C
1 - 6	2	-	-	1	0	0	2C
1 - 7	4	-	1	-	0	4B	0
2 - 3	0	-	-	-	0	0	0
2 - 6	5	1	-	-	5A	0	0
3 - 4	3	-	-	1	0	0	3C
3 - 5	5	-	1	-	0	5B	0
3 - 6	1	-	-	1	0	0	1C
4 - 5	1	-	-	1	0	0	1C
4 - 8	3	1	-	-	3A	0	0
5 - 6	0	-	-	-	0	0	0
5 - 8	5	1	-	-	5A	0	0
6 - 8	8	-	-	1	0	0	8C
7 - 8	8	-	1	-	0	8B	0

TOTALES

19A	19B	19C
-----	-----	-----

Fig.4.17a

CODIGO DE SECUENCIA	MAS PROXIMA		MAS TARDIA		MARGEN TOTAL
	INICIAR	TERMINAR	INICIAR	TERMINAR	
1 - 2	0	2	4	6	4
1 - 3	0	6	0	6	0
1 - 4	0	4	6	10	6
1 - 6	0	2	9	11	9
1 - 7	0	4	7	11	7
2 - 3	2	2	6	6	4
2 - 6	2	7	6	11	4
3 - 4	6	9	7	10	1
3 - 5	6	11	6	11	0
3 - 6	6	7	10	11	4
4 - 5	9	10	10	11	1
4 - 8	9	12	16	19	7
5 - 6	11	11	11	11	0
5 - 8	11	16	14	19	3
6 - 8	11	19	11	19	0
7 - 8	4	12	11	19	7

Fig. 4.17b

avanzar en el tiempo del proyecto cuando se avance en el tiempo con respecto a los recursos.

2. Se detiene el avance del tiempo en el proyecto, cuando -- hay trabajo y recursos para iniciarlo.

3. Con respecto al avance de un recurso, solo se hará cuando no haya trabajo o no haya recursos del tipo correspondiente a la posición ^dconsiderada.

Hay avance de recursos en la escala de tiempo, cuando -- hay avance con respecto al proyecto.

4. Se detiene el avance de recursos cuando existan tanto -- trabajo como recursos del tipo correspondiente.

No puede detenerse el avance de recurso, en una posición menor que la del proyecto.

Partiendo del tiempo 0 y observando la fig. 4.17 la actividad 1-3 tiene prioridad para ser iniciada con un recurso de tipo A, con una duración de 6 días. Como nada más se dispone de un solo hombre, no podrá iniciarse otra actividad que necesite el mismo tipo de recurso, durante este lapso. Por lo tanto se avanza hasta el tiempo 6, con respecto al recurso A. Actualizando, la actividad 2-6 que necesita el recurso del tipo A, cambiará su fecha de inicio del tiempo 2 al 6.

Ahora la actividad 2-6 tendrá su fecha de terminación en el tiempo 12, eliminando su tiempo flotante que ahora se

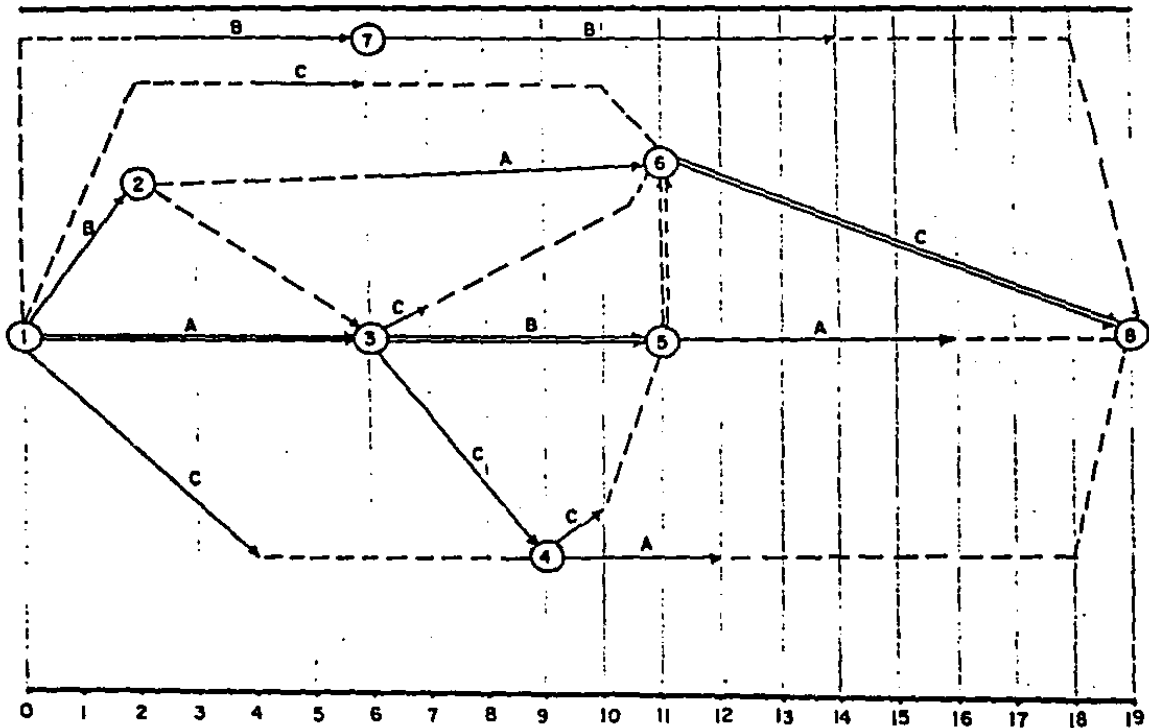


Fig.4.18

rá de 0. No existe ninguna otra actividad con recurso A y - con una iniciación más próxima menor de 6, por lo tanto se ha llevado a cabo la actualización.

Con respecto al proyecto todavía no se ha avanzado, se sigue en el tiempo 0. La siguiente actividad que se va a -- proceder a programar de acuerdo a la prioridad, es la actividad 1-2. Esta utiliza el recurso B durante 2 días y como no hay más que un hombre disponible, no podrá ser programada otra actividad que necesite este mismo recurso, del tiempo 0 al 2. Esta situación provoca que la actividad 1-7, su fecha próxima de inicio de 0 a 2, y su fecha de terminación será en el tiempo 6, con un tiempo flotante de 5. Como consecuencia la actividad 7-8 tiene que cambiar su fecha de -- inicio a 6 su terminación próxima a 14 y con un tiempo flotante de 5. Ya no habiendo otro cambio, debido al retraso de la actividad 1-7, se ha concluido con la actualización.

De acuerdo con el proyecto, el avance se encuentra detenido en el tiempo 0, así que se continúa asignando recursos en ese tiempo. La actividad 1-4 tiene prioridad usando el único recurso del tipo C disponible en ese momento, del tiempo 0 al 4. Esto produce cambios en la actividad 1-6, -- que necesita el mismo recurso, y no podrá usarlo hasta después del tiempo 4, posición en la que ahora se encuentra su fecha próxima de inicio y su fecha de terminación más próxi

ma será en 6, con un flotante total de 7. Ninguna otra actividad resulta afectada, por lo tanto se ha finalizado la actualización.

La situación en general hasta ahora se puede observar en la fig. 4.18 y se encuentra de la siguiente manera: El avance del proyecto está en el tiempo 0, el avance del recurso A en 6, el avance de B en 2 y el de C en 4.

Como ya no puede iniciarse otra actividad en el tiempo 0, se avanza con respecto al proyecto hasta el tiempo 2, posición en la que podrán iniciarse las actividades 2-3 y 1-7, siendo la primera programada por ser ficticia. A continuación se programa 1-7 provocando que:

- El avance del recurso B se encuentre en el tiempo 6.
- Se avanza con respecto al proyecto hasta el tiempo 4.

En el tiempo 4 la actividad 1-6 puede iniciarse. Se programa hasta el tiempo 6, los resultados son:

- El recurso C avanza al tiempo 6.
- Se avanza con respecto al proyecto hasta el tiempo 6.

En el tiempo 6, pueden iniciarse las actividades 2-6, 3-4, 3-5, 3-6 y 7-8. De ellas las actividades 2-6 y 3-5 tienen prioridad por tener flotante nulo. Ya que las actividades requieren diferentes recursos, ambas se pueden programar para ser iniciadas en el tiempo 6. Estos movimientos provocan lo siguiente:

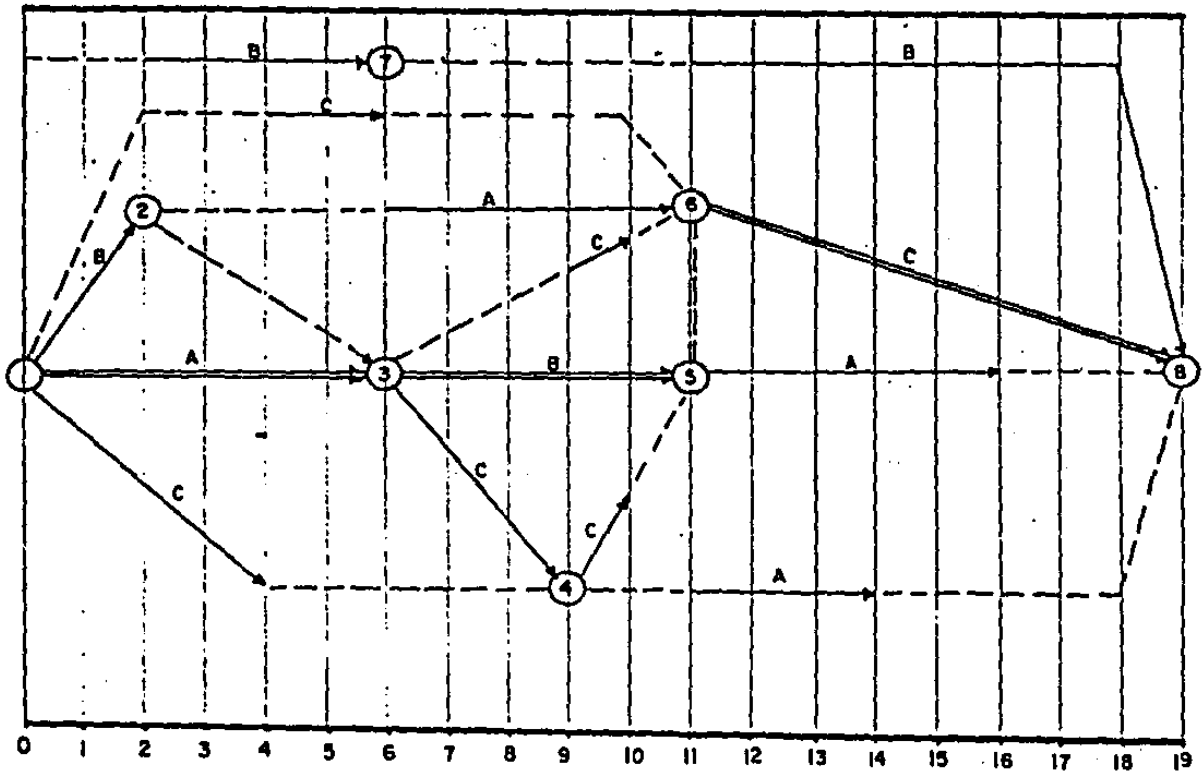


Fig.4.19

- Se avanza en el recurso A hasta el tiempo 11.
- La actividad 4-8 tiene que retardar su inicio de 9 a 11, teniendo una fecha próxima de terminación de 14 y teniendo ahora un tiempo flotante de 5.
- Se avanza en el recurso B hasta el tiempo 11.
- La actividad 7-8 se vé afectada y tiene que cambiar su fecha de inicio a 11; su terminación, en consecuencia se -- cambia a 19 y su flotante total ahora es nulo.

Con respecto al proyecto todavía se está en la posi---
ción 6, pudiéndose iniciar las actividades 3-6 y 3-4. Esta-
última recibe prioridad por tener un tiempo flotante menor.
Así que:

- Se avanza en el recurso C hasta el tiempo 9.
- La actividad 3-6 se actualiza, iniciándose en el tiempo 9 y terminando en el 10, con un tiempo flotante de 1.
- No habiendo otra actividad por iniciar en el tiempo.6, se avanza con respecto al proyecto hasta el tiempo 9.

Con los últimos movimientos en la programación, la si-
tuación hasta ahora se muestra en la fig.4.19.

En el tiempo 9, pueden iniciarse las actividades 3-6 y 4-5. El código de secuencia dá prioridad a 3-6, con ésto la situación queda de la siguiente manera:

- Se avanza el recurso C hasta el tiempo 10.
- Esto provoca que se actualice la actividad 4-5, para ini-

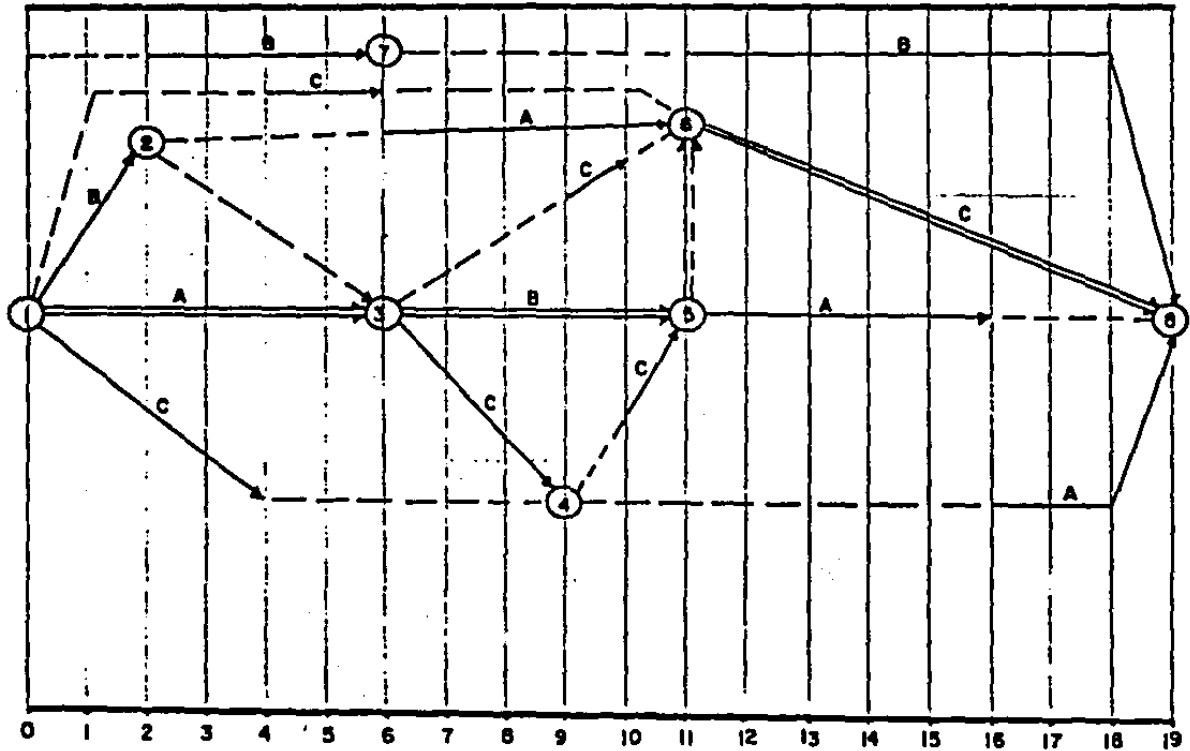


Fig.4.20

ciarse en el tiempo 10.

- Se avanza con respecto al proyecto hasta el tiempo 10.

En el tiempo 10 se programa la actividad 4-5, por lo tanto:

- Se avanza en el recurso C hasta el tiempo 11
- Se avanza con respecto al proyecto hasta el tiempo 11.

En el tiempo 11 se le dá prioridad a la actividad ficticia 5-6. Las actividades 7-8 y 6-8 se programan, avanzando los recursos B y C hasta el tiempo 19.

También en el tiempo 11, hay dos actividades (5-8 y 4-8) que se pueden programar, que necesitan el mismo recurso. La actividad 5-8 tiene prioridad, en consecuencia se programa primero del tiempo 11 hasta el tiempo 16, así que:

- El recurso A avanza hasta el tiempo 16.
- Las actividades 4-8 se actualiza, para iniciar en el tiempo 16, con un tiempo flotante igual a 0.
- Se avanza con respecto al proyecto hasta el tiempo 16.

En el tiempo 16, se programa la actividad 4-8, originando que:

- El recurso A avanza hasta el tiempo 19.
- Se avanza con respecto al proyecto hasta el tiempo 19.
- Se han programado todos los trabajos, por lo tanto el procedimiento ha terminado.

En la fig. 4.20 se puede observar la manera como queda

al final programado el proyecto, de acuerdo a los recursos-
disponibles.

C A P I T U L O V

COMPRESION DE UNA RED

Esta fase tiene como fin, obtener la duración óptima - para realizar un proyecto. Se incluyen costos y se considera la posibilidad de variar la duración de las actividades, que entran en el proceso constructivo.

5.1 CURVA DE COSTOS

Como ya se mencionó para cada actividad existe una curva de costos directo, que muestra la manera en que varía el costo al ir reduciendo el tiempo de ejecución de esta actividad. La curva de costo-tiempo también puede ser trazada - para un proyecto completo.

El método se simplifica suponiendo una variación lineal entre el punto normal y el de falla fig.5.1 o bien suponer la variación lineal en subintervalos fig.5.2, que dará como resultado una gráfica más cercana a la curva de costo real.

La curva de costos directos divide al plano coordenado tiempo-costos, en dos regiones: La que queda arriba de la curva representa el área de soluciones tiempo-costos factibles, o físicamente posibles mientras que el área que queda debajo de dicha curva, representa soluciones físicamente imposibles.

En cada una de las actividades se obtienen datos para-

trazar su curva de costos en base a los tiempos posibles de terminación, y sus correspondientes costos directos. Habiendo hecho lo anterior será fácil calcular las pendientes de costo de esta actividad. 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.

Una actividad puede tener diferentes tiempos de ejecución, entre su tiempo normal y su tiempo de falla fig.5.2, haciéndose necesario calcular varias pendientes de costo para esta actividad, con sus correspondientes periodos en la reducción del tiempo.

Mediante la fig. 5.3 y una breve explicación, se profundizará un poco más en los conceptos que se han tratado en este capítulo.

La curva de costos de la fig. 5.3, pertenece a X actividad. En este caso en particular se presentan cuatro maneras diferentes para terminar la actividad, usando diferentes recursos, denominados A, B, C y D. La unión entre estos puntos presentará una aproximación de la curva de costos; cualquier punto sobre estas rectas comprendido entre A y D, se considera una solución factible.

El punto A representa la solución del costo mínimo para terminar la actividad. En este punto A se considera que

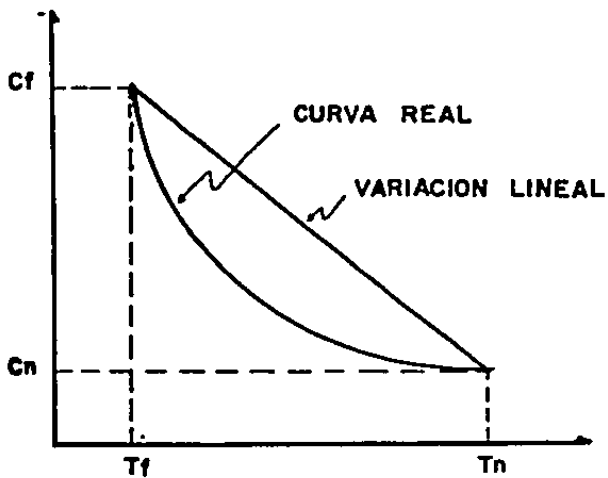


Fig. 5.1

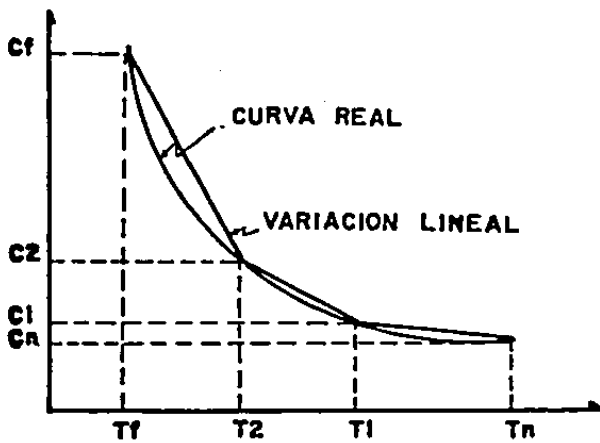


Fig. 5.2

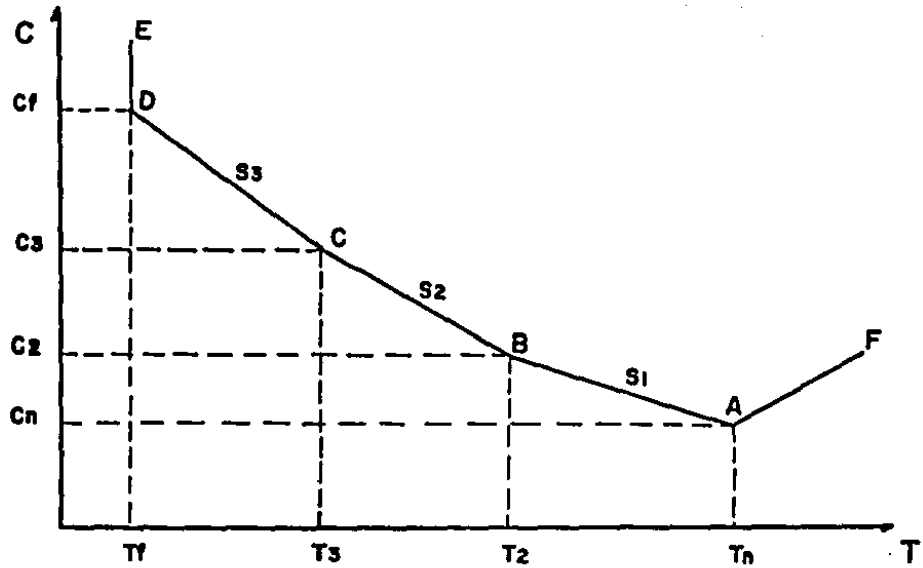


Fig. 5.3

no hay retardos por las cuadrillas y donde el trabajo se -- realiza en forma eficiente; si hay ineficiencias y tardan-- zas se obtienen puntos en la recta A-F. El punto D represen-- ta el punto de falla que es el mínimo tiempo en que puede -- realizarse la actividad. En este punto se considera que no-- existe ninguna limitante en la disposición de recursos. --- Cuando no sea posible reducir más el tiempo de ejecución de esta actividad, aunque se le asignen más recursos se obten-- drán puntos en la recta D-E.

El cálculo de las pendientes de costos para las líneas A-B, B-C y C-D de la fig. 5.3 se obtienen de la siguiente - manera:

$$S1 = - \frac{C_{ij\ 2} - C_{ij\ N}}{T_{ij\ 2} - T_{ij\ N}}$$

$$S2 = - \frac{C_{ij\ 3} - C_{ij\ 2}}{T_{ij\ 3} - T_{ij\ 2}}$$

$$S3 = - \frac{C_{ij\ F} - C_{ij\ 3}}{T_{ij\ F} - T_{ij\ 3}}$$

Cualquier punto que esté sobre la línea A-B, tendrá -- una pendiente constante e igual a S1. Esto también es váli-- do para los segmentos B-C y C-D.

Los datos de costo-tiempo para las actividades ficti-- cias o de liga son automáticamente cero, ya que no se re--- quieren ni recursos, ni tiempo para la terminación de di--- chas actividades. De igual forma las actividades artificia-

les que requieren tiempo pero no costo, por lo tanto no --- existe una curva de costo - tiempo para estas actividades.

CONFORMACION DE LA CURVA DE COSTO - TIEMPO.

El costo total de terminación de una actividad queda - formado por:

1) Los costos de material, mano de obra y equipo, y 2) Los gastos por administración y supervisión, gastos de instalación, y los pagos de intereses y multas. A los primeros se les dá el nombre de costos directos, mientras que al segundo grupo se les denomina como costos indirectos, y por lo - general, varían en aproximadamente forma lineal, con la duración del proyecto. Como ya se mencionó la curva de datos - costo-tiempo cuenta únicamente para costos directos.

Considérese "X" actividad en la cual ya se ha realizado un estudio cuidadoso de la cantidad de personal que puede trabajar en esta tarea, así como las estimaciones en las cantidades y en las capacidades de trabajo adecuadas. Estos datos proporcionan una aproximación razonable del punto --- que será considerado como duración normal, con su respectivo costo normal.

Para esta actividad se necesitan 300 días - hombre de trabajo y el número de hombres en la cuadrilla será de 10.- Se considera un salario normal de 4 unidades por cada día -

hombre de 8 horas, entonces:

Duración normal.

$$T_n = \frac{300}{10} = 30 \text{ días hábiles}$$

Costo normal.

$$C_n = 10 \times 30 \times 4 = 1200 \text{ unidades.}$$

Si se usan dos turnos de hombres, y el segundo turno - tiene un salario obligado de una unidad de costo extra, entonces:

$$T_1 = \frac{300}{20} = 15 \text{ días hábiles}$$

$$C_1 = \begin{array}{l} \text{1er. turno} = 10 \times 15 \times 4 = 600 \\ \text{2do. turno} = 10 \times 15 \times 5 = \underline{750} \end{array}$$

Total 1350 unidades

Empleando tres turnos, y con un salario obligatorio de dos unidades extra de costo para el tercer turno:

$$T_2 = \frac{300}{30} = 10 \text{ días}$$

$$C_2 = \begin{array}{l} \text{1er. turno} = 10 \times 10 \times 4 = 400 \\ \text{2do. turno} = 10 \times 10 \times 5 = 500 \\ \text{3er. turno} = 10 \times 10 \times 6 = \underline{600} \end{array}$$

Total 1500 unidades.

Supóngase que se necesita una duración menor de 10 --- días. El aumento en el número de hombres que forman una cuadrilla puede traer como consecuencia ciertas ineficiencias en los rendimientos de este personal. Esta baja en el rendimiento puede ser calculada de acuerdo a la experiencia. Con

considerando lo anterior para este caso se ha optado por tres turnos, con una cuadrilla de 30 hombres, con la diferencia de que ahora serán necesarias 360 días - hombre de trabajo.

$$Tf = \frac{360}{3 \times 30} = 4 \text{ días hábiles}$$

$$Cf = \text{1er. turno} = 30 \times 4 \times 4 = 480$$

$$\text{2do. turno} = 30 \times 4 \times 5 = 600$$

$$\text{3er. turno} = 30 \times 4 \times 6 = \underline{720}$$

Total 1800 unidades

Este último punto es designado como el punto de falla, ya que se considera que cualquier aumento en la mano de obra ya no disminuiría la duración de esta actividad, sino lo único que se conseguiría sería un congestionamiento en el área de trabajo y aumento en el costo.

La información obtenida permite representar gráficamente en la fig. 5.4 la curva de costo - tiempo para esta actividad. Las pendientes de costo podrán ahora ser calculadas; y ya que cualquier duración entre 4 y 30 días es posible, esta curva puede ser usada para cualquier tiempo intermedio de terminación.

PROGRAMACION LINEAL EN LA COMPRESION DE UNA RED

En todo proyecto se tiene la posibilidad de reducir una cantidad de tiempo, en la realización del mismo. Esto se logra mediante la compresión de actividades, a un costo mínimo por unidad de tiempo. Esta compresión variara de una

actividad a otra dependiendo de la curva de costo-tiempo -- que tenga cada una de las actividades. Cuando ya no sea posible reducir el tiempo de ejecución de ninguna de las actividades que entran en el proyecto, se dice que se ha alcanzado la solución de tiempo mínimo de falla del proyecto.

Cada compresión dará como resultado una duración del proyecto, por lo tanto será posible trazar la curva de costo directo del proyecto óptimo, en función de la duración del proyecto. Se puede superponer a esta curva de costo directo-tiempo, la curva de costos indirectos en función de la duración del proyecto. Sumando estas dos, se obtendrá la curva de costo total del proyecto en función de la duración del mismo. Esto se puede ver en la fig. 5.5.

La obtención de los tiempos óptimos de realización de un proyecto en función del costo, plantea un problema que puede ser resuelto mediante la programación lineal.

Los problemas de programación se refieren a la determinación de las condiciones óptimas de emplear recursos limitados, para alcanzar objetivos deseados. Esto es, se dispone de ciertos recursos (capital, hombres, equipo, etc....) que han de combinarse para obtener uno o más productos. Tanto los recursos como los productos estarán sujetos a ciertas restricciones como pueden ser: Una cierta cantidad disponible de cada recurso, un cierto nivel de producción, etc.

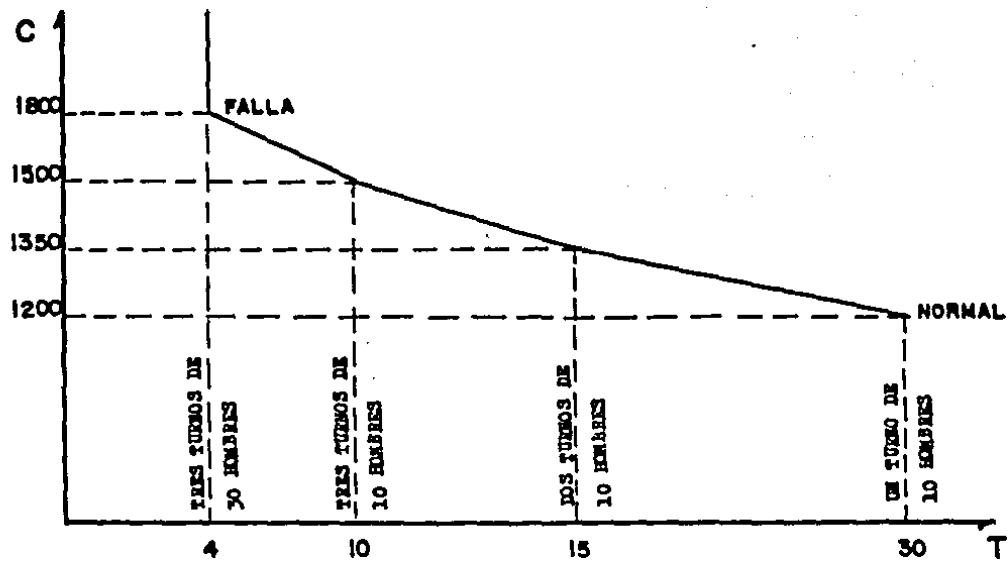


Fig.5.4

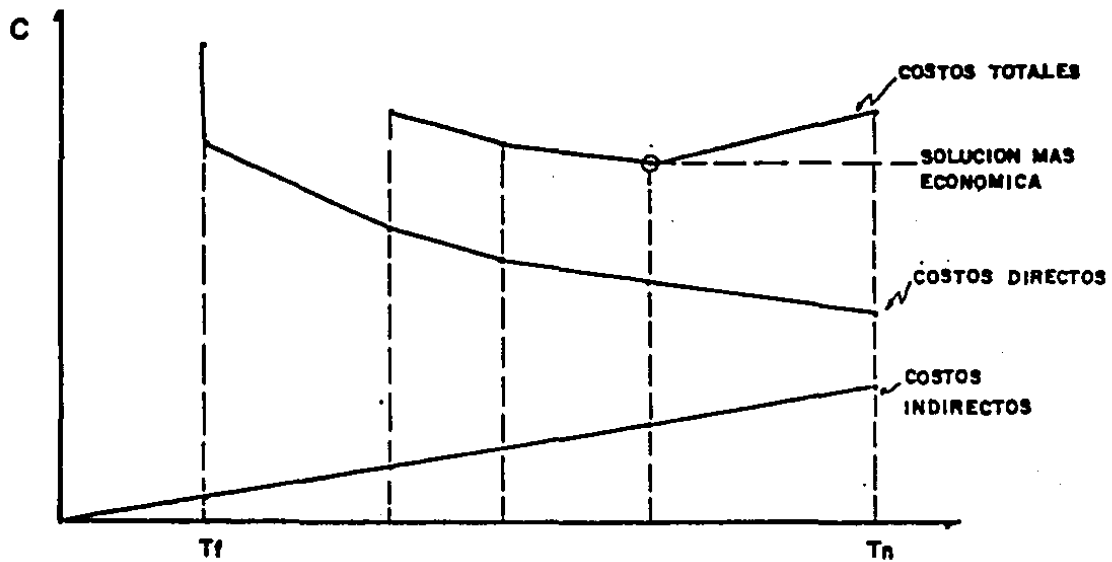


Fig.5.5

y se busca la manera de combinarlas para que optimicen un -
objetivo dado que puede ser:

- Obtener la máxima utilidad.
- Mínimo costo.
- Emplear el tiempo mínimo.

Existe un tipo de problema de programación, que puede ser establecido mediante un modelo matemático lineal. A este tipo de programación se le da el nombre de programación lineal. El enunciado matemático de un problema de programación lineal consta esencialmente de dos partes: la primera, un sistema de ecuaciones y/o inecuaciones lineales simultáneas, las cuales representan las condiciones del problema, y la segunda, una función lineal que expresa el objetivo del problema. A esta función lineal se le llama función objetivo.

Con el advenimiento de las computadoras, la programación lineal ha adquirido un gran desarrollo. Actualmente la programación lineal ha sido aplicada a una gran cantidad de problemas; por ejemplo, las instituciones financieras han usado la programación lineal para resolver problemas relacionados con presupuestos y planeación; en problemas de administración de efectivo; en ciertos problemas de análisis de equilibrio. En las empresas Industriales es clásico su uso para la mezcla de alimentos o productos químicos. En --

mercadotecnia se le ha empleado para seleccionar los medios de publicidad y los canales adecuados de distribución. En algunas entidades gubernamentales han empleado la programación lineal para la eliminación de desperdicios sólidos que contaminan el aire y el agua. También en la Ingeniería civil se ha encontrado la manera de aplicarlo, y una de las aplicaciones es precisamente la obtención de tiempos óptimos en la realización de un proyecto.

TERMINOLOGIA DE LA PROGRAMACION LINEAL

Variables de decisión: Es el conjunto de variables cuya magnitud se desea determinar resolviendo el modelo de programación lineal.

Restricciones: Constituidas por el conjunto de desigualdades que limitan los valores que pueden tomar las variables de decisión en la solución.

Función objetivo: Es la función matemática que relaciona las variables de decisión.

Linealidad: Las relaciones entre las variables, tanto en la función objetivo como en las restricciones debe ser lineal.

Desigualdades cerradas (flexibles): Las desigualdades utilizadas para representar las restricciones deben ser cerradas o flexibles, es decir menor-igual. No se permiten de

sigualdades de los tipos menor-estrictamente o mayor-estrictamente, o abiertas.

Condiciones de no-negatividad: En la programación lineal las variables de decisión solo pueden tomar valores de cero a positivos. No se permiten valores negativos.

EL MODELO GENERAL

La estructura matemática general de la programación lineal es la siguiente:

$$\begin{array}{l}
 \text{Max.} \quad Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n \\
 \text{Sujeto a} \quad A_{11} X_1 + A_{12} X_2 + \dots + A_{1n} X_n \leq B_1 \\
 \quad \quad \quad A_{21} X_1 + A_{22} X_2 + \dots + A_{2n} X_n \leq B_2 \\
 \quad \quad \quad \cdot \quad + \quad \cdot \quad + \dots + \quad \cdot \quad \cdot \\
 \quad \quad \quad \cdot \quad + \quad \cdot \quad + \dots + \quad \cdot \quad \cdot \\
 \quad \quad \quad A_{m1} X_1 + A_{m2} X_2 + \dots + A_{mn} X_n \leq B_m
 \end{array}$$

$$X_j \geq 0 \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n$$

La función que se va a maximizar es la función objetivo, sujeta a las restricciones. $X_j \geq 0$, es la condición de no negatividad.

Las X_j son las variables de decisión cuyo valor se desea conocer. A_{ij} , B_i y C_j son parámetros.

El vector - renglón o sea :

$$(C_1, C_2, \dots, C_n)$$

se llama vector de costos o vector de precios. El vector columna de

B_1

B_2

.

.

.

B_n

es el vector de disponibilidad de recursos. La matriz A de valores A_{ij} se llama matriz de coeficientes tecnológicos.

A_{11}	A_{12}	A_{1n}
A_{21}	A_{22}	A_{2n}
.	.	.
.	.	.
A_{m1}	A_{m2}	A_{mn}

Solución factible. La forman los valores de las variables de decisión (X_j), que satisfacen todas las restricciones, incluyendo la condición de no negatividad.

Solución óptima. Es la mejor solución factible de la función objetivo.

La programación lineal se puede resolver a través del algoritmo simplex. La importancia del modelo simplex es que proporciona solución etapa por etapa, donde solo la solución básica factible esta en consideración; y cada etapa --

nos dá una mejor solución óptima.

Utilizando las propiedades de las desigualdades, todas las restricciones pueden representarse en la forma requerida por el método según se trate de un problema de maximización o de minimización, como se muestra en la siguiente tabla.

Caso	Restricción original	Restricción equivalente
1	$a_{i1} X_1 + \dots + a_{ir} X_r \geq b_i$	$-a_{i1} X_1 - \dots - a_{ir} X_r \leq -b_i$
2	$a_{i1} X_1 + \dots + a_{ir} X_r \leq b_i$	$-a_{i1} X_1 - \dots - a_{ir} X_r \geq -b_i$
3	$a_{i1} X_1 + \dots + a_{ir} X_r = b_i$	$a_{i1} X_1 + \dots + a_{ir} X_r \geq b_i$ $-a_{i1} X_1 - \dots - a_{ir} X_r \geq -b_i$
4	$a_{i1} X_1 + \dots + a_{ir} X_r = b_i$	$a_{i1} X_1 + \dots + a_{ir} X_r \leq b_i$ $-a_{i1} X_1 - \dots - a_{ir} X_r \leq -b_i$

COSTOS A DURACIONES SELECCIONADAS

La función de costos se puede representar mediante la siguiente expresión:

$$C = \sum (C_{ni} - j + Q_{i-j} D_{ni-j} - Q_{i-j} D_{i-j})$$

$$C = \sum (C_{ni} - j + Q_{i-j} D_{ni-j}) - \sum (Q_{i-j} D_{i-j}) \quad (1)$$

En la ecuación 1 el primer término no depende de las duraciones, entonces:

$$K_{ij} = C_{ni-j} + Q_{i-j} D_{ni-j}$$

$$K_{ij} = f(K_{ij} = f(C_{ni-j} + Q_{i-j} D_{ni-j}))$$

por lo tanto:

$$C = K - \sum (Q_{i-j} D_{i-j}) \quad (2)$$

La ecuación 2 será la función objetivo. Después de haber obtenido la función objetivo será necesario obtener las restricciones a las que estará sujeta la ecuación 2.

El costo directo del proceso a duraciones intermedias-deben cumplir con la siguiente condición:

$$D_{falla} \leq D \leq D_{normal}$$

Esto se obtiene cumpliendo las condiciones siguientes:

Si E_i y E_j designan los tiempos de ocurrencia más próxima a los eventos (i) y (j), entonces:

$$\begin{aligned} E_i + d_{i-j} &\leq E_j \\ d_{i-j} + E_i - E_j &\leq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

La duración del proceso está definida por la diferencia de tiempo ocurrido más próximo del evento terminal E_n , - e inicial E_i o sea:

$$\begin{aligned} E_n - E_i &= D \\ \text{Si } E_i &= 0 \\ \text{entonces} \\ E_n &= D \end{aligned} \quad (5)$$

Cada una de las actividades debe cumplir la condición:

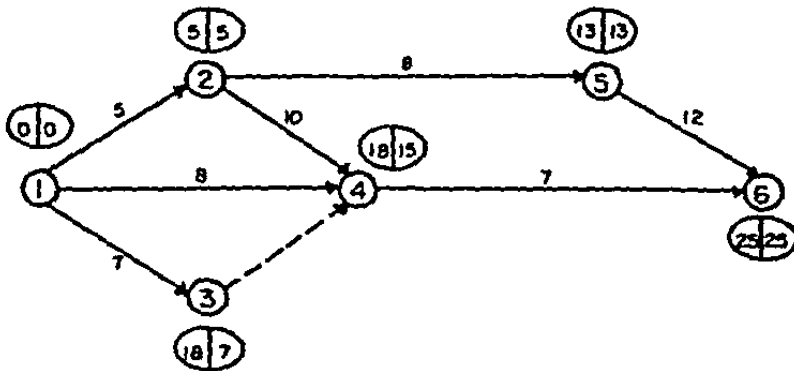


Fig. 5.6a

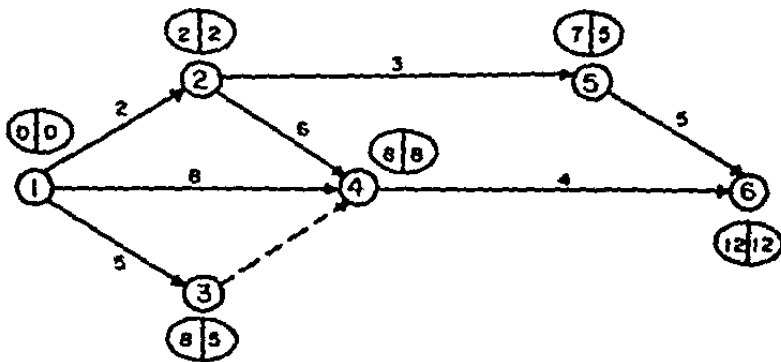


Fig. 5.6b

d_f = duración de falla d_n = duración normal

$$d_{f\ i-j} \leq d_{i-j} \leq d_{n\ i-j}$$

La cual se puede expresar de la siguiente manera:

$$d_{i-j} \leq d_{n\ i-j}$$

$$-d_{i-j} \leq -d_{f\ i-j}$$

Como se ha mencionado las variables de decisión estarán dentro de las restricciones. Estas variables representarán las duraciones que harán mínima la ecuación 2, o lo que es lo mismo, hacen máxima la expresión:

$$Z \text{ max.} = \sum Q_{i-j} d_{i-j} \quad (8)$$

En la fig. 5.6a se ha trazado la red con duraciones normales de las actividades que integran un proyecto, mientras que en la fig. 5.6b se ha hecho lo mismo pero para duraciones de falla de las actividades. Lo anterior fué realizado en base a la tabla de la fig. 5.7, la curva costo-tiempo para cada una de las actividades se han representado de la fig. 5.8 a la fig. 5.14. Con los datos de este pequeño proyecto, se mostrará la manera de obtener el costo mínimo para duraciones seleccionadas.

Aplicando a las condiciones (4), (5), (6), (7) y a la función objetivo (8) los datos de la tabla (fig. 5.7).

Tenemos que de (4):

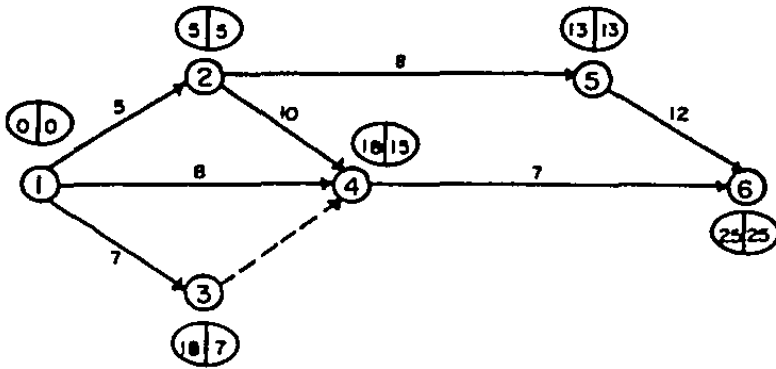


Fig. 5.6a

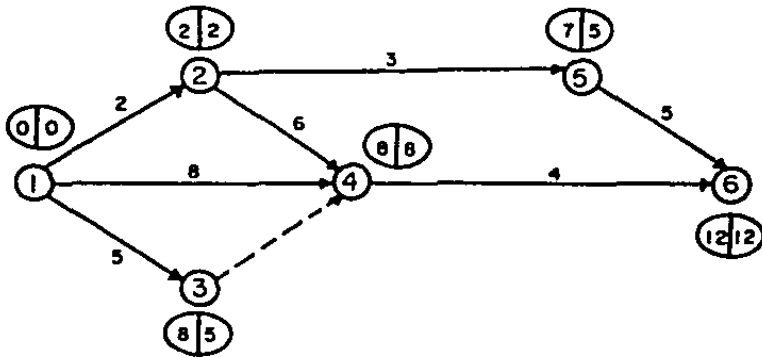
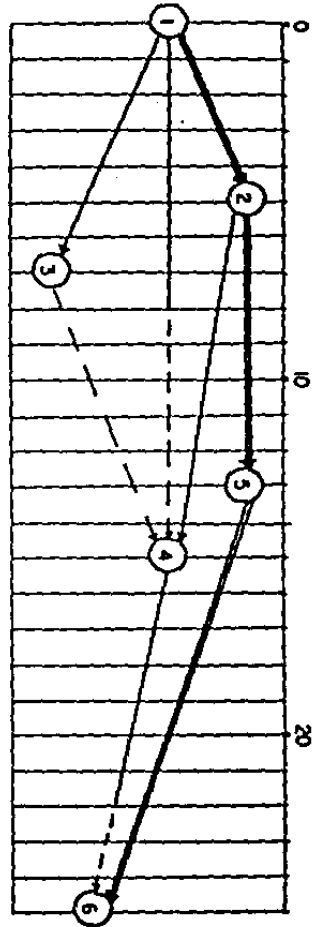


Fig. 5.6b

2968		625	1143	1200
2968		625	1143	1200
2968		625	1143	1200
2968		625	1143	1200
2968		625	1143	1200
2543	650	625	1143	125
2543	650	625	1143	125
1300	650	625		125
775	650			125
775	650			125
775	650			125
775	650			125
775	650			125
942	650			292
942	650			292
1535			1243	292
1535			1243	292
1535			1243	292
1535			1243	292
1535			1243	292
1535			1243	292
1535			1243	292
292				292
292				292
292				292



ACT.	DN	DF	CN	CF	S	K-CN+SDN
1 - 2	5	2	6 000	9 000	1 000	11 000
1 - 3	7	5	8 000	16 000	4 000	36 000
1 - 4	8	8	5 000	5 000	0	5 000
2 - 4	10	6	6 500	18 500	3 000	36 500
2 - x	5	3	0	4 000	2 000	10 000
x - 3	3	0	1 000	4 000	1 000	4 000
3 - 4	0	0	0	0	0	0
4 - 6	7	4	8 700	16 200	2 500	26 200
5 - 6	12	5	3 500	17 500	2 000	27 500

£ CN = 38700

£ K = 156200

Fig. 5.7

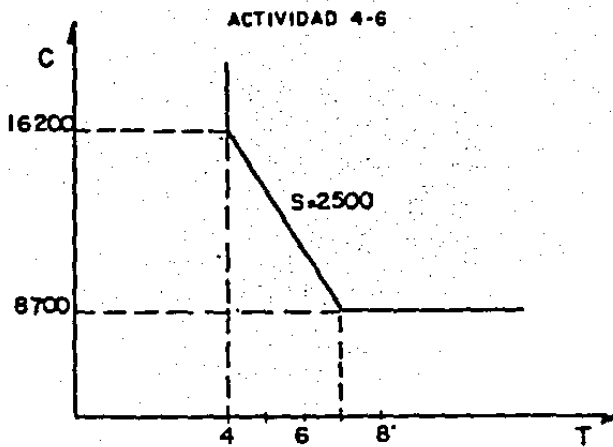


Fig. 5.8

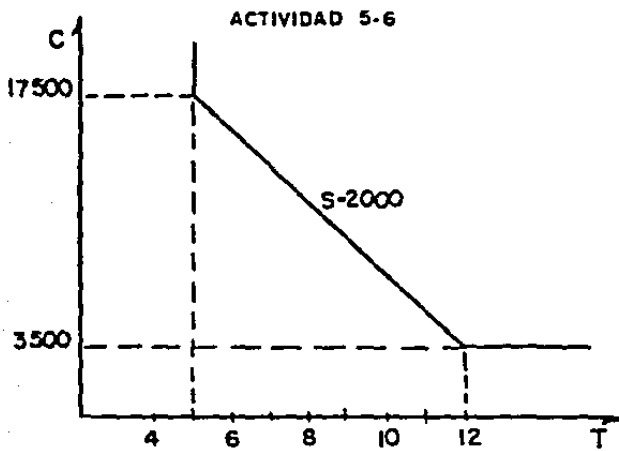


Fig. 5.9

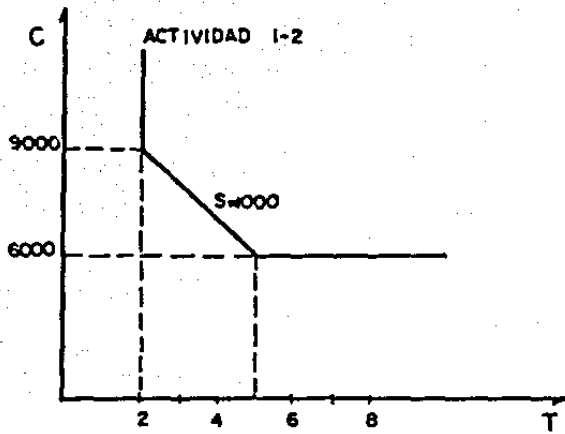


Fig.5.10

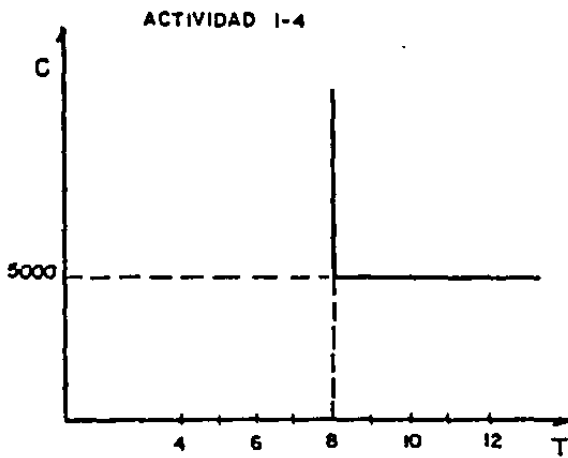


Fig.5.11

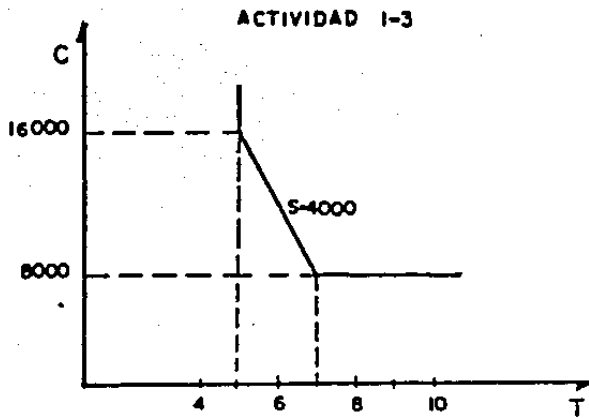


Fig.5.12

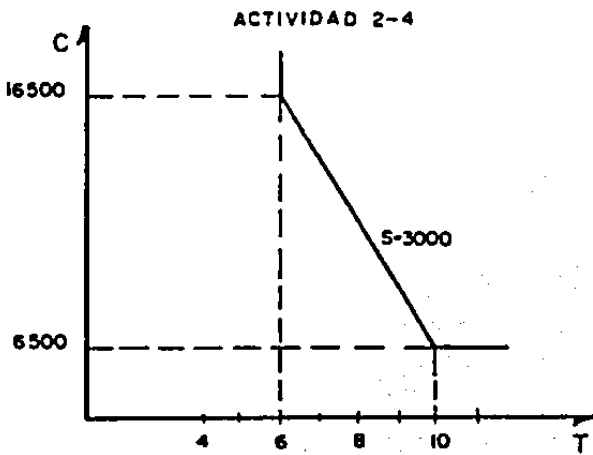


Fig. 5.13

ACTIVIDAD 2-5

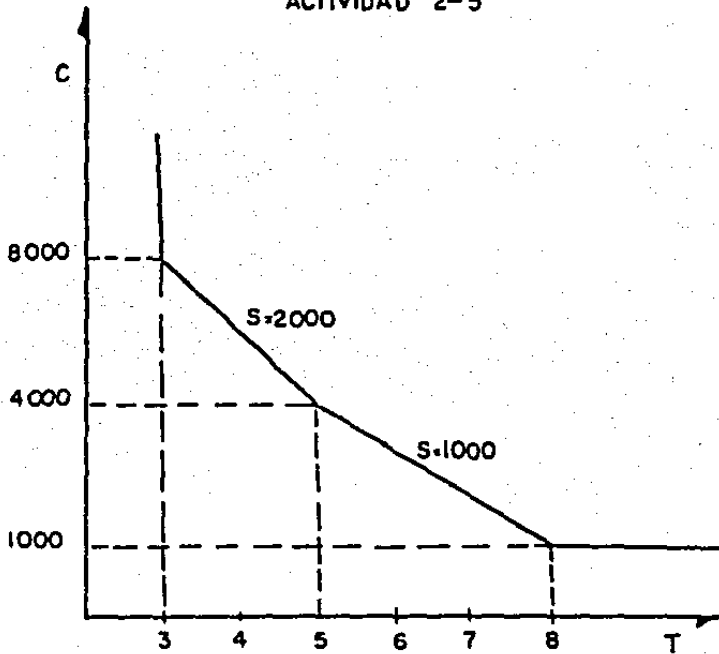


Fig. 5.14

$$d_{1-2} + E_1 - E_2 \leq 0 \quad (9)$$

$$d_{1-3} + E_1 - E_3 \leq 0 \quad (10)$$

$$d_{1-4} + E_1 - E_4 \leq 0 \quad (11)$$

$$d_{2-4} + E_2 - E_4 \leq 0 \quad (12)$$

$$d_{2-x} + E_2 - E_x \leq 0 \quad (13)$$

$$d_{x-5} + E_x - E_5 \leq 0 \quad (14)$$

$$d_{4-6} + E_4 - E_6 \leq 0 \quad (15)$$

$$d_{5-6} + E_5 - E_6 \leq 0 \quad (16)$$

Las duraciones intermedias deben cumplir la condición-

3:

$$12 \leq D \leq 25 \quad (17)$$

Se selecciona la duración D 20 días que cumple con esta condición:

$$\text{de (5)} \quad E_6 = 20 \quad (18)$$

$$\text{de (6)} \quad d_{1-2} \leq 5 \quad (19)$$

$$d_{1-3} \leq 7 \quad (20)$$

$$d_{1-4} \leq 8 \quad (21)$$

$$d_{2-4} \leq 10 \quad (22)$$

$$d_{2-x} \leq 5 \quad (23)$$

$$d_{x-5} \leq 3 \quad (24)$$

$$d_{4-6} \leq 7 \quad (25)$$

$$d_{5-6} \leq 12 \quad (26)$$

$$\text{de (7):} \quad -d_{1-2} \leq -2 \quad (27)$$

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	b
1	1								-1					0
2		1								-1				0
3			1							-1				0
4				1					1	-1				0
5					1				1		-1			0
6						1					1	-1		0
7							1			1			-1	0
8								1				1	-1	0
9	1													5
10		1												7
11			1											8
12				1										10
13					1									5
14						1								3
15							1							7
16								1						12
17	-1													-2
18		-1												-5
19			-1											-8
20				-1										-6
21					-1									-3
22						-1								0
23							-1							-4
24								-1						-5
25												1		20
z	1	4		3	2	1	2.5	2						

Fig.5.15

$$-d_{1-3} \leq -5 \quad (28)$$

$$-d_{1-4} \leq -8 \quad (29)$$

$$-d_{2-4} \leq -6 \quad (30)$$

$$-d_{2-x} \leq -3 \quad (31)$$

$$-d_{x-5} \leq -0 \quad (32)$$

$$-d_{4-6} \leq -4 \quad (33)$$

$$-d_{5-6} \leq -5 \quad (34)$$

La función objetivo quedaría de la siguiente manera:

de (8):

$$Z \text{ max} = d_{1-2} + 4 d_{1-3} + 3 d_{2-4} + 2 d_{2-x} + d_{x-5} + 2.5 d_{4-6} + 2 d_{5-6} \quad (35)$$

En la tabla de la fig. 5.15 se han anotado los coeficientes de las expresiones (9) a (16), (18), (19) a (34) y (35) que resultan de aplicar las condiciones (4), (5), (6), (7) y (8) respectivamente. Se considera que E3 E4, ya que estos eventos están ligados por una actividad ficticia (ver fig. 5.6a). Esto es válido solamente para eventos a los cuales llegue o salga sólo una actividad y está sea ficticia, en cuyo caso dicha actividad se podrá suprimir y por lo tanto igualar los eventos que une dicha actividad ficticia.

Cuando haya un evento en que lleguen o salgan varias actividades y alguna o algunas de ellas sean ficticias, éstas no se podrán suprimir, entonces la actividad o actividades ficticias aparecerán en la tabla de condiciones y se --

les aplicará la condición (4). La duración de las actividades ficticias no se debe tomar en cuenta, debido a que su duración es igual a cero.

Habiendo obtenido la tabla de la fig. 5.15 se procede a obtener las duraciones que hacen mínimo el costo. Esto se hace utilizando el método Simplex, obteniéndose los siguientes resultados:

$$X_1 = d_{1-2} = 2$$

$$X_2 = d_{1-3} = 7$$

$$X_3 = d_{1-4} = 8$$

$$X_4 = d_{2-4} = 10$$

$$X_5 = d_{2-x} = 5$$

$$X_6 = d_{x-5} = 1$$

$$X_7 = d_{4-6} = 7$$

$$X_8 = d_{5-6} = 12$$

El valor máximo de Z para D 20 es:

$$Z_{\text{máx}} = \sum Q_{i-j} d_{i-j} = 112.5$$

La suma de los valores de K es: (ver fig. 5.7)

$$K = K = 4 + 11 + 36 + 5 + 36.5 + 10 + 26.2 + 27.5 = 156.2$$

Entonces de la ecuación (2) el costo mínimo del proceso, correspondiente a la duración de 20 días es:

$$C = K - Z_{\text{máx}}$$

$$C = 156.2 - 112.5 = 43.7$$

Expresado en miles de pesos:

C = \$ 43 700.00

D = 20 días

COSTO TOTAL MINIMO

Como ya se mencionó el costo indirecto de un proceso - productivo es el costo de todo aquello que es indispensable para la realización del proceso, pero que no interviene directamente en la ejecución de las actividades componentes.- Este costo variará proporcionalmente a su duración.

Para el ejemplo que se está tratando se tomará en cuenta la gráfica de la fig. 5.16 que indica que se tendrá un - costo indirecto de \$3,333.33 pesos por día.

El costo total mínimo será igual a la suma del costo - directo mínimo y el costo indirecto correspondiente.

Para el ejemplo la curva de costos del proyecto es des conocida, a excepción de los puntos que nos representan los costos correspondientes a las duraciones:

DN = 25 días	CN = 38 000
D = 20 días	C = 43 700
Df = 12 días	Cf = 78 200

Por medio de tanteos en las duraciones del proyecto, se obtendrán sus respectivos costos y se escogerá la duración - que indique el costo total mínimo, es decir el más óptimo.

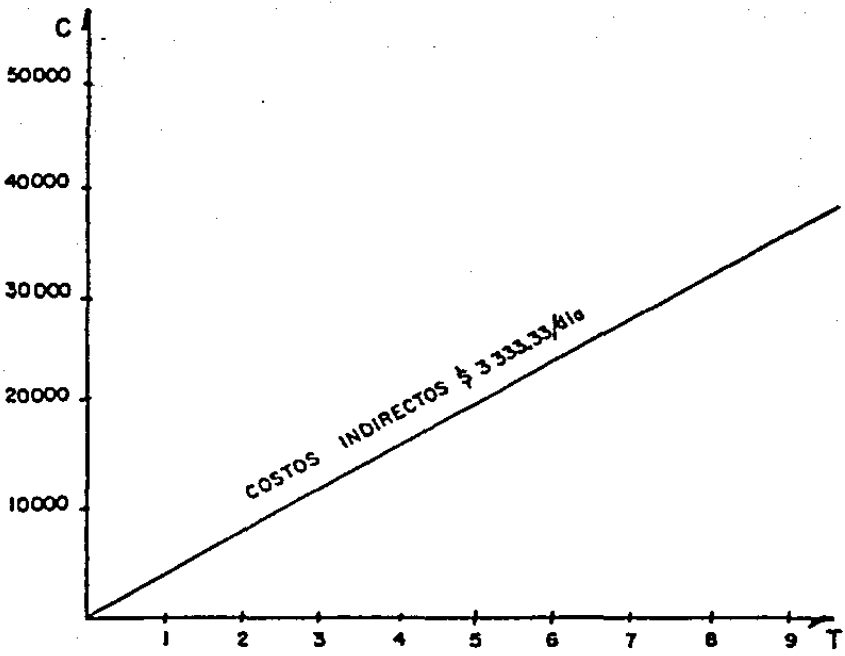


Fig. 5.16

Como primer tanteo se considerará una duración de 18 días. Ahora con esta duración se obtendrá su costo mínimo directo, así como las duraciones que hacen máxima la expresión (35). Lo anterior se logra aplicando el método Simplex a la tabla de la fig. 5.15, con una diferencia en la restricción (25), en la que ahora $D=18$, es decir:

$$\text{de(5):} \quad E6 = 18$$

Las restricciones restantes no tendrán ninguna modificación.

Para un $D = 18$ se obtienen los siguientes resultados:

$$Z \text{ máx} = 107\ 000$$

$$C = K - Z \text{ máx} = 156\ 200 - 107\ 000$$

$$CD = 49\ 200,00$$

El costo indirecto para $D = 18$ es:

$$CI = 18 \times 3\ 333,33 = 59\ 999,94$$

Por lo tanto el costo total mínimo será:

$$CTM = CD + CI = 49\ 200 + 59\ 999,94$$

$$CTM = 109\ 199,94$$

Para $D = 17$ días:

$$Z \text{ máx} = 102\ 500$$

$$CD = 156\ 200 - 102\ 500$$

$$CD = 53\ 700,00$$

Costo indirecto para $D = 17$

$$CI = 17 \times 3\ 333,33 = 56\ 666,61$$

Costo total mínimo:

$$CTM = 53\ 700 + 56\ 666.66 = 110\ 366.61$$

Ya que para $D=17$ el costo total es superior que para $D = 18$ se selecciona la duración $D = 19$.

Para $D = 19$ días:

$$Z \text{ máx} = 111\ 500$$

$$C = K - Z_{\text{máx}} = 156\ 200 - 111\ 500$$

$$CD = 44\ 700.00$$

El costo indirecto para $D = 19$ días es de:

$$CI = 19 \times 3\ 333.33 = 63\ 332.27$$

El costo total es:

$$CTM = CD + CI = 44\ 700 + 63\ 332.27 = 108\ 033.27$$

Como el costo total sigue disminuyendo, seleccionamos la duración $D = 20$ días y se obtiene:

$$C = K - Z_{\text{máx}} = 156\ 200 - 112\ 500$$

$$CD = 43\ 700.00$$

El costo indirecto para $D = 20$ días es:

$$CI = 20 \times 3\ 333.33 = 66\ 666.66$$

El costo total es:

$$CTM = CD + CI = 43\ 700 + 66\ 666.66 = 110\ 366.6$$

Se puede observar que aumentó nuevamente el CTM para $D=20$ días, por lo tanto el punto óptimo será para una duración $D=19$ días.

$$CTM = 108\ 033.27$$

$$D = 19 \text{ días}$$

En las que las duraciones de las actividades son las siguientes:

$$X1 = d_{1-2} = 2$$

$$X2 = d_{1-3} = 7$$

$$X3 = d_{1-4} = 8$$

$$X4 = d_{2-4} = 10$$

$$X5 = d_{2-x} = 5$$

$$X6 = d_{x-5} = 0$$

$$X7 = d_{4-6} = 7$$

$$X8 = d_{5-6} = 12$$

La curva de costo total para este ejemplo se puede observar en la fig. 5.17.

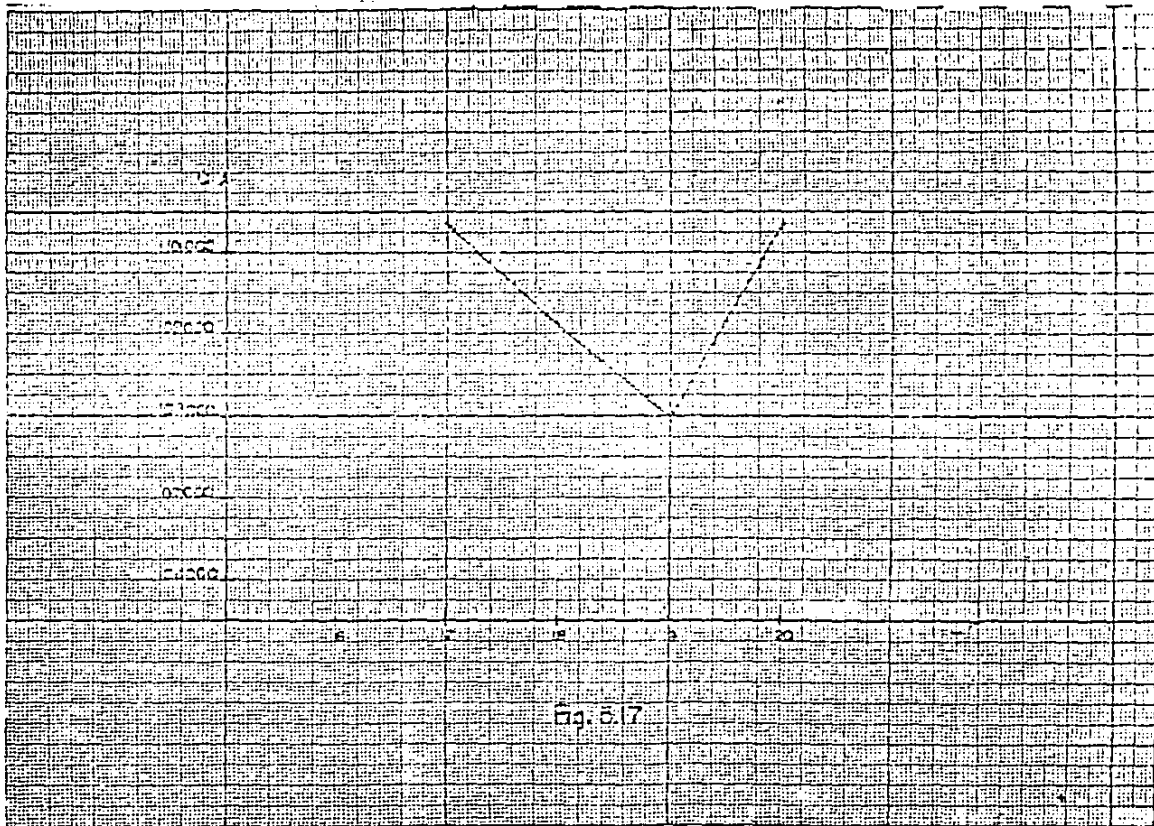


Fig. 8.17

CAPITULO

VI

METODO SIMPLEX

El costo directo para $D_n = 88$ días es:

$$C_n = 303,971.40$$

El costo indirecto para $D_n = 88$ días es:

$$C_I = 747.60 \times 88 = 65,788.80$$

El costo total mínimo para $D_n = 88$ días es:

$$CTM = C_{Dn} + C_I = 303,971.40 + 65,788.80 = 369,760.20$$

COSTO A DURACIONES INTERMEDIAS

En este caso, seleccionamos una duración cercana a la duración normal y después procedemos por tanteos. Seleccionamos la duración de 80 días y se anota en la restricción -124 en la tabla de la fig. 6.1. Procesando esta tabla se obtiene:

d 1-2	4	d 7-19	3	d 19-22	7	d 31-37	2
d 2-3	3	d 8-9	3	d 19-26	8	d 32-35	3
d 2-4	3	d 11-15	15	d 20-21	3	d 34-36	4
d 2-5	2	d 12-15	4	d 23-24	7	d 35-37	19
d 2-12	4	d 13-14	2	d 25-30	3	d 36-38	3
d 5-6	1	d 14-16	4	d 27-28	2	d 37-38	2
d 5-7	3	d 15-17	2	d 29-31	8	d 38-39	3
d 6-8	2	d 17-18	4	d 30-33	19	d 38-40	2
d 7-10	15						

$$Z \text{ max } 156,972.13$$

$$C \quad K - Z \text{ max} = 463,418.33 - 156,972.13 = 306,446.20$$

$$CI = 747.60 \times 80 = 59,808.00$$

$$CTM (80) = 306,446.20 + 59,808.00 = 366,254.20$$

Duración seleccionada igual a 73 días:

Todas las condiciones para D 73, son las mismas de la tabla de la fig.6.1, a excepción de la condición D 80 días, que cambia según la duración seleccionada y se anota en la restricción 124 de la tabla de la fig.6.2, la duración seleccionada es igual a 73 días. Procesando la tabla se obtiene:

d 1-2	3	d 7-19	3	d 19-22	7	d 31-37	2
d 2-3	3	d 8- 9	3	d 19-26	7	d 32-35	3
d 2-4	3	d 11-15	15	d 20-21	3	d 34-36	4
d 2-5	2	d 12-15	4	d 23-24	7	d 35-37	19
d 2-12	4	d 13-14	2	d 25-30	2	d 36-38	3
d 5-6	1	d 14-16	2	d 27-28	2	d 37-38	2
d 6-7	2	d 15-17	2	d 29-31	8	d 38-39	1
d 6-8	2	d 17-18	4	d 30-33	19	d 39-40	2
d 7-10	15						

$$Z \text{ max} = 152,066.53$$

$$CD = K - Z_{\text{max}} = 463,418.33 - 152,066.53 = 311,351.80$$

$$CI = 747.60 \times 73 = 54,574.80$$

$$CTM = 311,351.80 + 54,574.80 = 365,926.60$$

Duración seleccionada igual a 74 días.

Como se vió anteriormente, la única condición que cambia es la restricción 124, que es la duración seleccionada. Procesando la tabla de la fig. 6.3, se obtienen los siguientes resultados en las duraciones:

d 1-2	3	d 7-19	3	d 19-22	7	d 31-37	2
d 2-3	3	d 8- 9	3	d 19-26	8	d 32-35	3
d 2-4	3	d 11-15	15	d 20-21	3	d 34-36	4
d 2-5	2	d 12-15	4	d 23-24	7	d 35-37	19
d 2-12	4	d 13-14	2	d 25-30	3	d 36-38	3
d 5-6	1	d 14-16	2	d 27-28	2	d 37-38	2
d 6-7	2	d 15-17	2	d 29-31	8	d 38-39	1
d 6-8	2	d 17-18	4	d 30-33	19	d 39-40	2
d 7-10	15						

$$Z \text{ max} = 152,924.15$$

$$CD = K - Z \text{ max} = 463,418.33 - 152,924.15$$

$$CI = 747.60 \times 74 = 55,322.40$$

$$CTM = 310,494.18 + 55,322.40 = 365,816.58$$

Duración seleccionada igual a 75 días.

Procesando la tabla de la fig. 6.4 se obtienen los siguientes tiempos:

d 1-2	3	d 7-19	3	d 19-22	7	d 31-37	2
d 2-3	3	d 8- 9	3	d 19-26	8	d 32-35	3
d 2-4	3	d 11-15	15	d 20-21	3	d 34-36	4

d 2-5	2	d 12-15	4	d 23-24	7	d 35-37	19
d 2-12	4	d 13-14	2	d 25-30	3	d 36-38	3
d 5-6	1	d 14-16	2	d 27-28	2	d 37-38	2
d 6-7	3	d 15-17	2	d 29-31	8	d 38-39	1
d 6-8	2	d 17-18	4	d 30-33	19	d 39-40	2
d 7-10	15						

$$Z \text{ max} = 153,710.73$$

$$CD = K - Z \text{ max} = 463,418.33 - 153,710.73 = 309,707.60$$

$$CI = 747.60 \times 75 = 56,070.00$$

$$CDM = 309,707.60 + 56,070.00 = 365,777.60$$

Duración seleccionada igual a 76 días.

Se obtienen los siguientes resultados:

d 1-2	3	d 7-19	3	d 19-22	7	d 31-37	2
d 2-3	3	d 8-9	3	d 19-26	8	d 32-35	3
d 2-4	3	d 11-15	15	d 20-21	3	d 34-36	4
d 2-5	2	d 12-15	4	d 23-24	7	d 35-37	19
d 2-12	4	d 13-14	2	d 25-30	3	d 36-38	3
d 5-6	1	d 14-16	3	d 27-28	2	d 37-38	2
d 6-7	3	d 15-17	2	d 29-31	8	d 38-39	1
d 6-8	2	d 17-18	4	d 30-33	19	d 39-40	2
d 7-10	15						

$$Z \text{ max} = 154,420.13$$

$$CD = K - Z_{\text{max}} = 463,418.33 - 154,420.13$$

$$CI = 747.60 \times 76 = 56,817.60$$

$$CTM = 308,998.20 + 56,817.60 = 365,815.80$$

Como el costo total mínimo aumentó al pasar de 75 a 76 días, por lo tanto la duración óptima del programa es igual a 75 días.

ACT.	Dn	Di	COSTO Dn	COSTO Di	PENDIENTE (S)
1 - 2	6	3	2,840.00	4,460.00	540.00
2 - 3	4	1	1,500.00	3,000.00	500.00
2 - 4	3	1	520.30	1,600.00	539.85
2 - 5	2	1	100.00	150.00	50.00
2 - 12	4	2	14,192.00	14,402.40	105.20
5 - 6	2	1	721.00	865.80	144.80
6 - 7	3	2	6,771.26	7,557.84	786.58
6 - 8	2	1	721.00	865.80	144.80
7 - 10	15	12	5,936.93	12,291.83	2,118.30
7 - 19	3	2	226.40	261.20	34.80
8 - 9	3	2	6,771.26	7,557.84	786.58
11 - 15	15	12	5,936.93	12,291.83	2,118.30
12 - 15	4	2	14,192.00	14,402.40	105.20
13 - 14	2	1	1,535.00	2,735.00	1,200.00
14 - 16	4	2	25,345.06	26,763.86	709.40
15 - 17	2	1	1,535.00	2,735.00	1,200.00
17 - 18	4	2	25,345.06	26,763.86	709.40
19 - 22	7	4	25,148.90	27,789.50	880.20
19 - 26	8	4	24,684.00	27,023.00	584.75
20 - 21	3	2	226.40	261.20	34.80
23 - 24	7	4	25,148.90	27,789.50	880.20
25 - 30	3	1	4,288.50	6,003.90	857.70
27 - 28	2	1	4,146.00	4,722.00	576.00
29 - 31	8	4	24,684.00	27,023.00	584.75
30 - 33	19	17	13,002.00	14,352.30	975.15
31 - 37	2	1	4,146.00	4,722.00	576.00
32 - 35	3	1	4,288.50	6,003.90	857.70
34 - 36	4	2	8,500.00	8,750.00	125.00
35 - 37	19	17	13,002.00	14,952.30	975.15
36 - 38	3	1	11,033.50	12,311.10	651.30
37 - 38	4	2	8,500.00	8,750.00	125.00
38 - 39	3	1	11,008.50	12,311.10	651.30
39 - 40	4	2	8,000.00	8,500.00	250.00

Fig.

ACT.	C _n	K
1 - 2	2,840.00	6,080.00
2 - 3	1,500.00	3,500.00
2 - 4	520.30	2,139.85
2 - 5	100.00	200.00
2 - 12	14,192.00	14,612.80
5 - 6	721.00	1,010.60
6 - 7	6,771.26	9,131.00
6 - 8	721.00	1,010.60
7 - 10	5,936.93	37,711.43
7 - 19	226.40	341.60
8 - 9	6,771.26	9,131.00
11 - 15	5,936.93	37,711.43
12 - 15	14,192.00	14,612.80
13 - 14	1,535.00	3,935.00
14 - 16	25,345.06	28,182.66
15 - 17	1,535.00	3,935.00
17 - 18	25,345.06	28,182.66
19 - 22	25,148.90	31,310.30
19 - 26	24,684.00	29,362.00
20 - 21	226.40	341.60
23 - 24	25,148.90	31,310.30
25 - 30	4,288.50	6,861.60
27 - 28	4,146.00	5,298.00
29 - 31	24,684.00	29,362.00
30 - 33	13,002.00	31,529.85
31 - 37	4,146.00	5,298.00
32 - 35	4,288.50	6,861.70
34 - 36	8,500.00	9,000.00
35 - 37	13,002.00	31,529.85
36 - 38	11,008.50	12,962.40
37 - 38	8,500.00	9,000.00
38 - 39	11,008.50	12,962.40
39 - 40	8,000.00	9,000.00

$\sum C_n = 303,971.40$

$\sum K = 463,418.33$

Fig.

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

Se ha visto en el transcurso de capítulos anteriores - la enorme importancia y ayuda que puede proporcionar los métodos modernos (CPM) en el control, planeación y programación de cualquier proceso productivo. Del método de la ruta crítica se obtienen las siguientes ventajas:

1. El proceso define claramente el rango de importancia de las diferentes actividades.
2. Permite coordinar las actividades de los organismos que están involucrados.
3. Permite comparar planes y programas alternativos de un proceso.
4. Permite una mejor solución a los imprevistos.
5. Importante instrumento en la Dirección de una empresa.
6. Permite hacer cambios en el personal directivo de la obra, sin un perjuicio notable.

Aunque por sí mismo el Método de la ruta crítica es un método útil, la persona que lo utilice debe tener amplio conocimiento de la obra al que va a ser aplicado este procedimiento, para trazar un diagrama de flechas que realmente presente el desarrollo del proyecto. La diagramación puede volverse bastante complicada, especialmente si la lógica del CPM fué entendida de forma incompleta.

Se ha visto la posibilidad de reducción en la duración de un proyecto, que puede llegar a ser tan confiable como se tengan los suficientes conocimientos y experiencia en la realización de procesos constructivos.

El cálculo de tiempos posibles de inicio, de terminación, holguras, distribución de recursos y compresión de una red pueden ser consideradas como conjeturas calculadas y deben ser tratadas como tal. Pero la planeación y programación basadas en una conjetura calculada son mucho mejores que la improvisación, que genera muchas veces retrasos y costos innecesarios.

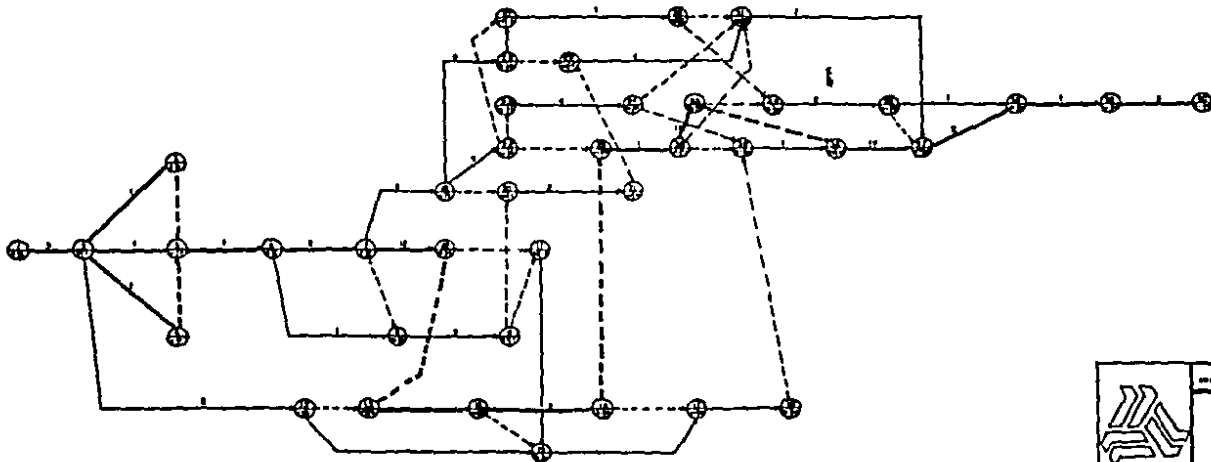
Con todo lo tratado en este trabajo de tesis, permite al constructor tener una mejor percepción sobre lo que puede hacerse en caso de que se presente un retraso en el proyecto.

Por otro lado se tiene que la programación lineal es un fuerte instrumento que puede y debe ser aplicado a problemas de Ingeniería civil en el ramo administrativo. El método usado para obtener costos mínimos en una obra, son de una mecánica relativamente fácil, pero se convierten demasiado tediosos y complicados al incluir una gran cantidad de variables. Esto deja claro el uso necesario de computadoras para llevar a cabo este método (Método Simplex).

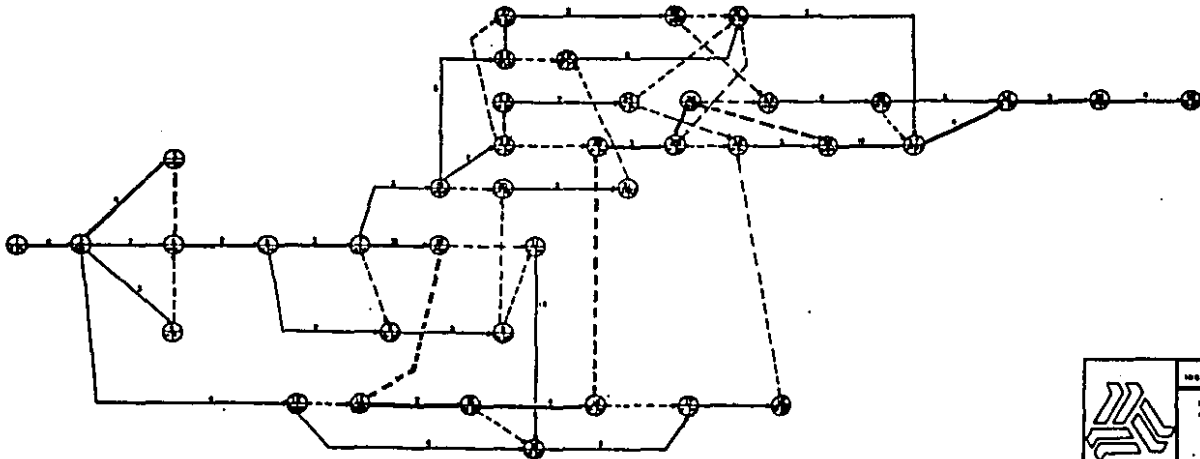
Las computadoras son la herramienta que han hecho posi

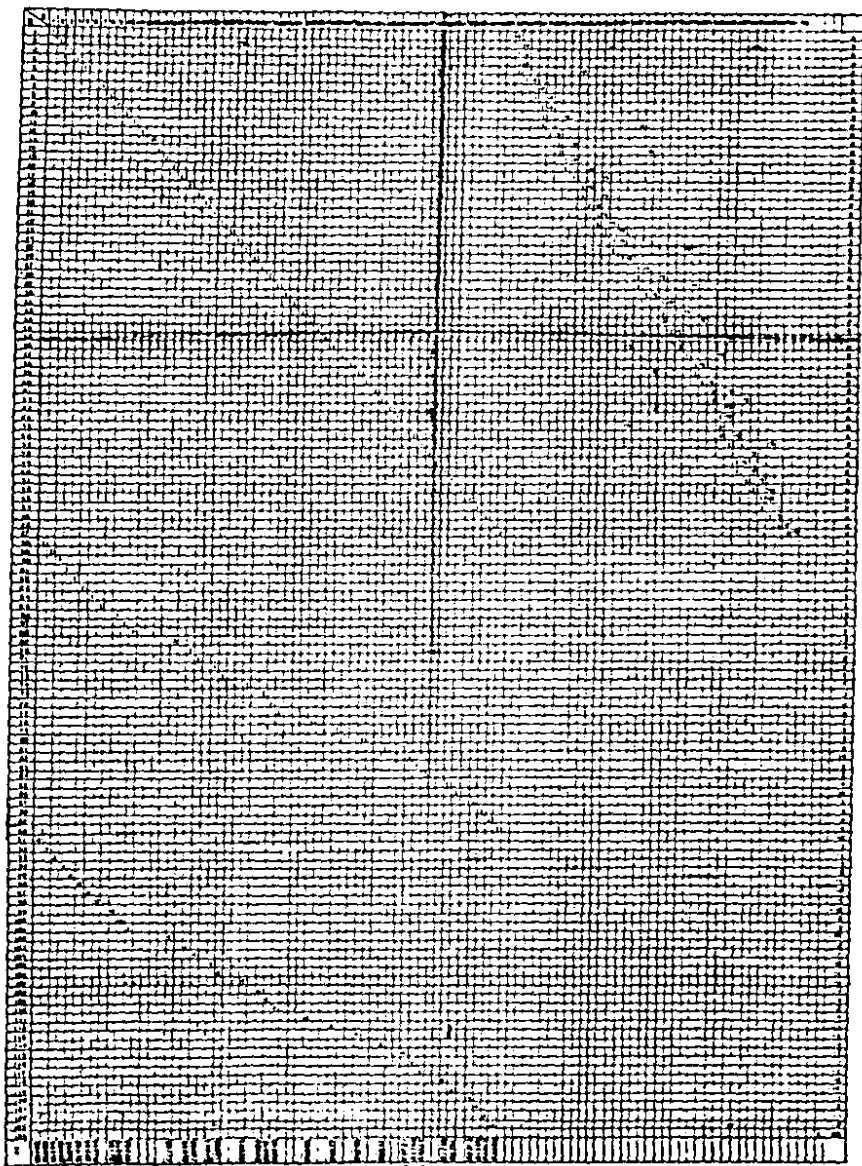
ble el desarrollo de esta y otras muchas técnicas de la más diversa índole e incluso han hecho renacer métodos, que por el gran número de operaciones aritméticas que es necesario realizar para su empleo, se consideraban obsoletos.

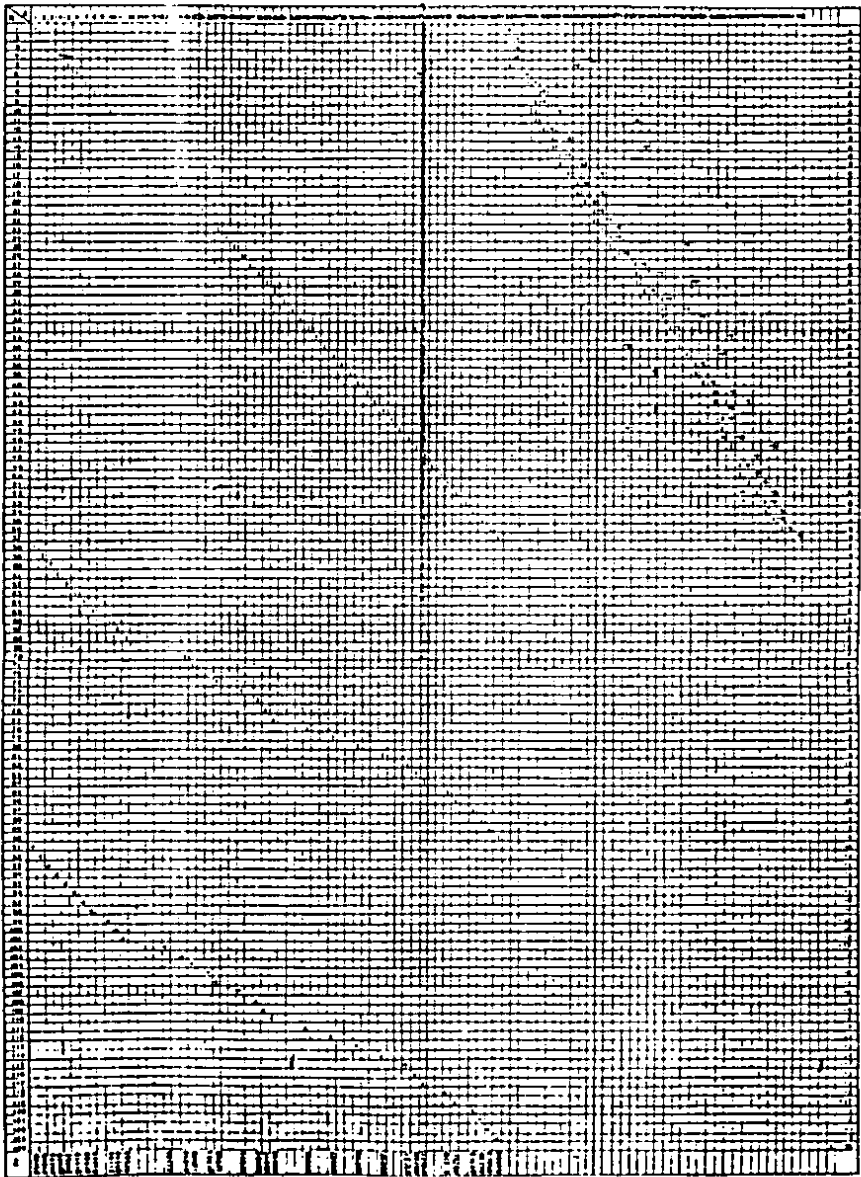
La obtención de la duración óptima por el método Simplex, en el proyecto del capítulo VI, es rápida mediante el uso de una computadora. Lo que realmente lleva tiempo sería la carga de datos en la computadora, es decir la matriz formada por las condiciones que deben ser cumplidas. Cualquier retraso en alguna de las actividades será necesario hacer cambios en las condiciones que así lo requieran estableciendo la variación de costos por el retraso, las nuevas fechas de inicio y de terminación de las actividades que hayan sufrido cambios. Habiendo realizado lo anterior el procesamiento de datos se podrá llevar a cabo, obteniendo los nuevos resultados.

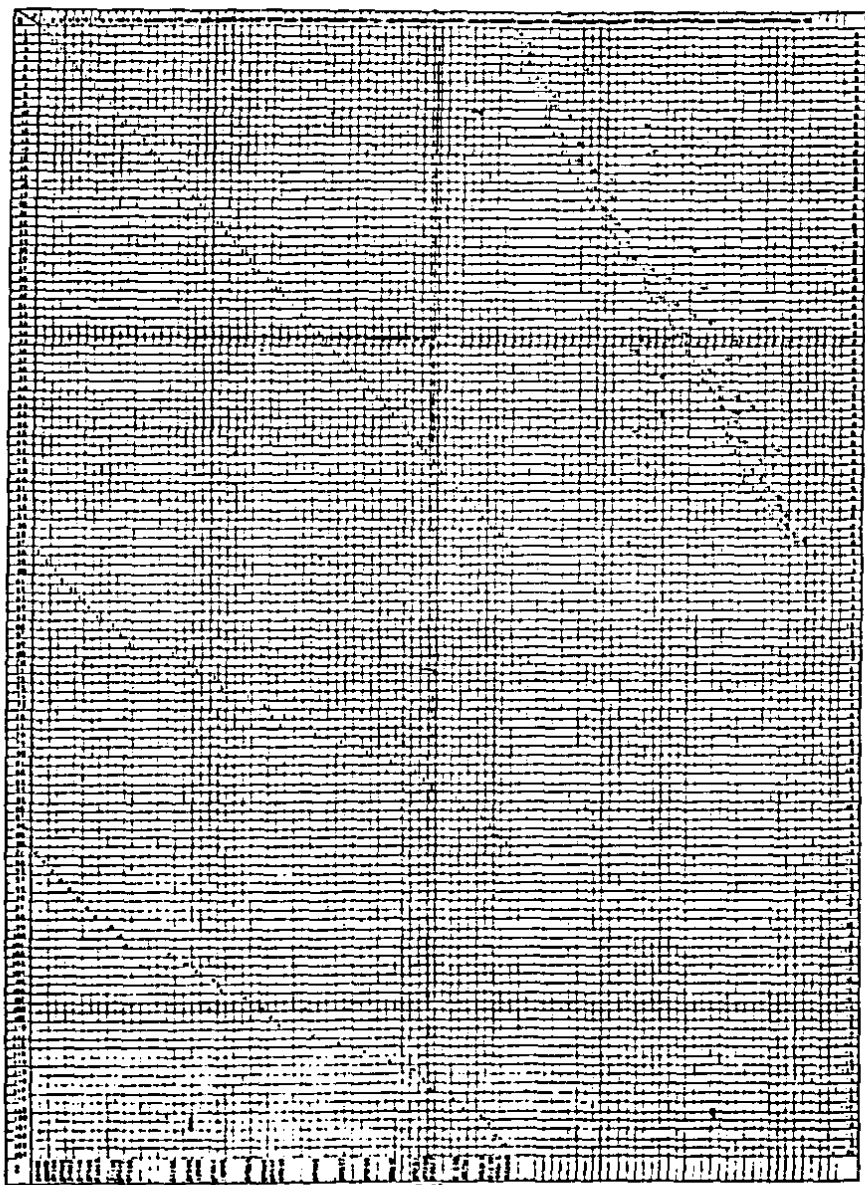


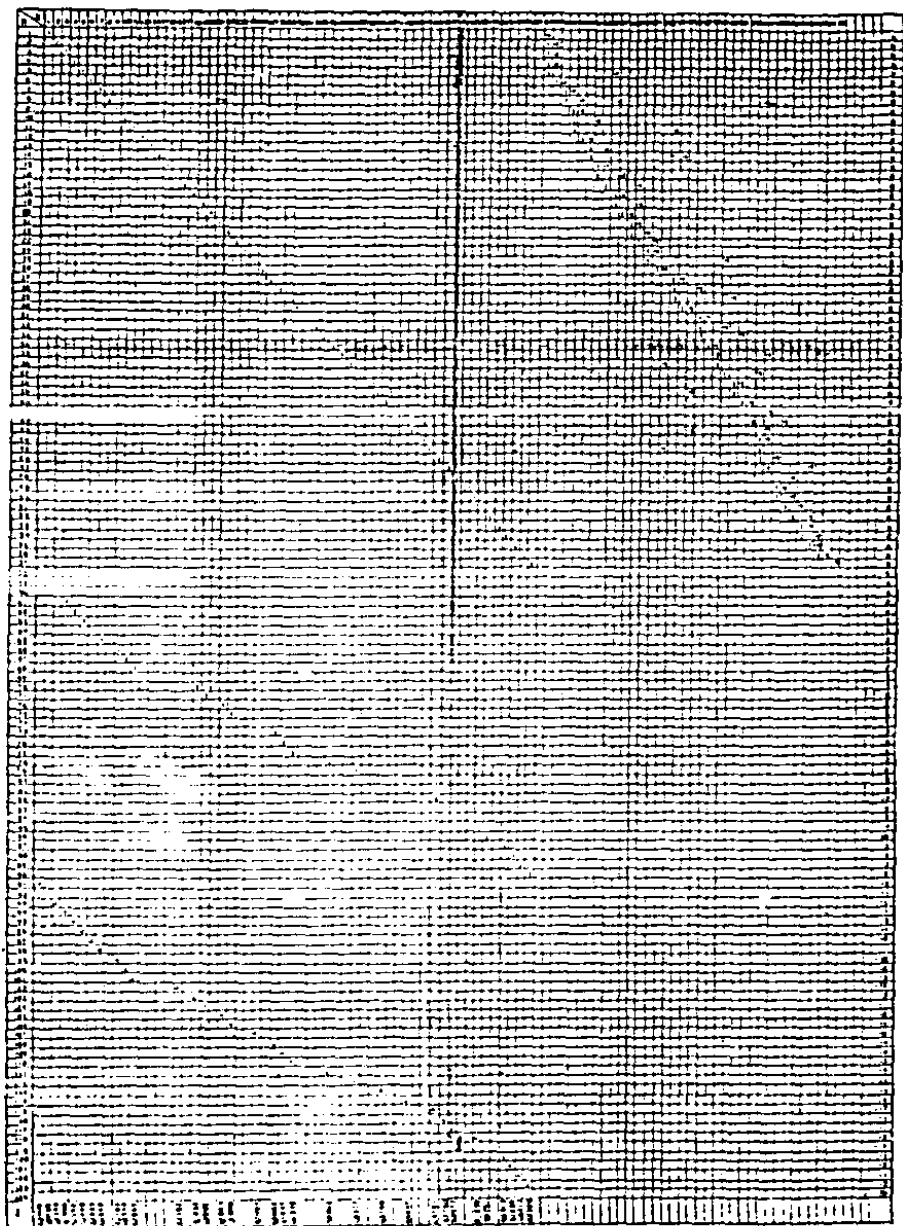
	<p>ORGANIZACIJA ZA REŠEVANJE PROBLEMA 2004-05</p>
--	---











Slim Helv Carlos. Aplicaciones de programación lineal a algunos problemas de Ingeniería Civil. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería, UNAM, 1963.

Naghi Namakforoosh. Investigación de Operaciones. Edit. Limusa 1985.

Antill James M. Método de la Ruta Crítica y su aplicación a la construcción. Edit. Limusa 1987.

Benson Ben. Método de la Ruta Crítica en la construcción de edificios. Edit. CECSA 1974.

Battersby Albert. Planificación y Programación de proyectos complejos. Edit. Barcelona-Ariel 1970.

Escudero Laureano F. Asignación Óptima de recursos. Bilbao-Esp. Deusto 1977.

Catalytic Construction Company. Método del camino crítico. Edit. Diana 1982.

Montaño García Agustín. Iniciación al método del camino crítico. México. Edit. Trillas 1968.

Mital K.V. Métodos de optimización en investigación de operaciones y análisis de sistemas. Edit. Limusa 1984.

Suárez Salazar. Costo y tiempo en edificación. Edit. Limusa 1981.

Poole Lon. Algunos programas de uso común en EASIC. Edit. - McGraw Hill 1983.

Sikonowiz Walter. Introducción al IBM PC. Edit. McGraw Hill 1984.

Dr. R.L. Martino. Asignación y programación de recursos. Tomo 3. Edit. Técnica S.A. 1975.

Dr. R.L. Martino. Planeación de operaciones aplicadas. Tomo 2. Edit. Técnica S.A. 1975.