



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**LA RUTA CRITICA,
COMO METODO FUNDAMENTAL
EN EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DE PROYECTOS**

TESIS PROFESIONAL

que para obtener el titulo de

A C T U A R I O

p r e s e n t a :

JOSE ARMANDO JAIME BETANZOS



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I.- ANTECEDENTES HISTORICOS DEL METODO DE RUTA CRITICA.	5
-Definiciones	
-Diagrama de barras	
-Historia de CPM	
-Ventajas del método CPM	
-Aplicaciones del método CPM	
CAPITULO II.- BASES DE CALCULO DEL METODO DE RUTA CRITICA.	17
-Fundamentos del método de - ruta crítica	
-Conceptos básicos del dia-- grama	
-Actividades en flecha y ac-- tividades en nodo	
-Cálculo de la red	
-Rúta o trayectoria crítica	
-Duraciones de las activida-- des en un proceso productivo	
-Relaciones de precedencias	
-Observaciones preliminares al método	
CAPITULO III.- ASIGNACION DE RECURSOS-COS-- TOS Y RELACIONES ENTRE RE-- CURSOS-COSTOS-DURACION.	41
-Consideraciones generales	
-Análisis de las duraciones	
-Análisis de los recursos	
-Análisis de los costos	
-Análisis de duración-recur-- sos-costos	

	PAG.
CAPITULO IV.- LA PROGRAMACION LINEAL EN LA OPTIMIZACION DEL COSTO DIRECTO ASOCIADO.	57
-Costo directo asociado a las duraciones posibles de un -- proceso.	
-Cálculo por programación lineal del costo mínimo de un proceso cuando éste se desea ejecutar a una duración posible cualquiera	
-Consideración general	
CAPITULO V.- EL PAQUETE DE COMPUTO PROJECT/1 EN UN CASO PRACTICO.	87
-Explicación del ejemplo a pro cesar	
-Descripción y uso del paquete project/1	
-Análisis de resultados	
-Anexo 1	
-Anexo 2	
CAPITULO VI.- CONCLUSIONES.	141
BIBLIOGRAFIA.	

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

INTRODUCCION

En cualquier proceso productivo se presenta la problemática de controlar su costo y su duración, de aquí que el objetivo de este trabajo sea plasmar la esencia de un método de planeación, programa -ción y control de procesos productivos, que se desarrolló durante la década de los cincuentas en los Estados Unidos de Norteamérica, el CPM, cuyo significado se aclarará a lo largo de la investigación.

Como es sabido, hoy en día el CPM está de moda, debido al trabajo arduo y tenaz de sus precursores, quienes sobresalen por sus grandes contribuciones a este respecto; entre ellos, se cuentan quienes fueron descubridores o creadores de las técnicas, otros auxiliaron en las aplicaciones iniciales para justificar su valor y, otros -- más, en posición de autoridad, estuvieron convencidos de que estas metodologías desconocidas podrían ayudarles; la lista de estas personas es interminable, pero a manera de reconocimiento, en el Capí tulo I se mencionan los principales precursores y creadores del método.

En la actualidad existen casi cincuenta variantes de dicho método - las cuales no han sido aún perfeccionadas, por lo que un uso inadecuado de ellas, puede conducir a no obtener resultados satisfactorios. Para el caso de CPM las reglas son simples, sin embargo, su aplicación no lo es, ya que requiere un análisis previo de lo que se va a realizar, y hay que reconocer que la mayoría tendemos a estar "haciendo y planeando de oído o en la práctica" más que "pla -near antes de hacer"; entregarse a esta tendencia conduce a un caos ya que de aquí se deriva una incorrecta aplicación del método, no-

obstante, ello no significa que el CPM sea inservible.

Con objeto de exhibir una panorámica de la investigación, es conveniente destacar, en forma general, los principales puntos a tratar en este trabajo.

El Capítulo I presenta un resumen del método tradicionalmente empleado en la planeación, programación y control de los procesos productivos (el diagrama de barras), y se mencionan las principales deficiencias observadas en él; asimismo, se presentan las causas que dieron origen a la creación del método CPM cuyos antecedentes históricos también son mencionados a lo largo del mismo, y finalmente se señalan las ventajas, el alcance y las aplicaciones del método CPM.

En el Capítulo II, se presenta una breve explicación del método llamado "Ruta Crítica" o "Critical Path Method"; para ello, se dan a conocer los fundamentos y conceptos básicos de los diagramas de flechas, además de las diferencias entre los diagramas de flechas y diagramas en nodos; posteriormente se expone el cálculo de la red y de las holguras y se aclara a detalle el concepto de Ruta Crítica, en lo que se refiere a las actividades específicas. Finalmente, se describen algunos conceptos adicionales que hemos considerado conveniente incluir en esta explicación, como son las tablas de tiempo y las relaciones de precedencias.

La duración, el costo y los recursos requeridos para ejecutar una actividad, son tres factores íntimamente ligados. En el Capítulo III se estudia el efecto producido por la selección de un tipo específico de cuantificación del proceso, en relación a la duración,

al costo y a los recursos requeridos para ejecutarlo; se estudian también algunos factores que intervienen en la determinación de una distribución adecuada de los recursos requeridos, mediante un análisis breve de la forma en que varían el costo directo y los re cursos requeridos al alterar la duración de una actividad, dentro de su rango de duraciones posibles.

En el Capítulo IV se presenta la forma de determinar el intervalo de duraciones posibles para un proceso productivo. Se presenta también un método de programación lineal para encontrar el costo directo mínimo ó máximo asociado a cada duración posible, y la ma nera como puede determinarse la duración del proceso para lograr el costo total mínimo, o el costo mínimo dada una duración menor a la normal y mayor a la duración límite.

El Capítulo V tiene como objetivo mostrar las ventajas que se tie nen al utilizar la computación en el cálculo y reportes de los re sultados de Ruta Crítica; para ello se hace uso de un paquete de cómputo llamado PROJECT/1, creado para asistir en la planeación y control de proyectos mediante el Método de Ruta Crítica. El capí tulo incluye la descripción del ejemplo a utilizar (consistente en la construcción de una planta generadora de electricidad), las consideraciones generales del mismo ejemplo y la descripción de los reportes obtenidos con el PROJECT/1, finalizando con un breve análisis a partir de estos reportes.

Por último se presentan, en forma general, las conclusiones obtenidas a través del análisis y de los resultados de la investigación efectuada, así como una serie de conclusiones y recomendacio

nes personales.

Cabe aclarar que no es objeto de esta investigación el dar solución a cada posible problema con aplicación de Ruta Crítica, sino únicamente proporcionar una solución general, que pueda servir de base en la toma de decisiones.

C A P I T U L O I

CAPITULO I.- ANTECEDENTES HISTORICOS DEL METODO DE RUTA CRITICA.

DEFINICIONES.

Con objeto de facilitar la comprensión de ciertos conceptos de información, a continuación se presentan algunas definiciones de interés.

PROCESO PRODUCTIVO.- Es el conjunto de trabajos que es necesario efectuar en la elaboración de un producto.

ACTIVIDADES DE UN PROCESO PRODUCTIVO.- Son los trabajos específicos que constituyen el proceso productivo.

PLANEACION DE UN PROCESO PRODUCTIVO.- Es un conjunto de decisiones que deben elaborarse, para realizar en el futuro los objetivos del proceso de la manera más eficiente.

PROGRAMACION DE UN PROCESO PRODUCTIVO.- Es la elaboración de tablas en las que se muestran los tiempos de duración, - de iniciación y de terminación de las actividades que forman el proceso.

CONTROL DE UN PROCESO PRODUCTIVO.- Consiste en la aplicación de los resultados obtenidos en la planeación y en la Programación del Proceso.

DIAGRAMA DE BARRAS.

La preparación de un programa de trabajo para la ejecución de un proceso productivo de cualquier naturaleza, no constituye ninguna novedad. El programa de trabajo se acostumbra a elaborar, con mayor o menor detalle, antes de la iniciación de todo proceso; sin embargo, la única herramienta existente para ello hasta la aparición del método CPM, era el llamado "diagrama de barras" ó "diagrama de Gantt". Este diagrama se forma como sigue:

- a) Se determinan cuáles son las principales actividades del proceso.
- b) Se hace una estimación de la duración efectiva de cada actividad.
- c) Se representa cada actividad mediante una barra recta cuya duración es, a escala, la duración efectiva de la actividad.
- d) Se hace una lista de las actividades, de manera que a cada actividad corresponda un renglón de la lista, y, estableciendo un orden de ejecución de las actividades, se ubica la barra que representa a cada actividad a lo largo de una escala de tiempos efectivos, la cual está situada en la misma dirección de las actividades y es común a todas.
- e) La escala de tiempos efectivos se convierte a una escala de días-calendario, de manera que se tengan en consideración los días no laborables (días de descanso y días festivos). El diagrama resultante es el diagrama de barras para el proceso; en la figura 1 se presenta un ejemplo.

CONCEPTO	1 9 8 1						1 9 8 2					
	OCT.		NOV.		DIC.		ENE.		FEB.			
A												
B												
C												
D												
E												

FIGURA 1

DEFICIENCIAS DEL DIAGRAMA DE BARRAS.

La elaboración del diagrama de barras puede refinarse de tal forma que incluya mayor información respecto a la manera de ejecutarlo; sin embargo, el diagrama de barras como tal, al considerarlo como un método de planeación, programación y control presenta las siguientes deficiencias básicas:

- a) Debido a la dificultad para representar la secuencia de ejecución de un gran número de actividades, sólo es conveniente -- desagregar el proceso en actividades principales (de gran volumen o significado para el proceso). La planeación y programación de las actividades "menores" (componentes de las actividades principales), queda en este caso a juicio del personal directivo secundario, encargado de la realización material del proceso.
- b) La secuencia de ejecución de las actividades se determina analizando cada actividad durante la fase de programación, esti-

mando qué partes de otras actividades deben estar concluídas para iniciar la actividad en cuestión. Como consecuencia, la duración del proceso resulta ser una cifra desconocida.

- c) No es posible decidir qué actividades controlan la duración del proyecto, ya que aparentemente todas son de igual importancia. Este hecho provoca que cuando alguna de las actividades principales se retrasa únicamente existan dos soluciones, posponer la terminación del proceso en un tiempo estimado, ó acelerar todas las actividades para compensar el retraso y -- cumplir con el programa.

- d) Cuando el diagrama de barras es el único medio para hacer la planeación y la programación es imposible preveer con cierta seguridad los recursos requeridos en su realización (material, equipo, maquinaria, mano de obra, etc). Este hecho provoca -- que, con frecuencia el proceso se retrase por no tener los re cursos que se requieren en un momento dado, ya que el consumo de cada recurso durante la duración del proceso puede ser muy irregular. Como resultado de esta situación puede suceder -- que se tenga una cantidad innecesaria de material almacenado, que se tenga equipo desocupado, y, que para alguna adquisición se necesite más capital del existente (siendo que se hicieron gastos en momentos innecesarios). Estos hechos evidentemente incrementan el costo de ejecución y son inconvenientes.

HISTORIA DE CPM.

Reconociendo las deficiencias del método tradicional fué como en-

la década de los años cincuentas se desarrolló el Método de Ruta Crítica CPM, cuyos inicios se remontan a 1956, año en que la E.I. DUPONT proporcionó a un grupo de trabajo de su División de Estudios de Ingeniería, las facilidades necesarias para desarrollar una nueva técnica aplicable a la administración de las funciones ingenieriles realizadas en la compañía; así, la primera aplicación de la técnica en la planeación y programación de un proyecto la realizó la DUPONT, con resultados bastante alentadores. El grupo encargado de esta aplicación, utilizó una computadora - - - UNIVAC I para estos efectos, evaluando a la vez el potencial de las computadoras en la programación de la construcción. También como consecuencia, varios matemáticos trabajaron en una aproximación general, teorizando acerca de la confiabilidad y utilidad de los resultados de las computadoras en la secuencia de los Procesos Productivos y en la importancia de la duración de cada actividad, ya que con esta técnica se iniciaba un nuevo capítulo en la programación del trabajo de cualquier Proceso Productivo.

A principios de 1957, la UNIVAC APPLICATIONS RESEARCH CENTER, bajo la dirección del Dr. John W. Mauchly, conjugó los trabajos realizados en 1956 por la DUPONT y por los matemáticos que se avocaron al estudio de esta técnica; dicho trabajo fué realizado por James E. Kelley Jr. de REMINGTON RAND (UNIVAC) y Morgan R. Walker de la - - DUPONT; el concepto original fué revisado y las rutinas de cálculo resultantes de la revisión, dieron origen a las bases del Método de Ruta Crítica CPM (Crithical Path Method). Es interesante mencionar que no se realizaron cambios fundamentales a las bases del trabajo original, sino que únicamente se organizó y se le dió un

enfoque más metodológico.

En diciembre de 1957, el grupo de investigación se avocó a aplicar la nueva técnica, llamada en esos tiempos el método de Kelley-Walker; a este grupo de investigación junto con un grupo de programación le fué asignada la planeación de la construcción de una planta química, en Louisville (Kentucky) con un costo de 10 millones de dólares. Para marzo de 1958, ambos grupos de trabajo habían completado sus funciones, los cálculos en costo y en planeación calculados por cada grupo fueron casi iguales; bajo estos resultados, la Compañía decidió que el trabajo fuera realizado preferentemente por subcontratistas de la DUPONT. También se introdujeron ciertos cambios de diseño con los cuales, además de mejorar notablemente el proyecto, se redujo en un 40% el costo considerado originalmente.

Posteriormente a este primer caso, el equipo de prueba planeó con dicho método la realización de un proyecto de 2 millones de dólares; para julio de 1958, los cálculos de este proyecto también habían sido concluidos y la dirección de la UNIVAC APPLICATIONS - RESEARCH CENTER había comprendido el potencial de este nuevo sistema. No obstante, estos dos proyectos no se terminaron en el tiempo estimado por causas ajenas; para obtener una prueba más fidedigna, el equipo se avocó a realizar lo que hoy se conoce como la reprogramación y además dió un nuevo enfoque al Método para aplicarlo también en el manejo de recursos. En este particular, notaron que el manejo de recursos era igualmente peligroso sin la existencia de reprogramaciones periódicas de los consumos reales-

del proyecto, se avocaron a dar también solución a este respecto.

Estas pruebas realizadas por la DUPONT son los únicos ejemplos -- existentes de la aplicación experimental controlada del Método de Ruta Crítica (C.P.M.). (1)

En 1958 el Dr. John W. Mauckly integró una Compañía bajo el nombre de Mauckly Associates, teniendo como socios a James E. Kelley Jr. y Morgan Walker. La DUPONT por su parte, continuó utilizando y perfeccionando el método CPM para sus propósitos. Desde un principio y a través de cursos organizados por la Compañía, la Mauckly Associates enseñó y dió a conocer los avances que en CPM se habían logrado, particularmente en lo que respecta a asignación de recursos y costos. Gradualmente otras firmas comenzaron a utilizar semejanzas de CPM, pero desde que se dió a conocer el fundamento de CPM por la industria privada, se suscitaron situaciones paradójicas de competencia, ya que tanto universidades, como firmas y despachos de consultoría deseaban retener para sí, el descubrimiento de las rutinas en base de este método; sucesos como éste ilustran en parte la visión que ya se tenía del alcance de CPM en el control de proyectos. Los creadores del método habían incluso augurado estos sucesos, ya que el sistema fué concebido sobre bases lógicas, comunes y no complicadas, pero aún así los primeros años fueron difíciles; aún hoy en día, hay que admitir que sólo una minoría de las industrias con necesidades de control en sus proyec -

(1) Las memorias de la Eastern Joint Computer Conference of 1959 contienen un reporte completo de estos dos casos, preparado por Kelley, Walker y Messers.

tos entienden o utilizan la técnica correctamente.

Casi simultáneamente, en enero de 1958, se originó el método PERT (Program Evaluation and Review Techniques, o Program Evaluation - Research Task como originalmente se le llamó). Esta segunda técnica fué concebida por la Oficina de Proyectos Especiales de la - Fuerza Naval de los Estados Unidos de América, a la cual se le -- asignó el manejo y control del Programa de Misiles Polaris; en es- -- tás fechas el Programa Polaris se conducía por buen camino y el - trabajo asignado a la Oficina de Proyectos Especiales (SPO Special Projects Office) consistía en monitorear y controlar el programa.

Existían más de 3,000 subcontratistas y agencias trabajando en el programa, cada una responsable de entregar a tiempo sus obras y/o pedidos para concluir en la fecha esperada; para coordinar las bas- -- tas entregas de estos subcontratistas, la Oficina de Proyectos Es- -- peciales instituyó reuniones semanales con el personal clave, en - las cuales se analizaba el efecto y las alternativas cuando un -- subcontratista se retrasaba ligera o grandemente. Este tipo de - trabajo originó que la Oficina de Proyectos Especiales quisiera - organizar y realizar su trabajo mediante un método de análisis -- de las alternativas por retrasos (PERT); la magnitud del problema hacía que se requiriese además, del empleo de aproximaciones calcu- -- ladas por computadoras.

En julio de 1958 se generó un reporte de la fase 1 del proyecto, - el cual subrayaba las bases teóricas de la técnica y el propósito de la aplicación del método. En septiembre se describieron a de- -- talle, en el reporte de la fase 2, los procedimientos a emplear en

el uso y la aplicación de PERT, y para octubre 16 del mismo año - se condicionó a controlar por PERT el trabajo de los primeros subcontratistas del proyecto POLARIS.

El primer paso de la aplicación de PERT en POLARIS consistió en - la localización de aquellas actividades clave que tuvieran que -- ser realizadas de acuerdo al programa de actividades para no re - trazar el proyecto; a continuación se identificaron aquellas ac - tividades que podían sufrir retraso pero en cantidad mínima.

Ambos tipos de actividades eran monitoreadas quincenalmente para - su revisión en la computadora, para evaluar así el estado del pro - grama.

Para junio de 1962, el Secretario de la Defensa observó que la rea - lización del proyecto POLARIS había sufrido una reducción nota - ble en tiempo, con un costo de control bajo; él mismo acordó, co - mo esencial, la aplicación de control de proyectos en el futuro, - declarando que en adelante todo subcontratista que trabajara para construcciones gubernamentales, debería emplear dichas técnicas.

En el estudio llamado "La Aplicación de Nuevas Técnicas" de la -- Universidad de Investigaciones Hofstra, se observa que indudable - mente PERT tuvo su origen en el método CPM, ya que éste último co - menzó a desarrollarse entre 1956 y 1957, con las investigaciones - realizadas por el grupo que formaron la DUPONT y la REMINGTON -- RAND; de cualquier forma, es claro que aunque en ambos casos se - utilizaron antecedentes para su creación, el grupo de PERT tuvo - como ventaja el material publicado por el grupo de CPM.

La realidad es que ambos métodos (PERT Y CPM) solo difieren básicamente en el cálculo de las duraciones estimadas, razón por la cual en lo sucesivo se hará referencia al método de Ruta Crítica CPM, y puesto que la estimación de la duración de las actividades existentes en un proyecto es importante, el apéndice número 1 de esta tesis está destinado a estudiar la forma de cálculo de tales duraciones bajo ambos métodos.

VENTAJAS DEL METODO CPM.

Aunque en los capítulos subsecuentes se detallan las características del Método CPM, a continuación se destacan las principales ventajas que éste incorpora:

- a) Permite descomponer un proceso productivo en actividades de diferentes categorías de importancia.
- b) Hace posible el coordinar eficientemente el trabajo de los diferentes organismos involucrados en cada una de las etapas del proceso productivo.
- c) Permite utilizar eficientemente la experiencia del personal directivo.
- d) Se determinan cuáles son las actividades que controlan la duración del proceso productivo (actividades críticas), y las holguras o márgenes de tiempo disponibles para retrasar la terminación de las otras actividades, sin retrasar la terminación del proceso.
- e) Permite efectuar un equilibrio entre tiempo y costo, mediante

la intensidad en el manejo de los recursos, de acuerdo a los intereses de quienes realizan el proyecto.

- f) Se conocen anticipadamente las cantidades requeridas diariamente de cada recurso durante la ejecución del proceso.
- g) Permite analizar el efecto de cualquier situación imprevista, y tomar medidas correctivas eficientes.
- h) Permite deslindar las responsabilidades de los diferentes organismos encargados de ciertas partes del proceso.
- i) Hace que el personal directivo solo tenga que intervenir cuando ocurre una situación imprevista.
- j) Las sustituciones de personal directivo no transtornan la ejecución del proceso productivo.
- k) Se puede emplear la experiencia adquirida en la ejecución de proyectos similares elaborando planes standard.

APLICACIONES DEL METODO CPM.

Desde 1958 el método CPM se ha aplicado en Estados Unidos y Canadá a problemas de muy diversa naturaleza (industrial, comercial, militar, ingenieril, etc.). En México ha sido empleado por diversos organismos; la Secretaría de Obras Públicas (hoy SAHOP) y la Dirección General de Construcción de Edificios lo aplican desde 1961 con magníficos resultados; la Comisión Federal de Electricidad lo adoptó igualmente desde 1962 para la planeación, programación y control de las grandes obras de electrificación que se rea

lizan en el país, y lo mismo sucede con varias compañías constructoras importantes.

Finalmente debe quedar claro que el objetivo de un Proceso Productivo puede ser de naturaleza muy diversa: Industrial, Comercial, Técnica, Científica, Administrativa, Artística, etc.

Algunos ejemplos de objetivos posibles son producir un artículo comercial, ejecutar una construcción de cualquier clase, elaborar un diseño de una pieza para una maquinaria, etc.

C A P I T U L O I I

CAPITULO II.- BASES DE CALCULO DEL METODO DE RUTA CRITICA.

FUNDAMENTOS DEL METODO DE RUTA CRITICA.

Existen condiciones fundamentales, las cuales hay que cumplir para obtener una planeación y programación eficiente de un proceso productivo. Estas condiciones son:

- a) Tener personal con experiencia en la ejecución de procesos similares o con conocimientos amplios en cada una de las fases del proceso en cuestión.
- b) Conocer los métodos posibles de realización del proceso, de acuerdo con los recursos humanos, económicos, de equipo, de espacio, de materiales, de maquinaria, etc., disponibles para el proceso.
- c) Tener en cuenta los tiempos exigidos para la terminación de cada una de las fases del proceso, y las condiciones ambientales de clima, etc., en que va a realizarse dicho proceso.

En general, la planeación y la programación de un proceso productivo requieren la participación de todo el personal directivo encargado de realizar el proceso. Mientras más cuidadosa sea la planeación y la programación de éste, mejor será el aprovechamiento de los recursos disponibles, y por lo tanto, mayor será la eficiencia de la ejecución del proceso.

Usualmente no es posible elaborar el plan y el programa definitivo de un proceso en un primer intento, sino que una vez elaborado éste, hay necesidad de someterlo a revisión por las diferentes áreas o personas involucradas en su formación y modificarlo, si

es necesario, para satisfacer mejor las condiciones del organismo encargado de realizar el proceso.

Con objeto de facilitar el enunciado de las actividades de un proceso productivo y evitar la posible omisión de alguna de ellas, es recomendable proceder de la siguiente forma:

- a) Dividir el proceso en un conjunto de actividades principales o de primer orden.
- b) Subdividir enseguida a estas actividades en actividades de segundo orden, y continuar así sucesivamente hasta llegar al deseado. Procediendo de esta manera, es evidente que la planeación y la programación de cada una de las actividades de primer orden, por ejemplo, deberá hacerse considerando a esta actividad como un proceso compuesto de las actividades de segundo orden que la integran y así sucesivamente.

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

Como ejemplo de la primera fase de la planeación de un proceso productivo supondremos que se trata de dotar de agua potable a cierta zona.

Las actividades principales podrían ser:

1. Trazo
2. Tendido tuberías

3. Hacer cepas
4. Rellenado de cepas
5. Adquisición de tuberías.

Evidentemente, algunas de las actividades anteriores pueden subdividirse en actividades de segundo, y, probablemente, también en actividades de tercer orden.

El siguiente paso de la planeación de un proceso productivo es el de determinar el orden o la secuencia de ejecución de las actividades del proceso, para lo cual hay que tener en cuenta los requisitos del proceso mismo, y las condiciones particulares de la entidad que va a realizarlo.

En esta segunda fase ya se hace uso del método de Ruta Crítica, el cual se basa en la representación gráfica integral del plan para la ejecución de un proceso productivo, por medio de un diagrama de flechas llamado también Red de Flechas.

CONCEPTOS BASICOS DEL DIAGRAMA.

El Diagrama de Flechas consiste en graficar un conjunto de dos o más puntos unidos entre ellos por una o más líneas. A los puntos de la gráfica se les llama nodos o eventos. A los eventos se les designa con un número, cuidando de no repetir ninguno y se encierran por convención en un círculo.

Cada par de eventos se unen por medio de una flecha, la cual deberá ser con línea continua cuando se representa una actividad, y con línea discontinua cuando se representa una actividad ficticia o de liga. La gráfica resultante es el llamado diagrama de fle -

chas.

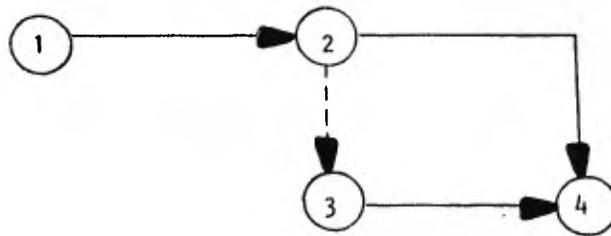


FIGURA 1

En el diagrama de flechas de la figura 1, se tienen tres actividades o flechas con línea continua, y una actividad ficticia o de liga. Las actividades sí consumen tiempo y las ligas o actividades ficticias, no.

A las flechas se les define por medio de los números, siendo éstos el número del nodo inicial, conocido como nodo i y el número del nodo final, conocido como nodo j .



Así, con respecto al diagrama de flechas de la figura 1, tenemos que:

En la actividad 1 - 2, el nodo i es el 1 y el nodo j es el 2

En la actividad 2 - 4, el nodo i es el 2 y el nodo j es el 4

En la actividad 3 - 4, el nodo i es el 3 y el nodo j es el 4

En la actividad ficticia 2 - 3, el nodo i es el 2 y el nodo j es el 3

El diagrama de flechas puede considerarse como una red compuesta de ductos, por los cuales puede circular un flujo en el sentido de las flechas y el cual termina en el nodo final.

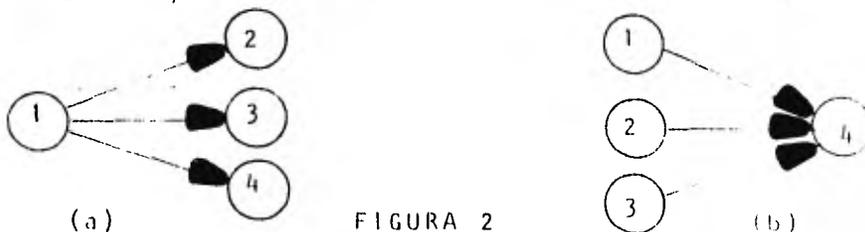


FIGURA 2

Dentro del diagrama de flechas existen casos de actividades que pueden iniciarse simultáneamente y se representan con flechas cuyo nodo inicial es el mismo (figura 2a); asimismo existen actividades que pueden terminarse simultáneamente y se representan con flechas cuyo nodo final es el mismo (figura 2b). Es conveniente hacer notar que las actividades de la figura 2a no necesariamente deben iniciarse simultáneamente. De la misma forma, las actividades de la figura 2b no necesariamente deben terminarse simultáneamente; en ambos casos dependerá de las duraciones de cada actividad.

Las actividades ficticias son de gran ayuda y entre otros usos -- sirven para poder definir una actividad sin que quede duda de qué actividad se trata.

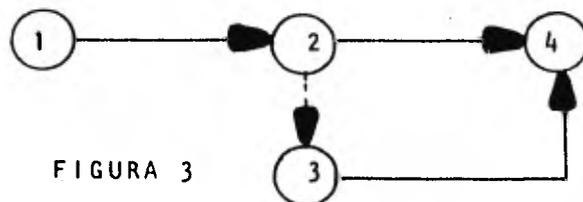


FIGURA 3

Del diagrama de la figura 3, se observa que la actividad 2-3 se puede iniciar después de que se termina la actividad 1-2, y que asimismo la actividad 3-4 se puede iniciar después de que se termine la actividad 2-3. Considerando que las actividades ficticias no consumen tiempo, se puede decir que la actividad 3-4 podría -- iniciarse una vez terminada la actividad 1-2, por lo que se podría llamar en lugar de actividad 3-4, actividad 2-4, pero existirían entonces dos actividades 2-4 y sería difícil saber a qué actividad se haría referencia cuando se mencionara la actividad 2-4; es por esto que para evitar confusiones se dibuja una actividad ficticia o de liga.

Otro ejemplo del uso de las ligas es el que sigue:

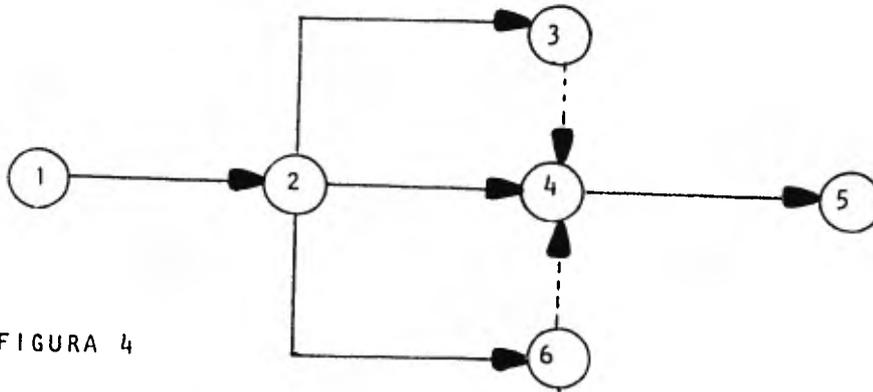


FIGURA 4

Otra situación bajo la cual se hace uso de las actividades ficticias se ejemplifica en la figura 4, caso en el cual las actividades 2-3, 2-4 y 2-6, quedan completamente definidas, no sería así si no se hubieran definido las actividades ficticias 3-4 y 6-4, puesto que hubieran quedado tres actividades 2-4.

En resumen, para trazar el plan de un proceso productivo, se hace uso del diagrama de flechas, con las siguientes características - en las flechas que representan las actividades:



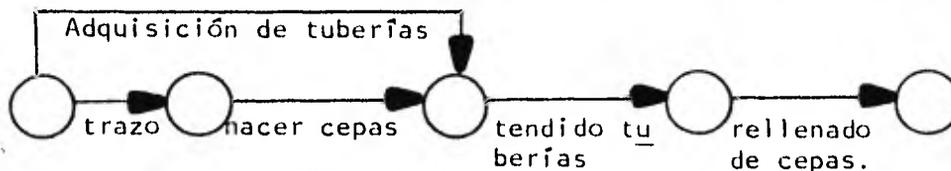
Hay que hacer notar que las flechas no están a escala, pero cuando ya se tiene establecido y calculado el Diagrama de Flechas, es conveniente pasarlo a una escala de tiempo para su mejor comprensión.

Para el trazo del Diagrama de flechas hay que seguir el siguiente orden:

- a) Se revisa la lista de actividades ya establecida y se define - cual o cuales son las actividades que se pueden iniciar en --

primer término. En el caso del ejemplo anteriormente citado, consistente en dotar de agua potable, serían el trazo y la adquisición de tuberías.

- b) Posteriormente se eligen las actividades que pueden iniciarse inmediatamente después de la actividad en cuestión.

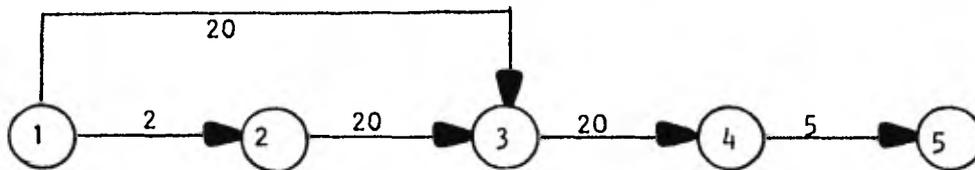


- c) Una vez trazada la Red, se pasa a numerar los eventos.
- d) A continuación se procede a calcular las duraciones de cada actividad. Cabe mencionar que, al calcular y asignar las duraciones de las actividades se debe seleccionar la Unidad de Tiempo que para ser consistentes deberá prevalecer durante todo el proceso productivo; tal unidad de tiempo puede ser minutos, horas, días, semanas, meses, etc. y su elección sólo dependerá del nivel de detalle al que se desee y pueda controlar el proceso productivo.

Es lógico asimismo considerar que la duración estimada para cada actividad está dada en tiempo real, esto significa por ejemplo -- que si la unidad de tiempo elegida fué de " días", los días asignados a cada actividad son días hábiles, omitiendo días festivos y días no laborables. Una pregunta inmediata es entonces ¿Cómo saber a qué fecha corresponde el día X del proyecto? ó si el proyecto termina el día Y ¿A qué fecha corresponde el día Y del proyecto?; la solución que siempre han dado los autores a este respecto consiste en tener a mano una tabla en la que se asocian días de

proyecto con días de calendario.

Para efectos del presente trabajo se considerará que la unidad de tiempo es de días (que es la más usual); así, suponiendo que ya fueron determinadas las duraciones para nuestro ejemplo, tendríamos el siguiente diagrama:



Este Diagrama podría ser un plan de realización para cumplir con el objetivo deseado.

ACTIVIDADES EN FLECHA Y ACTIVIDADES EN NODO.

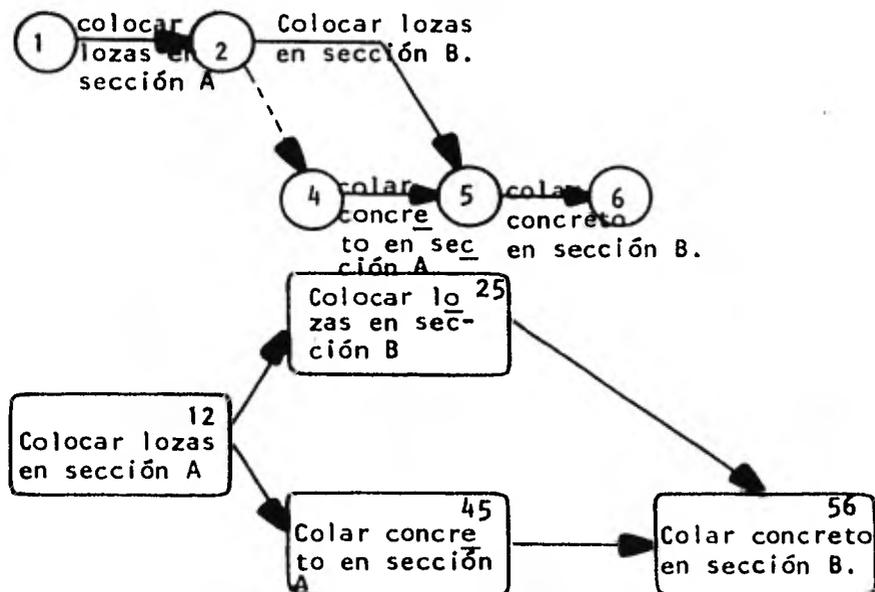
Hasta este momento se ha hecho referencia a la notación de Actividades en Flecha o Activity on Arrow (A/A) y seguirá haciéndose durante el desarrollo de este trabajo, pero existe otro tipo de notación a este respecto y es llamado de Actividades en Nodo o Activity on Node (A/N); la diferencia entre un método de diagramación y otro, estriba en que, cuando las actividades están dadas como Actividades en Flecha, su duración está representada propiamente por la misma flecha y se cuenta con dos nodos (inicial y final), mientras que, las actividades que están representadas como Actividades en Nodo, cuentan con un solo nodo y dentro del mismo se localiza su duración. El cálculo de la red en ambos casos arroja los mismos resultados y desde luego existen ventajas y desventajas entre estos dos métodos de diagramación, algunas de ellas son las siguientes:

a) Por el método de Actividades en Nodo se evita el declarar ac-

tividades ficticias, ya que resulta innecesario.

- b) Por el método de Actividades en Flecha, se puede tener una mejor apreciación de las duraciones, ya que la longitud de la flecha puede representar la duración a cierta escala.

Sin embargo, no es motivo de este trabajo el análisis de estos métodos y sólo para una mejor apreciación, se presenta a continuación el diagrama de un proceso productivo bajo ambos métodos:



CALCULO DE LA RED.

Para el cálculo de la duración de la Red, que es el siguiente proceso, se deben tomar en cuenta los siguientes conceptos:

d_{i-j} = Duración seleccionada de la actividad $i-j$

E_i = Fecha de ocurrencia más próxima del evento inicial i de la actividad $i-j$

E_j = Fecha de ocurrencia más próxima del evento terminal j de la actividad $i-j$

T_{Pi-j} = Fecha de terminación más próxima de la actividad $i-j$

L_i = Fecha de ocurrencia más lejana del evento inicial i
de la actividad $i-j$

l_{Li-j} = Fecha de iniciación más lejana de la actividad $i-j$

De lo anterior vemos que:

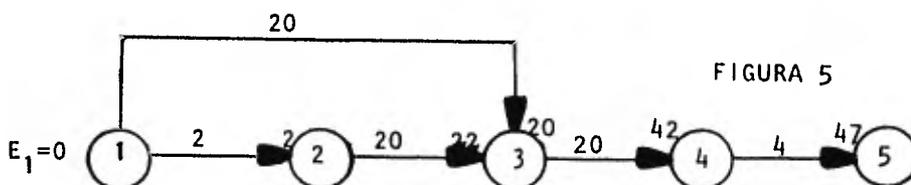
(A) $T_{Pi-j} = E_i + d_{i-j}$

(B) E_j = Máximo de los valores T_{Pi-j} de las actividades que terminan en el evento j .

(C) $l_{Li-j} = L_j - d_{i-j}$.

(D) L_i = Mínimo de los valores l_{Li-j} de las actividades que se inician en el evento i .

En la figura 5 se muestran los cálculos para encontrar E_i en el ejemplo considerado. El número que se pone en la punta de cada flecha es la fecha de terminación más próxima de la actividad correspondiente, (T_{Pi-j}), suponiendo que $E_i = E_1 = 0$.



Se observa que las fechas que rigen son las de mayor valor, estas son:

$$E_2 = 2$$

$$E_3 = 22$$

$$E_4 = 42$$

$$E_5 = 47$$

Estos valores se obtuvieron aplicando las igualdades (A) y (B).

Para encontrar los valores L_i de este mismo diagrama se debe considerar que $L_i = L_5 = 47$ cuando $i=5$, que es el máximo subíndice de i existente, caso en el cual debe ser igual a E_5 ; los valores restantes de L_i se calculan retrospectivamente del final al inicio y el número que resulte para cada i se pondrá sobre el inicio del 1.

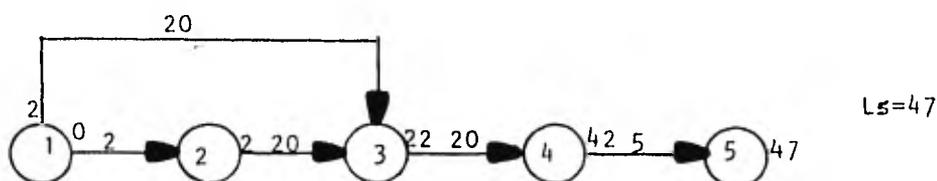


FIGURA 6

En este caso las flechas que rigen son las de menor valor, estas son: $L_1=0$ $L_2=2$ $L_3=22$ $L_4=42$.

CALCULO DE HOLGURAS O TIEMPOS FLOTANTES.

De los dos diagramas presentados en las figuras 5 y 6, se observa que al iniciar la actividad 1-3 el día cero, se llega al nodo 3 - el día 20; por otro lado se definió en el diagrama de E_i , que $E_i = E_3=22$, ésto significa que la actividad 1-3 se puede terminar hasta ese día, ya sea alargando su duración o bien retrasando su inicio, por lo que se intuye que tenemos en esa actividad "Holgura" o "Tiempo Flotante".

Los tiempos E_i , L_i , y L_j para los eventos i y j de un proceso productivo cualquiera, pueden representarse por puntos en una línea del tiempo como se muestra a continuación; así la actividad $i-j$ es representada en la figura 7 (a), mediante una barra recta cuya longitud es d_i-j .

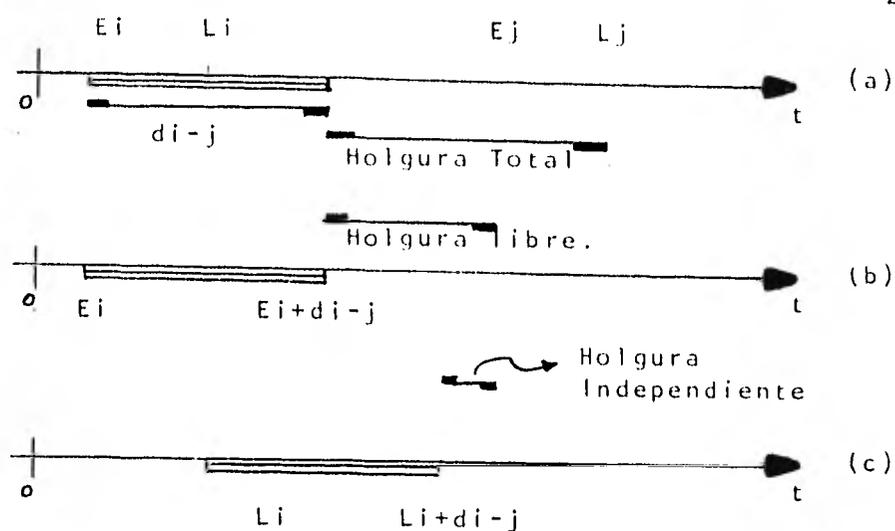


FIGURA 7

Si la actividad $i-j$ se iniciara en el instante E_i , figura 7 (b), su terminación ocurriría en el tiempo $E_i + d_{i-j}$. Este tiempo respecto a E_j y L_j puede tener las siguientes relaciones:

- a) $E_j > E_i + d_{i-j}$
- b) $E_j = E_i + d_{i-j}$
- c) $L_j > E_i + d_{i-j}$
- d) $L_j = E_i + d_{i-j}$

y en base a estas relaciones se obtienen tres diferentes tipos de holguras.

Se llama Holgura Total o Tiempo Flotante Total (Total Float) de la actividad $i-j$, a la diferencia dada por:

$$HT_{i-j} = L_j - (E_i + d_{i-j})$$

Recordando que L_j se obtiene de manera que la terminación del Proceso ocurra en un tiempo preestablecido, es evidente que si la terminación de la actividad $i-j$ en la figura 7 (a) se retrasa hasta L_j , la terminación del proceso no se retrasa. Sin embargo, es

claro que al retrasar la terminación de la actividad $i-j$ hasta L_j , se retrasa el tiempo E_j hasta L_j , y por lo tanto, se retrasan los tiempos E para los eventos subsecuentes a j , y se alteran las holguras de las actividades subsecuentes a la $i-j$. De lo anterior se deduce que la Holgura Total de una actividad cualquiera de un proceso productivo, es el mayor tiempo que puede retrasarse la terminación de la actividad sin retrasar la terminación del proceso.

Se denomina Holgura Libre o Tiempo Flotante Libre (Free Float) de la actividad $i-j$, a la diferencia dada por:

$$HL_{i-j} = E_j - (E_i + d_{ij})$$

Recordando que E_j se obtiene como el mayor de los tiempos de terminación de las actividades que terminan en j , es evidente que si la terminación de la actividad $i-j$ en la figura 7 (b) se retrasa hasta E_j , no se afectan los tiempos E para los eventos subsecuentes a j , y, desde luego, no se retrasa la terminación del proceso. La Holgura Libre de una actividad, es entonces el mayor tiempo que puede retrasarse la terminación de la actividad sin afectar las holguras de las otras actividades del proceso.

Como ejemplo del cálculo de las holguras total y libre, se presenta el diagrama de la figura 8:

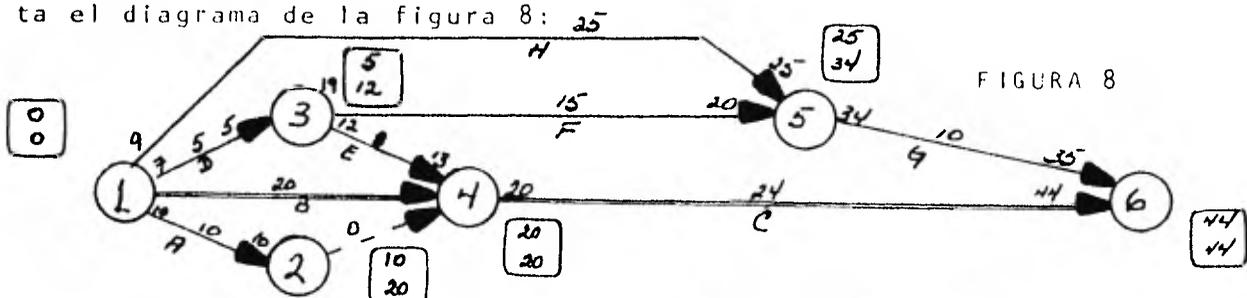


FIGURA 8

Donde tenemos que $E_3 = 5$, $L_3 = 12$, $E_5 = 25$, $L_5 = 34$, $d_{3-5} = 15$ y -

por lo tanto:

$$HT_{3-5} = 34 - (5 + 15) = 14$$

$$HL_{3-5} = 25 - (5 + 15) = 5$$

Se llama Holgura Independiente o Tiempo Flotante Independiente -- (Independent Float) de la actividad $i-j$, a la diferencia dada por:

$$H_{i-j} = E_j - (L_i + d_{i-j})$$

La Holgura Independiente indica el tiempo que puede retrasarse la actividad $i-j$, (ver la figura 7 (c)), cuando la terminación de las actividades que llegan a i se retrasa lo más que se puede (hasta L_i) para no retrasar la terminación del proceso, y sin embargo, - se desea iniciar las actividades que salen de j lo más próximamente posible (en E_j). La Holgura Independiente puede resultar negativa, en cuyo caso, si la ocurrencia del evento i se retrasa a L_i , entonces E_j debe retrasarse necesariamente.

Para la actividad 3 - 5 del diagrama anterior (figura 8),

$E_3 = 5$, $L_3 = 12$, $E_5 = 25$, $L_5 = 34$, $d_{3-5} = 15$; en consecuencia,

$$H_{3-5} = 25 - (12 + 15) = 12$$

Para la actividad 1 - 5:

$$H_{1-5} = 25 - (0 + 25) = 0$$

De estos resultados se concluye que si se fija la ocurrencia del evento 3 a los 12 días, E_5 debe modificarse a $25 + 2 = 27$ días.

RUTA O TRAYECTORIA CRITICA.

Una vez que se ha hecho una selección de duraciones y secuencias para las actividades de un proceso productivo, quedan definidos - los tiempos E y L para los eventos del proceso, y, consecuentemente las holguras de las actividades del mismo.

Se llaman "Actividades Críticas" de un proceso productivo a aquellas actividades del proceso para las cuales La Holgura Total es nula. Al conjunto de actividades críticas del proceso se le denomina "Ruta Crítica" ó "Trayectoria Crítica" ó "Camino Crítico" .

A los eventos de iniciación o de terminación de las actividades críticas se les llama eventos críticos del proceso. En la figura 8 las actividades críticas son: 1-4 y 4-6 (la trayectoria crítica es 1-4, 4-6), y los eventos críticos son 1, 4 y 6.

Otra forma rápida de determinar los eventos críticos es ver cuales tienen las E_i y las L_i iguales; las que tengan esas dos fechas -- iguales serán eventos críticos. En el diagrama de flechas, las actividades críticas correspondientes, se acostumbra representar con las flechas más gruesas.

Cabe observar que:

- a) Hecha una selección de duraciones para las actividades de un proceso productivo, la duración del proceso está determinada por las actividades críticas del mismo, y es igual a la suma de las duraciones de las actividades críticas que se encuentran en una trayectoria, que parte del evento inicial del proceso y que llega al evento terminal del mismo. Para el proceso de la figura 8 la duración es:

$$20 + 24 = 44 \text{ días}$$

- b) Para una selección de duraciones de las actividades de un proceso, las actividades críticas pueden formar varias trayectorias que parten del evento inicial y llegan al evento final del proceso.

c) Si la terminación de una cualquiera de las actividades críticas de un proceso se retrasa t unidades de tiempo, la terminación del proceso se retrasará el mismo tiempo t .

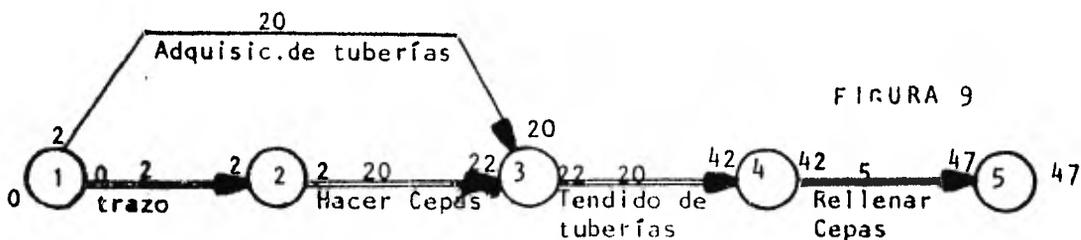
La propiedad anterior muestra que una trayectoria crítica se comporta como un proceso productivo en serie.

d) Una misma duración de un proceso productivo cualquiera, puede lograrse con una infinidad de combinaciones diferentes de las duraciones de las actividades que lo componen.

En virtud de la propiedad anterior, es evidente que la duración del proceso no determina las duraciones de las actividades que lo componen y por lo tanto, dichas duraciones deberán seleccionarse atendiendo a algún otro criterio.

e) Existe otra propiedad concerniente al dibujo de una Red que permite que con las mismas duraciones de las actividades se pueda llegar a obtener una duración total menor en el proceso productivo.

Podemos recordar a manera de ejemplo, el anterior proceso productivo de dotar de agua potable a una cierta zona en construcción, caso en el que hemos calculado la Ruta Crítica en base a la red del posible plan que se había establecido, quedando como sigue:



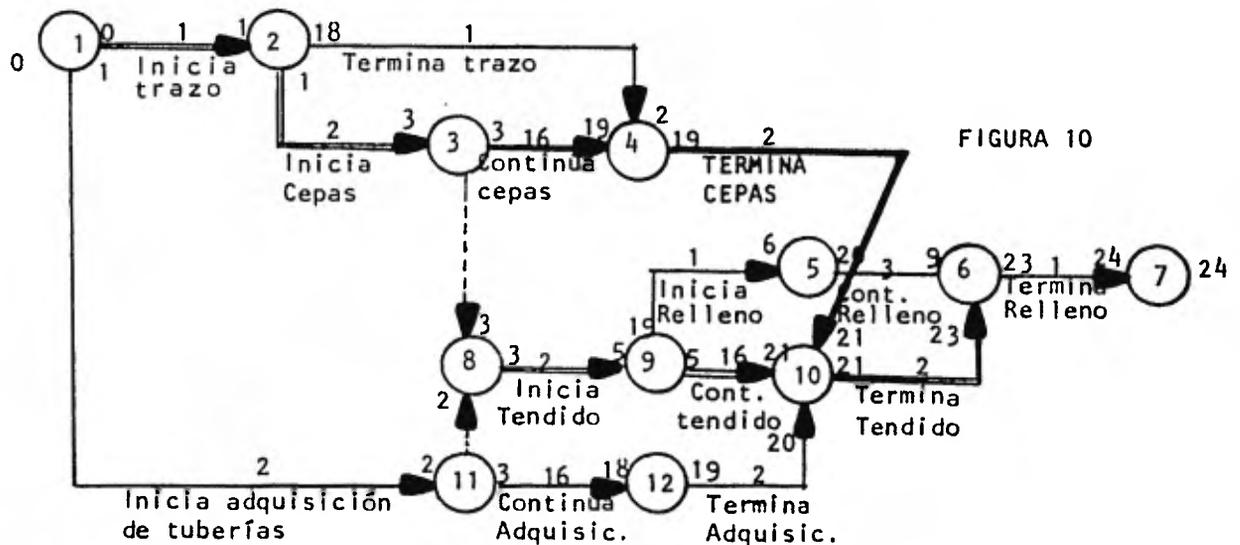
Aquí se consideró que mientras no se terminara el Trazo (Actividad

1 - 2), no se podría iniciar el Hacer Cepas (Actividad 2-3).

También se asume que mientras no se termine la actividad 2-3 (Hacer Cepas), no podrá iniciarse el Tendido de Tuberías (Actividad-3-4), y, por último, para hacer el Relleno se necesita terminar - el Tendido de Tuberías.

La duración del proceso productivo es de 47 días.

Otra forma de hacer la planeación podría ser como sigue:



Donde se observa, como primera ventaja, que la duración total del proceso productivo se acorta a 24 días en vez de 47 días que duraba mediante la otra forma de planeación.

Se ve claramente que la duración total de cada actividad (Trazo, - Cepas, Tendido de Tuberías, etc.) fué la misma en los dos casos. Sin embargo, en este segundo caso se consideró que para iniciar la actividad 2-3 (Cepas), sólo se necesitaba llevar un pequeño avance en el Trazo, tal que permitiera iniciarla sin interferencias.

Asímismo se asume que para realizar la actividad 4-10 (Terminación

de Cepas), se necesitaban haberse terminado las actividades 2-4 - (Terminación del Trazo) y 3-4 (Continuación de Cepas) que es la - que le precede en cuanto a cepas se refiere. Este mismo razona - miento es el que se siguió para todas las actividades del proceso.

TABLA DE TIEMPOS.

Después de haber determinado los tiempos E y L de la Red, como se vió anteriormente, se pasa a calcular las holguras, total, libre e independiente, para cada actividad.

A continuación se clasifican las actividades en órden creciente - del cociente de la Holgura Total de la actividad entre la dura - ción de la misma. Estos cálculos pueden efectuarse conveniente - mente en forma tabular. A la tabla resultante se le llama "Tabla de Tiempos del proceso en cuestión.

ACTIVIDAD		di-j	Ei	Li	Ej	Lj	HTi-j	HLi-j	Hli-j	HTi-j di-j
Descrip.	i-i									
A	1-2	10	0	0	20	20	10	10	10	1.000
B	1-4	20	0	0	20	20	0	0	0	0.000
C	4-6	24	20	20	44	44	0	0	0	0.000
D	1-3	5	0	0	5	12	7	0	0	1.400
E	3-4	8	5	12	20	20	7	7	0	0.875
F	3-5	15	5	12	25	34	14	5	2	0.933
G	5-6	10	25	34	44	44	9	9	0	0.900
H	1-5	25	0	0	25	34	9	0	0	0.360

FIGURA 11

Una vez calculada la tabla de tiempos (véase figura 11), se pueden pasar los valores contenidos a un diagrama de barras. Se supone - primeramente que todas las actividades del proceso se inician lo - más próximamente respecto al evento inicial del mismo. Procedien - do de esta manera se puede mostrar en forma explícita la holgura - total y la holgura libre para cada actividad del proceso como se -

mostró en la figura 7.

DURACIONES DE LAS ACTIVIDADES EN UN PROCESO PRODUCTIVO.

Para determinar las diferentes duraciones de las actividades de un proceso productivo, se debe pensar que el costo directo y los recursos requeridos están íntimamente ligados con la duración. Para una mejor visión del problema se muestra a continuación una lista de diferentes casos de actividades, en los cuales se distingue esa relación.

- a) Actividades para cuya ejecución no hay limitaciones en las cantidades disponibles de personal y de equipo de cierta clase, pero sí de espacio.
- b) Actividades para cuya ejecución hay limitaciones en las cantidades disponibles de personal y de equipo.
- c) Actividades para cuya ejecución hay limitaciones en la cantidad disponible de equipo pero no en la cantidad disponible de personal.

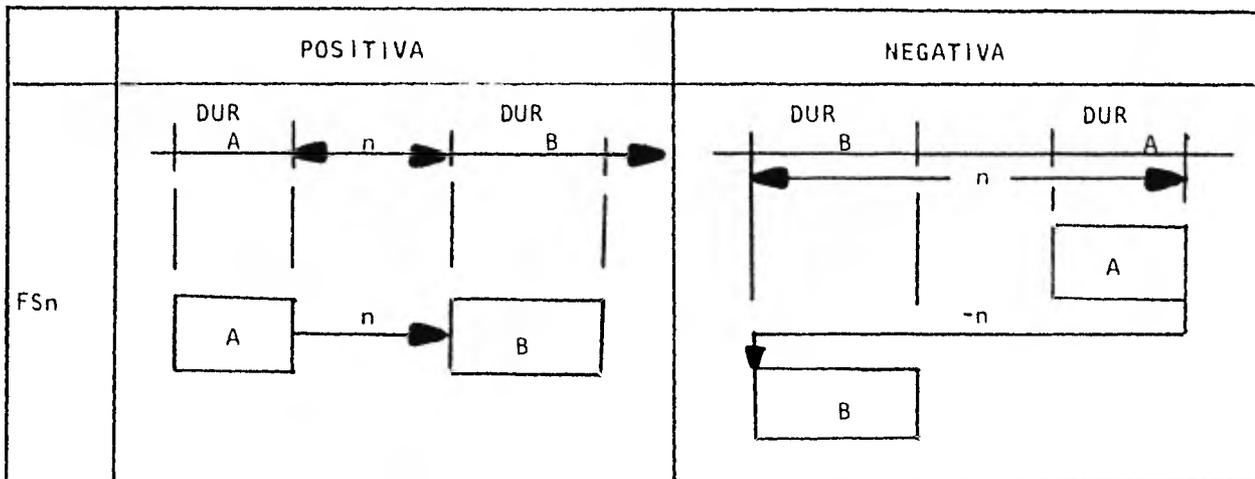
Se observa entonces que la determinación de las duraciones de las diversas actividades de un proceso productivo, implica estudiar el problema real de cada una de ellas. Esto es motivo de una exposición más detallada y por ello me permito tratarlo en el siguiente capítulo.

RELACIONES DE PRECEDENCIAS.

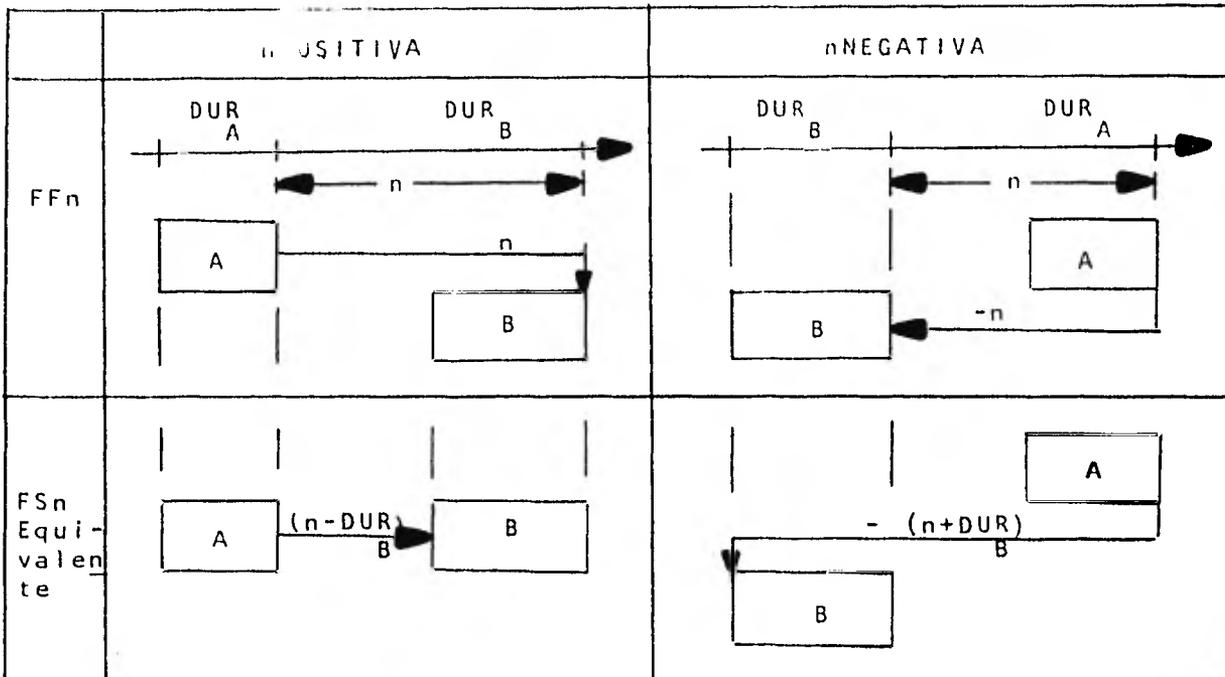
Las Relaciones de Precedencias consisten en la posibilidad de restringir por un número determinado de unidades de tiempo el ini

cio o el final de dos actividades sucesivas (actividades A y B -- respectivamente) y pueden ser de 4 tipos, que son final-inicio, - final-final, inicio-inicio e inicio-final; para una mejor comprensión de las relaciones supongamos nuevamente que nuestra unidad de tiempo es de "días", así:

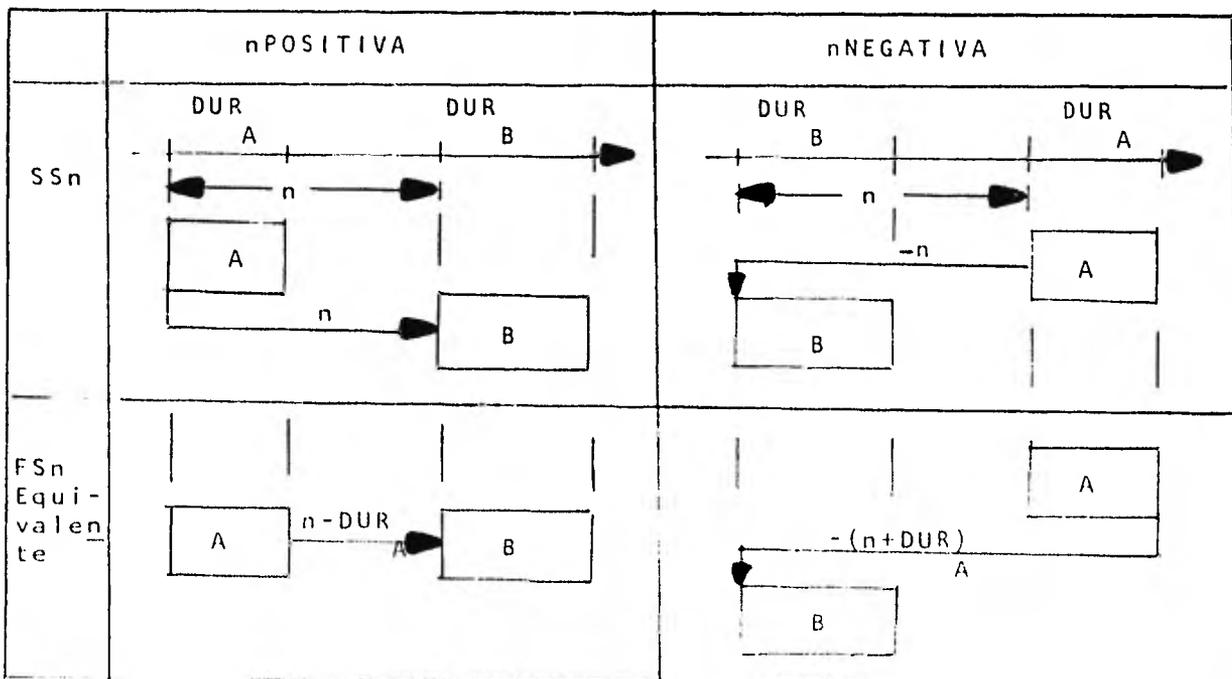
1. Final-Inicio (Finish-Start FS).- Significa que la actividad B solo puede empezar cuando la actividad A tenga n días de - concluída, o después; esto se simboliza como FS_n y, gráfica - mente en la escala de tiempo se puede representar como:



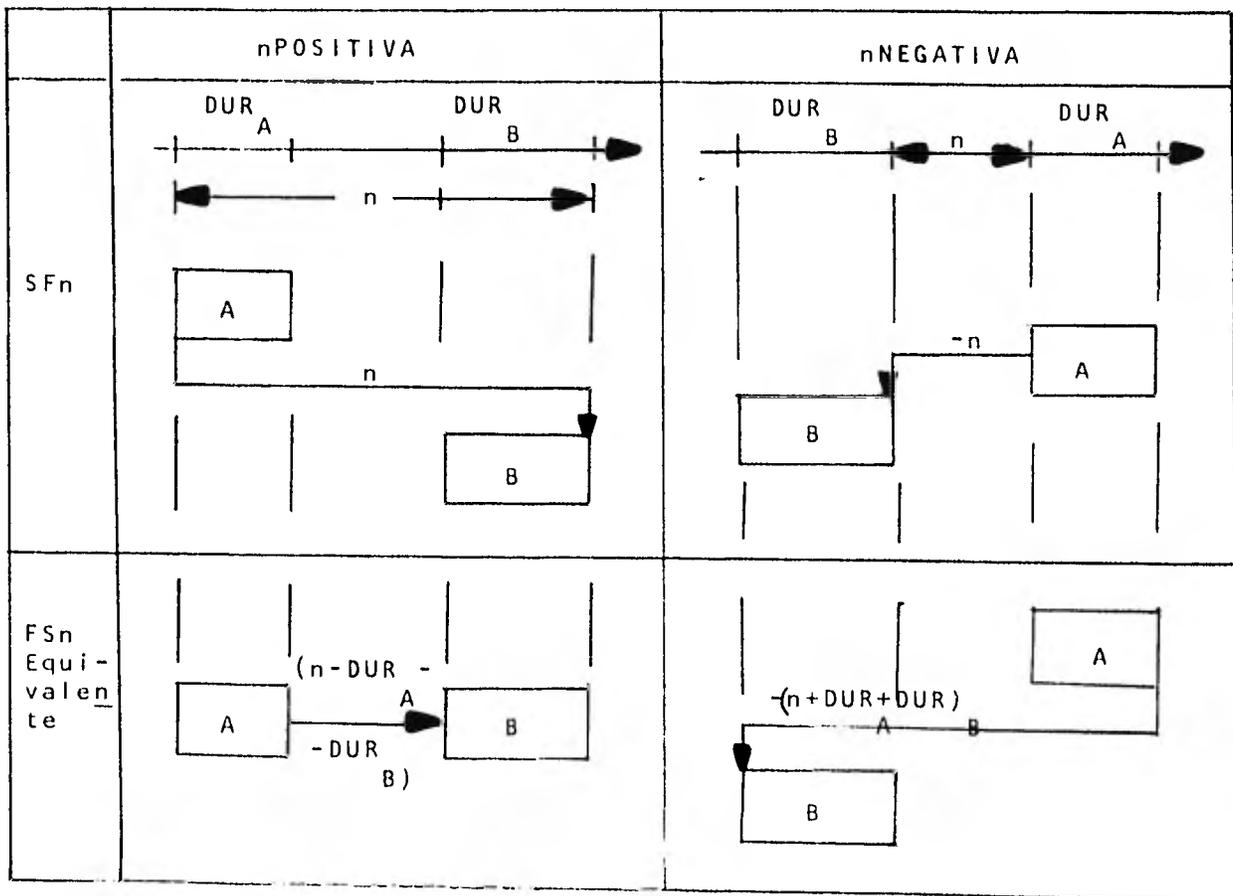
2. Final-Final (Finish-Finish FF).- Significa que la conclusión de la actividad B debe ser n días después de la conclusión de la actividad A, o bien posteriormente. Nótese que esta limitante equivale a decir que la actividad B puede comenzarse -- (n-dur B) días después de haberse terminado A. Gráficamente tendríamos que FF_n significa:



3. Inicio-Inicio (Start-Start SS).- Representa el que la Actividad B solo pueda empezarse hasta que la actividad A tenga n días de haberse iniciado. Como se observa, esta limitante equivale a decir que B solo puede comenzar cuando A tenga $(n - durA)$ días de haberse terminado; gráficamente SSn está dado por:



4. Inicio-Final (Start-Finish SF).- Esta última relación, simbolizada por SFn, significa que la conclusión de la actividad B no debe sucederse antes de que la actividad A tenga n días de iniciada. Como se observa en la gráfica siguiente, esto equivale a no iniciar la actividad B, sino hasta que la actividad A tenga $(n - DUR_A - DUR_B)$ días de haberse concluído.



OBSERVACIONES PRELIMINARES AL METODO.

El método mencionado en las hojas anteriores permite hacer una -
Planeación inicial eficiente de un proceso productivo cualquiera.
Esta planeación está basada en datos estimativos que pueden no co
rresponder a la realidad durante la ejecución del proceso. Por lo
tanto, puede ser necesario hacer modificaciones periódicas a la -
planeación inicial, ya que pueden suceder hechos como los siguien
tes:

- a) Que se detecten errores en la duración y en la cuantificación de algunas actividades.
- b) Que algunas actividades se retrasen por causas imprevistas.
- c) Que sean necesarias modificaciones de algunas partes del proceso.
- d) Que no sea posible disponer de ciertos recursos con la rapidez deseada.
- e) Que no se cuente con la cantidad de personal que se considera
ba disponible.

Hechos como los anteriores pueden invalidar tanto el Plan como el Programa Inicial, y pueden hacer necesaria una revisión de ellos. El método de Ruta Crítica permite analizar los efectos que producen los hechos anteriores, y hace posible tomar decisiones precisas para contrarrestar o eliminar aquellos efectos perjudiciales al logro de los objetivos del proceso en cuestión.

Por otro lado, la aplicación del método de Ruta Crítica utilizado en una computadora electrónica, hace posible realizar rápida -

mente los cálculos requeridos en la Programación Inicial y en las Reprogramaciones subsecuentes, lográndose con ello un control eficiente del proceso productivo; un ejemplo de ello será tratado en el capítulo V.

Desde el punto de vista de control de la realización de un Plan para un proceso productivo, las actividades más importantes son las críticas, e inmediatamente después aquellas para las cuales el cociente Holgura Total entre sus duraciones es pequeño.

Como resultado de lo anterior podemos decir que el método de Ruta Crítica, es un proceso dinámico que requiere:

- a) De personal que realice una planeación inicial de tal forma que se controle la ejecución.
- b) De contacto permanente entre el personal de planeación y personal directivo del proceso, con el fin de que éste último pueda tomar oportunamente las decisiones que aconsejan los análisis que realice el personal de planeación, y cumplir así con los objetivos del proceso de la manera más eficiente.
- c) Disponer de personal que recopile información acerca de rendimientos, avances, situaciones imprevistas, etc. durante la ejecución del proceso y que reporte oportunamente esa información al personal de planeación.
- d) Utilizar computadoras digitales electrónicas para la ejecución de los cálculos requeridos.

C A P I T U L O I I I

CAPITULO III. ASIGNACION DE RECURSOS-COSTOS Y RELACIONES
ENTRE RECURSOS-COSTO-DURACION

CONSIDERACIONES GENERALES.

La Programación de un proceso productivo es en sí la elaboración de tablas ó gráficas en las que se muestran los tiempos de duración, de iniciación y de terminación de las actividades. De acuerdo con esta definición, es claro que la programación de un proceso consta de dos fases:

- a) Selección de la duración de cada actividad.
- b) Selección del tiempo de iniciación de cada actividad.

La selección de la duración de cada actividad deberá hacerse teniendo en cuenta la influencia de dicha duración en los siguientes factores:

- a) Duración del proceso.
- b) Costo y recursos requeridos para realizar la actividad.
- c) Costo del proceso.

La selección del tiempo de iniciación de cada actividad depende de:

- a) La secuencia de la actividad respecto a las otras actividades del proceso, de acuerdo con el plan elaborado.
- b) La posibilidad o imposibilidad de desplazar la terminación de la actividad sin retrasar la duración del proceso.
- c) Una distribución eficiente, en la duración del proceso, de los recursos requeridos para efectuarlo.

De lo dicho en el párrafo anterior, es evidente que una vez propuesto un plan para un proceso productivo, la programación de él-

no puede hacerse si no se determinan las duraciones posibles para cada actividad, y el costo y los recursos requeridos correspondientes a las respectivas duraciones. A esa determinación se le llama Cuantificación del Proceso.

ANÁLISIS DE LAS DURACIONES.

Consideremos un proceso productivo de tres actividades en serie (actividades A, B y C), cuya gráfica de flechas puede ser como se muestra en la figura 1; y sean t_A , t_B y t_C sus duraciones reales respectivamente.

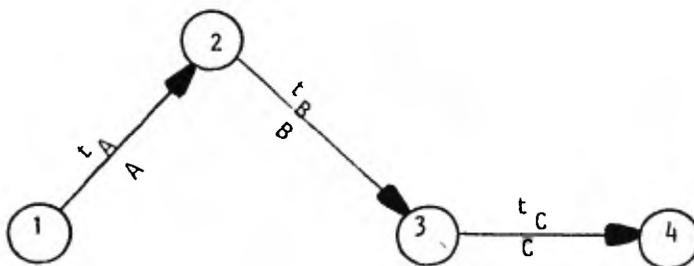


FIGURA 1

Se sabe además que toda actividad tiene una duración máxima y una duración mínima posibles, establecidas por observaciones de lo sucedido en proyectos con actividades similares.

De acuerdo con lo anterior, supóngase que la duración se mide en días y que satisfacen las siguientes condiciones:

$$4 \leq t_A \leq 10 \quad (1)$$

$$8 \leq t_B \leq 20 \quad (2)$$

$$10 \leq t_C \leq 24 \quad (3)$$

Por otro lado, la duración del proceso en serie (A, B, C), es igual a la suma de las duraciones de las actividades A, B y C.

Es decir, si T designa a la duración del proceso en serie, puede escribirse la ecuación:

$$T = t_A + t_B + t_C \quad (4)$$

De las relaciones (1) - (4), se deduce que:

$$(4+8+10) \leq T \leq (10+20+24)$$

$$\text{ó} \quad 22 \leq T \leq 54 \quad (5)$$

Es decir, que la duración del proceso en cuestión debe encontrarse entre 22 y 54 días.

Si se fija una duración para el proceso (A, B, C), que satisfaga la relación (5), es posible encontrar una gran cantidad de duraciones t_A , t_B , t_C que satisfacen las relaciones (1) a (4). Así, por ejemplo, si $T = 35$ días, algunas combinaciones posibles son:

$$t_A \quad t_B \quad t_C \quad T$$

$$10 + 15 + 10 = 35$$

$$6 + 18 + 11 = 35$$

$$4 + 15 + 16 = 35$$

A pesar de la sencillez del proceso que se estudia, es evidente - que fijada una duración T para él, no es posible decir a priori - cual combinación de duraciones (t_A , t_B , t_C) es la más conveniente. Un criterio que puede seguirse es seleccionar la combinación (t_A , t_B , t_C) de duraciones, que para cada duración T del proceso, dé lugar al costo mínimo del mismo. En el capítulo IV, se estudiará con detalle este problema.

Un segundo criterio y no por ello menos importante, consiste en determinar la duración estimada de cada actividad de acuerdo a las reglas del método CPM que existen en este sentido, o bien, de - -

acuerdo a las reglas de PERT si así se desea; claro que por este camino la duración T del proceso resulta ser la arrojada por los cálculos de la red en base a las duraciones estimadas.

Por el método CPM la duración estimada de cada actividad está determinada por $D = \frac{a+m+b}{3}$ donde a y b son respectivamente las duraciones mínima y máxima de una serie de observaciones de actividades similares y m es el promedio aritmético de tales observaciones.

En el caso de PERT tal duración está determinada por $D = \frac{a+4m+b}{6}$.

ANALISIS DE LOS RECURSOS.

Una vez definidas las duraciones de las actividades se deben establecer los recursos requeridos para su ejecución, los cuales pueden ser de 4 tipos:

- Equipo
- Personal
- Material
- Subcontratos.

Por supuesto, para cada tipo de recurso existen distintas clases de ellos mismos y sus respectivos costos; así por ejemplo, dentro del personal podemos tener obreros, administradores, investigadores, etc., respecto a material podemos tener cementos, resinas, varillas, etc., dependiendo además del tipo de proyecto que se esté trabajando. En general, los recursos requeridos para realizar una actividad dependen de numerosos factores, tales como:

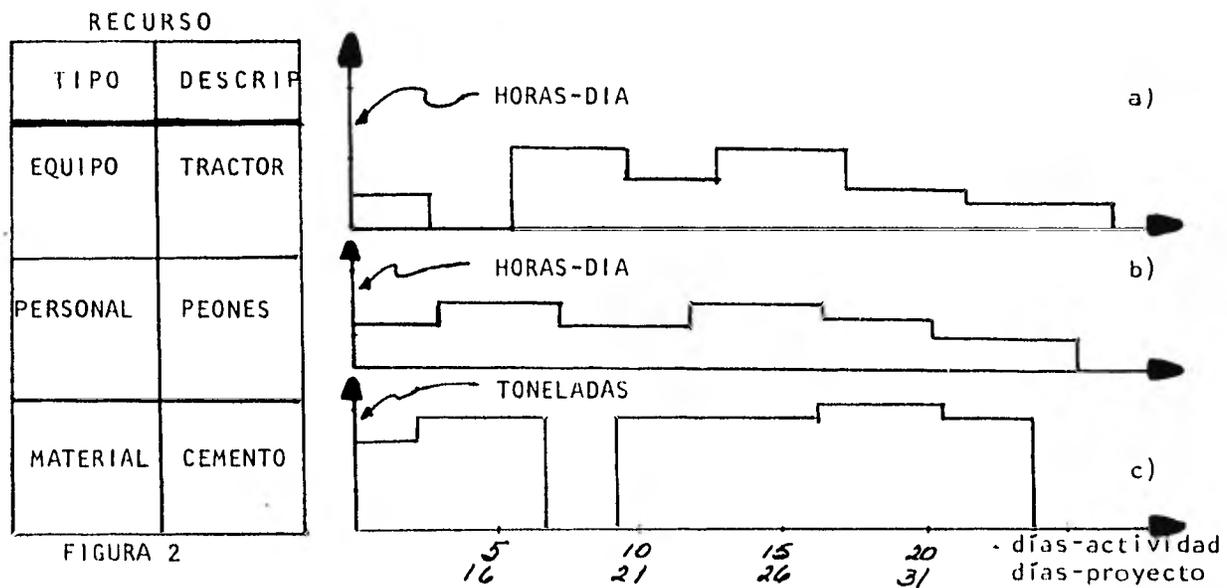
a) Los posibles métodos de ejecución de la actividad, de acuer-

do con los requisitos tecnológicos y la duración que se requiere ejecutar.

- b) La cantidad de dinero disponible para su ejecución.
- c) Los salarios del personal técnico y administrativo que intervengan.

Sin embargo, teniendo en cuenta factores como los anteriores, y estableciendo la duración y la forma de ejecución de una actividad, es posible elaborar una gráfica de los recursos necesarios en la ejecución de cada actividad y determinar la intensidad de uso diario para cada uno de ellos; un ejemplo de este tipo de gráficas se muestra en la figura 2.

ACTIVIDAD (2-3) "LIMPIEZA Y APLANADO"



En esta gráfica se observa que en el eje de las abscisas, se representan las duraciones de las actividades y en el eje de las ordenadas se representa la intensidad de uso diario de los recursos respectivos; por supuesto, estas gráficas pueden hacerse individualmente (una gráfica por recurso). De estas gráficas se obser-

va también que la intensidad de uso puede ser continua o discreta (fig. 2 b y figura 2 c respectivamente),

En forma similar se pueden obtener las gráficas de intensidad de uso diario de cada recurso durante todo el proyecto.

Para ello es necesario haber calculado previamente la red con las duraciones estimadas, y haber determinado los recursos que emplea cada actividad mediante sus correspondientes gráficas de recursos necesarios; así, la gráfica de uso en el proyecto de un determinado recurso, bien podría estar determinada como se muestra en la figura 3 y en la fig. 4.

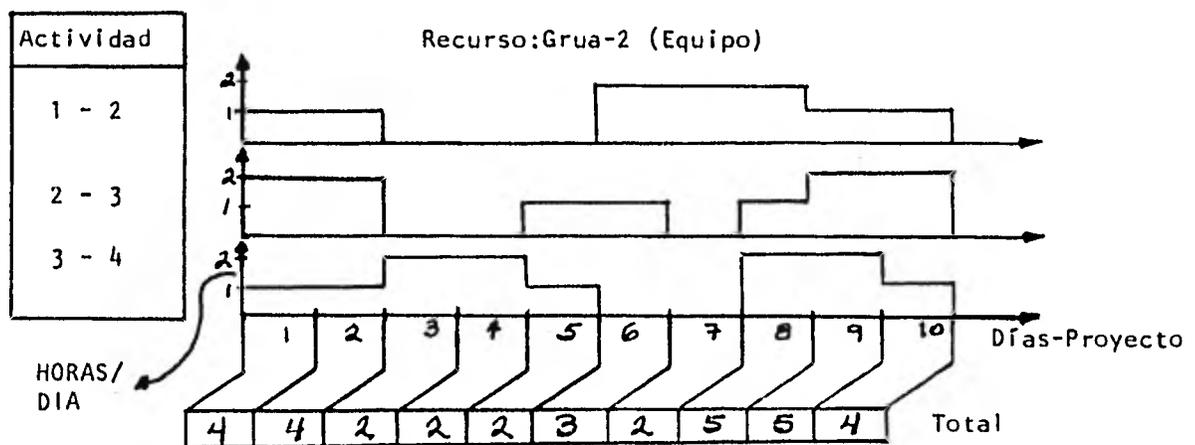


FIGURA 3

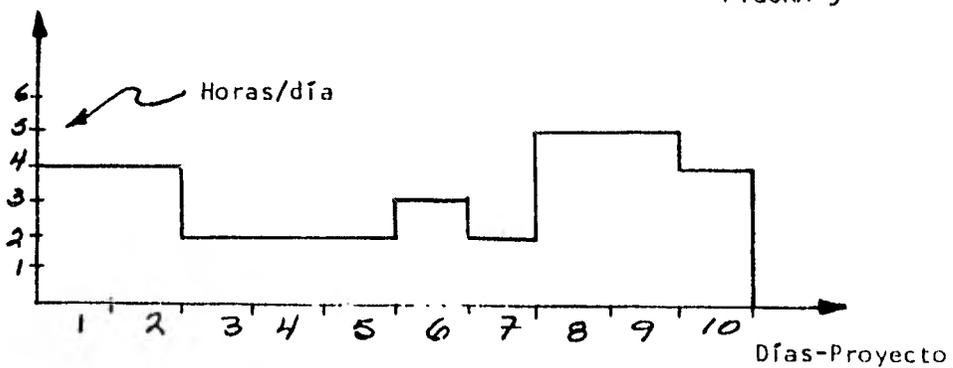


FIGURA 4

En la figura 4 se observa el total durante el proyecto de consumo del recurso en particular; cabe aclarar que, con excepción de los procesos en serie como el que se muestra en la figura 1, normalmente existen holguras al efectuar los cálculos, esto ha generado como regla general que las gráficas de intensidad de uso de los recursos se realicen tomando en consideración las fechas primeras (sin hacer uso de las holguras cuando éstas existan).

Es lógico observar que la información proporcionada por gráficas como la que se muestra en la figura 4 resulta trascendente, ya que con este tipo de información se pueden prever las necesidades diarias de cada clase de recurso y efectuar un muy buen manejo del almacén, al evitar el tener muchas cantidades en exceso de los recursos manejados, ó el tener en ciertos momentos cantidades menores a las requeridas.

ANALISIS DE LOS COSTOS.

La gráfica de costos de una actividad está, muy frecuentemente, formada por un conjunto de puntos aislados, como es el caso de la gráfica presentada en la figura 5, la cual bien puede representar a una actividad en la que el único recurso utilizado son Horas/Obrero, suponiendo además que para concluir tal actividad se necesitan 90 Horas/Obrero distribuídas uniformemente en sus días de duración y que el costo de cada Hora/Obrero en tiempo normal y extra es de \$ 80,00 y \$ 120,00 respectivamente.

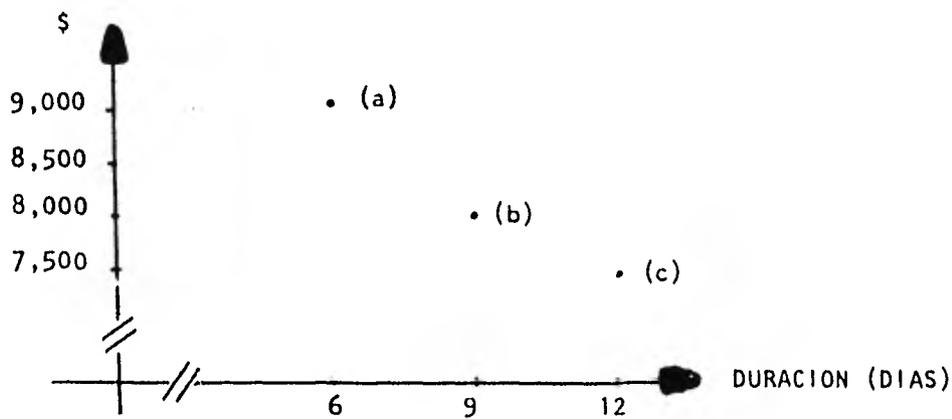


FIGURA 5

Así, de la figura 5 se observa que:

Caso a) $\frac{90 \text{ hrs}}{6 \text{ días}} = 15 \text{ hrs/día}$

De esas 15 hrs: 8 son tiempo normal	\$ 640.00
7 son tiempo extra	<u>840.00</u>
Costo diario	\$ 1,480.00
Costo total	8,880.00

Caso b) $\frac{90 \text{ hrs}}{9 \text{ días}} = 10 \text{ hrs/día}$

De esas 10 hrs.: 8 son tiempo normal	640.00
2 son tiempo extra	<u>240.00</u>
Costo diario	\$ 880.00
Costo total	7,920.00

Caso c) $\frac{90 \text{ hrs}}{12 \text{ días}} = 7.75 \text{ hrs/día}$

De las 7.75 hrs. todas son tiempo normal, por tanto:

Costo diario	\$ 620.00
Costo total	\$7,440.00

Este tipo de gráficas se presenta cuando el número de posibilidades de realizar la actividad es finito, ya que a cada duración co

responde una posibilidad, y por lo tanto un punto de la gráfica de costos; a este tipo de gráficas de costos se les denomina "Gráficas discretas de costos". Estas gráficas son muy útiles para dar idea del costo cuando se desea dar preferencia a la duración y viceversa.

Cabe destacar que es incorrecto unir dos puntos de una gráfica discreta de costos mediante un segmento recto o curvo de línea; un ejemplo de ello se da en la figura 6, en la cual suponemos que para las duraciones D_A y D_B se requiere el uso de una y de dos piezas de equipo pesado respectivamente, lógicamente la duración D_C no sería válida por no disponer de la posibilidad de 1.5 equipos pesados.

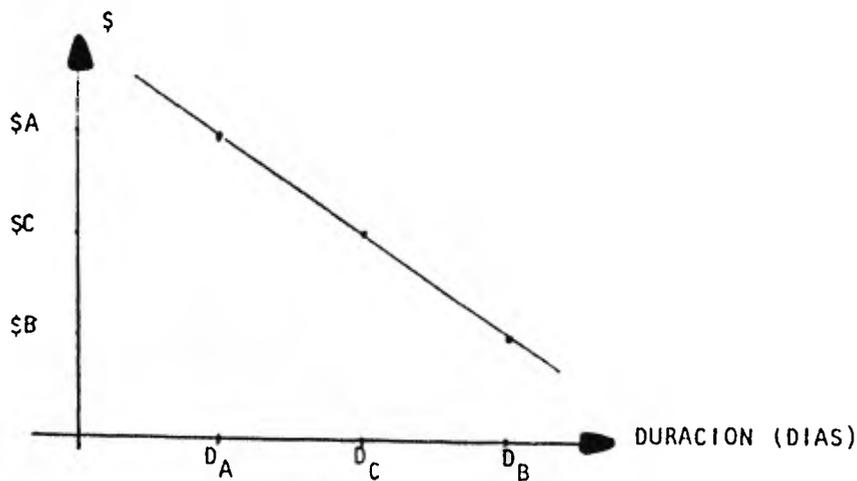


FIGURA 6

En ocasiones existe un número infinito de maneras de ejecutar una actividad. En este caso la gráfica de costos es una curva continua, que puede ser como las curvas de las figuras 7a y 7d.

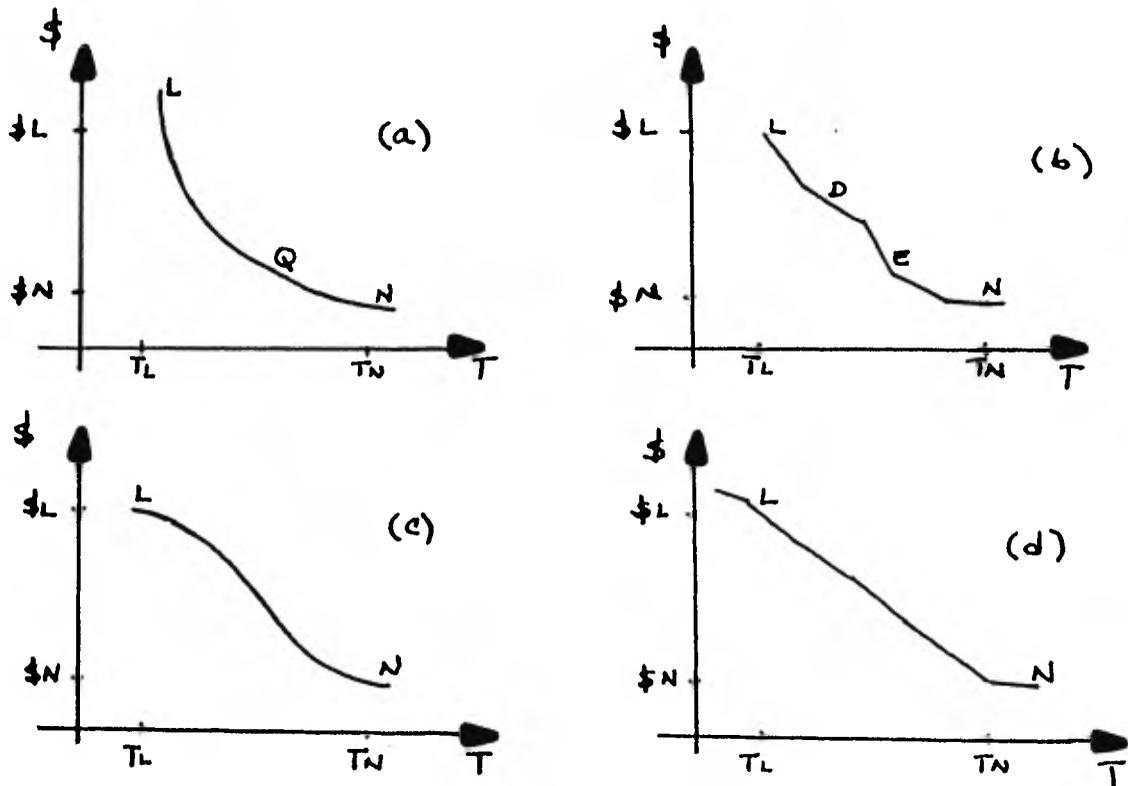


FIGURA 7

En general, la duración de cualquier actividad no puede acortarse indefinidamente, sino que hay una duración límite inferior. A esta duración se le llama simplemente duración límite, y al menor -- costo correspondiente se le llama costo límite. La duración límite se caracteriza porque no puede reducirse, no obstante que se incrementa indefinidamente el personal y el equipo (y por lo tanto -- el costo) que se destine a la ejecución de la actividad; este hecho se expresa diciendo que el costo de duración a partir de T_L es infinito. Por su parte, el costo límite no necesariamente se obtiene al trabajar con la duración límite.

A continuación se presentan, en base a ejemplos, algunos tipos de análisis que se recomienda efectuar cuando existen limitantes en duración, en costo o en recursos. Todos estos análisis tienen como resultado final la correspondiente gráfica de costos, por considerarse que es la más frecuentemente consultada en la toma de decisiones; sin embargo, puede igualmente decidirse en base al consumo de recursos ó de tiempo.

- A) Actividades en cuya ejecución existen limitantes de espacio.
- Supongamos que la actividad A puede ejecutarse disponiendo de personal y equipo en cantidades ilimitadas, y que el director de la ejecución de la actividad organiza varios grupos de trabajo compuestos por el mismo número de personas, de manera que la capacidad de trabajo de cada grupo sea la misma, y asigna a cada grupo equipos con iguales características. Cada grupo trabajando aisladamente puede hacer la actividad A en 100 hr., con un costo de \$ 1000/hr. Analizando las condiciones en que se puede realizar la actividad A, el director de ella determina que 2 grupos pueden trabajar prácticamente sin interferir entre ellos, pero que si trabajan más de 2 grupos simultáneamente, las interferencias entre ellos hacen que el rendimiento -- disminuya. Por otro lado, debido a limitaciones de espacio, no es posible poner a trabajar a más de seis grupos en la misma actividad. Se desea obtener la gráfica de costo de ejecución (costo directo) de la actividad A, si los rendimientos de los grupos a trabajar simultáneamente son los indicados en la Tabla 1.

NO. DE GRUPOS.	RENDIM. DE- LOS GPS. (%)	DURACION DE LA ACTIV. (HRS)	COSTO (\$)
1	100	100	100,000
2	100	50	100,000
3	90	37.04	111,120
4	81	30.86	123,440
5	73	27.40	137,000
6	66	25.25	151,500

TABLA 1

Utilizando la notación:

N = número de grupos

d = duración de la actividad cuando trabajan N grupos

R = rendimiento de N grupos trabajando simultáneamente.

D = duración intrínseca de la actividad expresada en horas-grupo.

Puede escribirse la siguiente ecuación:

$$d = \frac{D}{NR} \quad (6)$$

Ejemplo:

Si trabajan 3 grupos simultáneamente.

N = 3 grupos R = 0.90 D = 100 hr-grupo

$$d = \frac{10 \text{ hr-grupo}}{3 \text{ grupos} \times 0.90} = 37.04 \text{ hr.}$$

Por otro lado, si:

C = costo de la actividad A cuando trabajan N grupos

c = costo por hr. de trabajo de cada grupo (\$/hr-grupo)

resulta:

$$C = Ncd \quad (7)$$

Ejemplo:

Para el caso anterior:

$$C = 3 \text{ grupos} \times \frac{\$ 1000}{\text{hr-grupo}} \times 37.04 \text{ hr} = \$ 111,120$$

En la Tabla 1 se presentan los resultados de los cálculos utilizando

do las igualdades (6) y (7). Dichos resultados se muestran gráficamente en la figura 8.

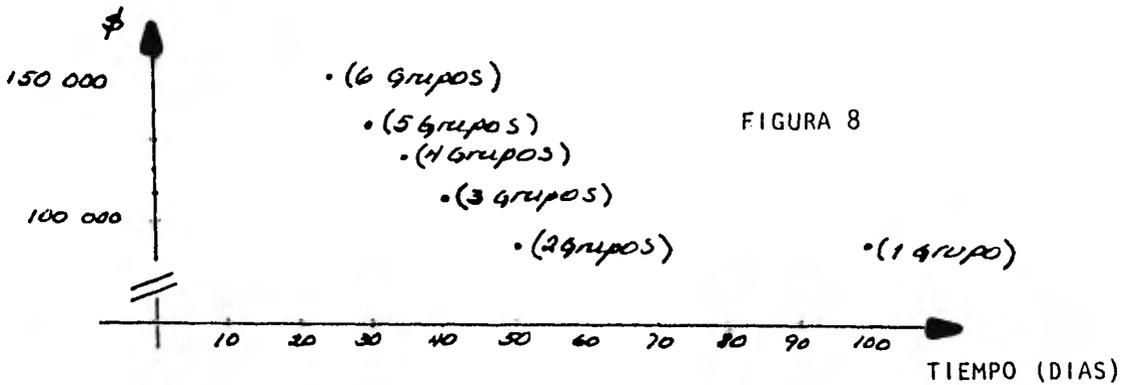


FIGURA 8

B) Actividades en cuya ejecución existe tiempo limitado.

En este caso, si se desea que el grupo de trabajo disponible - (personal y equipo), acorte la duración de ejecución de una actividad A cualquiera, hay necesidad de trabajar tiempo "extra".

Supongamos que se desea determinar la gráfica de costo directo de la actividad A, y que se conoce la siguiente información:

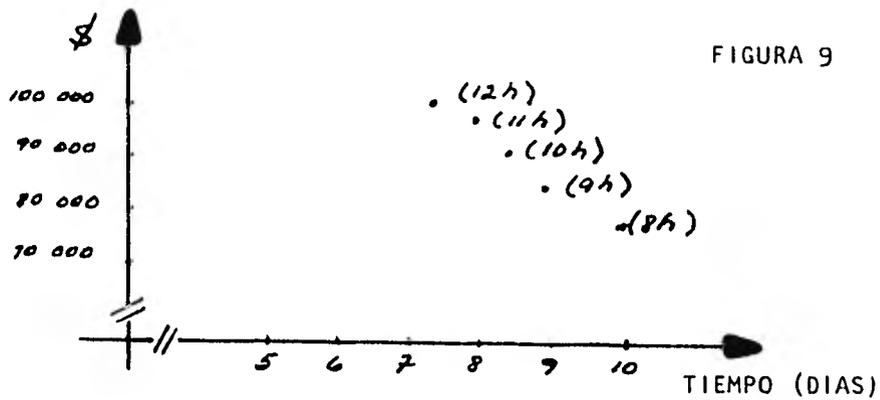
- El grupo de trabajo puede ejecutar la actividad A en 80 hrs. de trabajo normal.
- El grupo trabaja 8 hrs. diariamente en condiciones normales y sólo puede trabajar un máximo de 4 hrs. extras/día.
- Los rendimientos del grupo trabajando horas extras son los mostrados en la columna (2) de la Tabla 2.
- Los costos por hora de trabajo del grupo son: \$ 1000/(hr. normal) y \$ 1.500/(hr. extra).

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
NO. DE HRS. TRAB./DIA.	RENDIMIENTO (%)	NO. DE HRS EFECT. DIA	NO. REQUERIDO DIAS DE TRAB. EFECT	NO. HRS. EFECTIVAS DE TRAB	COSTO (\$)
8	100	8	10	$10 \times 8 + 0 = 80 \text{ hr}$	$10 \times 8000 = 80,000$
9	97	8.73	9.16	$9 \times 8.73 + 1.43 = 80 \text{ hr}$	$9 \times 9500 + 1430 = 86,930$
10	94	9.4	8.51	$8 \times 9.4 + 4.8 = 80 \text{ hr}$	$8 \times 11000 + 4800 = 92,800$
11	91	10.01	7.99	$8 \times 10.01 = 80 \text{ hr}$	$8 \times 12500 = 100,000$
12	89	10.68	7.49	$7 \times 10.68 + 5.24 = 80 \text{ hr}$	$7 \times 14000 + 5240 = 103,240$

TABLA 2

La tabla 2 se elaboró como se indica enseguida. La columna (3) - se obtiene multiplicando las columnas (1) y (2). Por ejemplo: $9 \times 0.97 = 8.73$. La columna (4) se obtiene dividiendo la duración efectiva normal de la actividad (80 hr) entre cada uno de los valores en la columna (3). Por ejemplo: $80 / 8.73 = 9.16$. La columna (5) se obtiene multiplicando la parte entera de los números en la columna (4) por el número correspondiente de la columna (3) y sumando al resultado el número que completa las 80 hrs de trabajo efectivo (normal) requerido para efectuar la actividad A. Por ejemplo, cuando se trabajan 9 hrs/ día: $9.16 = 9 \times 8.73 + 1.43 = 80 \text{ hrs}$. Esto quiere decir que 9,16 días de 9 horas de trabajo por día son equivalentes a 9 días de 9 horas de trabajo por día, más 1.43 hr. de trabajo normal, en el décimo día. La columna (6) se obtiene multiplicando el número de días en que se trabajan horas extras por el costo/día correspondiente, y sumando al resultado el costo del complemento de horas normales.

La gráfica de costos de esta actividad, con la cual bien se puede decidir la duración de ejecución, es mostrada en la figura 9.



- c) Actividades en cuya ejecución existe limitación en la cantidad de algún recurso empleado.

Frecuentemente, la cantidad de algún recurso utilizado en la elaboración de una actividad es limitada; este recurso lógicamente no puede ser un recurso básico para la ejecución, como lo es el material, pero sí puede tratarse de equipo (por ejemplo tractores o grúas); en tales casos, debe reducirse la duración de la actividad de manera que sea aprovechable el equipo durante los días en que sí se dispone de él, así supongamos que solo la cantidad de equipo es limitada y no así el personal disponible. Una alternativa para reducir la duración de tal tipo de actividad, puede consistir en organizarse 2 ó 3 turnos de trabajo al día.

Nuevamente, para una mejor elección, se desea determinar la gráfica del costo directo de la actividad. Supongamos conocido lo siguiente:

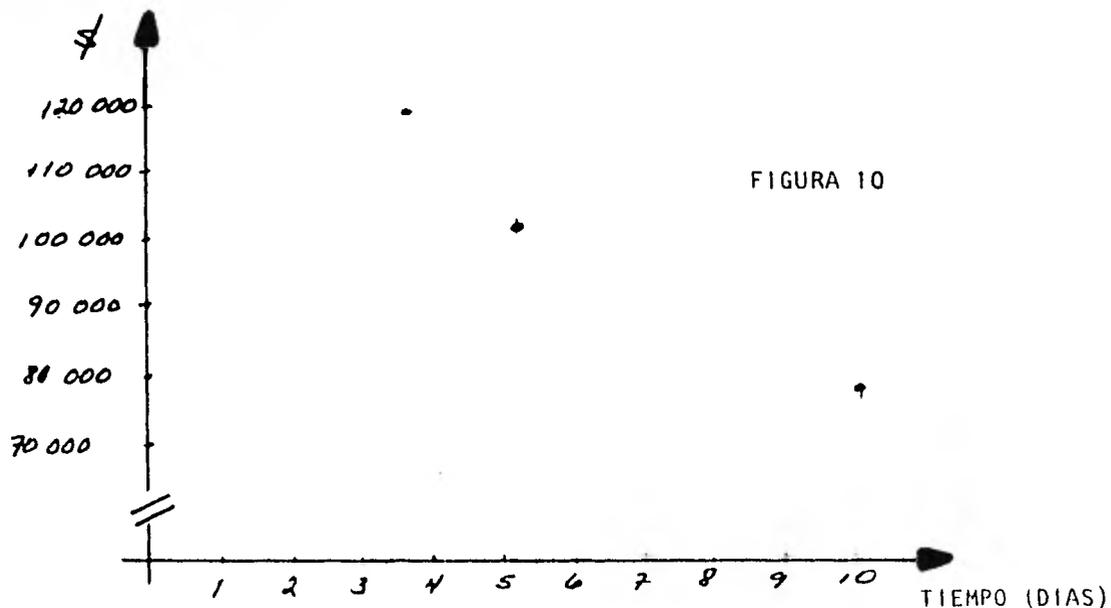
- a) El grupo de trabajo puede ejecutar la actividad en 80 hrs de trabajo normal.

- b) Cada turno trabaja 8 hrs/día.
- c) Los rendimientos de cada turno son los mostrados en la columna 2 de la tabla 3,
- d) Los costos por turno son: \$8000 (turno 1); \$ 12000 (turno 2) y \$ 16000 (turno 3).

TABLA 3

TURNOS	RENDIMIENTO (%)	NO.HRS. EFECT. DE TRAB/TNO	NO.TOT. DE HRS.EFECT. DE TRAB.	NO.REQUER. DE DIAS -- EFECT.TRAB.	NO. DE HRS EFECT. DE TRABAJO	COSTO (\$)
1	100	8	8/1 T	10/1T.	$10 \times 8 = 80$	$10 \times 8000 = 80000$
2	95	7.6	15.6/2 T	5.13/2T.	$5 \times 15.6 + 2 = 80$	$5 \times 20000 + 2000 = 102000$
3	90	7.2	22.8/3 T	3.51/3T.	$3 \times 22.8 + 1 \times 8 + 0.47 \times 7.6 = 80$	$3 \times 36000 + 8000 + 0.47 \times 16000 = 121640$

Los cálculos de la tabla 3 son similares a los de la tabla 2, y la gráfica de costos correspondiente se muestra en la figura 10.



C A P I T U L O I V

CAPITULO IV.- LA PROGRAMACION LINEAL EN LA OPTIMIZACION DEL COSTO DIRECTO ASOCIADO.

COSTO DIRECTO ASOCIADO A LAS DURACIONES POSIBLES DE UN PROCESO.

Ya se observó en el capítulo anterior, que las duraciones posibles de un Proceso Productivo en Serie, se encuentran comprendidas entre la suma de las duraciones límites y la suma de las duraciones normales de las actividades del proceso. Asimismo, hemos visto que hecha una selección de duraciones para las actividades de un proceso productivo cualquiera, la duración del proceso está determinada por sus actividades críticas, y es igual a la suma de las duraciones de las actividades que se encuentran en tal trayectoria crítica.

De acuerdo con lo anterior, la duración posible de un proceso productivo cualquiera, debe encontrarse entre las duraciones totales que resultan para el proceso cuando:

- i) Todas las actividades críticas tienen duraciones normales.
- ii) Todas las actividades críticas tienen duraciones límites.

La condición i) implica que todas las actividades del proceso tengan duraciones normales. En este caso la duración resultante del proceso recibe el nombre de duración normal.

La duración del proceso correspondiente a la condición ii), es la mínima posible, y se denomina duración límite.

Debe observarse que la condición ii), no implica que todas las actividades del proceso tengan duraciones límites, ya que algunas actividades no críticas pueden tener duraciones normales cuando todas las actividades críticas tienen duraciones límites. Este

hecho tan importante, se ignora frecuentemente en la práctica, y cuando se desea realizar un proceso productivo en el menor tiempo posible, es común efectuar todas las actividades del proceso en el menor tiempo posible; esta manera de proceder conduce frecuentemente a un incremento innecesario en el costo del proceso. Para ilustrar lo dicho anteriormente, se analizará el proceso de la figura 1a., ya cuantificado totalmente, las gráficas costo-duración para todas las actividades del proceso son del tipo indicado en la Figura 1b., y tienen las características mostradas en la Tabla 1. (1)

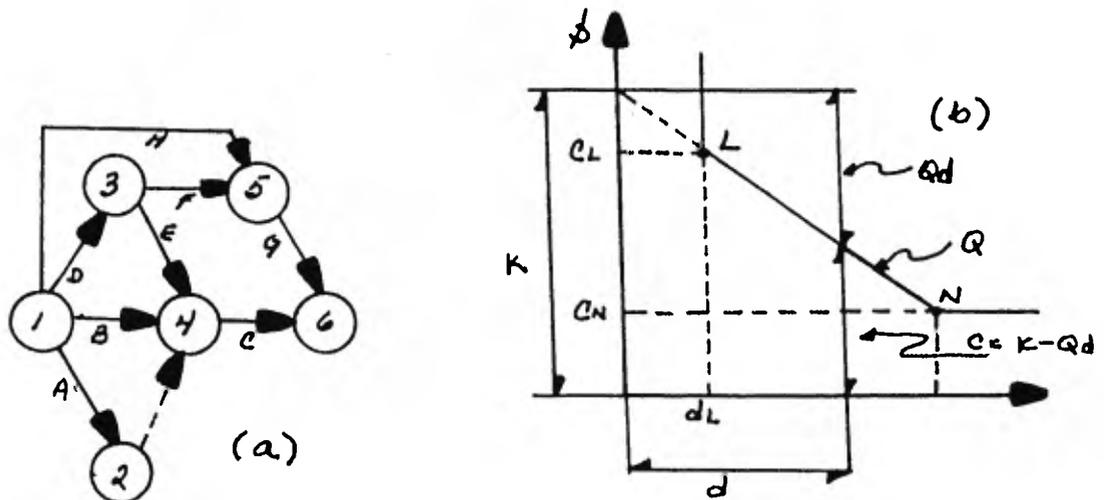


FIGURA 1

Suponiendo que todas las actividades del proceso se efectúan en condiciones normales, los tiempos de ocurrencia más próxima y de ocurrencia más lejana para los eventos del proceso, son los mostrados en la Figura 2a.

- (1) Esto no significa siempre que a menor duración de una actividad sea mayor su costo; ya que también puede suceder que el costo sea menor en tanto menor es la duración considerada.

ACTIVIDAD	DURAC	DURAC.	COSTO	COSTO	GASTO
DESCR. i-j	NORMAL	LIMITE	NORMAL	LIMITE	0
	di (DIAS)	dl (DIAS)	SN	SL	\$/DIA
A 1-2	25	15	25,000	45,000	2,000
B 1-4	15	5	8,000	18,000	1,000
C 4-6	30	10	7,000	12,000	250
D 1-3	20	10	15,000	25,000	1,000
E 3-4	10	5	30,000	40,000	2,000
F 3-5	15	10	18,000	23,000	1,000
G 5-6	25	10	70,000	130,000	4,000
H 1-5	20	10	35,000	55,000	2,000
			208,000	348,000	

TABLA 1

Se observa en la Figura 2a. que hay dos trayectorias críticas posibles (1-3, 3-4, 4-6) y (1-3, 3-5, 5-6); la suma de las duraciones de las actividades en estas trayectorias son $20+10+30 = 60$ y $20+15+25 = 60$, respectivamente; por lo tanto, la duración normal del proceso es de 60 días.

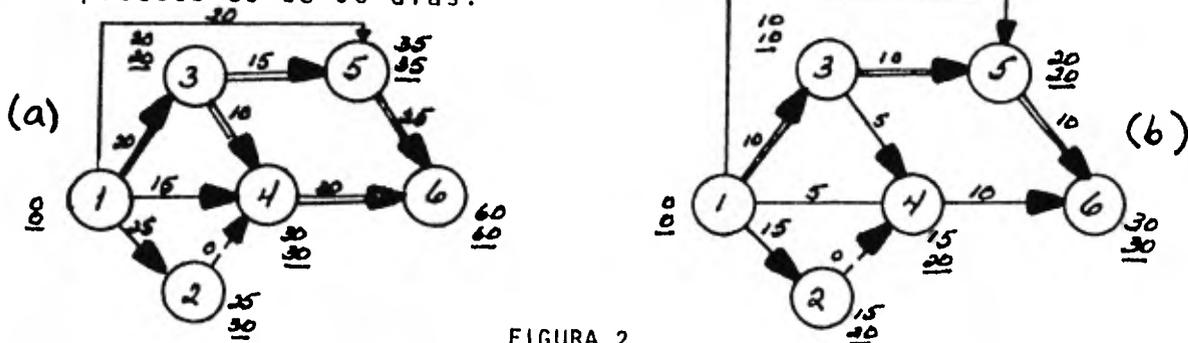


FIGURA 2

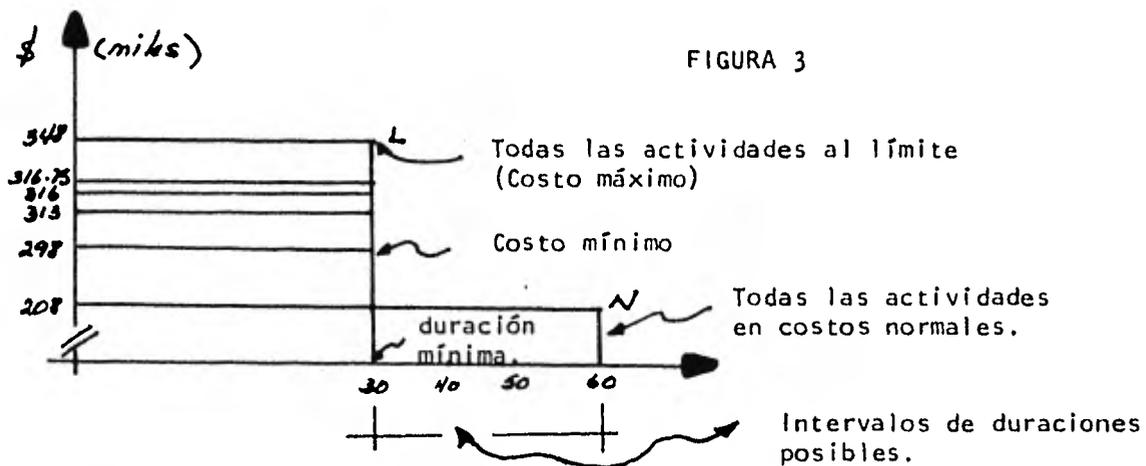
Y puesto que a la duración normal del proceso corresponden las duraciones normales de sus actividades, el costo del proceso asociado a la duración normal del mismo es único, e igual a la suma de los costos normales de las actividades componentes, o sea - - - - \$ 208,000.00

El costo normal del proceso es el mínimo costo de ejecución posible, ya que para cada actividad el costo normal es también el mí-

nimo costo de realización.

En la gráfica de la figura 3, el punto N representa el costo directo en condiciones normales de ejecución.

De acuerdo con lo anterior, la duración límite resulta cuando todas las actividades en la(s) trayectoria(s) crítica(s) correspondientes, tienen duraciones límites. Obsérvese sin embargo



que no se conoce a priori qué actividades se encuentran en dicha(s) trayectoria(s) crítica(s). Lo único que se sabe de antemano es que todas las actividades de la(s) trayectoria(s) crítica(s) deben tener duraciones límites.

Si se supone que todas las actividades del proceso se efectúan en condiciones límites, como se muestra en la figura 2b, la trayectoria crítica correspondiente satisface la condición del párrafo anterior, y es la trayectoria buscada (resultando de 30 días).

Lógicamente a esa duración de 30 días corresponden una infinidad de combinaciones de las duraciones de las actividades componentes. Una combinación posible (la de costo máximo), es la mostrada en

la Figura 2b. Cualquier otra combinación de duraciones puede obtenerse respetando la duración de las actividades críticas de la figura 2b, e imponiendo la condición de que la suma de las duraciones de las demás trayectorias posibles (las no críticas actualmente), sea menor o igual de 30 días; esta condición se traduce en las siguientes relaciones.

$$d_{1-3} = 10 \quad (1)$$

$$d_{3-5} = 10 \quad (2)$$

$$d_{5-6} = 10 \quad (3)$$

$$d_{1-4} + d_{4-6} \leq 30 \quad (4)$$

$$d_{1-2} + d_{4-6} \leq 30 \quad (5)$$

$$d_{3-4} + d_{4-6} \leq 20 \quad (6)$$

$$d_{1-5} \leq 20 \quad (7)$$

Además, toda actividad debe ser tal que:

$$d_L \leq d \leq d_N \quad (8)$$

En la Tabla 2 se presentan algunas combinaciones de duraciones de las actividades componentes del proceso en estudio, que satisfacen las relaciones (1) - (8). En esa tabla se indican también los valores de K y de C (costo directo) para cada actividad, obtenidos mediante las expresiones siguientes: (y el costo directo total en cada alternativa)

$$K = CN + Qdn \quad (9)$$

$$C = K - Qd \quad (10)$$

Los resultados de la tabla 2 se muestran en la figura 3.

DURACION = 30 DIAS

ACTIVIDADES		Q MI- LES/DIA	K MILES	ALTERNATIVAS									
				1			2			3			...
				d días	Qd Mil	C Mil	d días	Qd Mil	C Mil	d días	Qd Mil	C Mil	
D	1-3	1	$15+1(20)=35$	10	10	25	10	10	25	10	10	25	
F	3-5	1	$18+1(15)=33$	10	10	23	10	10	23	10	10	23	
G	5-6	4	$70+4(25)=170$	10	40	130	10	40	130	10	40	130	
A	1-2	2	$25+2(25)=75$	15	30	45	18	36	39	20	40	35	
B	1-4	1	$8+1(15)=23$	15*	15	8	15*	15	8	10	10	13	
E	3-4	2	$30+2(10)=50$	5	10	40	10*	20	30	*10	20	30	
H	1-5	2	$35+2(20)=75$	20*	40	35	13	26	49	15	30	45	
C	4-6	0.25	$7+0.25(30)=14.5$	15	3.75	10*	10	2.5	12	10	2.5	12	
Costo dir. tot.						316.75			316			313	

TABLA 2

* Duración Normal

De lo anterior puede concluirse lo siguiente:

- La duración mínima del proceso resulta cuando todas las actividades en la trayectoria crítica tienen duraciones límites.
- Siempre existe una infinidad de combinaciones de las duraciones de las actividades componentes de un proceso cualquiera - en las cuales la duración de éste es la mínima.
- El costo máximo de ejecución del proceso de ejemplo se obtiene cuando la duración de éste es la mínima, y resulta de efectuar todas las actividades en condiciones límites.
- Las duraciones posibles de cualquier proceso se encuentra entre la duración mínima y la duración normal.

APLICACION DE LA PROGRAMACION LINEAL EN LA DETERMINACION DEL COSTO MINIMO DE UN PROCESO CUANDO SE EJECUTA A LA DURACION MINIMA.

Cuando la gráfica de flechas de un proceso productivo no es tan simple como la del proceso que se ha venido analizando, la determinación de las duraciones de las actividades componentes para lo

grar el costo mínimo a duración mínima, se vuelve un problema, ya que existe un número muy grande de combinaciones de las duraciones de las actividades que generan tal duración mínima del proceso; este hecho hace evidente la necesidad de utilizar los métodos más eficientes y seguros de la Programación Lineal.

El problema general de la Programación Lineal puede plantearse como sigue:

Encontrar los valores de las r variables x_1, x_2, \dots, x_r , suponiendo que deben cumplirse las siguientes condiciones:

a) Las variables satisfacen las desigualdades o igualdades:

$$\left. \begin{array}{l} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1r}x_r \{ \leq = \geq \} b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2r}x_r \{ \leq = \geq \} b_2 \\ \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mr}x_r \{ \leq = \geq \} b_m \\ m \{ \leq = \geq \} \gamma \end{array} \right\} (12)$$

b) Las variables deben ser no negativas:

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_r \geq 0 \quad (13)$$

c) Los valores buscados de las variables deben maximizar ó minimizar la forma lineal:

$$z = p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_r x_r \quad (14)$$

d) $a_{11}, \dots, a_{mr}; b_1, \dots, b_m; p_1, \dots, p_r$ son constantes conocidas

En la terminología usual de Programación Lineal, la condición (12) se denomina "restricciones" del problema, y a la función z dada --

por (14), se le llama "función objetivo".

El método que se describirá a continuación es un método iterativo, que permite resolver el problema general de Programación Lineal de una manera sencilla y rápida; a este método se le llama Método Simétrico.

Al principio, cada relación de las restricciones tiene solamente uno de los símbolos; \leq , $=$ e \geq , y el símbolo que aparece en una relación puede ser diferente al que aparece en otra relación cualquiera; pero ya al aplicar las restricciones del método si se trata de maximizar la función objetivo, todas las restricciones deben presentarse de manera que en ellas aparezca el signo \leq ; y cuando se trata de minimizar la función objetivo todas las restricciones deben presentarse de manera que en ellas aparezca el signo \geq .

Utilizando las propiedades de las desigualdades, puede deducirse una tabla de equivalencias como la que se muestra en la siguiente tabla 3.

CASO	RESTRICCIÓN ORIGINAL	RESTRICCIÓN EQUIVALENTE
1	$a_{11}x_1 + \dots + a_{1r}x_r \geq b_1$	$-a_{11}x_1 - \dots - a_{1r}x_r \leq -b_1$
2	$a_{11}x_1 + \dots + a_{1r}x_r \leq b_1$	$-a_{11}x_1 - \dots - a_{1r}x_r \geq -b_1$
3	$a_{11}x_1 + \dots + a_{1r}x_r = b_1$	$a_{11}x_1 + \dots + a_{1r}x_r \geq b_1$ ó $-a_{11}x_1 - \dots - a_{1r}x_r \geq -b_1$
4	$a_{11}x_1 + \dots + a_{1r}x_r = b_1$	$a_{11}x_1 + \dots + a_{1r}x_r \leq b_1$ ó $-a_{11}x_1 - \dots - a_{1r}x_r \leq -b_1$

TABLA 3

Así, con ayuda de la Tabla 3 todas las restricciones pueden ponerse en la forma standard requerida por el método simétrico, según se trata de un problema de maximización ó de un problema de minimización.

Desde el punto de vista del método simétrico, la determinación -- del costo mínimo a duración mínima para el proceso de la figura -- 1a. está caracterizado por lo siguiente:

- a) Las actividades críticas correspondientes a la duración mínima del proceso son (Fig. 2b): 1-3, 3-5 y 5-6. Por lo tanto, las duraciones y los costos de estas actividades quedan fijos.
- b) Los eventos (1) y (5) en la fig. 2b son eventos críticos y la actividad 1-5 es la única actividad en una trayectoria que va de (1) a (5) en forma directa. Por lo tanto, el costo mínimo del proceso resultará cuando la duración de la actividad 1-5 sea la máxima que permita los tiempos de ocurrencia de los -- eventos en cuestión, es decir, 20 días.

De acuerdo con lo anterior, el problema se reduce a determinar -- las duraciones (positivas) d_{1-2} , d_{1-4} , d_{3-4} y d_{4-6} que satisfacen las relaciones (4), (5), (6) y (8), y que hacen mínimo su costo -- de ejecución (1): $C = (75 - 2 \times d_{1-2}) + (23 - 1 \times d_{1-4}) + (14.5 - 0.25 \times d_{4-6}) + (50 - 2 \times d_{3-4}) = 162.5 - (2 \times d_{1-2} + 1 \times d_{1-4} + 2 \times d_{3-4} + 0.25 \times d_{4-6})$, ó, lo que es equivalente, que hacen máxima la expresión.

$$z = 2d_{1-2} + d_{1-4} + 2d_{3-4} + 0.25d_{4-6} \quad (15)$$

$$\text{con } z = 162.50 - C$$

(1) Consúltese la tabla 2 y la igualdad (10)

Las restricciones (4), (5), (6) tienen la forma requerida por el método:

$$d_{1-4} + d_{4-6} \leq 30 \quad (16)$$

$$d_{1-2} + d_{4-6} \leq 30 \quad (17)$$

$$d_{3-4} + d_{4-6} \leq 20 \quad (18)$$

La restricción (8) aplicada a las actividades 1-2, 1-4, 3-4 y 4-6, da lugar a las siguientes restricciones (ver Figs. 2a. y 2b.):

$$-d_{1-2} \leq -15 \quad (19)$$

$$-d_{1-4} \leq -5 \quad (20)$$

$$-d_{3-4} \leq -5 \quad (21)$$

$$-d_{4-6} \leq -10 \quad (22)$$

$$d_{1-2} \leq 25 \quad (23)$$

$$d_{1-4} \leq 15 \quad (24)$$

$$d_{3-4} \leq 10 \quad (25)$$

$$d_{4-6} \leq 30 \quad (26)$$

Las restricciones (16) - (26) pueden escribirse en forma tabular como se indica en la tabla 4.

No. de Restricción.		C1	C2	C3	C4	≤
(16)	r1		1		1	30
(17)	r2	1			1	30
(18)	r3			1	1	20
(19)	r4	-1				-15
(20)	r5		-1			-5
(21)	r6			-1		-5
(22)	r7				-1	-10
(23)	r8	1				25
(24)	r9		1			15
(25)	r10			1		10
(26)	r11				1	30
(15)	>	2	1	2	0.25	Max

Indicadores de los Renglonés

Indicadores de las columnas

TABLA 4

En los renglones de la Tabla 4 se anotan los coeficientes (C_i) de las duraciones que aparecen en las restricciones (16)-(26), así como los términos independientes correspondientes. En el último renglón de dicha tabla se escriben los coeficientes de la forma z , dada por la ecuación (15).

Por conveniencia, se designarán las columnas de la Tabla 4 con los símbolos c_1, c_2, c_3, c_4 ; y los renglones con los símbolos r_1, r_2, \dots, r_{11} . Obsérvese que, de acuerdo con esto a los símbolos c_1, c_2, c_3 y c_4 corresponden las variables $d_{1-2}, d_{1-4}, d_{3-4}$, y d_{4-6} , respectivamente.

A los números que aparecen en el último renglón se les llama "indicadores de las columnas"; y a los números que aparecen en la última columna, se les llama "indicadores de los renglones". Así, por ejemplo, el indicador de la columna c_4 es 0.25 y el indicador del renglón r_8 es 25.

Cada una de las interacciones que requiere el método tiene tres fases: a) Selección de un pivote en la tabla de restricciones, b) Transformación de la tabla de restricciones, c) Comprobación del criterio de optimización.

a) Selección de un pivote en la tabla de restricciones.

Para hacer la selección de un pivote en la tabla de restricciones, se aplican las siguientes reglas,

1. Se inspeccionan los indicadores de las columnas, y se selecciona la columna con el indicador más positivo; si existen empates se selecciona aquel cuya columna está más a la izquier-

da.

2. Se inspecciona la columna seleccionada buscando elementos que también sean positivos. Para cada uno de estos elementos cuyo indicador de renglón sea también positivo ó cero, se divide el indicador de renglón entre el elemento en cuestión.
3. Se toma como Posible Pivote Positivo el número de la columna seleccionada que dé lugar al menor cociente. En caso de empate se escoje el número que esté más arriba.
4. Se inspeccionan los indicadores de los renglones y se selecciona el renglón con el indicador negativo de mayor valor absoluto. En caso de empate se elige de ellos, el renglón que esté más arriba.
5. Se inspecciona el renglón seleccionado buscando elementos que también sean negativos. En cada uno de estos elementos negativos cuyo indicador de columna sea también negativo o cero, se divide el indicador de la columna correspondiente entre el elemento negativo en cuestión.
6. Se toma como Posible Pivote Negativo al número del renglón seleccionado que da lugar al menor cociente. En caso de empate se escoje aquél que esté más a la izquierda.
7. Para cada uno de los Posibles Pivotes (el Positivo y el Negativo), se realiza la siguiente operación: (indicador de columna correspondiente) x (indicador de renglón correspondiente) / (Pivote en cuestión).

Escogiéndose como Pivote Definitivo aquel cuyo resultado de la operación en valor absoluto sea el mayor. En caso de empate se selecciona como Definitivo el Pivote más cercano a la esquina superior izquierda (en adelante se le llamará Pivote simplemente).

b) Transformación de la tabla de restricciones.

Una vez seleccionado el Pivote en la tabla de restricciones, se transforma ésta aplicando las siguientes reglas:

1. Se intercambia el título de la columna del pivote con el título del renglón del pivote.
2. Se substituye el pivote por su inverso.
3. Se dividen los demás números que se encuentran en el renglón del pivote, entre el valor de éste.
4. Se dividen los demás números que se encuentran en la misma columna que el pivote entre el valor de éste, y se cambia el signo a los cocientes.
5. Cada elemento que no está ni en el renglón ni en la columna del pivote, se substituye por el valor que resulte de la siguiente operación (considerando los valores que correspondan a cada elemento en cuestión):

$$E' = E - \frac{(R) \times (C)}{P}$$

En donde, (véase figura 4):

E' = Nuevo valor del elemento

E = Antiguo valor del elemento

R = Elemento del renglón pivotal, que se encuentran en la misma columna que E.

C = Elemento de la columna pivotal, que se encuentran en el mismo renglón que E

P = Valor del pivote definitivo en la tabla que se está transformando,

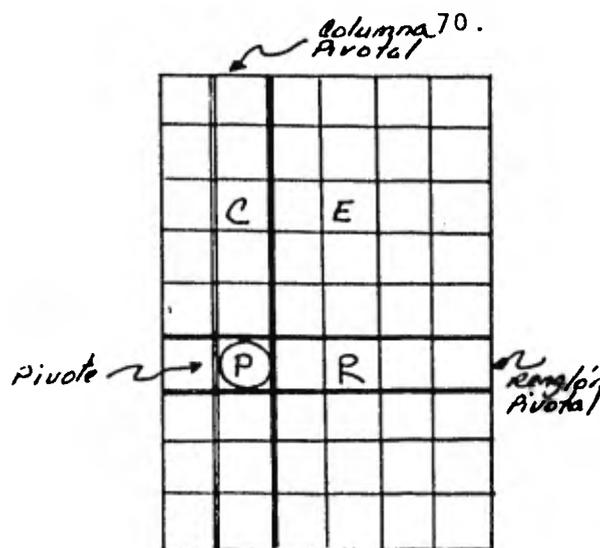


FIGURA 4

c) Comprobación del criterio de optimización.

Terminada la transformación de una tabla de restricciones, se hacen las siguientes comprobaciones:

1. Si todos los indicadores de las columnas son negativos y todos los indicadores de los renglones son positivos, la tabla transformada es la final y a partir de ella puede obtenerse la solución del problema.
2. Si en la tabla transformada existen indicadores de columna con signo positivo y/o indicadores de renglón con signo negativo, repítanse las fases a) y b) precedentes, partiendo de la tabla transformada.
3. Si sucede lo mencionado en el párrafo anterior y no es posible seleccionar un pivote positivo o negativo, el problema de optimización no tiene solución.

Una vez encontrada la tabla final que satisface la condición c)1, la solución se obtiene de la tabla aplicando las siguientes re -

glas:

- d)1. Se cambian los signos de todos los elementos en el último renglón de la tabla final.
- d)2. Si el problema es maximizar la función objetivo, z , los valores de las variables que hacen máxima a dicha función, son los indicadores de los renglones cuyos títulos son c_1, c_2, \dots . Si uno de los símbolos c_1, c_2, \dots permanece como título de columna en la tabla final, la variable correspondiente debe valer 0 para hacer máxima a z .
- d)3. Si el problema es minimizar la función objetivo, z , los valores de las variables que hacen mínima a dicha función, son los indicadores de las columnas cuyos títulos son r_1, r_2, \dots . Si uno de los símbolos r_1, r_2, \dots permanece como título de renglón en la tabla final, la variable correspondiente debe valer 0 para hacer mínima a z .
- d)4. El valor máximo ó el valor mínimo de z , es el número que aparece en la esquina inferior derecha de la tabla final.

FIGURA 5

1	C_1	C_2	C_3	C_4	
r_1		1			30
C_2	1				30
r_3			1		20
r_4	-1				-15
r_5		-1			-5
r_6			-1		-5
r_7				-1	-10
r_8	1				25
r_9		1			15
r_{10}			1		10
r_{11}				1	30
	2	1	2	1/4	

①

2	r_1	C_2	C_3	C_4	
r_1		1			30
r_2	-1				5
r_3			1		20
r_4	1				10
r_5		-1			-5
r_6			-1		-5
r_7				-1	-10
r_8	1				25
r_9		1			15
r_{10}			1		10
r_{11}				1	30
	-2	1	2	1/4	-50

②

3	r_1	C_2	r_3	C_4	
r_1		1			30
r_2	-1				5
r_3			-1		10
C_4	1				10
r_5		-1			-5
r_6			1		5
r_7				-1	-10
r_8	1				25
r_9		1			15
r_{10}			1		10
r_{11}				1	30
	-2	1	2	1/4	-70

③

FIGURA 5

4	r_1	r_2	r_3	r_4	b_i
r_1	-1				15
r_2	-1				5
r_3		-1			10
r_4					10
r_5					10
r_6					5
r_7				-1	10
c_1					20
c_2					15
c_3					10
c_4					10
c_5					20
	-2	-1	-2	1/4	15

4

5	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
r_1	-1	-1			10
r_2	-1				5
r_3		-1	-1		5
r_4					10
r_5					10
r_6					5
r_7					-5
c_1					20
c_2					15
c_3					10
c_4					10
c_5					20
	-1	-2	-1	1/4	15

5

6	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
r_1	-1	-1			5
r_2	-1				10
r_3		-1			0
r_4					5
r_5					10
r_6					5
r_7				-1	5
c_1					20
c_2					15
c_3					10
c_4					10
c_5					20
	-1	-1	-2	-2	310/4

6

En la figura 5 se muestran las diferentes tablas que resultan de aplicar las reglas anteriores al problema de maximización de la función (15), planteado en la Tabla 4. Fácilmente pueden verificarse los valores anotados en las tablas de la figura 5, y comprobar que la figura 5.6 es efectivamente la tabla final, de acuerdo con el criterio del inciso c) anterior.

Teniendo en cuenta las reglas de los incisos d), los valores d_{1-2} , d_{1-4} , d_{3-4} , y d_{4-6} , que hacen máxima a (15), son:

$$d_{1-2} = c_1 = 20 \text{ días}$$

$$d_{1-4} = c_2 = 15 \text{ días}$$

$$d_{3-4} = c_3 = 10 \text{ días}$$

$$d_{4-6} = c_4 = 10 \text{ días}$$

El valor máximo de (15) es entonces:

$$Z_{\max} = 2 \times 20 + 1 \times 15 + 2 \times 10 + 0.25 \times 10 = \frac{310}{4} = 77.5$$

Este valor coincide con el valor que aparece en la esquina inferior derecha de la tabla final, figura 5.6, de acuerdo con lo dicho en el inciso d)4.

El costo mínimo de las actividades 1-2, 1-4, 3-4 y 4-6, a duración mínima del proceso, es por lo tanto

$$C_{\min} = 162.5 - 77.5 = 85 \text{ (en miles de pesos)}$$

Sumando a este costo los costos de las demás actividades del proceso, cuando las duraciones de éstas son las mostradas en la figura 4, excepto en la actividad 1-5 cuya duración y costo son las normales (actividades 1-3, 1-5, 3-5, 5-6), se obtiene que el costo mínimo del proceso a duración mínima es de \$ 298,000.

CALCULO POR PROGRAMACION LINEAL DEL COSTO MINIMO DE UN PROCESO - CUANDO ESTE SE DESEA EJECUTAR A UNA DURACION POSIBLE CUALQUIERA.

El problema que se desea resolver en esta sección (seleccionada - una duración posible cualquiera para un proceso productivo, determinar su costo mínimo de ejecución), presenta una dificultad seria: a cada duración D de un proceso productivo, tal que $D_L \leq D \leq D_N$, puede corresponder un número grande de trayectorias críticas - que determinen dicha duración.

Considérese una actividad cualquiera $i-j$ de un proceso productivo, el costo de dicha actividad puede expresarse en la forma:

$$C_{i-j} = K_{i-j} - Q_{i-j} \cdot d_{i-j} \quad (27)$$

Por otro lado, si $(dL)_{i-j}$ y $(dN)_{i-j}$ son las duraciones límite y normal de la actividad $i-j$, debe cumplirse la siguiente doble desigualdad,

$$(dL)_{i-j} \leq d_{i-j} \leq (dN)_{i-j}$$

ó, lo que es equivalente:

$$(d_{i-j}) \leq (dN)_{i-j} \quad (28)$$

$$-(d_{i-j}) \leq -(d_L)_{i-j} \quad (29)$$

y puesto que E_i y E_j designan los tiempos de ocurrencia más próxima de los eventos (i) y (j) , entonces es válido escribir la siguiente condición:

$$\begin{aligned} E_i + d_{i-j} &\leq E_j \\ \text{i.e. } d_{i-j} + E_i - E_j &= 0 \end{aligned} \quad (30)$$

Además la duración D del proceso está definida por la diferencia del tiempo de ocurrencia más próxima del evento terminal, E_n , y el tiempo de ocurrencia más próxima del evento inicial, E_i , es decir:

$$E_n - E_i = D \quad (31)$$

Si se hace $E_i = 0$, resulta

$$E_n = D, \quad (E_i = 0) \quad (32)$$

La duración D debe satisfacer además la condición

$$D_L \leq D \leq D_N \quad (33)$$

Para cada actividad del proceso puede calcularse el costo como se indica en (27). Sumando estos costos se obtiene el costo C de ejecución del Proceso:

$$C = \sum (K_{i-j}) - \sum (Q_{i-j} d_{i-j}) \quad (34)$$

La cantidad $\sum (K_{i-j})$ no depende de las duraciones d_{i-j} y es constante. De esto se deduce que las duraciones d_{i-j} de las actividades del proceso que hacen mínimo el costo C , son aquellas que hacen máxima a la expresión.

$$z = \sum (Q_{i-j} d_{i-j}) \quad (35)$$

Entonces, el problema de determinar el costo mínimo de un proceso cuando éste se realiza a la duración D , puede plantearse como si-

que:

Encontrar los valores de las duraciones d_{i-j} de las actividades del proceso, que hacen máxima a z , dada por (35), y que cumplen las restricciones (28), (29), (30) y (31).

Obsérvese que cada actividad da lugar a tres restricciones (28) - (29) y (30). Por lo tanto, si N es el número total de actividades del proceso, el número total de restricciones es de $3N+1$; en donde el término 1 se debe a la restricción (31).

Para el proceso de la Fig. 1, la duración límite es $D_L = 30$ días, y la duración normal es $D_N = 60$ días. Por lo tanto $D=45$ días satisface la condición (33) y es una duración posible para el proceso.

En la tabla 5 se presentan los coeficientes de las expresiones -- que resultan de aplicar las condiciones (28), (29) y (30) a las actividades del proceso, y en el renglón r25 de la tabla se escribe la condición (31). Los coeficientes de la función objetivo z se anotan en el último renglón de la tabla.

	d1-2	d1-3	d1-4	d2-4	d1-5	d2-5	d4-6	d5-6	E1	E2	E2E4	E5	E6	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	z
y1	1								1	-1				0
y2		1							1	-1				0
y3			1						1	-1				0
y4				1					1	-1				0
y5					1				1		-1			0
y6						1			1		-1			0
y7							1			1		-1		0
y8								1			1	-1		0
y9	1													25
y10		1												20
y11			1											15
y12				1										10
y13					1									20
y14						1								15
y15							1							30
y16								1						25
y17	-1													-15
y18		-1												-10
y19			-1											-5
y20				-1										-5
y21					-1									-10
y22						-1								-10
y23							-1							-10
y24								-1						-10
y25									-1			1	45	(32)
MAXIMIZAR z =	2	1	1	2	2	1	1/4	4						(35)

TABLA 5

Para simplificar la aplicación del método simétrico al programa lineal de la Tabla 5, se supondrá $E_1 = 0$. En esta forma resulta la Tabla 1 de la Fig. 7. Aplicando a esa tabla las reglas del método simétrico, se encuentra la Tabla 2 de la Fig. 6. Aplicando a ésta nuevamente las reglas del método simétrico, se obtiene la Tabla 3 de la Fig. 6.

Procediendo así sucesivamente, se llega a la Tabla 16 de la Fig. 6 que satisface el criterio de optimización c)1 mencionado anteriormente, por lo tanto es la tabla final.

d_{1-2} d_{1-3} d_{1-4} d_{3-4} d_{1-5} d_{3-5} d_{4-6} d_{5-6} E_3 $E_2=E_4$ E_5 E_6

	1	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11	c12	≤
Y1	/										-1			0
Y2		/								-1				0
Y3			/								-1			0
Y4				/						1	-1			0
Y5					/							-1		0
Y6						/				1		-1		0
Y7							/				1		-1	0
Y8								/				1	-1	0
Y9	/													25
Y10		/												20
Y11			/											15
Y12				/										10
Y13					/									20
Y14						/								15
Y15							/							30
Y16								/						25
Y17	-1													-15
Y18		-1												-10
Y19			-1											-5
Y20				-1										-5
Y21					-1									-10
Y22						-1								-10
Y23							-1							-10
Y24								-1						-10
Y25												1		45
≥	2	1	1	2	2	1	1/4	4						45

(1)

	2	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	Y8	c9	c10	c11	c12	
Y1	/										-1			0
Y2		/								-1				0
Y3			/								-1			0
Y4				/						1	-1			0
Y5					/							-1		0
Y6						/				1		-1		0
Y7							/				1		-1	0
Y8								/				1	-1	0
Y9	/													25
Y10		/												20
Y11			/											15
Y12				/										10
Y13					/									20
Y14						/								15
Y15							/							30
Y16								/						25
Y17	-1													-15
Y18		-1												-10
Y19			-1											-5
Y20				-1										-5
Y21					-1									-10
Y22						-1								-10
Y23							-1							-10
Y24								-1			1		-1	-10
Y25												1		45
≥	2	1	1	2	2	1	1/4	-4				-4	4	45

(2)

FIGURA 6

3	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	y8	c9	c10	c11	r16
r1	1								-1			0
r2		1							-1			0
r3			1						-1			0
r4				1				1	-1			0
r5					1					-1		0
r6						1		1	-1			0
r7							1	-1	1	-1	1	25
c8							0			0	1	25
r9	1											25
r10		1										20
r11			1									15
r12				1								10
r13					1							20
r14						1						15
r15							1					30
c12								-1		-1	1	25
r17	-1											-15
r18		-1										-10
r19			-1									-5
r20				-1								-5
r21					-1							-10
r22						-1						-10
r23							-1					-10
r24								0		0	1	15
r25								1		1	-1	20
	2	1	1	2	2	1	1/4	0		0	-4	-100

(3)

FIGURA 6

4	r1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	y8	c9	c10	c11	r16
c1	1									-1		0
r2		1								-1		0
r3			1							-1		0
r4				1					1	-1		0
r5					1						-1	0
r6						1			1	-1		0
r7							1	-1	1	-1	1	25
c8								0				25
r9	-1									1		25
r10		1										20
r11			1									15
r12				1								10
r13					1							20
r14						1						15
r15							1					30
c12								-1		-1	1	25
r17	1									-1		-15
r18		-1										-10
r19			-1									-5
r20				-1								-5
r21					-1							-10
r22						-1						-10
r23							-1					-10
r24								0			1	15
r25								1		1	-1	20
	-2	1	1	2	2	1	1/4			2	-4	-100

(4)

	5	Y1	C2	C3	Y4	C5	C6	C7	Y8	C9	C10	C11	Y16
C1		1										-1	0
Y2			1									-1	0
Y3				1								-1	0
C4					1							1	-1
Y5						1						-1	0
Y6							1					1	-1
Y7								1	-1			1	-1
C8													1
Y9		-1										1	2.5
Y10			1										2.0
Y11				1									1.5
Y12					-1							-1	1.0
Y13						1							2.0
Y14							1						1.5
Y15								1					3.0
C12									-1			-1	1
Y17		1										-1	-1.5
Y18			-1										-1.0
Y19				-1									-0.5
Y20					1							1	-1
Y21						-1							-1.0
Y22							-1						-1.0
Y23								-1					-1.0
Y24													1
Y25									1			1	-1
	-2	1	1	-2	2	1	1/4	-2	4	-4	-4	-4	100

(5)

	6	Y1	C2	C3	Y4	C5	C6	C7	Y8	C9	Y12	C11	Y16
C1		1			-1						-1	1	10
Y2			1								-1		0
Y3				1	-1						-1	1	10
Y4					0						0	1	10
Y5						1						-1	0
Y6							1				1	-1	0
Y7								1	-1		1	-1	1
C8													1
Y9		-1									1	-1	1.5
Y10			1										2.0
Y11				1									1.5
C10					-1						-1	1	1.0
Y13						1							2.0
Y14							1						1.5
Y15								1					3.0
C12									-1			-1	1
Y17		1									-1	1	-0.5
Y18			-1										-1.0
Y19				-1									-0.5
Y20					0						0	1	0.5
Y21						-1							-1.0
Y22							-1						-1.0
Y23								-1					-1.0
Y24													1
Y25									1			1	-1
	-2	1	1	2	2	1	1/4	2	-4	-4	-4	-4	100

(6)

FIGURA 6

r	c1	c2	c3	r7	c5	c6	c7	r8	c9	r12	c11	r14
c1	1			1		1	-1			-1	1	25
r2		1						-1				0
r3			1	1		1	-1			-1		25
c4									1			10
r5					1					-1		0
r6						1		1		-1		0
r7			1		1	-1	1	-1	1	-1	1	15
c8											1	25
r9	1			-1		1	1			1	-1	0
r10		1										20
r11			1									15
r12				1			-1			-1	1	25
r13					1							20
r14						1						15
r15							1					30
r16								-1		1	1	25
r17	1			1		1	-1			1	1	10
r18		-1										-15
r19			1									5
r20								1				5
r21					-1							-5
r22						-1						-5
r23							-1					-10
r24											1	15
r25								1		1	-1	20
r26	2	1	1	-2	2	1	3/4	2	0	-2	2	-6

(7)

FIGURA 6

r	c1	c2	c3	r7	r5	c6	c7	r8	c9	r12	c11	r16
c1	1			1		1	-1			-1	1	25
r2		1						-1				0
r3			1	1		1	-1			-1	1	25
c4									1			10
c5					1					-1		0
r6						1		1		-1		0
r4			1			1	-1	1	-1	-1	1	15
c8											1	25
r9	-1			-1		-1	1			1	-1	0
r10		1										20
r11			1									15
r13				1			-1			-1	1	25
r13					-1					1		20
r17						1						15
r18							1					30
r16								-1		-1	1	25
r14	1			1		1	1			-1	1	10
r19		-1										-5
r19			1									-5
r20								1				5
r20									1			5
r21						1				-1		-5
r22							-1					-10
r23								-1				-10
r24											1	15
r25								1		1	-1	20
r26	-2	1	1	-2	-2	1	3/4	2	0	-2	2	-6

(8)

	Y1	C2	C3	Y7	Y5	C6	C7	Y8	C9	Y12	Y9	Y16
C1	0		0			0	0			1	0	25
Y2		1						-1				0
Y3	-1		1	0		0	0			1	0	25
C4									1			10
C5	-1		-1	1		-1	1			1	-1	0
Y6	-1		-1		1	-1	1	1		1	-1	0
Y4	-1		0			0	0	1	-1	1	0	15
C8											1	25
C11	-1		-1			-1	1			1	-1	0
Y10		1										20
Y11			1									15
C10	-1		0			0	0			1	0	25
Y3	1		1	-1		1	-1			-1	1	20
Y4					1							15
Y15						1						30
C12	-1		-1			-1	0			1	0	25
Y7	0		0			0	0			1	0	10
Y18		-1										-10
Y19			-1									-5
Y20								1				5
Y21	-1		-1	1		-1	1			1	-1	-10
Y22						-1						-10
Y23							-1					-10
Y24											1	15
Y25	1		1			1	0			-1	0	20
	2	1	1	2	-2	1	2	0	-2	-4	-2	-20

(9)

	Y1	C2	C3	Y7	Y5	C6	C7	Y8	C9	Y12	Y9	Y16
C1										1		25
Y2		1							-1			0
Y3	-1		1							1		25
C4									1			10
C5	0		0	0		1	0			0	0	20
Y6	0		0	-1	1	1	0	1		0	0	20
Y4	-1							1	-1	1		15
C8											1	25
C11	0		0	-1		1	0			0	0	20
Y10		1										20
Y11			1									15
C10	-1									1		25
C7	1		1	-1		1	-1			-1	1	20
Y14						1						15
Y15	-1		-1	1		-1	1			1	-1	10
C12	0		0	-1		1	-1			0	1	45
Y7										1		10
Y18		-1										-10
Y19			-1									-5
Y20										1		5
Y21	0		0	0		1	0			0	0	10
Y22							-1					-10
Y23	1		1	-1		1	-1			-1	1	10
Y24											1	15
Y25	0		0	1		-1	1			0	-1	0
	-	1	-1/2	1/4	1	1/4	0	-2	-2	1/2	-2	-20

(10)

FIGURA 6

	T1	T2	C3	T4	T5	C6	T7	T8	C9	T12	T9	T6	
C1										1		25	
C2		1						-1				0	
T3	-1		1							1		25	
C4									1			10	
C5						1						20	
T6				-1	1	1		1				20	
T4	-1						1	-1	1			15	
C8											1	25	
C11				-1	1							20	
T10	-1						1					20	
T11		1										15	
C10	-1									1		25	
C7	1			1	-1	1	-1			-1	1	20	
T14					1							15	
T15	-1			-1	1	-1	1			-1	1	10	
C12				-1	1	-1					1	45	
T17										1		10	
T18	1							-1				-10	
T19			-1									-5	
T20									1			5	
T21						1						10	
T22						-1						-10	
T23	1			1	-1	1	-1			-1	1	10	
T24											1	15	
T25					1	-1	1				-1	0	
	$-\frac{1}{4}$	-1	1	$-\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	1	$-\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	1	-2	$-\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	25

(11)

	T1	T2	T8	T7	T5	C6	T13	T8	C9	T2	T9	T6	
C1											1	25	
C2		1							-1			0	
T3	-1		-1								1	10	
C4										1		10	
C5							1					20	
T6					-1	1	1	1				20	
T4	-1							1	-1	1		15	
C8												1	25
C11					-1	1						20	
T10	-1							1				20	
C3		1										15	
	-1										1	25	
C7	1			1	-1	1	-1			-1	1	20	
T14							1					15	
T15	-1			-1	1	-1	1			1	-1	10	
C12				-1	1	-1					1	45	
T17											1	10	
T18	1								-1			-10	
T19			1									10	
T20										1		5	
T21							1					10	
T22							-1					-10	
T23	1			1	-1	1	-1			-1	1	10	
T24												1	15
T25					1	-1	1				-1	0	
	$-\frac{1}{4}$	-1	-1	$-\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	1	-2	$-\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	25

(12)

FIGURA 6

	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12	y13	y14	y15	y16	
c1									1								25
c2		1						-1									0
y3	-1		-1						1								10
c4									1								10
c5						1											20
y6				-1	-1	1		1									5
y4	-1							1	-1	1							15
c8																1	25
c11				-1	1												20
y10	-1							1									20
c3		1															15
c10	-1									1							25
c7	1			1	-1	1	-1			-1	1						20
c6						1											15
y15	-1			-1	1		-1	1		1	-1						10
c12				-1	1	-1										1	25
y17											1						10
y18	1							-1									-10
y19		1															10
y20									1								5
y21						1											10
y22						1											5
y23	1			1	-1	1	-1			-1	1						10
y24																	15
y25				1	-1	1											-10
	1/4	-1	-1	-1/4	1/4	-1	-3/4	1/4	1	-2	-3/4	1/4	-1	-2	-3/4	1/4	-245

(13)

	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12	y13	y14	y15	y16	
c1												1					25
c2		1						-1	-1	1		1					5
y3	-1		-1													1	10
c4												1					10
c5										1							20
c9							-1	-1	1		1						5
y4	-1											-1	-1	1			15
c8																	25
c11																	20
y10	-1								1	1	-1		-1				15
c3		1															15
c10	-1															1	25
c7	1			1	-1	1	-1								-1	1	20
c6											1						15
y15	-1			-1	1		-1	1							1	-1	10
c12																	25
y17																1	10
y18	1							-1	-1	1		1					-5
y19		1															10
y20																1	5
y21														1			10
y22														1			5
y23	1			1	-1	1	-1								-1	1	10
y24																	15
y25				1	-1	1											-10
	1/4	-1	-1	-1/4	1/4	-1	-3/4	1/4	1	-2	-3/4	1/4	-1	-2	-3/4	1/4	-250

(14)

FIGURA 6

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17	Y18	Y19	Y20	Y21	Y22	Y23	Y24	Y25
C1												1													25
C2		0			0	-1	0	0																	10
Y3	-1		-1																						10
C4												1													10
C5								1																	20
C9		-1			0	-1	0	0																	10
Y4	-1												-1	-1	1										15
C8																									25
C11					-1		1																		20
Y10		0			0	1	0	0																	10
C3			1																						15
C10	-1																								25
C7	1			1	-1		1	-1																	20
C6	1				-1	1	1		1																10
Y15	-1			-1	1		-1	1																	10
C12					-1		1	-1																	45
Y17																									10
Y14	-1				1	-1	-1		-1																5
Y19			1																						10
Y20																									5
Y21																									10
Y22		1			-1	1	1		1																0
Y23	1			1	-1		1	-1																	10
Y24																									15
Y25																									0
	$1/4$	-1	-1	$1/4$	$3/4$	0	$3/4$	$1/4$	-1	-2	$3/4$	$1/4$	-2	$3/4$	$1/4$	-2	$3/4$	$1/4$	-2	$3/4$	$1/4$	-2	$3/4$	$1/4$	-2

(15)

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17	Y18	Y19	Y20	Y21	Y22	Y23	Y24	Y25
C1																									25
C2																									10
Y3	-1		-1																						10
C4																									10
C5																									20
C9		-1																							10
Y4	-1																								15
C8																									25
C11																									20
Y10																									10
C3			1																						15
C10																									25
C7	1			1	1	0	0																		20
C6	1				1	1	0	1	1																10
Y15	-1			-1	-1	0	0																		10
C12					1	0	0																		45
Y17																									10
Y14	-1			-1	-1	0	-1	-1																	5
Y19			1																						10
Y20																									5
Y21																									10
Y22		1			1	1	0	1	1																0
Y23	1			1	1	0	0																		10
Y24																									15
Y25																									0
	$1/4$	-1	-1	$1/4$	$3/4$	0	-2	-1	-1	-2	$3/4$	$1/4$	-2	$3/4$	$1/4$	-2	$3/4$	$1/4$	-2	$3/4$	$1/4$	-2	$3/4$	$1/4$	-2

(16)

FIGURA 6

Los valores de las incógnitas que hacen máxima a la función objetivo z son:

$$\left. \begin{array}{llll} d_{1-2} = 25 & d_{1-3} = 10 & d_{1-4} = 15 & d_{3-4} = 10 \\ d_{1-5} = 20 & d_{3-5} = 10 & d_{4-6} = 20 & d_{5-6} = 25 \\ E_2 = E_4 = 25 & E_3 = 10 & E_5 = 20 & E_6 = 45 \end{array} \right\} (36)$$

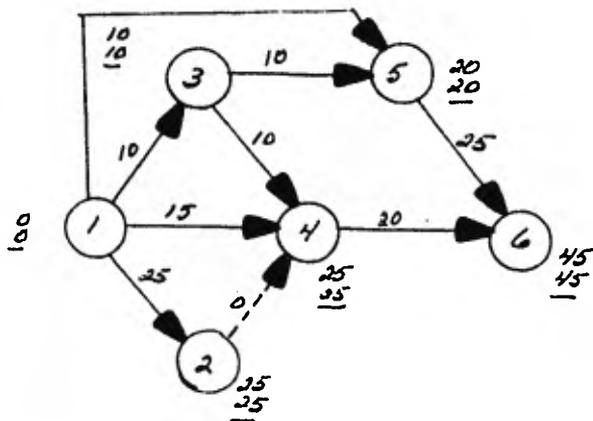


FIGURA 7

En la figura 7 se comprueba que los tiempos E dados en (36) son compatibles con las duraciones mencionadas también en (36).

El valor máximo de z para $D = 45$ días es igual al valor que aparece en la esquina inferior derecha de la Tabla 16 de la Figura 6; es decir, $z_{\max} = 250$. Por otro lado, la suma de los valores de K , ver Tabla 2, es: $\sum K = 35 + 33 + 170 + 75 + 23 + 50 + 75 + 14.5 = 475.5$. En consecuencia, el costo mínimo del proceso correspondiente a la duración $D = 45$ días es (ver Ec. (34)):

$$C_{\min} = \$ (475.5 - 250) \times 1000 = \$225.500.$$

CONSIDERACION GENERAL.

A estas alturas, se debe destacar que en casi toda actividad existe además un costo indirecto fijo, que es el costo de todo aquello que es indispensable para la realización de cada actividad,

pero que no interviene directamente en la ejecución de la misma actividad; como ejemplos de costos indirectos pueden citarse los costos de impuestos, gratificaciones, multas, patentes, propaganda, etc. El manejo de estos costos simplemente consiste en considerarlos como gastos necesarios y constantes al principio de la actividad correspondiente, ya que no varían por alteraciones en la duración o en los recursos.

Existen además Costos Indirectos Variables, los cuales son directamente proporcionales a la duración de la actividad en cuestión, tal es el caso de los intereses, los seguros, teléfono, etc; para este caso el cargo se efectúa al final de la actividad, puesto -- que es en ese momento cuando se conoce su monto.

C A P I T U L O V

CAPITULO V. EL PAQUETE DE COMPUTO PROJECT/1. EN UN CASO PRACTICO.

Una de las ventajas de la época que actualmente se vive es el empleo de las computadoras, herramienta que es muy utilizada en aplicaciones como la Ruta Crítica, por su velocidad y confiabilidad en los cálculos voluminosos y repetitivos de las redes. Existen en el medio de la computación muchos paquetes de Ruta Crítica creados por los mismos proveedores de equipos de cómputo como parte de su Software, o bien creados por firmas independientes dedicadas a la investigación y solución computacional de problemas como éste; tales paquetes varían entre sí por características como son el número máximo de actividades a procesar, gama de reportes a emitir, etcétera; sin embargo, el estudio de estas características no son motivo del presente capítulo, sino aplicar estas facilidades a un caso ficticio, con objeto de ejemplificar las ventajas que de él se obtienen.

Para dicha aplicación utilizaremos el paquete PROJECT/1, cuyo nombre se extrajo de las palabras en inglés PROJECT ENGINEERING CONTROL; dicho paquete es compatible con equipos UNIVAC e IBM y fue creado en 1968 por el Laboratorio de Sistemas de Ingeniería Civil del MIT (Massachusetts Institute of Technology).

EXPLICACION DEL EJEMPLO A PROCESAR.

Como anteriormente hemos mencionado, una de las principales aplicaciones que tiene en México la Ruta Crítica es en el diseño de plantas generadoras de energía eléctrica en la Comisión Federal de Electricidad; tales plantas son agrupadas por su tipo en 2 clasi-

ficaciones, Hidroeléctricas, que son las que tienen como base de su funcionamiento el agua y las Termoeléctricas, que funcionan a partir de energía calorífica.

En el siguiente ejemplo, se tomó como base la construcción de una Central Termoeléctrica, cuyo funcionamiento se explica a continuación:

El objetivo principal es producir vapor por medio de energía calorífica, ya sea quemando carbón o consumiendo algún hidrocarburo; para ello, es necesario el uso de una caldera para quemar el combustible y además se encarga de convertir el agua en vapor; este vapor es conducido a la turbina, a la cual impulsa para que gire; finalmente se acopla la turbina al generador, y éste se encarga de producir la energía eléctrica. En la figura 1 se tiene un esquema que explica gráficamente este funcionamiento en una termoeléctrica, cuyo combustible básico es carbón mineral.

Cabe aclarar que el ejemplo que se procesó tiene como combustible un derivado del petróleo, por lo cual no considera en la construcción el tratamiento de carbón; a continuación se hace una descripción de las partes principales de la Central que tomamos como ejemplo, que es la Central Termoeléctrica de Manzanillo:

1. Sistema de Agua de Alimentación.

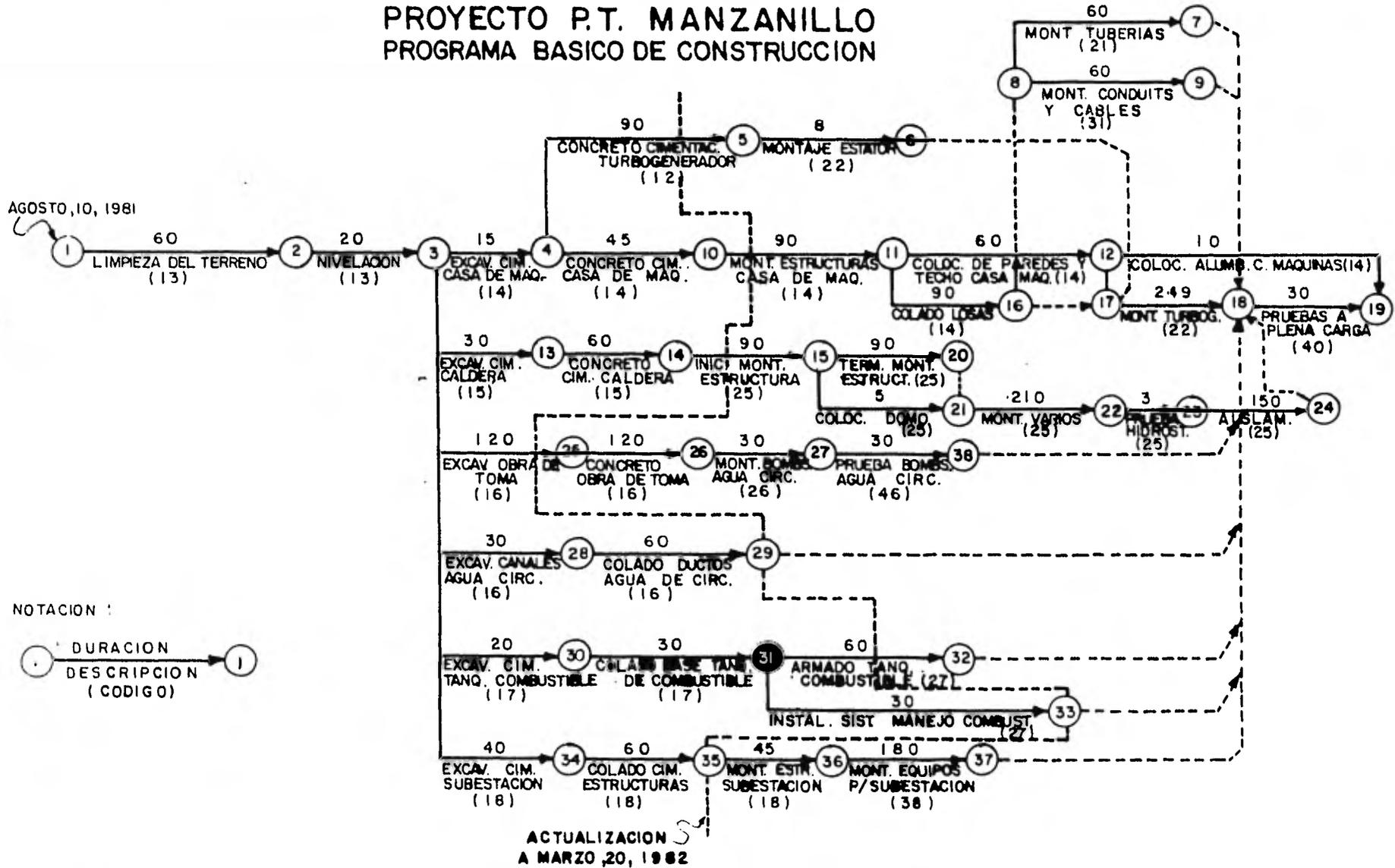
Esta parte de la obra está destinada a dotar el agua que se utiliza en la producción de vapor. En esta obra se utiliza un manantial.

2. Generador de Vapor (Caldera). Es el mecanismo encargado de la producción de vapor.
3. Casa de Máquinas.- En este lugar se alojan la turbina, el generador y la sala de mandos,
4. Sistema de Agua de Circulación. Esta parte de la obra nos -- proporciona agua para el enfriamiento de algunos equipos.
5. Tanques de Combustible. Son tanques destinados al almacenamiento de combustible para evitar la falta del mismo.
6. Subestación. En esta parte es donde se maneja, para su distribución, la energía eléctrica.
7. Líneas de Transmisión.- Un complemento de toda central es la o las líneas de transmisión, que son las que hacen posible la conducción de la energía eléctrica desde el lugar en que se genera hasta el lugar en que se consume.

Nuestro ejemplo considera únicamente los conceptos de construcción de la Central Termoeléctrica de Manzanillo, y es además una red básica, razón por la cual solo cuenta con 36 actividades como se observa en la figura 2; la construcción de una Central requiere lógicamente de redes de mayor tamaño para su control (aproximadamente 1,000 actividades). En forma similar, el control de los recursos no se limita a 33 como en nuestro ejemplo.

PROYECTO P.T. MANZANILLO PROGRAMA BASICO DE CONSTRUCCION

AGOSTO, 10, 1981



ACTUALIZACION
A MARZO 20, 1982

DESCRIPCION Y USO DEL PAQUETE PROJECT/1

Para una mejor apreciación del paquete, nos auxiliaremos en todo momento de los anexos 1 y 2 de este capítulo, los cuales contienen, respectivamente, un listado de las instrucciones procesadas y los reportes emitidos.

Del Anexo 1 se puede observar que las líneas 1 a 6 y 370 a 371.- son comandos de identificación y control propios del sistema operativo en que se procesó (se caracterizan por comenzar con una @); y los comandos específicos del PROJECT/1 están enmarcados por las líneas 7 y 369 (PROJECT Y FINISH respectivamente), que dan al paquete la orden de procesar en sus comandos específicos todo lo -- que entre ellas se encuentre.

Se pueden incluir comentarios del usuario entre los comandos del paquete, con la única característica de que sean precedidos por un signo de \$ en la columna 1; y los comandos pueden ser de tipo tabular o lineal, siendo tabulares aquellos que requieren de varias líneas para la declaración de su contenido (siempre terminan con LAST en su último renglón), y lineales los que solo requieren de una línea.

Así, conforme al párrafo anterior, el primer comando es de tipo tabular y abarca de las líneas 12 a 62; este comando comienza con STORE 'R-BASICA' NETWORK DATA , lo cual indica al sistema que contiene los datos elementales de la red y que deben ser almacenados bajo el nombre R-BASICA; su contenido (líneas 13 a 61) obedece a un cierto formato establecido y contiene , para cada actividad, - los nodos i-j, su descripción, su duración en días, un código de-

2 posiciones que satisface la descripción de las líneas 64 a 76 y el costo inicial de las actividades que lo tienen. Las actividades de liga también han sido declaradas en este formato, con el único requisito de tener duración 0.

Los siguientes comandos como se puede apreciar en las líneas 80 a 89 del mismo Anexo 1, consisten en limitaciones de calendario, como lo son el asignarle una fecha de inicio al proyecto (línea 80), el declarar días festivos (líneas 81 a 88) y el asignar 6 días de trabajo a la semana (línea 89).

Les sigue un comando tabular (líneas 93 a 160), encargado de dar a conocer al sistema los recursos existentes mediante la línea 93, cuyo contenido es DEFINE RESOURCE LIBRARY; los datos básicos para cada recurso están declarados siempre en 2 líneas contiguas, en la primera de éstas se da la definición del recurso, un número de recurso de 3 cifras para reconocimientos futuros; se define el tipo de recurso, el cual puede ser LABOR (mano de obra), MATERIAL (material), EQUIPMENT (equipo) ó SUBCONTRACT (subcontratistas), y se declara la unidad de medición de este recurso; en las segundas líneas se da el costo actual por cada unidad del recurso que se esté tratando. Así de las líneas 94 y 95 podemos observar que al recurso "Peón" se le ha asignado el número 10, que es de Tipo Mano de Obra, el cual se mide en horas-hombre y cada hora-hombre tiene un costo de \$ 45,00

El siguiente formato es también tabular (líneas 164 a 326) y consiste en la asignación de recursos a las actividades, como lo menciona su propio indicador en la línea 164 (ASSIGN RESSOURCES). En

este comando se deben ir mencionando las actividades y, a continuación de éstas, los recursos a emplear y la cantidad de cada recurso. Como ejemplo, podemos observar las líneas 165 a 167, en las cuales se asignan 12,250 unidades del recurso 101 y 100 del recurso 401 a la actividad 23-24.

La línea 330 consiste en un formato lineal, útil para obtener un primer resultado, el cual se muestra en las páginas 1 a 3 del - - Anexo 2 de este capítulo. Este resultado, como el propio comando lo indica, consta de un reporte de programación ordenado por holguras totales (TF = Total Float). La primera de estas páginas nos da a conocer un resúmen de los datos de la red y algunas características de notación utilizadas en las siguientes páginas, como son:

- La duración total del proyecto
- El No. de días hábiles a la semana.
- Las fechas de inicio y terminación del proyecto.
- Los días festivos y no laborables que se declararon, etc.

Las siguientes 2 páginas de este reporte exhiben, en días-calendario y en días del proyecto, los resultados del cálculo - de la red, estos son:

- El inicio temprano (Early Start)
- El inicio tardío (Late Start)
- El término Temprano (Early Finish)
- El término tardío (Late Finish)
- La holgura libre (Free Float)

- La holgura total (Total Float)

Las líneas 331 y 332 del Anexo 1 también son formatos lineales y sus reportes emitidos (páginas 4 y 5) son similares en contenidos a las páginas 2 y 3 del Anexo 2, con la diferencia de que en este caso se están seleccionando primero (línea 331) las actividades - cuyo primer dígito de código es "1" (actividades de disciplina Civil, según la descripción de códigos de las líneas 64 a 76), y se gundo (con la línea 332), se están seleccionando las actividades - cuya holgura total es cero.

La línea 333 genera un reporte que menciona las actividades afectadas o posiblemente afectadas a la fecha que se mencione (al 20 de marzo de 1982 en este caso); este reporte se muestra en la página 6 del Anexo 2 y agrupa 3 tipos de actividades, la primera son actividades que deben estar terminadas a la fecha pedida, las segundas actividades que se mencionan son aquellas que deben estar en proceso, y el tercer grupo consta de aquellas que podrían estar en proceso.

El reporte emitido por la línea 334 se muestra en las páginas 7 a 10, y consiste en listar, para cada recurso, las actividades a las que ha sido asignado y la cantidad. En este reporte se pidió que incluyera solo aquellas actividades cuyo nodo i es menor que 100- (LT = Less than), lo cual abarca todas las actividades del proyecto, pero ejemplifica la capacidad de selección que se tiene en este tipo de reportes.

Las páginas 11 a 18 del Anexo 2 corresponden al formato tabular -

de las líneas 335 a 338, en las cuales se solicita, para el recurso 101 y en intervalos de 8 días hábiles, el costo total del recurso durante el proyecto con sus gráficas y el costo acumulado con sus respectivas gráficas. Así, las páginas 11 y 12 del Anexo 2, muestran la cantidad de horas-hombre de " Peón" que están programadas consumir en cada intervalo de 8 días hábiles, y el costo en tales intervalos; estas mismas cantidades de consumo y de costo por período se muestran gráficamente en las páginas 13 y 14 del Anexo 2; en forma similar las páginas 15 y 16 presentan las horas-hombre acumuladas y el costo acumulado a cada período del mismo recurso, y las páginas 17 y 18 muestran las gráficas de cantidades y costos acumulados, respectivamente.

Las páginas 19 y 20 del Anexo 2 dan a conocer el inicio y el final del reporte emitido por la línea 339 del Anexo 1; este reporte consiste en mostrar el costo generado por cada actividad, de acuerdo a los recursos empleados; previo a esto se da a conocer el costo indirecto total del proyecto y al final de este reporte se menciona el costo total directo del proyecto.

Con la línea 340 del Anexo 1 se emite el reporte mostrado en las páginas 21 a 24 del anexo 2, consistente en el costo simple y el costo acumulado de todo el proyecto a intervalos de 8 días hábiles, y la representación gráfica de ambos casos.

El formato que sigue (líneas 344 a 363 del Anexo 1) consiste en declarar el progreso de la red a una cierta fecha (20 de marzo de 1982); está compuesto por los nodos i-j de las actividades que han sido afectadas, la palabra START y la fecha de inicio que se-

haya tenido para la actividad en cuestión, la palabra FINISH y la fecha de terminación (si ya se concluyó), y la letra C, seguida del costo total generado por esa actividad, o bien el costo que se lleva a la fecha para aquellas actividades que ya se comenzaron, pero que aún no se terminan (1).

La línea 367 del mismo Anexo 1, está solicitando la impresión de un programa de trabajo que ya considera el progreso declarado (al 20 de marzo de 1982 en este caso); este reporte se muestra en las páginas 25 y 26 del Anexo 2 y contiene, en días-calendario y en días-proyecto, las fechas programadas y reportadas de inicio y de terminación de cada actividad, la duración y el costo estimado, y el costo reportado a la fecha de actualización.

Finalmente, la línea 368 del Anexo 1 solicita la impresión de un reporte del progreso actual (PRINT ACTUAL PROGRESS REPORT), el cual está basado en los datos de la actualización. El reporte generado se muestra en las páginas 27 a 31 del Anexo 2 y consta de 4 categorías de actividades más un resumen del progreso, las cuales se describen a continuación:

Categoría 1.- Actividades Concluidas. Para estas actividades se presentan 2 fechas de terminación, la programada y la actual o la reportada, y junto a estas fechas se indica la desviación en días (ya sea adelanto o atraso). Otra columna marca la duración actual y la estimada, y junto a ella se tiene la desviación en días y en porcentaje.

- (1) En las actividades que se asigne fecha de inicio, pero no de terminación, bajo este formato, se asume que tendrán una duración igual a la declarada inicialmente.

Desviación de la fecha de terminación = terminación actual - terminación programada.

Tendrá signo positivo si la terminación actual es posterior a la fecha de terminación programada, y signo negativo en caso contrario.

Duración actual = terminación actual - inicio programado o actual.

La duración estimada es la programada.

Desviación en días = duración actual - duración estimada.

Desviación de la duración como un porcentaje de la duración estimada = $100 \times \text{desviación de la duración} / \text{duración estimada}$.

Es positiva cuando la duración actual es mayor a la duración estimada y negativa en caso contrario.

Para los costos de estas actividades se realizó un análisis similar, tomando como base el costo estimado y el costo real; se considera como costo estimado a la suma del costo indirecto y el costo directo.

Categorías 2 y 3. - Actividades en Proceso.

Categoría 2. - Actividades que se Espera Terminar en o antes de lo planeado.

Categoría 3.- Actividades que se espera terminar con retraso en función de lo planeado. (1).

En los dos casos, las actividades que aparecen son actividades en proceso y se presenta la siguiente información.

- Iniciación programada.
- Terminación programada
- Iniciación actual, si no se reporta se considera la iniciación programada.
- Terminación esperada, si no se reportó la calcula y es igual a la iniciación actual, más la duración estimada.

La siguiente columna es la duración esperada, que equivale a la duración estimada cuando no se reporta una terminación esperada; en caso contrario será igual a la terminación esperada menos el inicio actual.

Otra columna que aparece es el porcentaje usado con respecto a la duración estimada o planeada, y es igual a la fecha del reporte de actualización menos la iniciación actual entre la duración estimada. (2)

Para los costos de estas actividades se realiza un análisis similar.

- (1) Se debe considerar como planeado en todo momento, las fechas tempranas de inicio y de terminación que se muestran en las páginas 2 y 3 del Anexo 2.
- (2) En este caso la fecha del reporte de actualización es el 20 de marzo de 1982.

Categoría 4.- Actividades que, con respecto a su inicio temprano, ya deberían estar iniciadas.

Esta categoría incluye actividades programadas para empezar en o antes de la fecha del reporte de actualización (20 de marzo de 1982), a las cuales no se les dió inicio actual.

Aparece la siguiente información:

- Iniciación programada
- Iniciación esperada (sólo si se reportó).
- Terminación programada.
- Terminación esperada (sólo si se reportó)
- Duración estimada (igual que la planeada).

Además, como consecuencia de la misma línea 368 del Anexo 1, se imprime un resumen del progreso a la fecha de la actualización (marzo 20 de 1982); la información que aparece en este reporte (véase en la página 31 del Anexo 2) es:

- El número de días trabajados desde que el proyecto empezó, y su fecha.
- La duración programada del proyecto en días, y su correspondiente fecha.
- La duración actual del proyecto, basada en los datos de actualización (en días y en fecha-calendario).
- La desviación total de la duración (en días), con respecto a la duración planeada.
- El número de días que faltan para terminar el proyecto, con respecto a la duración actualizada.

El porcentaje de tiempo consumido, con respecto a la duración planeada.

- El porcentaje de tiempo consumido con respecto a la duración actualizada.

ANALISIS DE RESULTADOS.

- Uno de los reportes básicos es el que se muestra en las páginas 2 y 3 del Anexo 2, ya que de él se pueden conocer cuáles son las actividades críticas del proceso productivo, y poner especial atención en la realización de las mismas. De este mismo reporte se puede aprovechar el conocimiento de las holuras en las actividades no críticas, para que al momento de realizarlas, si es necesario retrasarlas, se sepa hasta qué momento se pueden posponer.
- El reporte que se puede observar en la página 4, corresponde sólo a aquellas actividades cuyo primer dígito de código es "1"; esto equivale a seleccionar solo aquellas actividades cuya disciplina es Civil; este tipo de reportes es también muy útil, puesto que se puede pedir para cualquier combinación de código y así, cada área de trabajo puede vigilar más específicamente las actividades que le corresponden.
- Otro reporte importante es el que se presenta en las páginas 7 a 10 del mismo Anexo, puesto que de él se conoce el consumo de recursos a utilizar por cada actividad.
- Asimismo, el reporte de las páginas 11 a 18, con el cual se conoce la frecuencia de uso del recurso 101 (PEONES), es útil

para prevenir la existencia suficiente del recurso en todo momento del proyecto, y lo mismo puede efectuarse con los demás recursos.

- El reporte de las páginas 19 y 20 complementa al reporte de las páginas 7 a 10, ya que agrega el costo directo generado en cada actividad; asimismo, da a conocer el monto total de los costos indirectos de las actividades, el cual es de \$ 26,287,000.- Igualmente del reporte de las páginas 21 a 24 se obtiene un análisis más del costo, consistente en este caso en el costo directo total del proyecto.
- Después de darle a conocer a PROJECT/1 los datos de actualización, se pidió enlistar el programa de trabajo a la fecha (20 de marzo de 1982); éste se muestra en las páginas 25 y 26, y es empleado generalmente para conocer el cuidado que se está teniendo en la realización oportuna de las actividades. De él se observa que las actividades críticas ya concluidas han sido realizadas en menos tiempo de lo planeado, y que las actividades no críticas ya iniciadas e incluso concluidas, han hecho uso de su holgura en algunos casos, pero sin llegar a afectar la fecha de terminación del proyecto.
- Finalmente, como resultado del acortamiento en las duraciones de las actividades críticas ya realizadas. (véase la página 31). se observa que existe la posibilidad de terminar el proyecto en 718 días hábiles, y no en 743 días como arrojaba el cálculo de las duraciones programadas.

A N E X O 1

1	BRUN. 1/25	MHAJRI, AMMIO/HAEMI, ICES, 3.250
2	PRI. 5	PROYECTO PLANTAS PLANZSP. MANZANILLO
3	ASG. 4	ICES/PERUCCI
4	ASG. 1	SYSTEM
5	ADOP. 0	SYSTEM, PROYECT
6	2	SYSTEM, ICES, U2
7	PROJECT	
8	*** MED. BASICA DE "MANZANILLO", ELABORADA POR ARMANDO JAIME BETANZOS (FEB 82)	
9	*** DECLARACION DE ACTIVIDADES ***	
10	STONE "M-BASICA" NETWORK DATA	
11	1 2	*LIMPIEZA DEL TERRENO * 40 13 C 200000
12	2 3	*NIVELACION DEL TERRENO * 20 13
13	3 4	*EXCAVAC DE CIMENTAC DE CASA DE MAQ. * 15 14 C 50000
14	3 13	*EXCAVAC DE CIMENTAC DE LA CALDERA * 30 15
15	7 25	*EXCAVACION DE LA OBRA DE TOMA * 120 16
16	3 28	*EXCAVAC DE CANALES AGUA CIRCULACION * 30 16
17	1 30	*EXCAV DE CIMENT DEL TANCHE DE COMR * 20 17
18	3 34	*EXCAVAC DE CIMENT DE LA SUBESTACION * 40 18
19	5 5	*CONCRETO P/CIMENT DEL TURBOGENERADOR * 90 12 C 1700000
20	4 10	*CONCRETO P/CIMENTAC DE CASA DE MAQ. * 48 14 C 142000
21	5 6	*MONTAJE DEL ESTATOR * 0 22 C 4000000
22	6 17	*LIGA * 0
23	7 18	*LIGA * 0
24	8 7	*MONTAJE DE TUBERIAS * 60 21 C 500000
25	8 9	*MONTAJE DE CONDUITS Y CALES * 60 31 C 2000000
26	9 14	*LIGA * 0
27	10 11	*MONTAJE ESTRUCTURAS DE CASA DE MAQ. * 90 14 C 3000000
28	11 12	*COLOCACION DE PAREDES Y TECHO DE C/M * 60 14 C 500000
29	11 16	*COLADO DE LOSAS * 90 14 C 86000
30	12 17	*LIGA * 0
31	12 19	*COLOCACION DE ALUMBRADO EN CASA DE M * 10 34 C 120000
32	13 14	*CONCRETO PARA CIMENTAC DE LA CALDERA * 60 15 C 90000
33	14 15	*INICIA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA * 90 25 C 7000000
34	15 20	*TERMINA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA * 90 25
35	15 21	*COLOCACION DEL DOMO * 5
36	16 17	*LIGA * 0
37	16 18	*LIGA * 0
38	17 18	*MONTAJE DEL TURBOGENERADOR * 249 22 C 8000000
39	18 19	*PUERTAS A PLENA CARGA * 30 40
40	20 21	*LIGA * 0
41	21 22	*MONTAJE DE EQUIPOS VARIOS * 210 25
42	22 23	*PRUEBA HIDROSTATICA * 3 25 C 40000
43	23 24	*AISLAMIENTO * 150 25
44	24 14	*LIGA * 0
45	25 26	*CONCRETO EN LA OBRA DE TOMA * 120 16
46	26 27	*MONTAJE DE BOMBAS DE AGUA DE CIRC. * 30 26
47	27 38	*PRUEBA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE CIRC * 30 46
48	28 29	*COLADO DE DUCTOS P/AGUA DE CIRCULAC * 60 16
49	29 14	*LIGA * 0
50	31 31	*COLADO DE LA BASE DEL TANCHE DE COMR * 30 17
51	31 32	*ARMADO DEL TANCHE DE COMBUSTIBLE * 60 27
52	31 33	*INSTALACION DEL SIST P/ANEJO DE COMR * 30 27
53	32 14	*LIGA * 0
54	33 14	*LIGA * 0
55	34 35	*COLADO DE LA CIMENTAC DE ESTRICTURAS * 60 18
56	35 36	*MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE SUBESTAC * 40 18
57	36 37	*MONTAJE DE EQUIPOS P/SUBESTACION * 120 38
58	37 14	*LIGA * 0
59	38 16	*LIGA * 0

62	LAST				
63					
64	*** DESCRIPCION DE CODIGOS ***				
65	CODIGO 1.-	1	= CIVIL		
66	(DISCIPLINAS)	2	= MECANICA		
67		3	= ELECTRICA		
68		4	= PNEUMAS		
69	CODIGO 2.-	1	= TUBERIAS Y CABLES		
70	TIPO DE-	2	= TURBOCOMPAÑADOR		
71	(PAGAS)	3	= OBRAS EXTERIORES		
72		4	= CASA DE MAQUINAS		
73		5	= CALDERA		
74		6	= SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION		
75		7	= SISTEMA DE COMBUSTIBLE		
76		8	= SUBESTACION		
77					
78	*** LIMITACIONES DE CALENDARIO ***				
79					
80	ASSIGN START ON 10 AUG 1981				
81	ASSIGN HOLIDAY JAN 1 EVERY YEAR				
82	ASSIGN HOLIDAY FEB 5 EVERY YEAR				
83	ASSIGN HOLIDAY MAR 21 EVERY YEAR				
84	ASSIGN HOLIDAY MAY 1 EVERY YEAR				
85	ASSIGN HOLIDAY SEP 16 EVERY YEAR				
86	ASSIGN HOLIDAY NOV 20 EVERY YEAR				
87	ASSIGN HOLIDAY DEC 20 EVERY YEAR				
88	ASSIGN HOLIDAY BLOCK ERUP. DEC 25 EVERY YEAR TO DEC 31 EVERY YEAR				
89	ASSIGN WORKWEEK				
90					
91	*** DECLARACION DE RECURSOS ***				
92					
93	DEFINE RESOURCE LIBRARY				
94	* PEON	101	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
95		1	45.00		
96	* TUBERO-A	102	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
97		1	75.00		
98	* SOLDADOR	103	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
99		1	70.00		
100	* TUBERO-B	104	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
101		1	25.00		
102	* ELECTRICISTA	105	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
103		1	65.00		
104	* FIERREÑO	106	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
105		1	65.00		
106	* OPERADOR-GRUA-B	107	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
107		1	125.00		
108	* OPERADOR-MOTOCONEORA	108	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
109		1	120.00		
110	* CARPINTERO	109	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
111		1	45.00		
112	* PEON-ESPECIALIZADO-A	110	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
113		1	75.00		
114	* MONTADOR-A	111	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
115		1	30.00		
116	* MONTADOR-B	112	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
117		1	110.00		
118	* LALOFATORISTA	113	LABOR	* HORAS-HOMBRE *	
119		1	110.00		
120	* TUBO-25-PULG	201	MATERIAL	* METRO-LINEAL *	
121		1	140.00		
122	* TUBO-8-PULG	202	MATERIAL	* METRO-LINEAL *	
123		1	30.00		

123	*SOLDADURA	*	203	MATERIAL	*KILOGRAMO *
124			1	50.00	
125	*CEMENTO	*	204	MATERIAL	*TONELADA *
126			1	2610.00	
127	*GRAVA	*	205	MATERIAL	*METRO-CUBICO *
128			1	210.00	
129	*ARENA	*	206	MATERIAL	*METRO-CUBICO *
130			1	125.00	
131	*VANILLA-1.5-FULG	*	207	MATERIAL	*TONELADA *
132			1	8110.00	
133	*VANILLA-1-PULG	*	208	MATERIAL	*TONELADA *
134			1	6113.00	
135	*VANILLA-1.5-FULG	*	209	MATERIAL	*TONELADA *
136			1	5110.00	
137	*CIMBRA	*	210	MATERIAL	*METRO-CUAD. *
138			1	510.00	
139	*SOLDADURA	*	201	EQUIPMENT	*DIA-RENIA *
140			1	491.00	
141	*GRUA-A-1C/OPERADOR	*	202	EQUIPMENT	*HORA-MACUINA *
142			1	600.00	
143	*GRUA-B-1S/OPERADOR	*	203	EQUIPMENT	*HORA-MACUINA *
144			1	510.00	
145	*CAMION-A-1C/OPERACI	*	204	EQUIPMENT	*HORA-MACUINA *
146			1	520.00	
147	*MOTOCORFORMAN-1S/CP	*	205	EQUIPMENT	*HORA-MACUINA *
148			1	537.50	
149	*EXCAVADORA-1C-OP1	*	206	EQUIPMENT	*HORA-MACUINA *
150			1	710.00	
151	*EVOLVEDORA-1C-OP1	*	207	EQUIPMENT	*HORA-MACUINA *
152			1	110.00	
153	*CONTRATISTA-A	*	401	SUBCONTRACT	*%DE-AVANCE *
154			1	2000.00	
155	*CONTRATISTA-B	*	402	SUBCONTRACT	*%DE-AVANCE *
156			1	950.00	
157	*CONTRATISTA-C	*	403	SUBCONTRACT	*%DE-AVANCE *
158			1	5000.00	
159	LAST				
160	\$				
161	\$ *** ASIGNACION DE RECURSOS ***				
162	\$				
163	\$				
164	ASIGN. RECURSOS				
165	ACTIVITY 23 24				
166	101		12250.00		
167	401		100.00		
168	ACTIVITY 21 22				
169	101		115.00		
170	102		200.00		
171	103		50400		
172	104		800		
173	ACTIVITY 25 26				
174	101		200		
175	102		1200		
176	103		110		
177	104		100		
178	ACTIVITY 27 28				
179	101		5750		
180	102		16000		
181	103		700		
182	104		120		
183	ACTIVITY 19 20				
184	101		6000		
185	102		20000		

186	503	720
187	107	722
188	ACTIVITY 12	19
189	101	9200
190	106	1700
191	109	1100
192	302	200
193	307	700
194	109	500
195	200	700
196	206	500
197	205	500
198	204	80
199	ACTIVITY 0	9
200	101	500
201	104	1600
202	105	2200
203	ACTIVITY 8	7
204	101	300
205	102	2300
206	103	2600
207	201	1500
208	202	2000
209	203	500
210	301	220
211	302	1300
212	ACTIVITY 4	5
213	101	8000
214	106	6000
215	204	500
216	205	300
217	206	250
218	207	125
219	109	2000
220	107	1600
221	ACTIVITY 1	2
222	101	16000
223	304	1460
224	303	1515
225	107	1515
226	ACTIVITY 2	3
227	108	1091
228	101	4960
229	305	992
230	ACTIVITY 3	4
231	101	1440
232	306	63
233	304	350
234	ACTIVITY 5	6
235	107	288
236	303	268
237	101	576
238	ACTIVITY 4	10
239	101	2600
240	106	1145
241	302	100
242	208	400
243	206	200
244	205	200
245	109	2000
246	307	300
247	304	400

248	ACTIVITY	10	11
249		101	4253
250		110	14403
251		302	270
252	ACTIVITY	11	12
253		101	3700
254		110	4800
255		302	123
256	ACTIVITY	12	19
257		101	500
258		105	1000
259	ACTIVITY	11	16
260		101	22000
261		106	4000
262		302	203
263		205	240
264		204	243
265		210	440
266	ACTIVITY	17	18
267		101	12503
268		111	5900
269		112	25000
270		110	36003
271		302	600
272	ACTIVITY	18	19
273		101	1253
274		113	3400
275	ACTIVITY	3	13
276		101	4800
277		306	180
278		304	800
279	ACTIVITY	22	23
280		101	125
281		110	100
282	ACTIVITY	3	25
283		402	31.0
284	ACTIVITY	25	26
285		407	31.0
286	ACTIVITY	26	27
287		402	8.0
288	ACTIVITY	27	38
289		402	8.0
290	ACTIVITY	3	28
291		402	8.0
292	ACTIVITY	28	29
293		402	14.0
294	ACTIVITY	3	30
295		403	40.0
296	ACTIVITY	30	31
297		403	15.0
298	ACTIVITY	31	32
299		403	30.0
300	ACTIVITY	31	33
301		403	15.0
302	ACTIVITY	3	34
303		101	4800
304		306	240
305		304	1050
306	ACTIVITY	34	35
307		101	4200
308		306	1000
309		109	1100

```

1
2 310          302      200
3 311          307      700
4 312          304      500
5 313          208      700
6 314          206      500
7 315          205      500
8 316          210      1600
9 317  ACTIVITY 35 36
10 318          101      2750
11 319          110      7200
12 320          302      150
13 321  ACTIVITY 36 37
14 322          101      1050
15 323          110      16350
16 324          102      11200
17 325          302      600
18 326  LAST
19 327  $
20 328  $ *** SOLICITUD DE REPORTES DE PROGRAMACION INICIAL ***
21 329  $
22 330  PRINT SCHEDULE SORT BY TF
23 331  PRINT SCHEDULE SELECT ACTIVITIES WITH CODE DIGIT 1 EQUAL 1
24 332  PRINT SCHEDULE SELECT ACTIVITIES WITH TF EQUAL 0
25 333  PRINT PREDICTED STATUS AS OF 20 MAR 1982
26 334  PRINT RESOURCES ALLOCATION BY RESOURCE SELECT ACT WITH NODE NUMBER LT 100
27 335  PRINT RESOURCES USAGE EVERY 8 DAYS
28 336  1 11 COST GRAPHIC
29 337  1 11 COST CUMULATIVE GRAPHIC
30 338  LAST
31 339  ASSIGN COST BY RESOURCE PRICE
32 340  PRINT COST EVERY 8 DAYS
33 341  $
34 342  $ *** INGRESO DE LMA ACTUALIZACION ***
35 343  $
36 344  REPORT PROGRESS AS OF 20 MAR 1982
37 345  1 2 START 10 AUG 1981 FINISH 16 OCT 1981 C 7700000
38 346  2 3 START 17 OCT 1981 FINISH 2 NOV 1981 C 600000
39 347  3 4 START 3 NOV 1981 FINISH 11 NOV 1981 C 350000
40 348  3 13 START 3 NOV 1981 FINISH 30 NOV 1981 C 750000
41 349  3 25 START 20 NOV 1981
42 350  3 28 START 3 NOV 1981 FINISH 3 DEC 1981 C 90000
43 351  3 30 START 3 NOV 1981 FINISH 30 NOV 1981 C 200000
44 352  3 34 START 3 NOV 1981 FINISH 24 DEC 1981 C 1000000
45 353  4 5 START 14 NOV 1981
46 354  4 10 START 6 JAN 1982 FINISH 5 MAR 1982 C 3315000
47 355  12 11 START 6 MAR 1982
48 356  13 14 START 1 DEC 1981 FINISH 4 FEB 1982 C 5900000
49 357  14 15 START 6 FEB 1982
50 358  23 29 START 16 DEC 1981 FINISH 4 MAR 1982 C 113000
51 359  30 31 START 17 DEC 1981 FINISH 20 JAN 1982 C 75000
52 360  31 32 START 29 JAN 1982
53 361  31 33 START 8 FEB 1982 FINISH 13 MAR 1982 C 75000
54 362  34 35 START 2 JAN 1982 FINISH 20 MAR 1982 C 651000
55 363  LAST
56 364  $
57 365  $ *** SOLICITUD DE REPORTES DE PROGRAMACION SUBSECUENTE ***
58 366  $
59 367  PRINT WORKING SCHEDULE
60 368  PRINT ACTUAL PROGRESS REPORT
61 369  FINISH
62 370  CANCEL
63 371  $FIN

```

2

A N E X O 2

* SCHEDULE FOR PROJECT 'R-BASICA' *

PROJECT DURATION IS 743 WORK DAYS. WORK WEEK IS 6 DAYS
WORK IS SCHEDULED TO START ON THE MORNING OF 10 AUG 1961
AND TO BE COMPLETED ON THE AFTERNOON OF 20 JAN 1964.

THE PROJECT 'R-BASICA' NETWORK HAS
34 ACTIVITIES OF WHICH 36 APPEAR ON THIS REPORT OR SCHEDULE

ACTIVITIES ARE SCHEDULED TO START ON THE MORNING OF THE SPECIFIED WORKDAY OR DATE
AND TO FINISH ON THE AFTERNOON OF THE SPECIFIED WORKDAY OR DATE.

EVENTS ARE SCHEDULED FOR THE MORNING AFTER THE LAST PRECEDING ACTIVITY FINISHES,
EXCEPT FOR EVENTS OCCURRING ON THE PROJECT COMPLETION DATE.

ACTIVITIES AND EVENTS ARE SORTED ACCORDING TO TOTAL-FLOAT EARLY-START

'C' IN MARGIN DESIGNATES A CRITICAL ACTIVITY OR EVENT.

HOLIDAYS AND NON-WORKING DAYS FOR PROJECT 'R-BASICA'

1 JAN EVERY YEAR
5 FEB EVERY YEAR
21 MAR EVERY YEAR
1 MAY EVERY YEAR
16 SEP EVERY YEAR
20 NOV EVERY YEAR
20 DEC EVERY YEAR
25 DEC TO 31 DEC INCLUSIVE, EVERY YEAR

ACTIVITY SCHEDULE

ACTIVITY	DESCRIPTION	CODE	DURATION	EARLY START	LATE START	EARLY FINISH	LATE FINISH	FREL FLOAT	TOTAL FLOAT		
C	1	2	LIMPIEZA DEL TERRENO	13	60	10AUG81	10AUG81	19OCT81	19OCT81	0	0
C	2	3	NIVELACION DEL TERRENO	13	20	26OCT81	20OCT81	11NOV81	11NOV81	0	0
C	3	13	EXCAVACION DE CIMENTACION DE LA CALDERA	15	30	12NOV81	12NOV81	17DEC81	17DEC81	0	0
C	13	14	CONCRETO PARA CIMENTACION DE LA CALDERA	15	60	18DEC81	18DEC81	6MAR82	6MAR82	0	0
C	14	15	INICIA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	25	90	6MAR82	6MAR82	21JUN82	21JUN82	0	0
C	15	20	TERMINA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	25	90	22JUN82	22JUN82	5OCT82	5OCT82	0	0
C	21	22	MONTAJE DE EQUIPOS VARIOS	25	210	6OCT82	6OCT82	20JUN83	20JUN83	0	0
C	22	23	PRUEBA HIDROSTATICA	25	3	21JUN83	21JUN83	23JUN83	23JUN83	0	0
C	23	24	AISLAMIENTO	25	150	24JUN83	24JUN83	16DEC83	16DEC83	0	0
C	18	19	TRUBOS A PLENA CARGA	40	30	17DEC83	17DEC83	28JAN84	28JAN84	0	0
	15	21	COLOCACION DEL BOMO	25	5	22JUN82	30SEP82	26JUN82	5OCT82	85	85
	3	4	EXCAVACION DE CIMENTACION DE CASA DE MAO.	14	15	12NOV81	11MAY82	30NOV81	27MAY82	0	144
	4	10	CONCRETO DE CIMENTACION DE CASA DE MAO.	14	45	1DEC81	28MAY82	25JAN82	19JUL82	0	144
	10	11	MONTAJE ESTRUCTURAS DE CASA DE MAO.	14	90	30JAN82	20JUL82	17MAY82	2NOV82	0	144
	11	16	COLOCACION DE LOSAS	14	90	18MAY82	3NOV82	30AUG82	26FEB83	0	144
	17	18	MONTAJE DEL TURBOGENERADOR	22	249	31AUG82	28FEB83	30JUN83	16DEC83	144	144
	11	12	COLOCACION DE PAREDES Y TECHO DE C/M	14	60	16MAY82	9DEC82	26JUL82	26FEB83	0	174
	4	5	CONCRETO DE CIMENTACION DEL TURBOGENERADOR	12	90	1DEC81	25OCT82	24MAR82	17FEB83	0	271
	5	6	MONTAJE DEL ESTATOR	22	8	25MAR82	18FEB83	2APR82	26FEB83	127	271
	3	34	EXCAVACION DE CIMENTACION DE LA SUBESTACION	14	90	12NOV81	19NOV82	6JAN82	14JAN83	0	308
	34	35	EMPLEO DE LA CIMENTACION DE ESTRUCTURAS	18	60	7JAN82	15JAN83	16MAR82	28MAR83	0	308
	35	36	MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE SUBESTACION	18	45	19MAY82	24MAY83	11MAY82	19MAY83	0	308
	36	37	MONTAJE DE EQUIPOS DE SUBESTACION	34	160	12MAY82	20MAY83	9DEC82	16DEC83	308	308
	5	25	EXCAVACION DE LA CERA DE TONDA	14	120	12NOV81	21DEC82	10APR82	19MAY83	0	333

110.

25	26	CONCRETO EN LA OURA DE TOMA	16	120	12 APR 82	20 MAY 83	30 AUG 82	7 OCT 83	0	333
					701	534	320	653		
8	9	MONTAJE DE CONDUITS Y CABLES	31	60	31 AUG 82	8 OCT 83	9 NOV 82	16 DEC 83	333	333
					321	654	380	713		
26	27	MONTAJE DE BOMBAS DE AGUA DE CIRC.	26	30	31 AUG 82	8 OCT 83	5 OCT 82	11 NOV 83	0	333
					321	654	350	663		
8	7	MONTAJE DE TUBERIAS	21	60	31 AUG 82	8 OCT 83	9 NOV 82	16 DEC 83	333	333
					321	654	380	713		
27	36	REPARA EL LAS BOMBAS DE AGUA DE CIRC.	46	30	6 OCT 82	12 NOV 83	9 NOV 82	16 DEC 83	333	333
					351	684	380	713		
12	19	COLOCACION DE ALUMBRADO EN CASA DE M	34	10	27 JUL 82	18 JAN 84	6 AUG 82	28 JAN 84	443	443
					291	734	300	743		
3	30	EXCAV DE CIMENT DEL TANQUE DE COMB	17	20	12 NOV 81	10 AUG 83	5 DEC 81	15 SEP 83	0	523
					81	604	100	623		
26	31	CELAJO DE LA BASE DEL TANQUE DE COMB	13	30	7 DEC 81	25 SEP 83	12 JAN 82	7 OCT 83	0	523
					101	624	130	653		
11	32	ARMADO DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE	27	60	19 JAN 82	8 OCT 83	30 MAR 82	16 DEC 83	523	523
					131	654	190	713		
3	28	EXCAVAC DE CANALES AGUA CIRCULACION	16	30	12 NOV 81	25 SEP 83	17 DEC 81	7 OCT 83	0	543
					81	624	110	653		
26	29	ENDADO DE DUCTOS PARA AGUA DE CIRCULACION	16	60	16 DEC 81	8 OCT 83	6 MAR 82	16 DEC 83	543	543
					111	654	170	713		
11	33	INSTALACION DEL SISTEMA MANEJO DE COMBUS	27	30	19 JAN 82	12 NOV 83	23 FEB 82	16 DEC 83	553	553
					131	684	160	713		

.....

END OF SCHEDULE

.....

ACTIVITY SCHEDULE

ACTIVITY	DESCRIPTION	CODE	DURATION	EARLY START	LATE START	EARLY FINISH	LATE FINISH	FREE FLOAT	TOTAL FLOAT		
C	1	2	LIMITERA DEL TERRENO	13	60	10AUG81	10AUG81	19OCT81	19OCT81	0	0
C	2	3	NIVELACION DEL TERRENO	13	20	23OCT81	23OCT81	11NOV81	11NOV81	0	0
	3	4	EXCAVAC DE CIMENTAC DE CASA DE MAQ.	14	15	12NOV81	11MAY82	30NOV81	27MAY82	0	144
C	3	13	EXCAVAC DE CIMENTACION DE LA FALDERA	15	30	12NOV81	12NOV81	17DEC81	17DEC81	0	0
	3	25	EXCAVACION DE LA OBRA DE TOMA	16	120	12NOV81	21FEB82	10APR82	19MAY83	0	333
	3	28	EXCAVAC LE CANALES AGUA CIRCULACION	16	30	12NOV81	25SEP83	17DEC81	10CT83	0	543
	3	30	EXCAV DE CIMENT DEL TANCHE DE COMP	17	20	12NOV81	10AUG83	5OCT81	15SEP83	0	523
	3	34	EXCAVAC DE CIMENTAC DE LA SUBESTACION	18	40	12NOV81	19NOV82	6JAN82	14JAN83	0	308
	4	5	CONCRETO PACIMIENTO DEL TURBOGENERADOR	12	90	1DEC81	25OCT82	24MAY82	17FEB83	0	271
	4	10	CONCRETO PACIMIENTO DE CASA DE MAQ.	14	45	1DEC81	28MAY82	29JAN82	19JUL82	0	144
	10	11	MONTAJE ESTRUCTURAS DE CASA DE MAQ.	14	90	30JAN82	20JUL82	17MAY82	2NOV82	0	144
	11	12	COLOCACION DE PAREDES Y TECHO DE CPM	14	60	18MAY82	9DEC82	26JUL82	26FEB83	0	174
	11	14	COLEADO DE LOSAS	14	90	18MAY82	3NOV82	30AUG82	26FEB83	0	144
C	13	14	CONCRETO PARA CIMENTAC DE LA FALDERA	15	60	18DEC81	18DEC81	6MAR82	6MAR82	0	0
	25	26	CONCRETO EN LA OBRA DE TOMA	16	120	12APR82	20MAY83	30AUF82	10CT83	0	333
	26	29	COLEADO DE DUCTOS PARA AGUA DE CIRCULAC	16	60	18DEC81	8OCT83	6MAY82	16OCT83	543	543
	30	31	COLEADO DE LA BASE DEL TANCHE DE COMP	17	30	7DEC81	25SEP83	1EJAN82	7OCT83	0	523
	34	35	COLEADO DE LA CIMENTAC DE ESTRUCTURAS	18	60	7JAN82	15JAN83	18MAR82	28MAR83	0	308
	35	36	MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE SUBESTAC	18	45	19MAY82	29MAY83	11MAY82	19MAY83	0	308

END OF SCHEDULE

ACTIVITY SCHEDULE

ACTIVITY	DESCRIPTION	CODE	DURATION	EARLY START	LATE START	EARLY FINISH	LATE FINISH	FREE FLOAT	TOTAL FLOAT		
C	1	2	LIMITAZA DEL TERRENO	13	60	10AUG81	10AUG81	190C181	190C181	0	0
C	2	3	NIVELACION DEL TERRENO	13	20	23OCT81	23OCT81	11NOV81	11NOV81	0	0
C	3	13	EXCAVACION DE CIMENTACION DE LA CALDERA	15	30	12NOV81	12NOV81	17DEC81	17DEC81	0	0
C	13	14	CONCRETO PARA CIMENTACION DE LA CALDERA	15	60	18DEC81	18DEC81	8MAR82	8MAR82	0	0
C	14	15	INICIA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	25	90	8MAR82	8MAR82	21JUN82	21JUN82	0	0
C	15	20	TERMINA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	25	90	22JUN82	22JUN82	5OCT82	5OCT82	0	0
C	16	19	PRUEBAS A PLENA CARGA	40	30	17OCT83	17DEC83	28JAN84	28JAN84	0	0
C	21	22	MONTAJE DE EQUIPOS VARIOS	25	210	6OCT82	6OCT82	20JUN83	20JUN83	0	0
C	22	23	PRUEBA HIDROSTATICA	25	3	21JUN83	21JUN83	23JUN83	23JUN83	0	0
C	23	24	ASISTAMIENTOS	25	150	24JUN83	24JUN83	16DEC83	16DEC83	0	0

END OF SCHEDULE

2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

THE FOLLOWING ACTIVITIES MUST BE COMPLETED BY 20MAR82

E	1	2	LIMPIEZA DEL TERRENO	SHOULD HAVE BEEN FINISHED BY 19OCT81	13
C	2	3	NIVELACION DEL TERRENO	SHOULD HAVE BEEN FINISHED BY 11NOV81	13
C	3	13	EXCAVAC DE CIMENTACION DE LA CALDERA	SHOULD HAVE BEEN FINISHED BY 17DEC81	15
C	13	14	CONCRETO PARA CIMENTAC DE LA CALDERA	SHOULD HAVE BEEN FINISHED BY 6MAR82	15

THE FOLLOWING ACTIVITIES MUST BE IN PROGRESS BY 20MAR82

C	14	15	INICIA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	MUST BE FINISHED BY 21JUN82	25
---	----	----	------------------------------------	-----------------------------	----

THE FOLLOWING ACTIVITIES MAY BE IN PROGRESS BY 20MAR82

	3	4	EXCAVAC DE CIMENTAC DE CASA DE MAQ.	MUST BE STARTED BY 11MAY82	14
	4	10	CONCRETO Y CIMENTAC DE CASA DE MAQ.	MUST BE STARTED BY 28MAY82	14
	10	11	MONTAJE ESTRUCTURAS DE CASA DE MAQ.	MUST BE STARTED BY 20JUL82	14
	4	5	CONCRETO Y CIMENTAC DEL TURBOGENERADOR	MUST BE STARTED BY 25OCT82	12
	3	34	EXCAVAC DE CIMENTAC DE LA SUBESTACION	MUST BE STARTED BY 19NOV82	18
	3	25	EXCAVACION DE LA OBRA DE TOMA	MUST BE STARTED BY 21DEC82	16
	24	35	COLADO DE LA CIMENTAC DE ESTRUCTURAS	MUST BE STARTED BY 15JAN83	18
	25	36	MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE SUBESTAC	MUST BE STARTED BY 29MAR83	18
	3	30	EXCAV DE CIMENT DEL TANQUE DE COMP	MUST BE STARTED BY 10AUG83	17
	20	31	COLADO DE LA BASE DEL TANQUE DE COMP	MUST BE STARTED BY 25SEP83	17
	3	26	EXCAVAC DE CANALES AGUA DE CIRCULACION	MUST BE STARTED BY 25SEP83	16
	31	32	ARMADO DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE	MUST BE STARTED BY 8OCT83	27
	24	29	COLADO DE DUCTOS DE AGUA DE CIRCULAC	MUST BE STARTED BY 8OCT83	16
	31	33	INSTALAC DEL SIST FRENADO DE COMPUS	MUST BE STARTED BY 12NOV83	27

END OF REPORT ON PREDICTED PROGRESS

6

114

RESOURCE ALLOCATION BY RESOURCES ASSIGNED TO PROJECT "R-BASICA"

101.00	PLON	23	24	AISLAMIENTO	12250	HORAS-HOMBRE		
		21	22	MONTAJE DE EQUIPOS VARIOS	13500	HORAS-HOMBRE		
		15	21	COLOCACION DEL DOMO	250	HORAS-HOMBRE		
		15	20	TERMINA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	5750	HORAS-HOMBRE		
		14	15	INICIA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	6000	HORAS-HOMBRE		
		13	14	CONCRETO PARA CIMENTACION DE LA CALDERA	4200	HORAS-HOMBRE		
		8	9	MONTAJE DE CONDUITS Y CABLES	400	HORAS-HOMBRE		
		8	7	MONTAJE DE TUBERIAS	360	HORAS-HOMBRE		
		4	5	CONCRETO P/CEMENTACION DEL TURBOGENERADOR	8000	HORAS-HOMBRE		
		1	2	LIMPIEZA DEL TERRENO	16000	HORAS-HOMBRE		
		2	3	NIVELACION DEL TERRENO	4960	HORAS-HOMBRE		
		3	4	EXCAVACION DE CIMENTACION DE CASA DE MAQ.	1440	HORAS-HOMBRE		
		5	6	MONTAJE DEL ESTAIOR	576	HORAS-HOMBRE		
		4	10	CONCRETO P/CEMENTACION DE CASA DE MAQ.	3600	HORAS-HOMBRE		
		10	11	MONTAJE ESTRUCTURAS DE CASA DE MAQ.	6250	HORAS-HOMBRE		
		11	12	COLOCACION DE PANELES Y TECHO DE C/M	3700	HORAS-HOMBRE		
		12	19	COLOCACION DE ALUMBRADO EN CASA DE M	500	HORAS-HOMBRE		
		11	16	COLECCION DE LOSAS	22000	HORAS-HOMBRE		
		17	18	MONTAJE DEL TURBOGENERADOR	12500	HORAS-HOMBRE		
		18	19	PROBES A PLENA CARGA	1250	HORAS-HOMBRE		
		1	13	EXCAVACION DE CIMENTACION DE LA CALDERA	4600	HORAS-HOMBRE		
		22	23	PROBES HIPOSTATICAS	125	HORAS-HOMBRE		
		3	34	EXCAVACION DE CIMENTACION DE LA SUBESTACION	6400	HORAS-HOMBRE		
		34	35	COLECCION DE LA CIMENTACION DE ESTRUCTURAS	4200	HORAS-HOMBRE		
		35	36	MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE SUBESTACION	2750	HORAS-HOMBRE		
		36	37	MONTAJE DE EQUIPOS P/SUBESTACION	10050	HORAS-HOMBRE		
		401.00	CONTRATISTA-A	27	24	AISLAMIENTO	100	%-DE-AVANCE
		110.00	TECN-SPECIALIZADA-A	21	22	MONTAJE DE EQUIPOS VARIOS	35400	HORAS-HOMBRE
				15	21	COLOCACION DEL DOMO	1200	HORAS-HOMBRE
				15	20	TERMINA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	36000	HORAS-HOMBRE
				14	15	INICIA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	46000	HORAS-HOMBRE
				10	11	MONTAJE ESTRUCTURAS DE CASA DE MAQ.	14400	HORAS-HOMBRE
				11	12	COLOCACION DE PANELES Y TECHO DE C/M	4800	HORAS-HOMBRE
				17	18	MONTAJE DEL TURBOGENERADOR	36000	HORAS-HOMBRE
				23	23	PROBES HIPOSTATICAS	100	HORAS-HOMBRE
				35	36	MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE SUBESTACION	7200	HORAS-HOMBRE
				36	37	MONTAJE DE EQUIPOS P/SUBESTACION	30350	HORAS-HOMBRE
102.00	TUBERO-A			21	22	MONTAJE DE EQUIPOS VARIOS	50400	HORAS-HOMBRE
		8	7	MONTAJE DE TUBERIAS	2000	HORAS-HOMBRE		
		36	37	MONTAJE DE EQUIPOS P/SUBESTACION	43200	HORAS-HOMBRE		
102.00	GRUA-A-TC/GENERADOR	21	22	MONTAJE DE EQUIPOS VARIOS	800	HORA-MAQUINA		
		14	14	CONCRETO PARA CIMENTACION DE LA CALDERA	200	HORA-MAQUINA		
		8	7	MONTAJE DE TUBERIAS	1300	HORA-MAQUINA		
		4	5	CONCRETO P/CEMENTACION DE CASA DE MAQ.	100	HORA-MAQUINA		
		11	11	MONTAJE ESTRUCTURAS DE CASA DE MAQ.	270	HORA-MAQUINA		
		11	12	COLOCACION DE PANELES Y TECHO DE C/M	120	HORA-MAQUINA		

		11	16	COLADO DE LOSAS	200	HORA-MAQUINA
		17	18	MONTAJE DEL TURBOGENERADOR	600	HORA-MAQUINA
		34	35	COLADO DE LA CIMENTAC DE ESTRUCTURAS	200	HORA-MAQUINA
		35	36	MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE SUBESTAC	150	HORA-MAQUINA
		36	37	MONTAJE DE EQUIPOS P/SUBESTACION	685	HORA-MAQUINA
703.00	GRUA-B-15/OPERADDE1					
		15	21	COLOCACION DEL POMO	100	HORA-MAQUINA
		15	21	TERMINA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	720	HORA-MAQUINA
		14	15	INICIA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	720	HORA-MAQUINA
		1	2	LIMPIEZA DEL TERRENO	1515	HORA-MAQUINA
		5	6	MONTAJE DEL ESTATOR	288	HORA-MAQUINA
107.00	OPERADOR-GRUA-B					
		15	21	COLOCACION DEL POMO	100	HORAS-HOMBRE
		15	21	TERMINA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	720	HORAS-HOMBRE
		14	15	INICIA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	720	HORAS-HOMBRE
		1	2	LIMPIEZA DEL TERRENO	1515	HORAS-HOMBRE
		5	6	MONTAJE DEL ESTATOR	288	HORAS-HOMBRE
108.00	FILIPPEU					
		13	14	CONCRETO PARA CIMENTAC DE LA CALDERA	1000	HORAS-HOMBRE
		4	5	CONCRETO FACIENI DEL TURBOGENERADOR	600	HORAS-HOMBRE
		4	10	CONCRETO FACIENIAC DE CASA DE MAC.	1145	HORAS-HOMBRE
		11	16	COLADO DE LOSAS	4000	HORAS-HOMBRE
		34	35	COLADO DE LA CIMENTAC DE ESTRUCTURAS	1000	HORAS-HOMBRE
109.00	CARPINTEJO					
		13	14	CONCRETO PARA CIMENTAC DE LA CALDERA	1100	HORAS-HOMBRE
		4	5	CONCRETO FACIENI DEL TURBOGENERADOR	2000	HORAS-HOMBRE
		4	10	CONCRETO FACIENIAC DE CASA DE MAC.	2000	HORAS-HOMBRE
		34	35	COLADO DE LA CIMENTAC DE ESTRUCTURAS	1100	HORAS-HOMBRE
707.00	REVOLVEDORA-1C-OP1					
		13	14	CONCRETO PARA CIMENTAC DE LA CALDERA	700	HORA-MAQUINA
		4	5	CONCRETO FACIENI DEL TURBOGENERADOR	1600	HORA-MAQUINA
		4	10	CONCRETO FACIENIAC DE CASA DE MAC.	300	HORA-MAQUINA
		34	35	COLADO DE LA CIMENTAC DE ESTRUCTURAS	700	HORA-MAQUINA
704.00	CAMION-A-1C/OPERAL1					
		13	14	CONCRETO PARA CIMENTAC DE LA CALDERA	500	HORA-MAQUINA
		1	2	LIMPIEZA DEL TERRENO	1460	HORA-MAQUINA
		1	4	EXCAVAC DE CIMENTAC DE CASA DE MAC.	350	HORA-MAQUINA
		4	10	CONCRETO FACIENIAC DE CASA DE MAC.	400	HORA-MAQUINA
		3	13	EXCAVAC DE CIMENTACION DE LA CALDERA	800	HORA-MAQUINA
		3	34	EXCAVAC DE CIMENTAC DE LA SUBESTACION	1050	HORA-MAQUINA
		34	35	COLADO DE LA CIMENTAC DE ESTRUCTURAS	500	HORA-MAQUINA
208.00	VARILLA-1-FILG					
		13	14	CONCRETO PARA CIMENTAC DE LA CALDERA	780	TONELADA
		4	10	CONCRETO FACIENIAC DE CASA DE MAC.	400	TONELADA
		34	35	COLADO DE LA CIMENTAC DE ESTRUCTURAS	780	TONELADA
206.00	APENA					
		13	14	CONCRETO PARA CIMENTAC DE LA CALDERA	500	METRO-CUBICO
		4	5	CONCRETO FACIENI DEL TURBOGENERADOR	250	METRO-CUBICO
		4	10	CONCRETO FACIENIAC DE CASA DE MAC.	200	METRO-CUBICO
		11	16	COLADO DE LOSAS	240	METRO-CUBICO
		34	35	COLADO DE LA CIMENTAC DE ESTRUCTURAS	500	METRO-CUBICO
205.00	CLAVA					
		13	14	CONCRETO PARA CIMENTAC DE LA CALDERA	500	METRO-CUBICO

115

		4	5	CONCRETO P/CIMENT DEL TURBOGENERADOR	300	MLTRO-CUBICO
		4	10	CONCRETO P/CIMENTAC DE CASA DE MAQ.	200	MLTRO-CUBICO
		11	16	COLADO DE LOSAS	240	METRO-CUBICO
		34	35	COLADO DE LA CIMENTAC DE ESTRUCTURAS	500	MLTRO-CUBICO
204.00	CEMENTO	12	14	CONCRETO PAPA CIMENTAC DE LA CALDERA	80	TONELADA
		4	5	CONCRETO P/CIMENT DEL TURBOGENERADOR	500	TONELADA
104.00	TIENDERO	7	9	MONTAJE DE CONDUITS Y CABLES	1600	HORAS-HOMBRE
105.00	ELECTRICISTA	9	9	MONTAJE DE CONDUITS Y CABLES	2200	HORAS-HOMBRE
		17	19	COLOCACION DE ALUMBRADO EN CASA DE M	1000	HORAS-HOMBRE
103.00	SOLDADOR	6	7	MONTAJE DE TUBERIAS	2600	HORAS-HOMBRE
014.00	EMPU-25-PULG	7	7	MONTAJE DE TUBERIAS	1500	METRO-LINEAL
022.00	EMPU-25-PULG	7	7	MONTAJE DE TUBERIAS	2000	METRO-LINEAL
033.00	SOLDADORA	7	7	MONTAJE DE TUBERIAS	500	KILOGRAMO
041.00	SOLDADORA	7	7	MONTAJE DE TUBERIAS	220	PIA-HENTA
077.00	VALVULA-1-5-PULG	5	5	CONCRETO P/CIMENT DEL TURBOGENERADOR	125	TONELADA
100.00	EXCAVACION (CONCRETO)	3	3	NIVELACION DEL TERRENO	1091	HORAS-HOMBRE
200.00	MOLO (FORMAL-15/00)	3	3	NIVELACION DEL TERRENO	992	HORA-MAQUINA
060.00	EXCAVACION (C-01)	4	4	EXCAVACION DE CIMENTAC DE CASA DE MAQ.	60	HORA-MAQUINA
		13	13	EXCAVACION DE CIMENTACION DE LA CALDERA	160	HORA-MAQUINA
		34	34	EXCAVACION DE CIMENTAC DE LA SUBESTACION	240	HORA-MAQUINA
210.00	CIEPRA	11	16	COLADO DE LOSAS	480	MLTRO-CUAD.
		34	35	COLADO DE LA CIMENTAC DE ESTRUCTURAS	1600	MLTRO-CUAD.
111.00	MONTAJER-1	17	18	MONTAJE DEL TURBOGENERADOR	5600	HORAS-HOMBRE
112.00	MONTAJER-1	17	18	MONTAJE DEL TURBOGENERADOR	29000	HORAS-HOMBRE
115.00	ELECTRICISTA	17	19	MONTAJE A PLENA CARGA	3400	HORAS-HOMBRE
007.00	ELECTRICISTA-1	25	25	EXCAVACION DE LA FITA DE TOMA	31	3-DE-AVANCE
		26	26	CONCRETO DE LA FITA DE TOMA	31	3-DE-AVANCE
		27	27	MONTAJE DE LAS PUMBAS DE AGUA DE CIRC.	6	3-DE-AVANCE

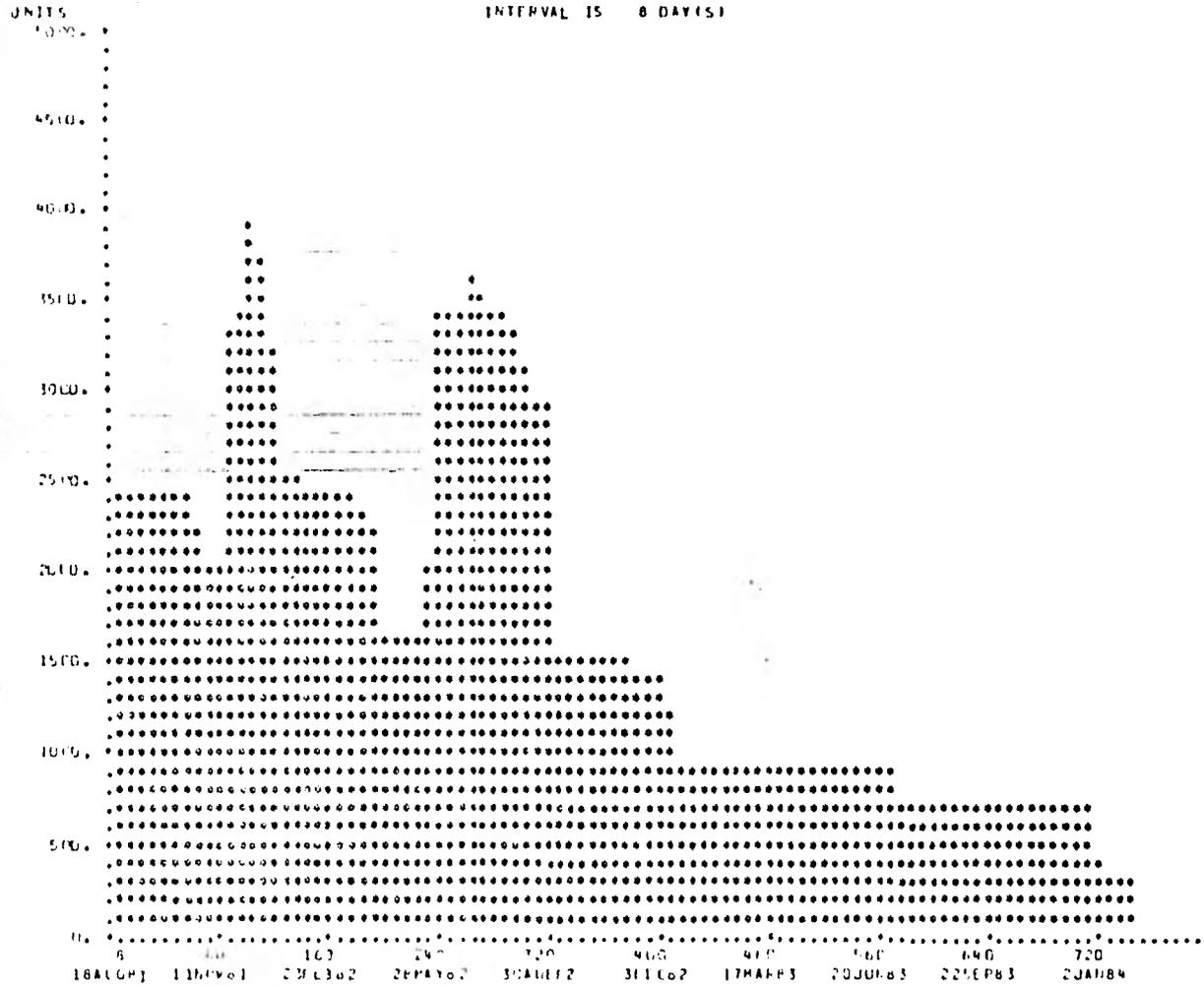
	27	38	PRUEBA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE CIRC	8	3-DE-AVANCE
	3	28	EXCAVAC DE CANALES AGUA CIRCULACION	8	3-DE-AVANCE
	26	29	COLADO DE DUCTOS P/AGUA DE CIRCULAC	14	3-DE-AVANCE
403.10	CONTRATISTA-C				
	?	30	EXCAV DE FIMENT DEL TANQUE DE COMB	40	3-DE-AVANCE
	30	31	COLADO DE LA PASE DEL TANQUE DE COMP	15	3-DE-AVANCE
	31	32	AMPADO DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE	30	3-DE-AVANCE
	31	33	INSTALAC DEL SIST P/MANEJO DE COMBUS	15	3-DE-AVANCE

 PROJECT *M-FASICA* INTPRVAL USACE AND COSTS FOR RESOURCE 101.00

INTERVAL	HOURS-HOMIRE	COST
1	2400.00	\$ 108000.00
2	2400.00	\$ 108000.00
3	2400.00	\$ 108000.00
4	2400.00	\$ 108000.00
5	2400.00	\$ 108000.00
6	2400.00	\$ 108000.00
7	2400.00	\$ 108000.00
8	2192.00	\$ 98640.00
9	1964.00	\$ 89280.00
10	1784.00	\$ 89280.00
11	3328.00	\$ 149760.00
12	3468.00	\$ 153010.00
13	3712.00	\$ 176040.00
14	3731.00	\$ 167695.00
15	3191.00	\$ 143595.00
16	2471.00	\$ 111195.00
17	2471.00	\$ 111195.00
18	2429.00	\$ 109315.00
19	2337.00	\$ 107415.00
20	2336.00	\$ 107370.00
21	2387.00	\$ 107415.00
22	2367.00	\$ 106515.00
23	2324.00	\$ 104580.00
24	2171.00	\$ 97695.00
25	1649.00	\$ 74205.00
26	1570.00	\$ 71010.00
27	1576.00	\$ 71010.00
28	1578.00	\$ 71010.00
29	2014.00	\$ 90630.00
30	3429.00	\$ 154305.00
31	3429.00	\$ 154305.00
32	3429.00	\$ 154305.00
33	3617.00	\$ 162765.00
34	3457.00	\$ 155565.00
35	3407.00	\$ 153315.00
36	3466.00	\$ 153270.00
37	3337.00	\$ 150165.00
38	3113.00	\$ 140585.00
39	2914.00	\$ 131130.00
40	2913.00	\$ 131085.00
41	1461.00	\$ 65745.00
42	1461.00	\$ 65745.00
43	1460.00	\$ 65700.00
44	1462.00	\$ 65790.00
45	1464.00	\$ 65880.00
46	1464.00	\$ 65880.00
47	1463.00	\$ 65835.00
48	1414.00	\$ 63630.00
49	1362.00	\$ 61290.00
50	1363.00	\$ 61335.00

INTERVAL	HORAS-HOMBRE	COST
51	1195.00	\$ 53775.00
52	916.00	\$ 41220.00
53	916.00	\$ 41220.00
54	916.00	\$ 41220.00
55	915.00	\$ 41175.00
56	916.00	\$ 41220.00
57	916.00	\$ 41220.00
58	916.00	\$ 41220.00
59	916.00	\$ 41220.00
60	916.00	\$ 41220.00
61	916.00	\$ 41220.00
62	916.00	\$ 41220.00
63	916.00	\$ 41220.00
64	915.00	\$ 41175.00
65	916.00	\$ 41220.00
66	916.00	\$ 41220.00
67	916.00	\$ 41220.00
68	916.00	\$ 41220.00
69	916.00	\$ 41220.00
70	916.00	\$ 41220.00
71	935.00	\$ 42075.00
72	713.00	\$ 31635.00
73	654.00	\$ 29430.00
74	653.00	\$ 29385.00
75	653.00	\$ 29385.00
76	654.00	\$ 29430.00
77	653.00	\$ 29385.00
78	653.00	\$ 29385.00
79	654.00	\$ 29430.00
80	653.00	\$ 29385.00
81	653.00	\$ 29385.00
82	654.00	\$ 29430.00
83	653.00	\$ 29385.00
84	653.00	\$ 29385.00
85	654.00	\$ 29430.00
86	653.00	\$ 29385.00
87	653.00	\$ 29385.00
88	654.00	\$ 29430.00
89	653.00	\$ 29385.00
90	373.00	\$ 16785.00
91	334.00	\$ 15030.00
92	333.00	\$ 14985.00
93	292.00	\$ 13140.00

PROJECT 'R-BASICA' INTERVAL USAGE FOR RESOURCE 101.00
INTERVAL IS 8 DAY(S)



WORNDAY
DATE

121

PROJECT *R-TASI (* DAY(S) L COST FOR RESOURCE 101-00
INTERVAL IS 8 DAY(S)

DOLLARS

250000

225000

200000

175000

150000

125000

100000

75000

50000

25000

0

17 AUG 81 11 NOV 81 23 DEC 82 28 MAY 83 12 AUG 83 31 DEC 83 17 MAR 84 20 JUN 84 22 SEP 84 2 JAN 85

WORDDAY 14
DATE

PROJECT "P-EASICA" CUMULATIVE USAGE AND COSTS FOR RESOURCE 101.00

INTERVAL	HORAS-HOMERE	COST
1	2411.00	\$ 108010.00
2	4822.00	\$ 216020.00
3	7233.00	\$ 324030.00
4	9644.00	\$ 432040.00
5	12055.00	\$ 540050.00
6	14466.00	\$ 648060.00
7	16877.00	\$ 756070.00
8	19288.00	\$ 864080.00
9	21699.00	\$ 972090.00
10	24110.00	\$ 1080100.00
11	26521.00	\$ 1188210.00
12	28932.00	\$ 1296320.00
13	31343.00	\$ 1404430.00
14	33754.00	\$ 1512540.00
15	36165.00	\$ 1620650.00
16	38576.00	\$ 1728760.00
17	40987.00	\$ 1836870.00
18	43398.00	\$ 1944980.00
19	45809.00	\$ 2053090.00
20	48220.00	\$ 2161200.00
21	50631.00	\$ 2269310.00
22	53042.00	\$ 2377420.00
23	55453.00	\$ 2485530.00
24	57864.00	\$ 2593640.00
25	60275.00	\$ 2701750.00
26	62686.00	\$ 2809860.00
27	65097.00	\$ 2917970.00
28	67508.00	\$ 3026080.00
29	69919.00	\$ 3134190.00
30	72330.00	\$ 3242300.00
31	74741.00	\$ 3350410.00
32	77152.00	\$ 3458520.00
33	79563.00	\$ 3566630.00
34	81974.00	\$ 3674740.00
35	84385.00	\$ 3782850.00
36	86796.00	\$ 3890960.00
37	89207.00	\$ 3999070.00
38	91618.00	\$ 4107180.00
39	94029.00	\$ 4215290.00
40	96440.00	\$ 4323400.00
41	98851.00	\$ 4431510.00
42	101262.00	\$ 4539620.00
43	103673.00	\$ 4647730.00
44	106084.00	\$ 4755840.00
45	108495.00	\$ 4863950.00
46	110906.00	\$ 4972060.00
47	113317.00	\$ 5080170.00
48	115728.00	\$ 5188280.00
49	118139.00	\$ 5296390.00
50	120550.00	\$ 5404500.00

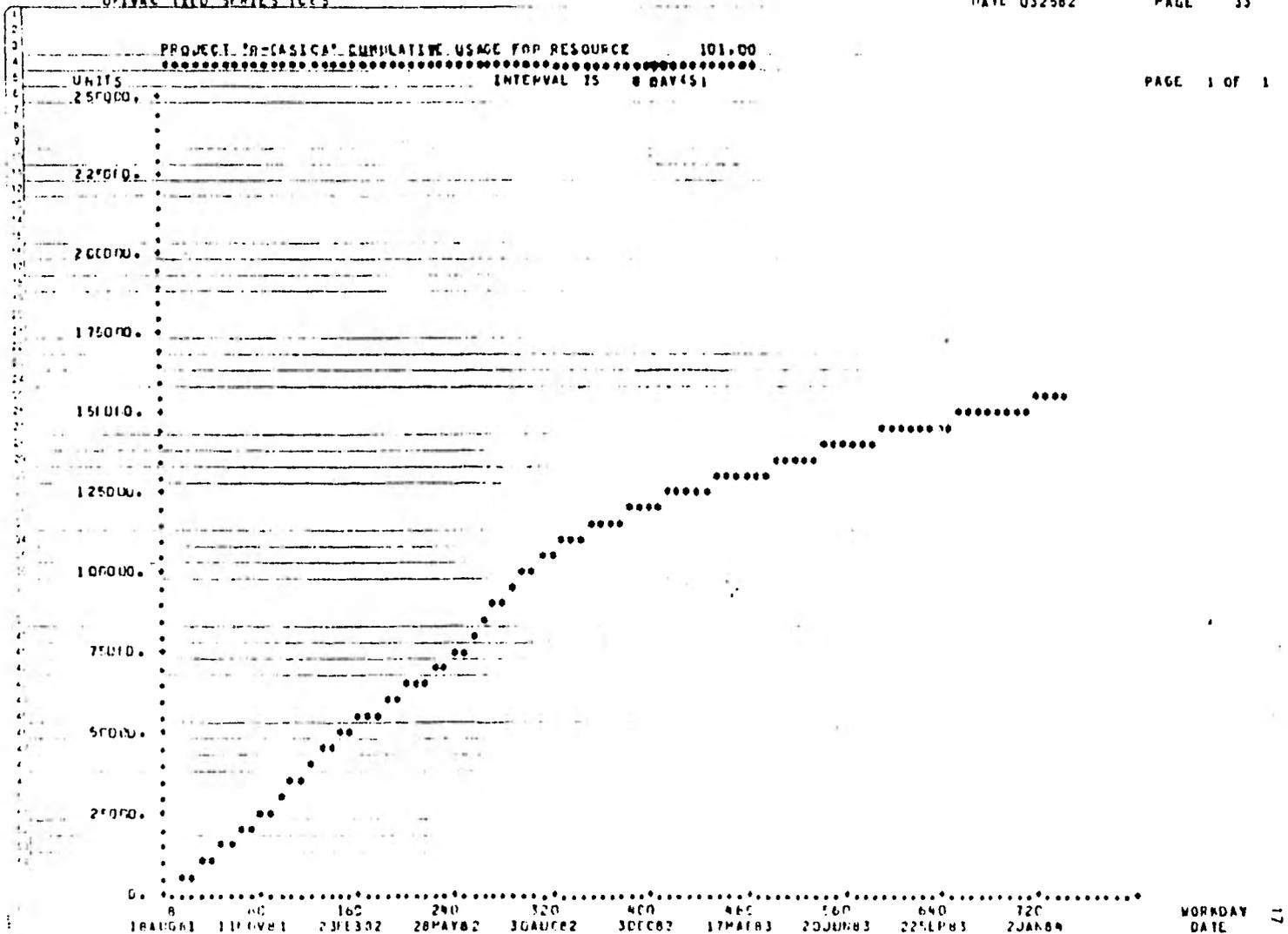
INTERVAL	HOPAS-HOMEPE	COST
51	122332.00	\$ 5509940.00
52	123248.00	\$ 5546160.00
53	124164.00	\$ 5582380.00
54	125080.00	\$ 5618600.00
55	125995.00	\$ 5654820.00
56	126911.00	\$ 5691040.00
57	127827.00	\$ 5727260.00
58	128743.00	\$ 5763480.00
59	129659.00	\$ 5799700.00
60	130575.00	\$ 5835920.00
61	131491.00	\$ 5872140.00
62	132407.00	\$ 5908360.00
63	133323.00	\$ 5944580.00
64	134239.00	\$ 5980800.00
65	135154.00	\$ 6017020.00
66	136070.00	\$ 6053240.00
67	136986.00	\$ 6089460.00
68	137902.00	\$ 6125680.00
69	138818.00	\$ 6161900.00
70	139734.00	\$ 6198120.00
71	140649.00	\$ 6234340.00
72	141565.00	\$ 6270560.00
73	142481.00	\$ 6306780.00
74	143397.00	\$ 6343000.00
75	144312.00	\$ 6379220.00
76	145228.00	\$ 6415440.00
77	146144.00	\$ 6451660.00
78	147060.00	\$ 6487880.00
79	147976.00	\$ 6524100.00
80	148891.00	\$ 6560320.00
81	149807.00	\$ 6596540.00
82	150723.00	\$ 6632760.00
83	151639.00	\$ 6668980.00
84	152554.00	\$ 6705200.00
85	153470.00	\$ 6741420.00
86	154386.00	\$ 6777640.00
87	155302.00	\$ 6813860.00
88	156218.00	\$ 6850080.00
89	157134.00	\$ 6886300.00
90	158049.00	\$ 6922520.00
91	158965.00	\$ 6958740.00
92	159881.00	\$ 6994960.00
93	160797.00	\$ 7031180.00

PAGE 2 OF 2

PROJECT: BR-CASICA* CUMULATIVE USAGE FOR RESOURCE 101.00

UNITS INTERVAL IS 8 DAYS

PAGE 1 OF 1

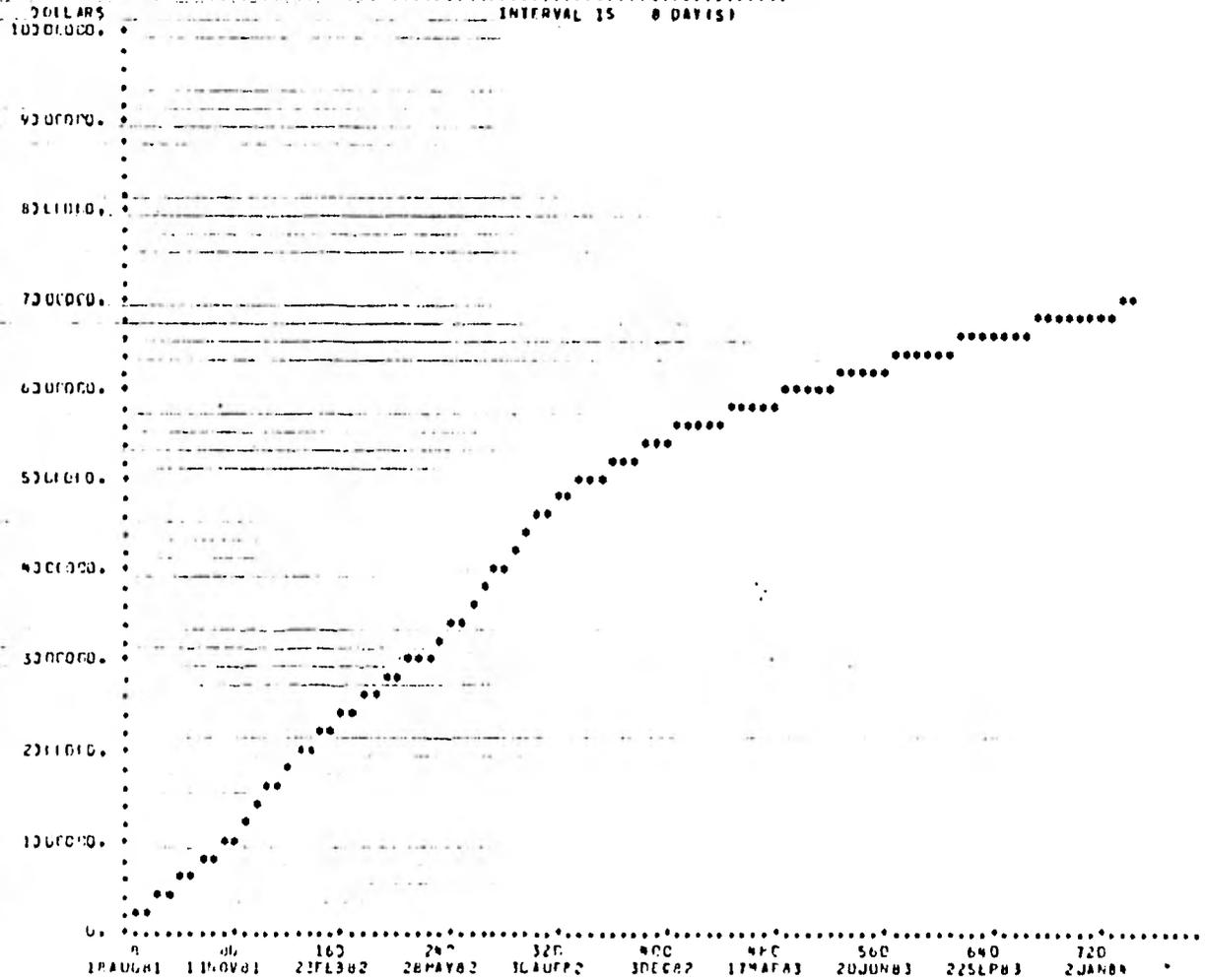


WORKDAY 17
DATE

PROJECT IR-PASICA: CUMULATIVE COST FOR RESOURCE 101.00

INTERVAL IS 8 DAY(S)

PAGE 1 OF 1



WEEKDAY DATE 18

BEFORE EXECUTION OF THIS COMMAND, 24281000, IS THE ESTIMATED COST FOR PROJECT "R-BASICA"

ACTIVITY	1	2	LIMPIEZA DEL TERRENO	
RESOURCE	101.00	PEON		
	18000	HORAS-HOMBRE	AT 45.000 =	810000.
	18000			810000.
				TOTAL THIS RESOURCE.
RESOURCE	31.401	CANTON-A-1C/OPERAD		
	1460	HORA-MQUINA	AT 525.000 =	766500.
	1460			766500.
				TOTAL THIS RESOURCE.
RESOURCE	31.301	GRUA-B-1S/OPERADOR		
	1515	HORA-MQUINA	AT 500.000 =	757500.
	1515			757500.
				TOTAL THIS RESOURCE.
RESOURCE	107.00	OPERADOR-GRUA-B		
	1515	HORAS-HOMBRE	AT 115.000 =	174225.
	1515			174225.
				TOTAL THIS RESOURCE.
			****	2500225.
				TOTAL COST THIS ACTIVITY

ACTIVITY	2	3	NIVELACION DEL TERRENO	
RESOURCE	108.00	OPERADOR-MQUINA/OPN		
	1091	HORAS-HOMBRE	AT 120.000 =	130920.
	1091			130920.
				TOTAL THIS RESOURCE.
RESOURCE	101.00	PEON		
	4910	HORAS-HOMBRE	AT 45.000 =	223200.
	4910			223200.
				TOTAL THIS RESOURCE.
RESOURCE	365.00	MUTOCONFORMAD-1S/OPN		
	592	HORA-MQUINA	AT 537.500 =	533200.
	592			533200.
				TOTAL THIS RESOURCE.
			****	877320.
				TOTAL COST THIS ACTIVITY

ACTIVITY	35	36	MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE SUBESTAC	
RESOURCE	101.00	PLON		
275J	HORAS-HOMBRE	AT	45.000 =	123750.
275U			\$	123750.
				TOTAL THIS RESOURCE.
RESOURCE	110.00	PEON-ESPECIALIZADO-A		
720U	HORAS-HOMBRE	AT	75.000 =	540000.
720J			\$	540000.
				TOTAL THIS RESOURCE.
RESOURCE	302.00	GRUA-A-IC/OPERADORI		
150	HORA-PAQUINA	AT	650.000 =	97500.
150			\$	97500.
				TOTAL THIS RESOURCE.
			0000 \$	161250.
				TOTAL COST THIS ACTIVITY

ACTIVITY	36	37	MONTAJE DE EQUIPOS P/SUBESTACION	
RESOURCE	101.00	PLON		
10050	HORAS-HOMBRE	AT	45.000 =	452250.
10050			\$	452250.
				TOTAL THIS RESOURCE.
RESOURCE	110.00	PEON-ESPECIALIZADO-A		
3350	HORAS-HOMBRE	AT	75.000 =	2276250.
3350			\$	2276250.
				TOTAL THIS RESOURCE.
RESOURCE	102.00	TU4NO-A		
43200	HORAS-HOMBRE	AT	75.000 =	3240000.
43200			\$	3240000.
				TOTAL THIS RESOURCE.
RESOURCE	302.00	GRUA-A-IC/OPERADORI		

3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

005 NDRA-PAGUIMA AT 650.000 \$ 995250.

005 \$ 995250. TOTAL THIS RESOURCE.

0000 \$ 6413750. TOTAL COST THIS ACTIVITY

AFTER EXECUTION OF THIS COMMAND, \$ 67925310. IS THE ESTIMATED TOTAL COST FOR PROJECT 'R-BASICA'

 * P R O J E C T "R-BASTCA" COST ANALYSIS *

ON THE FOLLOWING GRAPH, THE PLOTTED POINTS ALONG THE ABSCISSA EACH REPRESENT THE END OF AN INTERVAL.
 EVERY TENTH INTERVAL END DAY (DATE) IS PRINTED ON THE ABSCISSA.

DATE DAY INTERVAL COSTS CUMULATIVE COSTS
 AT END OF INTERVAL

PAGE 1 OF 2

DATE	DAY	INTERVAL	COSTS	CUMULATIVE COSTS AT END OF INTERVAL
18	AUG 81	8	\$ 334430.	\$ 334430.
27	AUG 81	16	\$ 334430.	\$ 668860.
5	SEP 81	24	\$ 334430.	\$ 1003290.
14	SEP 81	32	\$ 334430.	\$ 1337720.
23	SEP 81	40	\$ 334430.	\$ 1672150.
2	OCT 81	48	\$ 334430.	\$ 2006580.
11	OCT 81	56	\$ 334430.	\$ 2341010.
20	OCT 81	64	\$ 344679.	\$ 2685689.
29	NOV 81	72	\$ 354928.	\$ 3040617.
8	NOV 81	80	\$ 354928.	\$ 3395545.
17	NOV 81	88	\$ 679510.	\$ 4075055.
26	DEC 81	96	\$ 760391.	\$ 4843446.
35	DEC 81	104	\$ 1361564.	\$ 6205010.
4	DEC 81	112	\$ 1476279.	\$ 7681289.
13	JAN 82	120	\$ 1913431.	\$ 9593719.
22	JAN 82	128	\$ 2585914.	\$ 12179633.
31	JAN 82	136	\$ 2600911.	\$ 14780546.
40	FEB 82	144	\$ 2392373.	\$ 17172919.
49	FEB 82	152	\$ 2170834.	\$ 19351753.
58	FEB 82	160	\$ 2170833.	\$ 21530586.
67	MAR 82	168	\$ 2156833.	\$ 23689419.
76	MAR 82	176	\$ 1831633.	\$ 25521022.
85	MAR 82	184	\$ 1353227.	\$ 26874249.
94	APR 82	192	\$ 892045.	\$ 27766294.
103	APR 82	200	\$ 686973.	\$ 28453267.
112	APR 82	208	\$ 661594.	\$ 29114861.
121	APR 82	216	\$ 661593.	\$ 29776454.
130	MAY 82	224	\$ 661593.	\$ 30438047.
139	MAY 82	232	\$ 815889.	\$ 31253936.
148	MAY 82	240	\$ 904471.	\$ 32158407.
157	JUN 82	248	\$ 904472.	\$ 33062879.
166	JUN 82	256	\$ 904471.	\$ 33967350.
175	JUN 82	264	\$ 1000837.	\$ 34968187.
184	JUL 82	272	\$ 869355.	\$ 35837542.
193	JUL 82	280	\$ 836004.	\$ 36674346.
202	JUL 82	288	\$ 836005.	\$ 37511351.
211	AUG 82	296	\$ 840054.	\$ 38352405.
220	AUG 82	304	\$ 794275.	\$ 39151210.
229	AUG 82	312	\$ 756204.	\$ 39907414.
238	AUG 82	320	\$ 756204.	\$ 40663618.
247	SEP 82	328	\$ 1495561.	\$ 42159179.
256	SEP 82	336	\$ 1495561.	\$ 43654740.
265	SEP 82	344	\$ 1495561.	\$ 45150301.
274	OCT 82	352	\$ 1491995.	\$ 46642296.
283	OCT 82	360	\$ 1481296.	\$ 48123592.
292	OCT 82	368	\$ 1481296.	\$ 49604888.
301	NOV 82	376	\$ 1481296.	\$ 51086184.
310	NOV 82	384	\$ 1183731.	\$ 52269914.

DATE	DAY	INTERVAL	COSTS	CUMULATIVE COSTS AT END OF INTERVAL
24 NOV 82	A2	392	\$ 886162.	\$ 53156076.
3 DEC 82	A1	413	\$ 886163.	\$ 54042239.
13 DEC 82	A08	408	\$ 779267.	\$ 54821506.
27 DEC 82	A16	416	\$ 601137.	\$ 55422613.
10 JAN 83	A3	424	\$ 601138.	\$ 56023721.
19 JAN 83	A3	432	\$ 601107.	\$ 56624828.
23 JAN 83	A3	440	\$ 601107.	\$ 57225935.
8 FEB 83	A3	448	\$ 601108.	\$ 57827043.
17 FEB 83	A3	456	\$ 601107.	\$ 58428150.
26 FEB 83	A3	464	\$ 601107.	\$ 59029257.
8 MAR 83	A3	472	\$ 601107.	\$ 59630364.
17 MAR 83	A3	480	\$ 601109.	\$ 60231472.
28 MAR 83	A3	488	\$ 601107.	\$ 60832579.
7 APR 83	A3	496	\$ 601107.	\$ 61433686.
15 APR 83	A3	504	\$ 601107.	\$ 62034793.
25 APR 83	A3	512	\$ 601108.	\$ 62635901.
4 MAY 83	A3	520	\$ 601107.	\$ 63237008.
13 MAY 83	A3	528	\$ 601107.	\$ 63838115.
23 MAY 83	A3	536	\$ 601106.	\$ 64439223.
1 JUN 83	A3	544	\$ 601107.	\$ 65040330.
10 JUN 83	A3	552	\$ 601137.	\$ 65641437.
20 JUN 83	A3	560	\$ 601107.	\$ 66242544.
29 JUN 83	A3	568	\$ 351179.	\$ 66843651.
8 JUL 83	A3	576	\$ 79193.	\$ 67444758.
18 JUL 83	A3	584	\$ 40067.	\$ 68045865.
27 JUL 83	A3	592	\$ 40067.	\$ 68646972.
5 AUG 83	A3	600	\$ 40066.	\$ 69248079.
15 AUG 83	A3	608	\$ 40067.	\$ 69849186.
24 AUG 83	A3	616	\$ 40067.	\$ 70450293.
2 SEP 83	A3	624	\$ 40066.	\$ 71051400.
12 SEP 83	A3	632	\$ 40067.	\$ 71652507.
22 SEP 83	A3	640	\$ 40067.	\$ 72253614.
1 OCT 83	A3	648	\$ 40066.	\$ 72854721.
11 OCT 83	A3	656	\$ 40067.	\$ 73455828.
20 OCT 83	A3	664	\$ 40067.	\$ 74056935.
29 OCT 83	A3	672	\$ 40066.	\$ 74658042.
8 NOV 83	A3	680	\$ 40067.	\$ 75259149.
17 NOV 83	A3	688	\$ 40067.	\$ 75860256.
26 NOV 83	A3	696	\$ 40066.	\$ 76461363.
6 DEC 83	A3	704	\$ 40067.	\$ 77062470.
15 DEC 83	A3	712	\$ 40067.	\$ 77663577.
2 JAN 84	F4	720	\$ 137133.	\$ 78264684.
11 JAN 84	B4	728	\$ 151000.	\$ 78865791.
21 JAN 84	F4	736	\$ 151000.	\$ 79466898.
26 JAN 84	F4	744	\$ 132125.	\$ 79925308.

PROJECT 'R-BASICA' COSTS EVERY INTERVAL CURVE

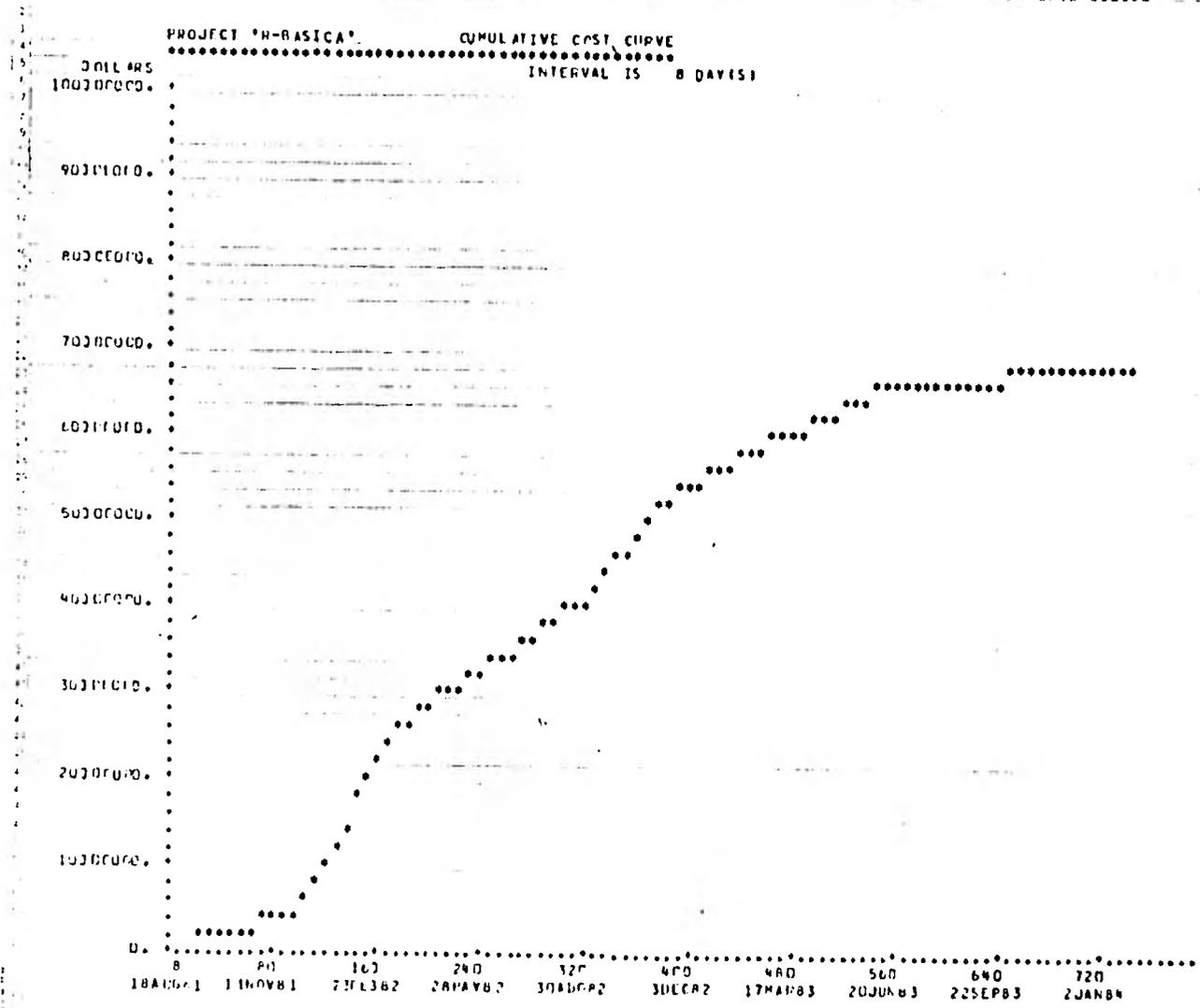
DOLLARS INTERVAL IS 8 DAYS

PAGE 1 OF 1



PROJECT 'N-BASICA' CUMULATIVE COST CURVE
INTERVAL IS 8 DAYS

PAGE 1 OF 1



WORNDAY 24
DATE

ACTIVITY WORKING SCHEDULE

- D E S C R I P T I O N -		S T A P T		F I N I S H		EST'D DURA- TION	TOTAL ESTIM'D COST	REPORTED COSTS TO DATE
ACTIVITY NUMBER	CODE NUMBER	SCH'D	REP'D	SCH'D	REP'D			
C	LIMPIEZA DEL TERRENO	1	2	13				
		19AUG81	10AUG81	19OCT81	16OCT81	60	2508225.	2700000.
C	NIVELACION DEL TERRENO	2	3	13				
		20OCT81	17OCT81	11NOV81	2NOV81	20	887320.	900000.
	EXCAVAC DE CIMENTAC DE CASA DE MAQ.	3	4	14				
		12NOV81	3NOV81	31NOV81	13NOV81	15	290550.	350000.
C	EXCAVAC DE CIMENTACION DE LA CALDERA	3	13	15				
		12NOV81	3NOV81	11DEC81	30NOV81	30	762000.	750000.
	EXCAVACION DE LA OBRA DE TOMA	3	25	16				
		12NOV81	17NOV81	16APR82		120	294500.	270000.
	EXCAVAC DE CANALLS AGUA CIRCULACION	3	28	16				
		12NOV81	3NOV81	17DEC81	3DEC81	30	76000.	90000.
	EXCAV DE CIMENT DEL TANQUE DE COMU	3	30	17				
		12NOV81	3NOV81	5DEC81	30NOV81	70	200000.	200000.
	EXCAVAC DE CIMENT DE LA SUBESTACION	3	34	18				
		12NOV81	3NOV81	6JAN82	24DEC81	40	1007250.	1000000.
	CONCRETO P/CIMENT DEL TURBOGENERADOR	4	5	12				
		1DEC81	14NOV81	24MAR82		90	3401250.	3900000.
	CONCRETO P/CIMENTAC DE CASA DE MAQ.	4	10	14				
		1DEC81	6JAN82	29JAN82	5MAR82	45	3170700.	3315000.
	MONTAJE DEL ESTATOR	5	6	22				
		25MAR82		2APR82		8	203040.	
	MONTAJE DE TUERCIAS	8	7	21				
		31AUG82		9NOV82		60	4018500.	
	MONTAJE DE CONDUITS Y CABLES	8	9	31				
		31AUG82		9NOV82		60	293000.	
	MONTAJE ESTRUCTURAS DE CASA DE MAQ.	10	11	14				
		30JAN82	6MAR82	17MAY82		90	1536750.	3150000.
	COLOCACION DE PAREDES Y TECHO DE C/M	11	12	14				
		18MAY82		26JUN82		60	604500.	
	COLADO DE LOSAS	11	16	14				
		18MAY82		31AUG82		90	1678000.	
	COLOCACION DE ALUMBRADO EN CASA DE M	12	19	34				
		27JUL82		6AUG82		10	101500.	

25

134.

3	C	CONCRETO PARA CIMENTAC DE LA CALDERA	10DEC81	10DEC81	6MAR82	4FEB82	60	5914500.	5980000.
4		13 14 15	111	96	170	145			
6	C	INICIA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	8MAR82	6FEB82	21JUN82		90	4162800.	8900000.
7		14 15 25	171	146	260				
9	C	TERMINA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA	22JUN82		5OCT82		90	3401550.	
10		15 20 25	261		350				
12		COLOCACION DEL DOMO	22JUN82		26JUN82		5	162750.	
13		15 21 25	261		265				
14		MONTAJE DEL TURBOGENERADOR	31AUG82		30JUN83		240	9742500.	
15		17 18 22	321		569				
18	C	PRUEBAS A PLENA CARGA	17DEC83		21 ABR 84		30	566250.	
19		18 19 40	714		743				
21	C	MONTAJE DE EQUIPOS VARIOS	6OCT82		20JUN83		210	7562500.	
22		21 22 25	351		560				
24	C	PRUEBA HIDROSTATICA	21JUN83		23JUN83		3	13125.	
25		22 23 25	561		563				
27	C	AISLAMIENTOS	24JUN83		16DEC83		150	781250.	
28		23 24 25	564		713				
30		CONCRETO EN LA OBRA DE TOPA	12APR82		31AUG82		120	294500.	
31		25 26 16	201		320				
33		MONTAJE DE BOMBAS DE AGUA DE CIRC.	31AUG82		5OCT82		30	76000.	
34		26 27 26	321		350				
36		PRUEBA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE CIRC	6OCT82		9NOV82		30	76000.	
37		27 28 46	351		380				
39		COLADO DE DUCTOS P/AGUA DE CIRCULAC	10DEC81	10DEC81	6MAR82	6MAR82	60	133000.	133000.
40		28 29 16	111	111	170	170			
42		COLADO DE LA BASE DEL TANQUE DE COMB	7DEC81	17DEC81	18JAN82	28JAN82	30	75000.	75000.
43		30 31 17	101	110	130	139			
45		ARMADO DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE	19JAN82	29JAN82	30MAR82		60	150000.	90000.
46		31 32 27	131	140	190				
48		INSTALAC DEL SIST P/MANEJO DE COMBUS	19JAN82	17FEB82	23FEB82	13MAR82	30	75000.	75000.
49		31 33 27	131	147	160	176			
51		COLADO DE LA CIMENTAC DE ESTRUCTURAS	7JAN82	2JAN82	18MAR82	20MAR82	60	6554500.	6550000.
52		34 35 18	121	117	180	182			
54		MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE SUBESTAC	19MAY82		11MAY82		45	761250.	
55		35 36 18	181		225				
57		MONTAJE DE EQUIPOS P/SUBESTACION	12MAY82		5OCT82		180	6413750.	
58		36 37 38	226		435				

.....
 E.N.D. OF WORKING SCHEDULE

CATEGORY 1 COMPLETED ACTIVITIES

- D E S C R I P T I O N -		F I N I S H			D U R A T I O N			C O S T A N A L Y S I S			
ACTIVITY NUMBER	CODE NUMBER	SCHE'D	ACTUAL	DEV	ACT EST	DEVIATION DAYS	PC	ACTUAL EST'D	OVER	UNDER	DEV PC
C	1	2	19OCT81	16OCT81	-2	5A	-2	-3	2700000.	191775.	0
			60	58	60			2508225.			
C	2	3	11NOV81	2NOV81	-8	14	-6	-30	900030.	12680.	1
			80	72	20			887320.			
	3	4	30NOV81	13NOV81	-13	10	-5	-33	350000.	59450.	20
			14	82	15			290550.			
C	3	13	17DEC81	30NOV81	-15	23	-7	-23	750000.	-12000.	-2
			15	95	30			762000.			
	3	30	5DEC81	30NOV81	-5	23	3	15	200030.	0.	0
			17	100	20			200030.			
	3	28	17DEC81	3DEC81	-12	26	-4	-13	90030.	14000.	10
			16	98	30			76000.			
	3	34	6JAN82	24DEC81	-4	44	4	11	1000000.	-7250.	-1
			10	116	40			1007250.			
	30	31	18JAN82	28JAN82	9	30	0	0	75000.	0.	0
			17	139	30			75000.			
C	13	14	6FEB82	4FEB82	-25	50	-10	-17	5990000.	75500.	1
			15	145	60			5914500.			
	4	10	29JAN82	5MAR82	29	50	5	11	3315030.	144300.	5
			14	169	45			3170700.			
	28	29	6MAR82	6MAR82	0	60	0	0	133000.	0.	0
			16	170	60			133000.			
	31	33	2FEB82	13MAR82	16	30	0	0	75000.	0.	0
			160	176	30			75000.			
	34	35	18MAR82	20MAR82	2	66	6	10	6550000.	-4500.	0
			180	182	60			6554500.			

CATEGORY 2 ACTIVITIES IN PROGRESS EXPECTED TO FINISH ON OR BEFORE PLANNED SCHEDULE

REPORT DAY 20MAR82

182

DESCRIPTION		START		FINISH		EXP	PERCENT	COST ANALYSIS				
ACTIVITY NUMBER	CODE NUMBER	SCH'D	ACTUAL	SCH'D	EXP'D	OUR	COMPLETE	TO DATE	TOTAL	EXPECTED	DEVIATION	
							1/100	ACTUAL	EXP'D	OVER	UNDER	PC
CONCRETO P/CIMENT DEL TURBOGENERADOR		1DEC81	14NOV81	24MAR82	9MAR82	90	111 115	3900000.3900000.	498750.			15
	5	96	83	185	112			3401250.3401250.				
C INICIA EL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA		8MAR82	6FEB82	21JUN82	22MAY82	90	41 214	8900000.				420
	14	171	146	263	235			1711373.4162800.				

CATEGORY 3 ACTIVITIES IN PROGRESS EXPECTED TO FINISH REMIMO PLANNED SCHEDULE

REPORT DAY 20MAR82

182

- D E S C R I P T I O N -		S T A R T		F I N I S H		EXP	PERCENT	C O S T A N A L Y S I S				
ACTIVITY NUMBER	CODE NUMBER	SCH'D	ACTUAL	SCH'D	EXP'D	DUK	OF	TO DATE	TOTAL	EXPECTED	DEVIATION	
							COMPLET	ACTUAL	EXP'D	OVER	UNDER	
							IM COS	EST'D	EST'D		PC	
ARMADO DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE		19JAN82	29JAN82	30MAR82	9APR82	60	72	90000.	125581.		-24419.	-16
31	32	27	131	190	199			107500.	150000.			
EXCAVACION DE LA OBRA DE TOMA		12NOV81	16NOV81	10APR82	16APR82	120	81	276000.	334021.	39521.		13
3	25	16	86	200	205			236054.	294500.			
MONTAJE ESTRUCTURAS DE CASA DE MAO.		30JAN82	6MAR82	17MAY82	19JUN82	90	14	3150000.				1319
10	11	14	141	170	233			221975.	1536750.			

SUMMARY OF ACTUAL PROGRESS AS OF 26 MAR 1982 (DAY 182)

PROGRESS ANALYSIS

	Days	DATE
NUMBER OF DAYS WORKED SINCE PROJECT STARTED	182	20MAR82
SCHEDULED JOB DURATION	743	28JAN84
REVISED JOB DURATION BASED ON ACTUAL PROGRESS TO DATE	718	23DEC83
DEVIATION IN TOTAL JOB DURATION	-25	
= -3.4 PERCENT DEVIATION IN TERMS OF SCHEDULED JOB DURATION		
NUMBER OF DAYS TO GO UNTIL REVISED FINISH DAY	536	

24.5 PERCENT OF PLANNED TIME HAS BEEN USED.

75.3 PERCENT OF PROGRESS ALONG REVISED CRITICAL PATH HAS BEEN ACCOMPLISHED.

COST ANALYSIS

	COSTS	OVER	UNDER	PERCENT
FOR ALL ACTIVITIES INCLUDED IN THE REPORT				
TOTAL REPORTED COSTS TO DATE	30438000.			
ESTIMATED COSTS TO DATE	27334197.			
COST DEVIATION TO DATE		11103803.		41.
EXPECTED COST DEVIATION IN CONSIDERATION OF ALL SELECTED ACTIVITIES COMPLETE AND IN PROGRESS		38744598.		
ESTIMATED TOTAL PROJECT COSTS	67925310.			

56.6 PERCENT OF ESTIMATED TOTAL COSTS HAVE BEEN EXPENDED.

ASSUMPTIONS

THE PROGRESS ANALYSIS GIVEN ABOVE IS BASED ON THE ASSUMPTION THAT ANY ACTIVITIES OVERDUE TO START (CATEGORY 4) FOR WHICH NO EXPECTED START DAY IS REPORTED WILL START THE DAY AFTER THE REPORT DAY OR BEFORE THEIR RESPECTIVE LATE STARTS.

END OF ACTUAL PROGRESS REPORT

C A P I T U L O V I

CAPITULO VI, - CONCLUSIONES.

Durante el desarrollo de este trabajo hemos supuesto en todo momento que cualquier proyecto puede ser subdividido en una serie de actividades predecibles e independientes; sin embargo, está sujeto a consideración el suponer que las actividades son predecibles, ya que esto sólo es aceptable para proyectos en los que la tecnología a emplear está bien establecida, y aún en estos casos, no es posible anticipar y evaluar todos los problemas que se puedan suscitar. Esto hace necesario el modificar la red en tanto se avanza en el proyecto, volviendo obsoleto el programa original.

Las modificaciones a la red mencionadas anteriormente, también afectan lógicamente el consumo de recursos; esto causa que frecuentemente se generen además dependencias entre actividades que utilizan un mismo recurso. Por tanto, las modificaciones que se efectúen a la red pueden corresponder a cambios en el diseño del proyecto, o a un reacomodo en el empleo de recursos.

Por otra parte, se ha encontrado que el éxito o fracaso de la implementación del CPM en proyectos, depende de la importancia que se le dé en la toma de decisiones. El CPM será más aceptado a todos los niveles de un proyecto si la directiva del mismo es la que solicita y apoya su implementación, así como todas las áreas existentes en el proyecto, ya que el CPM requiere información continua y consistente para facilitar su proceso y su aplicación. También es necesario que todas las áreas involucradas estén familiarizadas con el método CPM para asegurar que se trabaje eficientemente.

temente.

Solo resta agregar que esta herramienta se podrá utilizar con mayor eficiencia en la medida que el usuario esté conciente de su potencial y de sus limitaciones.

B I B L I O G R A F I A

OPERATIONS RESEARCH

Taha Handy A.
MacMillan Publishing Co., Inc.
Second Edition 1976 U.S.A.

OPERATIONS RESEARCH, SECOND EDITION

Frederick S. Hiller y Gerald N. Lieberman
Stanford University 1977
Holden-Day, Inc.

OPERATIONAL RESEARCH TECHNIQUES

VOLUME 1 (AN INTRODUCTION)

Douglas White, William Donaldson y Norman Lawrie
London 1978
Business Books Limited

DETERMINACION DE LA RUTA CRITICA

TOMOS I Y II

Dr. R.L. Martino
Tercera Reimpresión, 1970
Editorial Técnica, S. A.

METODO DEL CAMINO CRITICO

Catalytic Construction Company, 1974

CPM IN CONSTRUCTION MANAGEMENT

James N. O'Brien
Mc.Graw-Hill Book Company, 1965

ENGINEERING USER'S MANUAL, ICES PROJECT - I

Edición 1968
Massachusetts Institute of Technology

PROJECT CONTROL SYSTEM

Edición 1977
Bechtel Overseas Corporation.

UNIVAC 1100, EXEC 8

Hardware/Software Summary
Sperry UNIVAC Computer Systems
Revisión 2, México 1981.