

MAESTRIA: ADMINISTRACION DE LA CONSTRUCCION

TESIS: Programación de Proyectos "Enfoque-  
Múltiple".

ARQ. GLORIA CARDONA BENAVIDES.

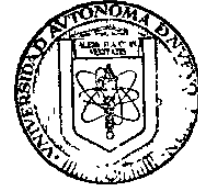
TM  
Z5941  
FARQ  
1989  
C3

FACULTAD DE ARQUITECTURA, U.A.N.L.

TM  
Z5941  
FARQ  
1989  
C3



1020070962



DIRECCION GENERAL DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

T E M A :

PROGRAMACION DE PROYECTOS "ENFOQUE MULTIPLE" .

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE ARQUITECTURA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

MAESTRIA EN  
ADMINISTRACION DE LA CONSTRUCCION

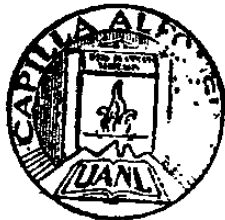
TEMA:

PROGRAMACION DE PROYECTOS "MU" II

SAN NICOLAS DE LOS CARZA, N.L., NOVIEMBRE 1961



TH  
Z5941  
FARQ  
1989  
C3



FONDO TESIS

62904

PROGRAMACION DE PROYECTOS "ENFOQUE MULTIPLE" .

TESIS

Presentada para

la Facultad de Arquitectura

División de Estudios de Postgrado

Por

Gloria Cardona Benavides

Asesor:

Ing. Javier Frias

Universidad Autónoma de Nuevo León

Noviembre, 1969

TABLA DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTO . . . . .	v
LISTA DE TABLAS . . . . .	vi
LISTA DE FIGURAS . . . . .	vii
RESUMEN . . . . .	viii
<b>CAPITULO</b>	
I. INTRODUCCION . . . . .	1
1.1. Antecedentes	
1.2. Objetivo del estudio	
1.3. Alcances y Limites	
1.4. Metodología	
1.5. Importancia de la Investigación	
II. LITERATURA TECNICA ACTUAL . . . . .	8
2.1. Introducción	
2.2. Modelos de Minimización de Niveles e Recursos Restricción de Duración del Proyecto.	
2.2.1. Modelo Tradicional	
2.2.2. Modelo Wiest	
2.2.3. Modelo Burgess	
2.3. Modelos de Minimización de Duración de Proyecto con Restricción de Recursos.	
2.3.1. Modelo de Shaffer	
2.3.2. Modelo de Fondahl	
2.4. Otros modelos	
2.4.1. Modelo del Momento Mínimo	
2.4.2. Modelo SPAR-1 de Wiest	
2.4.3. Modelo RAMFS	
III. DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO DE NIVELACION . . . . .	4



DC ALTERNATIVAS DE PROGRAMAS. . . . .	30
3.1. Introducción	
3.2. Parámetros del Procedimiento	
3.3. Equilibrio entre Variación de los Recursos, Costo y Duración del Proyecto.	
3.4. Procedimiento de Generación de Opciones de Programas	
3.4.1. Suposiciones	
3.4.2. Desarrollo del Procedimiento	
3.5. Medición de Opciones	
3.5.1. Duración	
3.5.2. Variación	
3.5.3. Costo Total	
IV. PRUEBA DEL PROCEDIMIENTO. . . . .	6
4.1. Datos de Entrada	
4.2. Resultados	
4.3. Discusión de Resultados	
4.3.1. Comportamiento Gráfico	
4.3.2. Mejor solución para el ejemplo fijando cada variable.	
V. CONCLUSIONES . . . . .	70
5.1. Conclusiones	
5.2. Recomendaciones	
APENDICES. . . . .	2
I. Explicación del paquete utilizado para la generación de opciones de programas.	
II. Gráficas de Gantt e Histogramas de recursos	
BIBLIOGRAFIA . . . . .	70

## A G R A D E C I M I E N T O S

Deseo hacer un público reconocimiento a el Ing. Javier Frías Garza, por el decidido apoyo que me dió para hacer mi Tesis, haciendo especial mención a su gran capacidad intelectual que desinteresadamente puso a mi disposición.

A mis Maestros, que tuvieron la paciencia y dedicaron su tiempo en mi preparación, especialmente a el Ing. Roberto García Chapa por su gran ayuda técnica y bibliográfica. También deseo agradecer en todo lo que vale, la valiosa ayuda que me prestaron en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura, CIFA, a el Arq. Fernando Rodríguez Urrutia, Secretario del CIFA, Lic. Enrique Zamarripa y Lic. Hidalgo López.

A mis padres hermosos, que con tanta generosidad contribuyeron a descubrir mi vocación y de quien recibí el primer apoyo amplio de todos los tipos, aunque creo que el más valioso fué su ejemplo.

A mis hermanos, de quien siempre recibí apoyo, moral e intelectual, a pesar de la debilidad, ocasionados por la carga de la responsabilidad.

A mis amigos, todos.....

A Dios.....

LISTA DE TABLAS.

TABLA	PAGINA
3.1. Minimización de las desviaciones al cuadrado.....	39
4.1. Datos de referencia, proyecto No. 1 .....	50
4.2. Datos de referencia, proyecto No. 2 .....	50
4.3. Datos de referencia, proyecto No. 3 .....	51
4.4. Datos obtenidos para el desarrollo del procedi- miento, proyecto No. 1 .....	55
4.5. Datos obtenidos para el desarrollo del procedi- miento, proyecto No. 2 .....	55
4.6. Datos obtenidos para el desarrollo del procedi- miento, proyecto No. 3 .....	56
4.7. Resultados finales del procedimiento, proyecto No. 1 (ASAP).....	58
4.7.1. Resultados finales del procedimiento, proyecto No. 1 (ALAP).....	59
4.7.2. Resultados finales del procedimiento, proy cto No. 2 (ASAP).....	60
4.7.3. Resultados finales del procedimiento, proyecto No. 2 (ALAP).....	61
4.7.4. Resultados finales del procedimiento, proyecto No. 3 (ASAP).....	62
4.7.5. Resultados finales del procedimiento, proyecto No. 3 (ALAP).....	63

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PAG NA
3.1. Comportamiento gráfico de los costos, asap.....	44
3.2. Comportamiento gráfico de los costos, alap.....	45
4.1. Diagrama de precedencias, proyecto No. 1 .....	47
4.2. Diagrama de precedencias, proyecto No. 2 .....	48
4.3. Diagrama de precedencias, proyecto No. 3 .....	49
4.4. Ruta crítica programada por CPM, proy. No. 1 .....	52
4.5. Ruta crítica programada por CPM, proy. No. 2 .....	53
4.6. Ruta crítica programada por CPM, proy. No. 3 .....	54
4.7. Gráficas de Costos Totales, proy. No. 1 (ASAP).....	65
4.8. Gráficas de Costos Totales, proy. No. 1 (ALAP).....	66

## RESUMEN.

Los métodos desarrollados anteriormente de programación de proyectos, buscaban minimizar las duraciones de los mismos mediante las relaciones de las actividades, creando de esta forma los métodos CPM y PERT.

Sin embargo, éstos no consideran otras posibles variables que influyen directamente en la realización y en la obtención de una mejor solución para un determinado proyecto, como son las variables costo y variación de recursos, las cuales tienen una muy estrecha relación. Así mismo, las técnicas de Asignación y Nivelación de recursos influyen grandemente en el costo total del proyecto, pues si se mantienen empleados subutilizados para que puedan estar disponibles cuando se utilicen, se incurren en grandes costos. Sin embargo todos los procedimientos actuales analizan solamente una opción de programación.

De tal manera que el objetivo principal del estudio es desarrollar un procedimiento básico de asignación y nivelación de recursos en el cual se generarán varias opciones de programación que considerarán la minimización de las variaciones de demanda de los recursos en el tiempo, así como la influencia que tienen en un proyecto los parámetros costo y duración para poder seleccionar la mejor opción.

Para el desarrollo del procedimiento se estableció un límite de recursos disponibles y se mantuvo fijo durante la programación total del proyecto.

El tipo de recurso que analiza el procedimiento es RECURSO HUMANO, ya que influye grandemente en la toma de decisiones desarrollo de cualquier proyecto.

Para la prueba del procedimiento fué necesario utilizar tres redes de precedencias seleccionadas al azar con diferentes duraciones, actividades, precedencias y disponibilidad de recursos. Se analizaron las actividades de cada red con diferentes tiempos de duración total de cada actividad, desarrollando tres tiempos de programación para cada proyecto. Estos tiempos son Mínimo, Normal y Máximo.

Se analizaron con restricción de recursos (1 nivel de restricción) y sin restricción de recursos (4 niveles de restricción). Todas las opciones anteriores se desarrollaron en sus tiempos de pronto inicio y en sus tiempos últimos de inicio.

Una vez probado el procedimiento con los datos de prueba, los resultados obtenidos fueron analizados, llegándose a las siguientes conclusiones:

A menor duración del proyecto, la fluctuación de recursos es mayor.

Con costos de variación de recursos, bonificaciones y penalizaciones altas, el costo menor del proyecto

obtenerse con duraciones cortas del proyecto.

Con costos de variación de recursos y sin bonificaciones ni penalizaciones, el costo menor del proyecto tiende a obtenerse en las duraciones medianas o largas del proyecto.

Teniendo un rango de duración y costo en la programación de un proyecto, se desarrollan una serie de opciones dentro del rango, con lo cual es más sencillo obtener y escoger una mejor solución, además de sensibilizarse en la interrelación de las variables.



## I. INTRODUCCION.

### 1.1. ANTECEDENTES.

El desarrollo de los métodos CPM (Método del Camino Crítico) y PERT (Técnica de Evaluación y Revisión del Programa) han sido de gran ayuda en la Planeación y Programación de los diferentes proyectos de construcción en las últimas tres décadas.

Aunque éstos métodos se desarrollaron independientemente, en ambos se utilizó la red como modelo gráfico y sus soluciones se refirieron a la ruta más larga o crítica, es decir, buscando minimizar la duración del proyecto a través de un análisis lógico de la ausencia y las relaciones de todas las actividades. Mediante el CPM, se supone que la duración de las actividades se pueden establecer con razonable exactitud, es decir, que la variación en la duración es muy pequeña. En cambio, mediante el PERT, se supone que las actividades son distribuciones de tiempo con variaciones relativamente grandes. Estos 2 puntos de vista surgieron de los antecedentes en que se basaron para su desarrollo. En el CPM, las duraciones de las actividades se establecieron en base a la experiencia del contratista y en el PERT de los antecedentes de investigación en donde fue necesario suponer una media y una variación para cada actividad, definiendo un estimado optimista, más probable y pesimista de la duración de una actividad.

En la solución básica por medio de la ruta crítica, las redes representan las actividades que deben realizarse

estimaciones de tiempo y costo establecen posibles duraciones del proyecto y determinan las actividades críticas y las no críticas. No obstante, la duración real del proyecto y los posibles tiempos de iniciación, dependen de los recursos disponibles en un momento dado durante el transcurso del proyecto.

Sin embargo, estas técnicas suponen que todos los recursos requeridos para la realización de las actividades, están disponibles en las cantidades necesarias a través de la duración del proyecto, lo cual en la práctica, la mayoría de las veces no es posible. En ausencia de un procedimiento riguroso, se han aplicado soluciones por medio de tanteos, muchos de los cuales han resultado como subproductos de la aplicación del CPM/PERT al proyecto en conjunto. Esta aplicación da fuerza a una nueva manera de pensar acerca de los proyectos y de su planeación, manera que ha producido métodos con más uniformidad y objetividad que aquellos en uso antes del perfeccionamiento del CPM/PERT. Aún así, estos éxitos no eliminan la necesidad de una solución al problema de asignación de recursos para formular el programa de un proyecto.

Se han desarrollado técnicas para determinar la disponibilidad y distribución de recursos en un esfuerzo para complementar el análisis del CPM/PERT. Dos de estas técnicas son Nivelación de Recursos y Asignación de Recursos. Estas dos técnicas son muy importantes en la Industria de la Construcción porque la disponibilidad de estos recursos a menudo es la

duración, programación y costo del proyecto. Cuando los requerimientos de los recursos están disponibles en una cantidad limitada, las actividades podrían no empezar en la fecha dada por la no disponibilidad de recursos, de tal manera que las actividades competirán por los mismos recursos y si estos son limitados dichas actividades podrían retrasarse. Una vez que se toman en cuenta las restricciones de recursos, frecuentemente se establece una nueva ruta crítica.

El problema de Nivelación de Recursos aparece cuando los recursos están disponibles en cantidad suficiente para la programación del proyecto, pero es necesario reducir el pico de las variaciones de los requerimientos de recursos sin una contracción en la duración de la red o en el mínimo costo. Como en cualquier problema de Ingeniería, hay muchas soluciones para el problema, pero regularmente una es la más eficiente para un proyecto en particular.

La mayoría de las veces cuando se realiza la programación de un proyecto, se toman en cuenta los diferentes métodos que existen para el desarrollo de dicho proyecto y así, poder determinar cuál es el método idóneo de acuerdo al tipo de proyecto, tamaño, costo, etc. Ya analizado lo anterior, se desarrolla el método elegido en el cual se considera solamente una opción del programa y no un conjunto de programas, sin darse cuenta que especificando un poco más o variando las condiciones del proyecto, este método o procedimiento puede dar varias opciones que pueden ser mejores o peores de acuerdo a diferentes

aspectos, pudiendo el programador discernir y escoger la más conveniente de acuerdo a sus recursos, duración, costo, etc.

### 1.2. OBJETIVO DEL ESTUDIO.

Desarrollar un procedimiento básico de Asignación y Nivelación de recursos, generando un conjunto de opciones de programas que consideren minimizar las frecuentes variaciones de demanda de recursos en el tiempo, así como de costo y duración del proyecto.

Dicho procedimiento, deberá ser fácil y rápido para aplicar a proyectos de diferentes tamaños, para lo cual tendrá que ser desarrollado y/o probado utilizando un equipo computacional.

### 1.3. ALCANCES Y LIMITES.

Aunque en la mayoría de los proyectos normalmente se utilizan dos o más recursos, la nivelación de varios recursos en las actividades de acuerdo a un programa dado se torna difícil de obtener, por lo tanto, para el desarrollo de este procedimiento, se tomó en cuenta únicamente la nivelación de un recurso y se trabajó con tres diferentes redes con 10, 20 y 30 actividades, cada una de las cuales tendrá diferentes duraciones, precedencias y cantidades requeridas de recursos. Se trabajó con los recursos hasta un límite de disponibilidad. Esto significa que se establecieron límites de recursos que no pueden ser sobrepasados.

El Calendario usado consistió en 6 días de trabajo la

semana, con una duración de 8 horas de Lunes a Viernes y el sábado de 5 horas. El día de trabajo inicia a las 8:00 AM y termina a las 5 PM.

Para el cálculo de variación de recursos, duración y costo de proyecto en las diferentes redes, se utilizó el paquete computacional TIME LINE y una microcomputadora PC IBM compatible.

#### 1.4. METODOLOGIA.

La Metodología para el desarrollo de este procedimiento es la siguiente:

1. Desarrollar tres tipos de redes de precedencias con diferentes duraciones, cantidad de actividades, requerimiento de recursos y precedencias.

2. Analizar cada una de las redes con diferentes tiempos, pero con la misma cantidad de recursos totales para la actividad, desarrollando redes con:

\* Tiempo Mínimo

\* Tiempo Normal

\* Tiempo Máximo

3. Analizar las redes con restricción de recursos sin restricción de recursos.

4. Desarrollarlas de acuerdo a sus tiempos de pronto inicio (ASAP) y tiempos de tarde inicio (ALAP).

5. Con lo anterior se desarrolla una serie de opciones que se evaluarán de acuerdo a las restricciones, duraciones y costos.

6. Estos costos son: costo de duración del proyecto, costo de la variación de los recursos, etc., las cuales redundan en el

costo directo, costo indirecto y costo total.

7. Con los anteriores elementos, se desarrolla una tabla en donde se pueden ver las diferentes opciones de programación de un proyecto y poder así tomar la determinación más conveniente ya sea en cuanto a la minimización de la duración del proyecto o en la minimización del costo total, siendo el programador el que tome sus decisiones de acuerdo a sus propias restricciones o contrato.

#### 1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION.

Mantener a los obreros subutilizados para que puedan estar disponibles para una determinada fecha, significa desperdicio de talento, incurriendo en grandes costos por los que se recibe poca o ninguna producción, ya que las empresas dependen de la cantidad máxima disponible de recursos y el éxito o fracaso depende de cómo éstos sean usados. Uno de los recursos más comunes que se toman en consideración es el de personal, en el que la nivelación se rige por el deseo de mantener el menor número posible de empleados para ejecutar la obra. La maquinaria y equipo es también un recurso usado frecuentemente, el cual es necesario estudiar y programar correctamente para mantener las demandas del mismo a un nivel mínimo, lo cual se efectúa mediante técnicas de Asignación y Nivelación de Recursos influyendo estas grandemente en el costo final del proyecto. Por esta razón, es de vital importancia planear y programar cuidadosamente la utilización de los recursos humanos en cualquier tipo de proyecto.

Actualmente, para la realización de un proyecto, se analiza cuál es el método conveniente para su programación de acuerdo a las restricciones que exige el proyecto, desarrollando después el método elegido. Sin embargo, todos los procedimientos actuales analizan solamente una opción de programación.

El desarrollo del procedimiento de esta investigación analiza varias opciones de programación de acuerdo a las relaciones existentes entre tres diferentes variables que son: duración, costo y restricción o variación de recursos, con el fin de dar un mejor panorama al administrador de proyectos para efectuar la selección de la programación que más le satisfaga.



## II. LITERATURA, TECNICA ACTUAL.

### 2.1. INTRODUCCION.

Las personas implicadas en la Industria de la Construcción, tienen siempre que tratar de distribuir sus recursos de la mejor manera posible con el fin de terminar un proyecto antes de una fecha limite y/o a un costo menor que el presupuestado. Antes de las Técnicas de Asignación y Nivelación de Recursos el administrador utilizaba su genio e intuición para efectuar esta labor.

Antes de 1960, realmente tenían que hacer uso de su intuición, tenían que salvar o hacer frente a los mismos problemas existentes ahora, pero sin ayuda de las computadoras.

En las últimas tres décadas, se ha desarrollado una gran cantidad de literatura acerca de programación, asignación y nivelación de proyectos. Se han desarrollado modelos de simulación y algoritmos o métodos heurísticos, tomando como base los resultados obtenidos por CPM y PERT.

En un estudio de Técnicas modernas de Investigación (11), se sugiere la aplicación de la Programación Lineal para la resolución del problema de Programación de actividades de acuerdo a restricciones de recursos; sin embargo, no resulta muy práctica su utilización. En cambio, se ha puesto atención a métodos heurísticos diseñados para dar buenas soluciones cuando el número de variables hacen inadecuado tratar de resolver el problema

usando programación lineal. Un heurístico es un conjunto de reglas de aprobación establecidas para conducir progresivamente al usuario hacia una solución factible, la cual no necesariamente es la óptima pero se encuentra cerca de la misma.

Ha habido dos enfoques para estos métodos heurísticos. Uno establece como objetivo la minimización de los niveles y por tanto de los costos de los recursos, sujetándose a las duraciones del proyecto CPN. El objetivo del otro es la minimización del tiempo de duración del proyecto mientras se mantienen fijos los límites de los recursos.

Los trabajos que tienen como finalidad la minimización de las duraciones del proyecto para determinar límites fijos de recursos son los de Wiest (21) y su aplicación subsecuente. Usa el diagrama de flechas y da reglas para elegir el orden de programación de las actividades individuales. Shaffer (11) hace elecciones similares pero usando el diagrama de precedencias para este proceso. Más recientemente Davis (7), ha analizado estadísticamente los criterios de selección y concluye que el principal criterio es el costo de unidad de tiempo, y utiliza el diagrama de flechas para los proyectos de prueba.

Wiest y Burgess (21), (6), también se han interesado en la restricción de la duración del proyecto. Burgess introduce la suma de los cuadrados de las demandas diarias de recursos como un medio para determinar la calidad de la nivelación. Modric y

Phillips (16), sugirieron tomar en cuenta cuadrilla variable, interrupción de actividades, niveles de prioridad y asignación de recursos no usados, son pero menos significativos que los anteriormente desarrollados.

## 2.2. MODELOS DE MINIMIZACION DE NIVELES DE RECURSOS ON RESTRICCIÓN DE DURACION DEL PROYECTO.

Cuando la duración del proyecto no es satisfactorio y se desea reducirla utilizando el mínimo número de recursos, se podría incrementar este nivel de recursos asignando y considerando el resultado en la duración del proyecto hasta que sea aceptable. Si no es aceptable se obtiene otra alternativa, aumentando nuevamente el número de recursos y se revisa esta alternativa. Si resulta conveniente esta duración, se toma esta cantidad de recursos, si no, se vuelve a incrementar el nivel de recursos.

Como se puede observar, este procedimiento resulta no muy adecuado para cuando se trata de grandes proyectos con gran cantidad de recursos ya que resulta tedioso y aplicar su realización por tratarse de soluciones meramente por tanteos, si como por el aumento o disminución de recursos que a menudo están restringidos.

## NIVELACION DE RECURSOS.

La Nivelación se puede considerar como una manera de llevar eficientemente un proyecto, una vez que se ha establecido un programa básico. Uno de los principales objetivos es reducir a

distribución de los recursos, lo cual incrementa la productividad y disminuye las fluctuaciones diarias de las demandas de los recursos.

La nivelación de recursos es un procedimiento en la que la demanda de recursos se puede reducir en las diversas fechas del proyecto, en donde una decisión inconsciente empeorará la demanda de recursos o prolongará innecesariamente el proyecto. Un factor significativo en la Nivelación es que el tiempo de inicio para las actividades críticas es variado solamente para producir una nivelación. La duración del proyecto nunca es alargada.

En la nivelación se programan primero las actividades críticas, clasificándolas en orden decreciente de importancia a los recursos que intervienen.

#### 2.2.1. METODO TRADICIONAL.

El Método Tradicional, llamado por Moder (16) nivelación de recursos ilimitados supone un nivel o tasa de recursos que se cree es satisfactorio. Con este nivel supuesto de recursos se hacen pruebas día a día con las sumas totales de las demandas de dichos recursos. Cuando estas pruebas indican que no se ha podido satisfacer la demanda, se reduce este nivel de demanda hasta el límite supuesto. Minimiza el tiempo del proyecto manteniendo fijos los niveles de recursos.

Con este procedimiento, hay una posibilidad real de que sea

necesaria la ampliación del proyecto, lo cual no es muy aceptable cuando ya se ha establecido la duración del proyecto y se ha acordado una fecha de terminación. El proceso se puede repetir con un nivel de recursos más alto, en el cual no se necesite la ampliación del proyecto; pero todo este proceso lleva tiempo y el beneficio que se puede obtener de él, se puede reducir grandemente o ser totalmente nulo.

#### **Ventajas.**

- \* Límite máximo fijo de recursos.
- \* Se puede usar con diagrama de flechas o precedencias, indistintamente.
- \* La mayor ventaja es en el caso en que hay verdaderamente un conjunto fijo de recursos disponibles.

#### **Desventajas.**

- \* Tiende a aumentar los recursos al final del proyecto.
- \* No es óptimo.
- \* Cuando la demanda está por debajo del límite supuesto, permite fluctuaciones de recursos,
- \* Es posible un aumento en la duración del proyecto.
- \* No se pueden reducir las duraciones de las actividades, para un mejor aprovechamiento.
- \* No es conveniente para más de un recurso.

#### **Procedimiento.**

1. Aplicar el método CPM y enlistar las actividades.
2. Calcular los TPI (tiempo de pronto inicio)

TPF (tiempo de pronto fin)

HT (holgura total)

así como determinar las tasas de recursos, (unidades de recursos que se necesitan para cada día de ejecución de la actividad).

3. Preparar un diagrama de barras con la información obtenida en los pasos 1 y 2, trazando en primer lugar las actividades críticas (para poder diferenciarlas de las no críticas que se pueden mover por su holgura).

4. Las actividades se programan de acuerdo a su TPI.

5. Sumar las tasas de recursos para cada día de las actividades al pie del diagrama.

6. Suponer el límite superior de recursos a utilizar, de acuerdo al nivel máximo de las tasas de recursos, que es el mínimo que podemos utilizar para la programación (se supone es satisfactorio).

7. Probar día a día las demandas de recursos para determinar si son menores o mayores que el valor supuesto.

8. Cuando la demanda supera el límite supuesto, se selecciona la actividad de las que están en conflicto en este día, cambiando la actividad con mayor holgura un día para de esa manera, disminuir la demanda diaria.

9. Analizar nuevamente la suma diaria de recursos. Si la demanda supera el límite supuesto, repetir el paso No. 8 hasta que la demanda se haya reducido al mínimo o por abajo del mínimo.

10. Repetir los pasos No.7, 8 y 9 hasta concluir el proyecto.

11. Si al finalizar el proyecto quedan demandas mayores a las del límite supuesto, el tiempo del proyecto se amplía hasta que las

sumas diarias estén por abajo del límite.

12. Cuando el nivel máximo propuesto de recursos no resulta satisfactorio por la cantidad de recursos no utilizados, aumentarlo o disminuirlo de acuerdo a nuestras necesidades. (Si el programa se amplió mucho, se recomienda aumentar el nivel propuesto o viceversa).

### 2.2.2. METODO WIEST.

Es un método heurístico que trata de utilizar los recursos disponibles lo más uniformemente posible, minimizando al máximo los recursos no utilizados y sin exceder la cantidad máxima disponible.

Este método programa actividades tan pronto como sea posible (TFI) lo cual puede implicar una ventaja sobre otros métodos. También propone poder reducir las duraciones de las actividades a la mitad o a la mitad más uno como máximo de lo programado como normal, lo cual puede implicar un posible acortamiento de la duración del proyecto.

#### Ventajas.

- \* No excede el límite máximo de recursos disponibles.
- \* Programa en su tiempo pronto de inicio.
- \* Se puede programar en diagrama de flechas o prediccias
- \* Tiende a disminuir la cantidad de recursos al final.
- \* Minimiza la cantidad de recursos disponibles no utilizados
- \* Muy útil cuando se tiene una cantidad fija de recursos disponibles.



### Desventajas.

- \* No evita todas las fluctuaciones de los recursos.
- \* En los acortamientos, tienen prioridad las actividades en los que sus recursos se acerquen más a la demanda dada, no las actividades que se encuentren en la ruta crítica.
- \* No indica cuál es la cantidad de recursos apropiada para su mejor o máxima utilización.
- \* Altera la red y sus precedencias.

### Procedimiento.

1. Preparar una tabla, enlistando las actividades, duraciones, precedencias y sus necesidades diarias de recursos.
2. Calcular la ruta crítica, duración del proyecto TPI y HT.
3. Dibujar un diagrama de barras con la información anterior, sumando al final del diagrama las tasas diarias de recursos hasta terminar el programa.
4. Analizar si la suma de las tasas de recursos cumple con los requisitos de disponibilidad y aprovechamiento máximo.
5. Si no es así, corregir y reordenar donde la demanda sea excedida.
6. Las actividades son ordenadas de acuerdo a:
  - TPI (en forma creciente)
  - HT (en forma creciente)Terciendo prioridad el TPI. Las actividades no seleccionadas se posponen.
7. Continuar con la programación y si sobrepasa el límite,

- aplicar el paso No. 5. Si todas las tasas de recursos están bien (no existe conflicto), entonces disminuir la cantidad de recursos disponibles en toda la gráfica y regresar al paso No. 4.
8. Repetir los pasos anteriores y cuando en el día analizado se encuentren recursos disponibles no utilizados, verificar si las actividades en cuestión pueden ser reducidas para poder incrementar la demanda de recursos en una cantidad próxima a la que se encuentra disponible.
9. Con lo anterior, recalcular la duración de la actividad afectada y verificar si aún se encuentran recursos no disponibles. Si es así, aplicar el paso No. 5. En caso contrario, repetir los pasos 5, 6 y 7.
10. Finalizar el proyecto repitiendo los pasos anteriores.

### 2.2.3. MODELO BURGESS.

En este Método se aplica el concepto de una de los cuadrados de las cantidades diarias de recursos y desarrolla un "factor de mejoramiento" para elegir la actividad que se va a cambiar. El mejoramiento, como lo usa este modelo, se refiere la reducción del momento del histograma cuando se cambia una actividad. Para ordenar el cambio de las actividades, se eligen los pasos lógicos en secuencia, junto con los factores de mejoramiento. El cambio se inicia con las actividades en el paso de secuencia más tardío y el factor de mejoramiento se usa para elegir una en particular en el paso que se va a cambiar. Este proceso continúa hasta que se llega al primer paso.

Las prioridades para este algoritmo son dadas para

actividades que ocurren tan tarde como sea posible en el diagrama de precedencias y que tiene la mayor cantidad de holgura.

#### **Ventajas.**

- \* Para proyectos grandes, se programa fácilmente en computador.
- \* Reduce la cantidad máxima de recursos disponibles.
- \* Tiende a disminuir la cantidad de recursos al final del proyecto.
- \* Se puede utilizar para varios recursos.
- \* Utiliza indistintamente diagrama de flechas o precedencias.

#### **Desventajas.**

- \* No reduce todas las fluctuaciones de los requerimientos de los recursos.
- \* Puede cambiar el orden de las actividades.
- \* No programa de acuerdo a los recursos disponibles.

#### **Procedimiento.**

1. Lista de actividades que no tengan precedencias en orden creciente de sus holguras. Después, listar las actividades que tengan la primera actividad fija como predecesora. Enseguida, listar las actividades que continuarán tan pronto como sus predecesoras sean listadas.
2. Preparar una gráfica de Gantt, mostrando el listado de actividades, definiendo sus fechas pronto de inicio y de pronto de fin.
3. Programar las actividades en sus fechas de pronto inicio.

4. Para cada periodo de tiempo, determinar la suma total de los requerimientos de los recursos ( $Rt$ ) y elevarlos al cuadrado. Entonces encontrar la suma de los cuadrados de los requerimientos de los recursos por periodo de tiempo ( $Rt^2$ ).
5. Tomar la última actividad de la gráfica con holgura positiva y cambiar el periodo de tiempo para el correcto ( $i$ , e programarla un periodo de tiempo después). Recalcular la suma de los cuadrados de los requerimientos de los recursos.
6. Si  $Rt^2$  (nueva) <  $Rt^2$  (vieja), repetir el procedimiento (del paso 5) para esta actividad. Otra vez, repetir el paso 5 para la siguiente actividad con holgura positiva hasta que todas las actividades sean tratadas.
7. Repetir los pasos 5 y 6 nuevamente hasta que todas las actividades hayan sido evaluadas y/o que ya no pueda tener más cambios.

### 2.3. MODELOS DE MINIMIZACION DE DURACION DEL PROYECTO CON RESTRICCION DE RECURSOS.

Después de hacer la Planeación Y Programación del proyecto, es necesario contestar la pregunta "están todos los recursos disponibles?" Si están disponibles, el proyecto puede llevarse a cabo; sin embargo, en la vida real, la mayoría de los proyectos tienen recursos limitados, lo cual implica un impedimento para la programación de las actividades. Si en la Planeación inicial, todos los recursos están disponibles, es necesario usar las Técnicas de Asignación para determinar el número y cuándo serán requeridos los recursos. De esta manera, se puede ver que la Asignación de recursos es una parte esencial de la P)

En la mayoría de los proyectos, los recursos están a menudo restringidos y la asignación podría tener restricciones impuestas tales como:

- 1). Los recursos pueden estar limitados y el proyecto tiene que ser completado usando los recursos dados.
- 2). La duración del proyecto podría estar especificada y ésta se usa para determinar el nivel mínimo de recursos.
- 3). Una distribución de Nivelación podría ser deseada para mantener en un nivel la fuerza de trabajo.

El procedimiento de Asignación básica es un método de trabajo programado, balanceando costo y necesidades con disponibilidad de recursos y duración.

#### COMO ESTABLECER PRIORIDADES.

Para la nivelación y asignación de recursos, las prioridades necesitan ser establecidas. Las prioridades tienen que ser asignadas para los recursos, para las actividades y también para proyectos. Esto es porque en muchos casos los recursos son caros, o en otros, hay menos disponibilidad.

En el caso de las actividades, algunas de ellas tienen un impacto o influencia en la duración total del proyecto o sobre el costo total. Un ejemplo típico es que el retraso de las actividades críticas, retrasarán inmediatamente el inicio del proyecto. Pero las actividades que tienen holgura (permiso)

extra de tiempo en donde una actividad puede ser programada sin retrasar el proyecto), retrasarán el proyecto solamente si este retraso es más grande que su holgura. Con lo anterior, se puede observar que la holgura mínima es una manera de establecer o dar alguna prioridad a las actividades.

En el caso de multiproyectos, el contratista tiene que decidir cuál proyecto tendrá prioridad en la asignación de recursos. Esto sucede cuando la compañía tiene muchos contratos al mismo tiempo con recursos comunes. Un ejemplo simple es la asignación de la fuerza total de trabajo o equipo. Esta asignación tiene que ser decidida acorde a los datos de duración de los proyectos, la importancia de cada uno, el costo de ellos, etc.

El orden para seleccionar y establecer prioridades en las actividades han sido muchos y muy variados los estudios hehos para tal fin. Muy buenas conclusiones han sido tomadas de los estudios de E. W. Davis (7) en 1975. El estableció el orden de las actividades de acuerdo a su holgura, dió el mejor de los resultados en la duración total del proyecto y después en la Asignación de recursos. El llamó a esta regla INSLK (minimum job slack) y la comparó con otras reglas.

#### BASES PARA LAS PRIORIDADES.

- 1). Asignar recursos a la actividad que está teniendo la mayor holgura total.
- 2). Asignación para la actividad que requiere el mayor

de recursos por día.

- 3). Asignación para la actividad que está usando el número más grande de recursos.
- 4). Asignar la actividad con el menor  $ij$ , esto es, una actividad alta en la secuencia. Por ejem., si esto existe entre 1-2 y 1-3, 1-2 obtendría la preferencia.
- 5). Considerar la secuencia.

#### RECURSOS NO LIMITADOS.

Cualquier actividad con holgura, tiene varios posibles tiempos de inicio. La red de actividades, la ruta crítica y las fechas de inicio y terminación forman parte del plan del proyecto. Un plan semejante es incluido con la suposición de que todos los recursos estarán disponibles. Para empezar a analizar los recursos se tienen los requerimientos totales por unidad de tiempo, para lo cual necesitamos:

1. Un diagrama de flechas o precedencias con las actividades en secuencia.
2. La fuerza de trabajo, equipo o capital requeridos para cada actividad.

Si son sumadas las columnas de los recursos diarios, el número total de días-hombre necesarios para completar este proyecto es obtenido. Esta suma es dividida entre la duración del proyecto para obtener un número promedio requerido por día.

Este número promedio podría no ser el mejor para los requerimientos de todas las actividades, pero esto provee un punto razonable para comenzar. Si los recursos necesarios para todas las actividades son encontrados, esto representa casi la utilización máxima de disponibilidad de recursos. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que este número promedio podría no ser menor que el número de recursos requeridos para una actividad única.

#### RECURSOS LIMITADOS.

Ordinariamente, las Técnicas de programación del Camino Crítico, no toman en cuenta la cantidad de requerimientos de recursos o sus posibles limitaciones para su asignación, solamente asumen sus tiempos de inicios, en donde una actividad puede ser comenzada tan pronto como sus predecesoras hayan sido terminadas. Con todas las actividades comenzando tan pronto como sea posible, una programación en sus primeros tiempos de inicio es creada.

Similarmente, cuando todas las actividades son programadas en su último tiempo de inicio, todas las actividades se retrasan hasta donde es posible convirtiéndose en críticas. En general, la limitación de recursos reduce la cantidad de holgura en la programación y la holgura depende del orden de precedencia de las actividades y de la asignación de recursos.

La programación de proyectos, con recursos limitados es



problema con muchas soluciones. En donde estas soluciones representan diferentes programas de acuerdo a los límites fijos de recursos. Esto tiene el efecto de proporcionar resultado en los histogramas de recursos para determinar los mejores niveles de recursos que deben asignarse al proyecto.

Quando existen recursos limitados en la cantidad de recursos disponibles para el proyecto, los problemas de disponibilidad regularmente retrasan el proyecto. El objetivo de la asignación de recursos es encontrar la menor duración para el proyecto, considerando la disponibilidad de recursos. Los programas básicos de inicio temprano tienden a crear conflictos, debido a la demanda de gran número de trabajadores durante algunos días del proyecto. Si se sabe que se dispone sólo de un número de trabajadores limitado en el área donde está situado el proyecto o si se proveen pronto los recursos para una tarea en particular, la nivelación ayudará a disminuir estas demandas diarias a fin de que queden dentro de los límites preescritos.

### 2.3.1. MODELO SHAFFER.

Este método utiliza los recursos de que se dispone, de tal manera que si no se cuenta con los recursos necesarios para la programación, se hará una reformulación de dicho programa con los recursos disponibles (limitados), tratando de que esta reformulación sea en el menor costo posible.

#### Ventajas.

\* Programación de acuerdo a los recursos disponibles.

\* Permite la nivelación de varios recursos a la vez.

#### Desventajas.

\* La mayoría de las veces aumenta la duración del proyecto.

\* No es óptimo.

\* Permite fluctuaciones entre los recursos.

\* Altera la red.

#### Procedimiento.

1. Preparar una tabla enlistando las actividades con sus precedencias, duración TPF (tiempo de pronto fin) y TTI (tiempo de tarde inicio), sus tasas de recursos (recursos necesarios), así como su cantidad máxima disponible.

2. Dibujar un diagrama de barras, sumalizando día a día las tasas de recursos.

3. Analizar las tasas diarias de recursos y determinar si se cumple con las disponibilidades. Cuando no se cumpla con lo anterior, hacer una reformulación del programa con los recursos disponibles.

4. De las actividades en conflicto, tomar el siguiente criterio para conocer su prioridad.

Actividades con Mínimo TPF = x

Máximo TTI = y

entonces x será requisito de y

5. Hacer las correcciones originadas por los cambios del paso No.4.

6. Repetir los pasos No. 3, 4 y 5 hasta que el proyecto sea

concluido.

7. Por último, hacer una reformulación de la red, eliminando los requisitos redundantes.

8. De las actividades en conflicto, secuenciar primero las que produzcan el mínimo incremento en la duración. Cuando hay el caso especial donde  $x = y$  se debe escoger la segunda mejor.

### 2.3.2. METODO FONDAHL.

Es un método heurístico que aunque no es óptimo, proporciona resultados muy cercanos al óptimo. Programa de acuerdo a los recursos disponibles. Es un método que proporciona resultados rápidos.

#### Ventajas.

- \* Programa de acuerdo a recursos disponibles.
- \* Resultados rápidos.
- \* Resultados muy cercanos al óptimo.
- \* Puede utilizarse para varios recursos.

#### Desventajas.

- \* No es óptimo.
- \* Puede alargar la duración del programa.
- \* No evita las fluctuaciones de recursos.

#### Procedimiento.

1. Preparar una tabla de las actividades con duraciones, TPI y tasas de recursos.

2. En una gráfica de barras, ordenar las actividades de acuerdo a su TPI, programando primero la actividad que tenga el menor TPI, respetando sus precedencias y sin exceder los recursos.
3. Cuando existan actividades en conflicto (empatadas) programarlas en diferente orden para definir cuál es la mejor opción.
4. Agregar actividad por actividad a la gráfica de Gantt, de acuerdo al orden de los TPI, respetando requisitos y recursos disponibles.
5. Repetir el paso No. 4 hasta finalizar el proyecto.

## 2.4. OTROS MODELOS.

### 2.4.1. MODELO DEL MOMENTO MINIMO.

En el modelo del Momento Mínimo (11) para nivelación de recursos, se supone que hay un momento del histograma que es mínimo y para que el procedimiento sea válido, se debe verificar dicho supuesto.

Este modelo comienza de la misma forma que el Tradicional. Las sumas de recursos diarios para un recurso elegido, se determinan primero suponiendo que las actividades están en su posición de tiempo pronto de inicio. Sin embargo, en lugar de elegir un límite de prueba, se calcula un factor de mejoramiento de recursos para todas las actividades del último paso secuencial.

De estos cálculos se determina el factor de mejoramiento

positivo más largo y se cambia la actividad relacionada con él.

Estos dos procesos se repiten en forma sucesiva en cada paso secuencial hasta llegar al primero. Entonces se repiten otra vez los cálculos, comenzando por el primer paso secuencial y terminando en el último. Las sumas de recursos diarios resultantes son las que proporcionan el momento mínimo y representan las demandas de recursos nivelados.

Tiene la ventaja de que no amplía la duración del proyecto, no tiende a producir un aumento de recursos hacia el final del proyecto, pero sí tiende a dar las mayores demandas de recursos durante la parte central del tiempo de duración. Además, el método se puede usar para ajustar los recursos al histograma de demanda de recursos predeterminado, permitiendo al contratista emparejar estrechamente sus disponibilidades de recursos.

Tiene la desventaja de que no evita todas las fluctuaciones de los recursos, las soluciones manuales tienden a ser lentas y permite la nivelación de un solo recurso a la vez.

#### 2.4.2. MODELO SPAR-1 DE WIEST.

Uno de los más recientes descubrimientos de procedimientos de programación, dado por Wiest (21), es el método SPAR-1 (Scheduling Program for Allocation Resources). Se trata de un método que cada proyecto es descrito por un diagrama de flechas con tiempos de inicio asignados y duración dada, en donde las actividades

proyecto son ordenadas de acuerdo a la programación de su holgura menor y la programación actual toma el lugar de la unidad de tiempo del primero para el último.

Es capaz de manejar uno o múltiples proyectos hasta de 1,200 actividades, 500 nodos y 12 diferentes tipos de recursos, con requerimientos fijos o variables y límites de recursos constantes o variables.

Este programa está basado en tres niveles heurísticos. El primer nivel es de asignación serial, periodo por periodo, recursos para las actividades listadas en orden de su tiempo pronto de inicio. En segundo nivel, las actividades son programadas para iniciar con el primer periodo seleccionándolas de esa lista de acuerdo a disponibilidad y el orden de su holgura total. El último nivel heurístico, es la reprogramación de las actividades no críticas, hasta donde sea posible para programar actividades críticas sin holgura con los recursos libres.

#### 2.4.3. MODELO RAMPS.

Fue desarrollado independientemente del modelo SPAR-1. RAMPS Resource Allocation and Multiproject Scheduling (13), está basado en un diagrama de flechas, el cual es utilizado para cada proyecto. Ambos modelos tienen tres cargas de recursos y tiempo estimado para cada actividad.

RAMPS permite una variación en el total de horas-hombre para los tres niveles heurísticos, también incluye el costo unitario

se incurre por la interrupción en la ejecución de las actividades una vez que el trabajo ha sido empezado.

El nivel del proyecto incluye, fecha de pronto inicio, duración, penalización por retraso o como una alternativa y prioridades del proyecto.

Con la disponibilidad de recursos, la información dada debe ser, para cada periodo de tiempo, el costo normal y el número de unidades disponibles para cada tipo de recursos, el número extra de unidades y su costo, y cuál podría estar disponible para tiempo extra y subcontratos.

Finalmente, los objetivos de la programación deben estar dispuestos de acuerdo a su importancia, minimizan o el tiempo muerto de los recursos, maximizando el número de combinaciones de las actividades programadas, evitando las interrupciones de las actividades, etc.

### III. DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO DE NIVELACION Y GENERACION DE ALTERNATIVAS DE PROGRAMAS.

#### 3.1. INTRODUCCION.

En la Industria de la Construcción, hay muchos casos en donde la cantidad de un recurso de un proyecto en particular, no debe de exceder ciertos limites diarios debido a la disponibilidad de empleados que se espera, al uso del equipo a las limitaciones de espacio esperado, etc.

Planear proyectos con recursos restringidos es una tarea difícil y predecir su duración depende de las características de la red, de sus requerimientos y la disponibilidad de dichos recursos. Estos limites diarios de recursos restringen las posiciones de tiempo de las actividades por lo que es importante tomarlas en cuenta a fin de lograr una administración efectiva. Algunas veces es difícil establecer estándares adecuados para medir la efectividad de la programación de un proyecto, porque esto depende de su situación y sus requerimientos.

En la mayoría de los proyectos programados y ejecutados en la práctica, el proceso que se sigue es:

- a). Determinar las actividades del proyecto y sus relaciones de precedencias.
- b). Determinar la duración y la cantidad de recursos para cada actividad.
- c). Calcular el camino crítico y la duración del proyecto.
- d). Si la duración es mayor que la esperada, entonces



de disminuirla, acelerando algunas actividades.

e). Si la duración es aceptable, se asignan recursos a las actividades y se calculan los requerimientos totales.

f). Solo en contadas ocasiones se efectúan nivelaciones de recursos.

Los problemas con este procedimiento son:

a). No se cuenta con objetivos combinados de costo, duración y disponibilidad de recursos.

b). Las adecuaciones a la duración del proyecto y/o nivelación de recursos se efectúan modificando una sola variable a la vez.

c). Por el inciso b, no se cuenta con una idea general de cómo interactúan dos o más variables a la vez.

El objetivo de este capítulo es desarrollar un procedimiento de nivelación y generación de alternativas de programación de proyecto, que permita seleccionar fácilmente la mejor alternativa de acuerdo a los parámetros de costo, duración y disponibilidad de recursos.

### 3.2. PARAMETROS DEL PROCEDIMIENTO.

La mayoría de los modelos toma en cuenta solamente la relación que existe entre el costo y la duración, en donde las posibles combinaciones de estas dos variables generarán varias opciones de programación, pudiendo de esta forma elegir la que más se adecúe a las restricciones del proyecto en cuanto a

o duración.

Para el desarrollo de este procedimiento se toma también en cuenta la variable variación de recursos, que en combinación con las variables anteriores (costo y duración), amplían más el panorama de la programación, ya que entre más especificado sea un proyecto, más eficiente será su administración.

Un gran problema al que se enfrenta el administrador, es el hecho de una alta variación de recursos, ya que esto implica varias cosas:

- a). Frecuentes contrataciones y despidos de personal.
- b). Mayor cantidad de recursos subutilizados.
- c). Mantener recursos contratados sin necesitarlos para que estén disponibles al momento en que se vayan a utilizar.
- d). Se incurre en gastos mayores por gastos innecesarios en personal por una mala administración.

De acuerdo a lo anterior, tener recursos contratados para que estén disponibles cuando sea necesario, o en su defecto, contratar y despedir personal según las necesidades, es un gran problema, no sólo por los gastos en que se incurren, sino también por la baja de productividad del personal contratado, ya que necesita tiempo para conocer el proyecto que está realizando por lo que su productividad es menor, así como una baja productividad por miedo al despido al término del trabajo.

Otro punto importante es que entre más se le...

de recursos con los que se está realizando un proyecto de la cantidad idónea o conveniente para su realización, mayor será la cantidad subutilizada de recursos que no se necesitan, incurriendo en mayores gastos y baja productividad.

### 3.3. EQUILIBRIO ENTRE VARIACION DE RECURSOS, COSTO Y DURACION DEL PROYECTO.

El objetivo principal es encontrar el valor óptimo de dos variables dado que la otra tiene una restricción de menor o igual que un valor. De tal manera que si tenemos la duración como restricción, es decir, tenemos a nuestra disponibilidad la cantidad que se desee de recursos y el costo total del proyecto no interfiere para la toma de decisiones, se debe encontrar la asignación de recursos que minimize su variación y que sea al menor costo total pero con una duración menor o igual que una determinada o fija. La cantidad de recursos debe ser la conveniente, para no alargar innecesariamente la duración del proyecto ya que ésta es fija. Dicha cantidad debe ser la adecuada para no tener recursos subutilizados y ser la mejor solución entre varias opciones, ya que cuando se ha fijado la duración de un proyecto, la mayoría de las veces existe un costo de bonificación por terminar antes de lo contratado y un costo de penalización por terminar después.

El objetivo de terminar antes o en la fecha contratada, puede no ser la mejor solución si tomamos en cuenta el costo total, ya que algunas veces considerando el costo de penalización

y/o bonificación, terminar después de lo planeado puede ser la mejor solución en cuanto a costo total se refiere, pues se logra la minimización del costo total. Esto es variando la cantidad de recursos necesarios para la ejecución del proyecto y de esta forma encontrar su valor óptimo.

### 3.4. PROCEDIMIENTO DE GENERACION DE OPCIONES DE PROGRAMAS.

#### 3.4.1. SUPOSICIONES.

El procedimiento se desarrolló a partir de varios supuestos:

- a). Si se cambia la disponibilidad de los recursos en la programación de un proyecto, este cambiará su duración y costo total.
- b). Después de cierto nivel de disponibilidad, entre más disponibilidad de recursos tenga un proyecto, mayor será la cantidad de recursos no utilizados pero si pagados.
- c). El costo indirecto aumenta conforme aumenta la duración del proyecto.
- d). Para el desarrollo del procedimiento de nivelación se usó solamente un recurso.
- e). Se puede contratar y descontratar sin costo adicional.
- f). La duración y costo de cada actividad está en función de la cantidad de recursos asignados.
- g). Para el Costo de Bonificación se le supone un costo diario de 5.00 y para el de Penalización un costo diario de 10.00.

#### 3.4.2. DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO.

En el procedimiento que a continuación se explica se utilizó el mismo principio del PERT en cuanto a programación para

cada actividad tres tiempos de terminación, el mínimo, el normal y el máximo, con igual requerimiento de recursos por total de actividad pero con diferente requerimiento por periodo.

Comenzando con la elaboración de las redes de precedencias y asignando la duración de las actividades, se calcularon por medio del CPM los valores de la duración de los proyectos, fechas de inicio, fechas de terminación y holguras. Esta duración se llamó Tiempo Normal del proyecto.

A partir de este Tiempo Normal se desarrollaron otros tres tiempos de duración. El Tiempo Mínimo y el Tiempo Máximo, los cuales basándose en los datos del Tiempo Normal se desarrollaron de la siguiente manera:

Para la duración en Tiempo Mínimo, se acortaron las duraciones de todas las actividades hasta un máximo de la mitad a las actividades con número de duración par y a la mitad más uno, a las actividades con número de duración impar según el Modelo Niest (21) el cual lo utiliza como una forma de disminuir las fluctuaciones y acomodar las actividades para su máxima utilización.

En el Tiempo Máximo se sumaron las holguras que se obtuvieron en la duración a tiempo normal, a las duraciones de las actividades que las tenían, para de esta forma, disminuir los requerimientos diarios de recursos pero sin afectar

Por ejemplo, si tenemos una actividad 1 con una duración de 4 días y un requerimiento diario de recursos de 3, da una suma total de recursos para la actividad 1 de 12. Si esta actividad tiene una holgura de 2 días, esta holgura se sumará a la duración que es 4, dando un total de 6 días para la actividad 1. Entonces la cantidad de requerimiento diario de recursos es 2 porque 12 que es el total de la actividad entre 6 días en que se incrementó la actividad da un total diario de requerimiento de recursos de dos. Como se puede observar, es la misma cantidad total de requerimientos para la actividad 1, lo único que cambió fue la duración de la actividad y la disminución de los recursos diarios es para disminuir los picos de los histogramas.

En base a lo anterior, se desarrollaron una serie de programas de proyecto que se programaron en su tiempo de pronto inicio, que se denominará (ASAP, As Soon As Possible) y su tiempo de tarde inicio (ALAP, As Late As Possible) resultando una gran variedad de tiempos de inicio y terminación de los proyectos.

Con los datos anteriores se introducé a los diferentes programas con dos nuevas variables:

- a). Con cantidad fija de recursos (Con 4 Niveles de Restricción)
  - b). Con cantidad ilimitada de recursos (Sin Restricción)
- lo cual desarrolla diferentes opciones de programación.

Con los datos generados se clasificaron los programas a siguiente manera:

Duración (1, 2 y 3) Tiempo Mínimo, Normal y Máximo, número

niveles de restricción de recursos, programadas en su tiempo (ASAP) y (ALAP); dando un total de 30 ( $3 \times 5 \times 2$ ) diferentes opciones de programar un proyecto.

### 3.5. MEDICION DE OPCIONES.

A partir de las opciones desarrolladas por las variaciones en la cantidad de recursos disponibles de un proyecto, se prosiguió a la medición de los datos resultantes, para de esta forma, encontrar el valor óptimo tomando como restricción duración, variación de recursos ó costo, dejando las otras dos como variables.

#### 3.5.1. Duración.

La medición de la duración a Tiempo Normal (la primera duración que se obtuvo), basada en la red de precedencias, se calculó por medio del CPM, resultando con esto la duración total del proyecto. Como se explicó anteriormente, con esta duración se desarrollaron las duraciones a Tiempo Máximo y Tiempo Mínimo.

Estas tres diferentes duraciones fueron tomadas como punto base para el desarrollo de otras nuevas duraciones de un proyecto, en donde la variable fué la cantidad de recursos disponibles. Al variar la cantidad asignada de recursos a los diferentes tiempos de duración, se desarrollaron otras opciones de programación resultando diferentes valores de duración total. Por lo tanto, existe una relación directa entre la cantidad asignada de recursos a un proyecto y su duración total.

Todas las nuevas opciones de duración total del proyecto, se midieron por medio de una gráfica de Gantt, (por ser este el tipo de reporte a utilizar), en donde se indican precedencias, retraso de las actividades, duraciones, holguras existentes y tiempo de inicio y terminación de las actividades, (ver Apéndice II).

### 3.5.2. Variación de Recursos.

La variación de los recursos generó una serie de opciones de programación, dando como resultado diferentes histogramas de utilización de recursos. Estos histogramas indican la cantidad diaria de dichos recursos, necesaria para realizar el proyecto en una fecha fija, así como su cantidad máxima de disponibilidad, (ver Apéndice II).

Una forma de medir las fluctuaciones de los histogramas formados por la suma de los requerimientos diarios de las actividades programadas, fue la suma de las desviaciones al cuadrado (Varianza), Tabla No. 3.1, en donde se tiene el límite de los recursos disponibles a través de todo el proyecto, midiéndose las diferencias entre este límite y la cantidad requerida para ese día, obteniendo de esa forma una cantidad numérica de dichas desviaciones.

Estas desviaciones son las cantidades de recursos que se tienen disponibles para el proyecto, pero que por falta de una buena elección en la cantidad adecuada de utilización de los recursos se desperdician, teniéndolos en mayores cantidades.



# TABLA No. 3.1

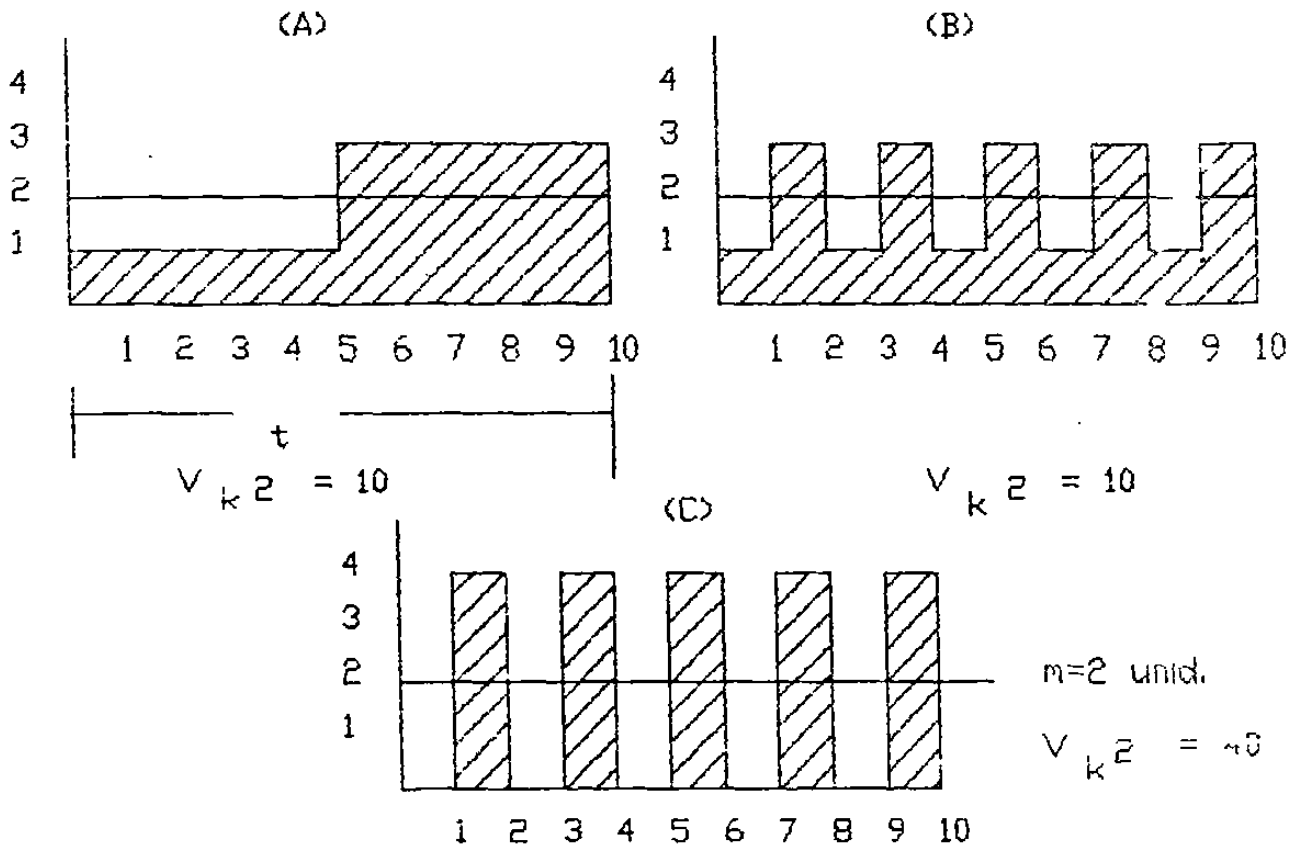
MINIMIZAR EL TOTAL DE LAS DESVIACIONES AL CUADRADO

$$M_k = \frac{\sum_{t=1}^{t=T} Z_{kt}}{T}$$

disponibilidad de recursos  
 $M_k = k$  durante la duracion  $t$   
 del proyecto.

$$V_k^2 = \sum_{t=1}^{t=T} (M_k - Z_{kt})^2 = \text{minimum}$$

(A) y (B) son mejores que (C)



que realmente se van a utilizar, ó la duración del proyecto teniendo la misma cantidad de recursos no es la adecuada.

Con los datos obtenidos midiendo las fluctuaciones de los histogramas, se puede observar que a medida que crece la cantidad de recursos, mayores son las fluctuaciones, tornándose la nivelación más difícil, esto sin tomar en cuenta la variable costo, que interviene directamente en la toma de cualquier decisión.

Para tener una idea de la cantidad que se paga por los recursos que no se están utilizando y tener un antecedente de utilización de recursos y/o equipo, se midió la diferencia entre el nivel de recursos asignados y el perfil o pico de los histogramas de recursos, asignándoseles la unidad como costo, también como unidad. Esta cantidad es lo que se paga por recursos no utilizados al cual se le llamó costo de la variación (Var.). Ver tabla No. 4.7.

### 3.5.3. Costo.

En lo referente a costo, existen 3 tipos de costos que se analizarán:

- a). Costo Directo
- b). Costo Indirecto
- c). Costo Total

Dentro del costo directo, se encuentran los costos de mano de obra, los costos por mano de obra y los costos de material.

maquinaria. El costo por material por ser una cantidad determinada y que no cambia aunque se varien las condiciones de la programación, no se tomó en cuenta. En lo referente a costo de equipo y maquinaria por ser un tema muy amplio y que necesita una mayor investigación y desarrollo, no se incluye en esta investigación. En cambio, el costo de la Mano de Obra cambia conforme se varien la duración del proyecto y la cantidad asignada de recursos por lo que es importante analizar su comportamiento variando estas cantidades.

En la determinación de costo directo, interviene la cantidad de recursos que se hayan asignado y su duración. Los datos anteriores se multiplican por el costo, que para el desarrollo de este procedimiento fuè la unidad, obteniendo de esa forma el costo directo. Este costo directo variará en función a los recursos y la duración del proyecto.

El costo indirecto aumenta conforme aumenta la duración del proyecto, de tal manera que existe una relación entre el costo indirecto y la duración. En el desarrollo de este procedimiento existen varias opciones de duración para un proyecto determinado, por lo que es necesario definir el porcentaje diario de costo indirecto que se va a utilizar.

Para definir el costo indirecto, se tomó como base y nuevamente, la duración en Tiempo Normal y se le asignó como costo indirecto un 30% de su costo directo. La cantidad

resultante se dividió entre su duración, para de esta forma obtener un porcentaje diario de costo por indirectos de operación. Este porcentaje diario se multiplicó por cada una de las duraciones de las diferentes opciones de programar el proyecto, obteniéndose de esta forma los costos indirectos del proyecto.

En el costo total intervienen otros dos factores a parte de los costos directos e indirectos. Estos son los costos de Bonificación y los de Penalización.

Para el Costo de Bonificación y Penalización se toma en cuenta la duración a Tiempo Normal del proyecto y cuando las duraciones de las diferentes opciones del mismo proyecto son menores a la establecida como base, se obtiene un costo de bonificación por cada uno de los días que faltan para llegar al límite convenido, es decir, la diferencia entre la duración normal y la analizada. Esta cantidad se restará a la suma de los costos directo e indirecto. Si la duración es mayor a la duración a Tiempo Normal que es la base, la diferencia entre ambas indican los días de penalización que se tienen, por terminar después de lo pactado; siendo este costo sumado a los costos directo e indirecto, dando un costo total mayor.

Los costos anteriores son sumados, o restados en el caso de la Bonificación, para obtener el costo total del proyecto; (Ver figuras No. 3.1 y 3.2), el cual es una variable que ayudará conjuntamente con la asignación de recursos.

FIGURA No. 3 - 1

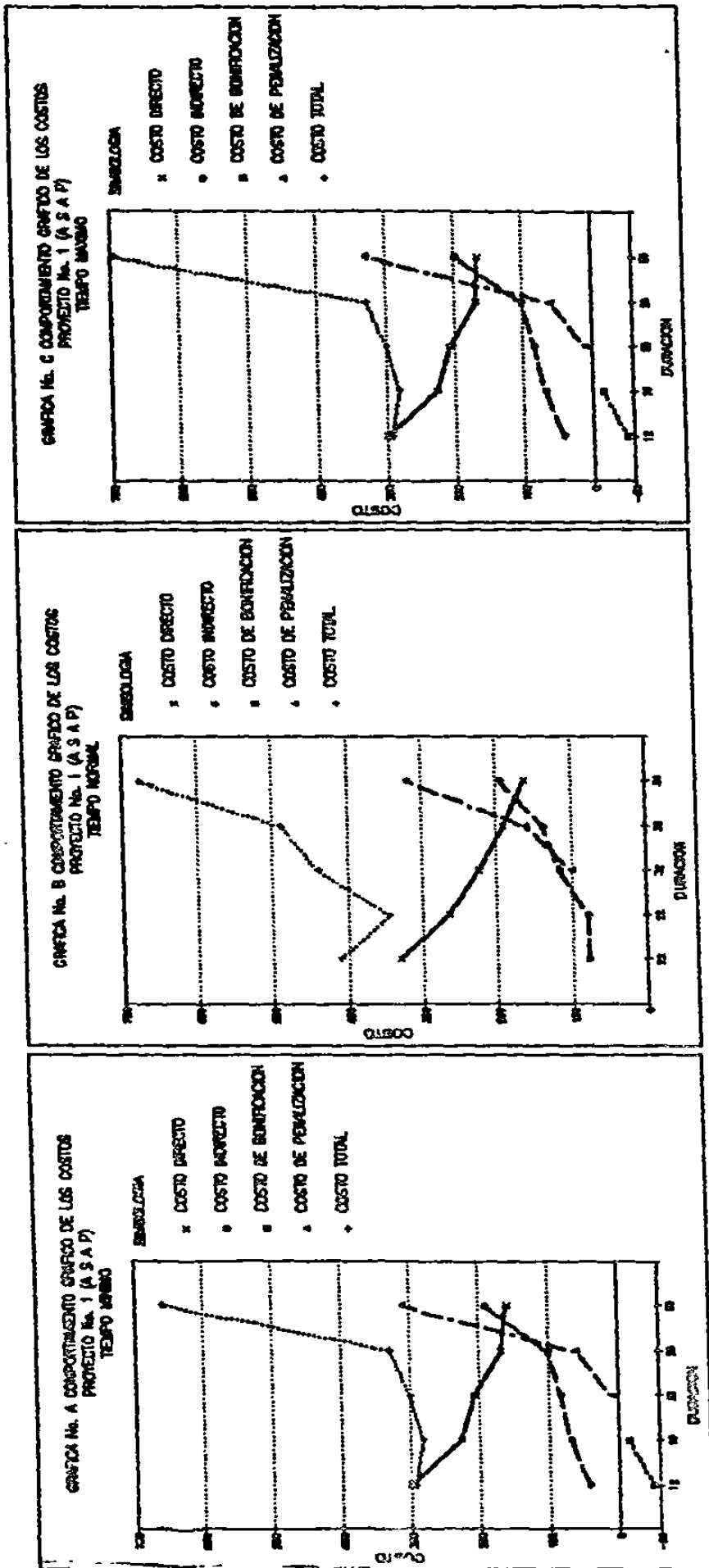
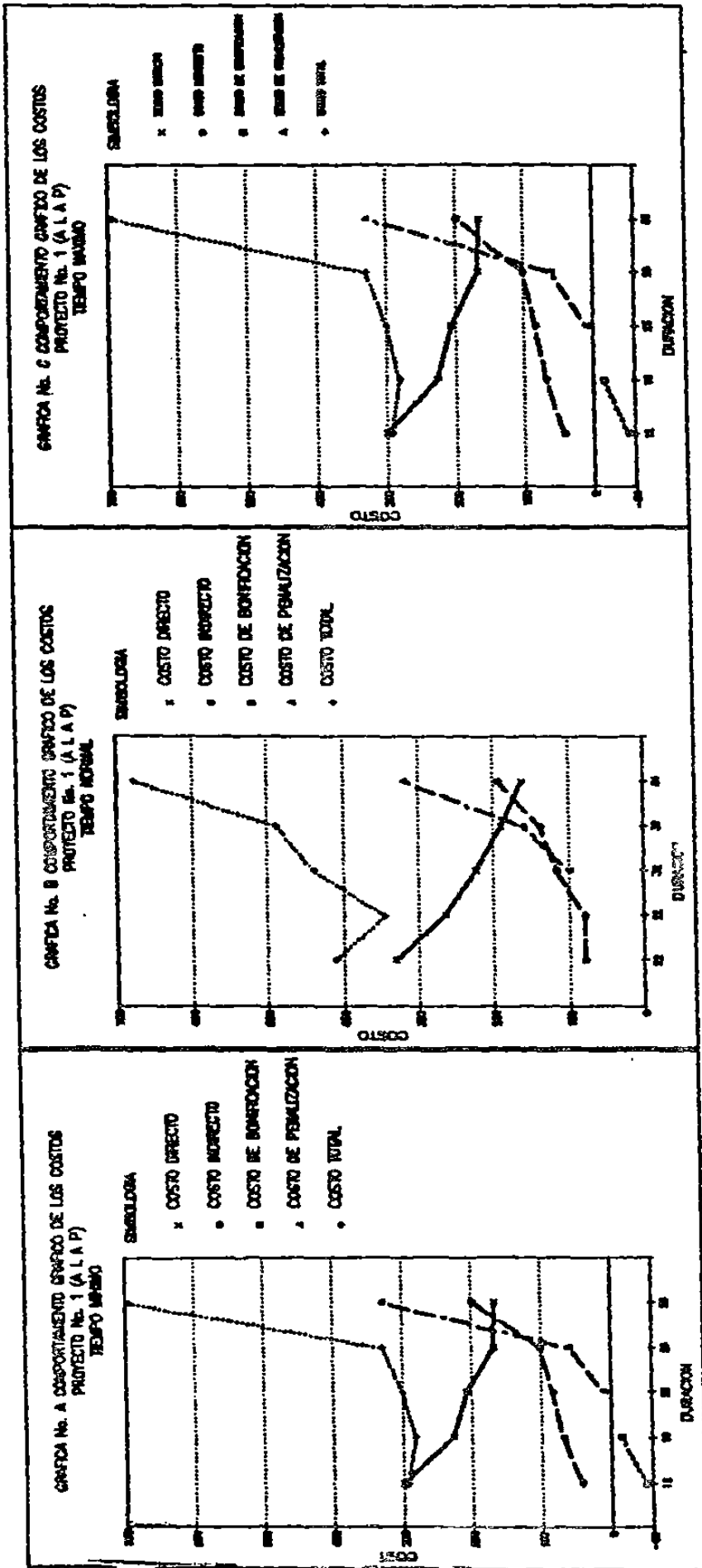


FIGURA NO. 3.2



la opción más acorde a las restricciones y necesidades del proyecto, ya sea minimizando la duración, recursos y/o costos. Por consiguiente, el Costo Total = C. Directo + C. Indirecto - Bonificaciones + Penalizaciones, (fórmula 3.1).

Fórmula 3.1

$$C.T. = C.DIR. + C. IND. - BONIF. + PEN.$$

#### IV. PRUEBAS DEL PROCEDIMIENTO.

##### 4.1. Datos de Entrada.

Para el desarrollo de prueba del procedimiento, se tomaron como referencia tres tipos de redes de precedencias escogidas arbitrariamente, con la única condición de que fueran proyectos de diferente tamaño, precedencias, duración y disponibilidad de recursos.

Datos necesarios para el desarrollo del proceso de nivelación:

- a). Tres tipos diferentes de redes de precedencias (fig. 4.1, 4.2, 4.3.).
- b). Duración de las actividades
- c). Disponibilidad de recursos (tablas No. 4.1, 4.2, 4.3.).

Programarlas por medio del CPM (fig. 4.4, 4.5, 4.6) y obtener la duración máxima de cada proyecto. A esta duración se le llamará duración a Tiempo Normal. De acuerdo con los datos de las duraciones de las actividades a Tiempo Normal, determinará:

- a). Duraciones a Tiempo Mínimo
- b). Duraciones a Tiempo Máximo
- c). Disponibilidad diaria de recursos (tabla 4.4, 4.5, 4.6.).

La restricción que se va a manejar es disponibilidad de recursos, para el desarrollo del proyecto.

- a). Sin restricción de recursos, (un nivel de restricción 0). Ninguna actividad se retrasará por falta de recursos.



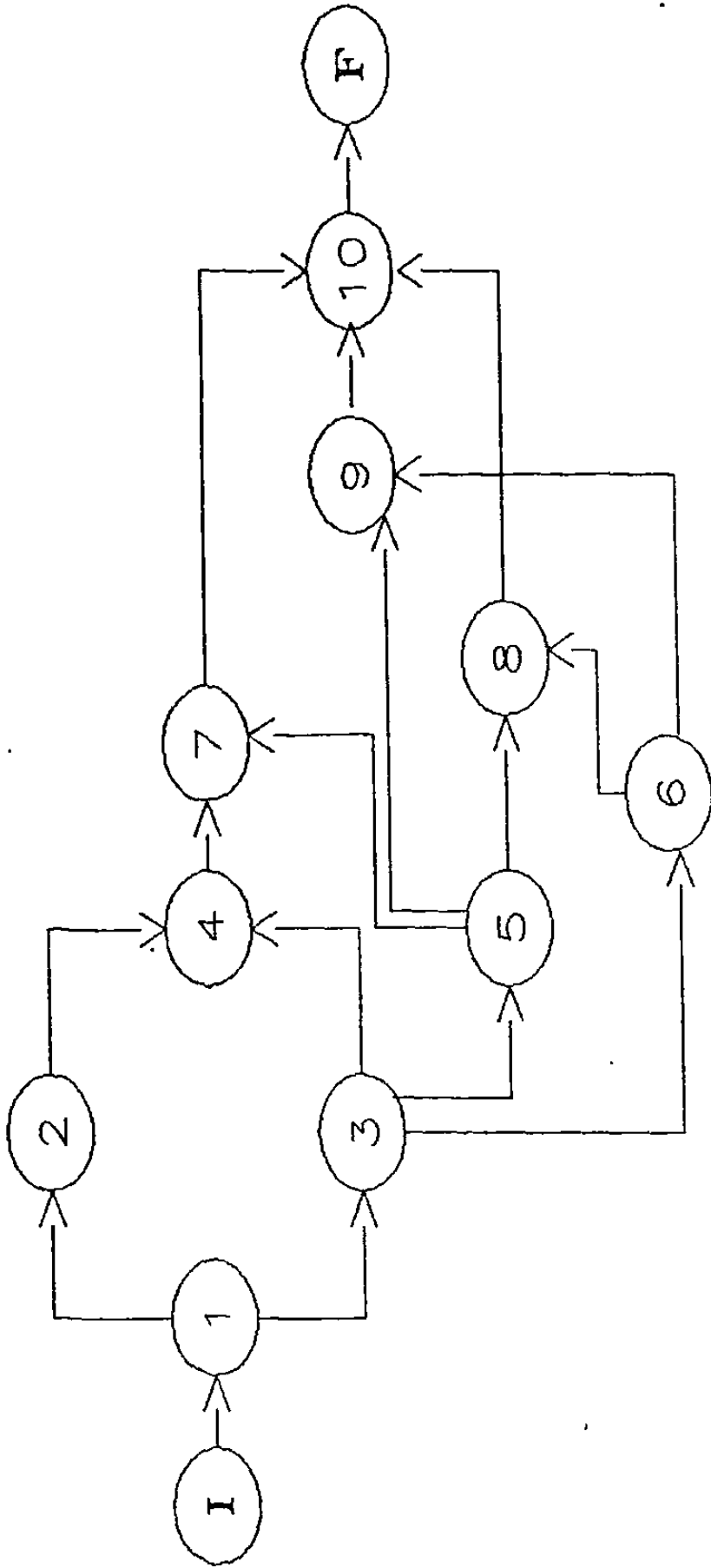


FIGURA T.1  
DIAGRAMA DE PRECEDENCIAS  
PROYECTO No. 1

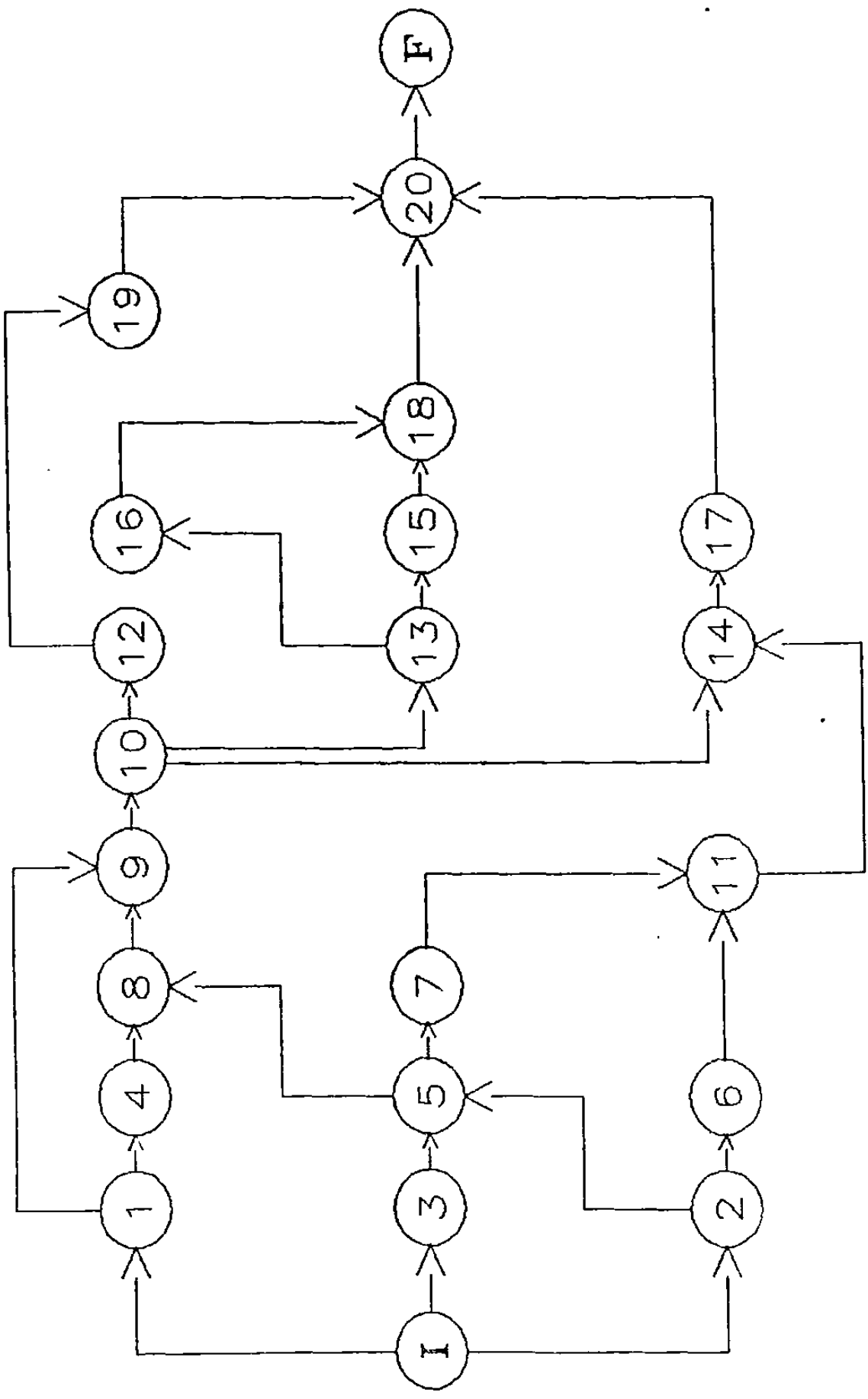


FIGURA 4.2  
 DIAGRAMA DE PRECEDENCIAS  
 PROYECTO No. 2

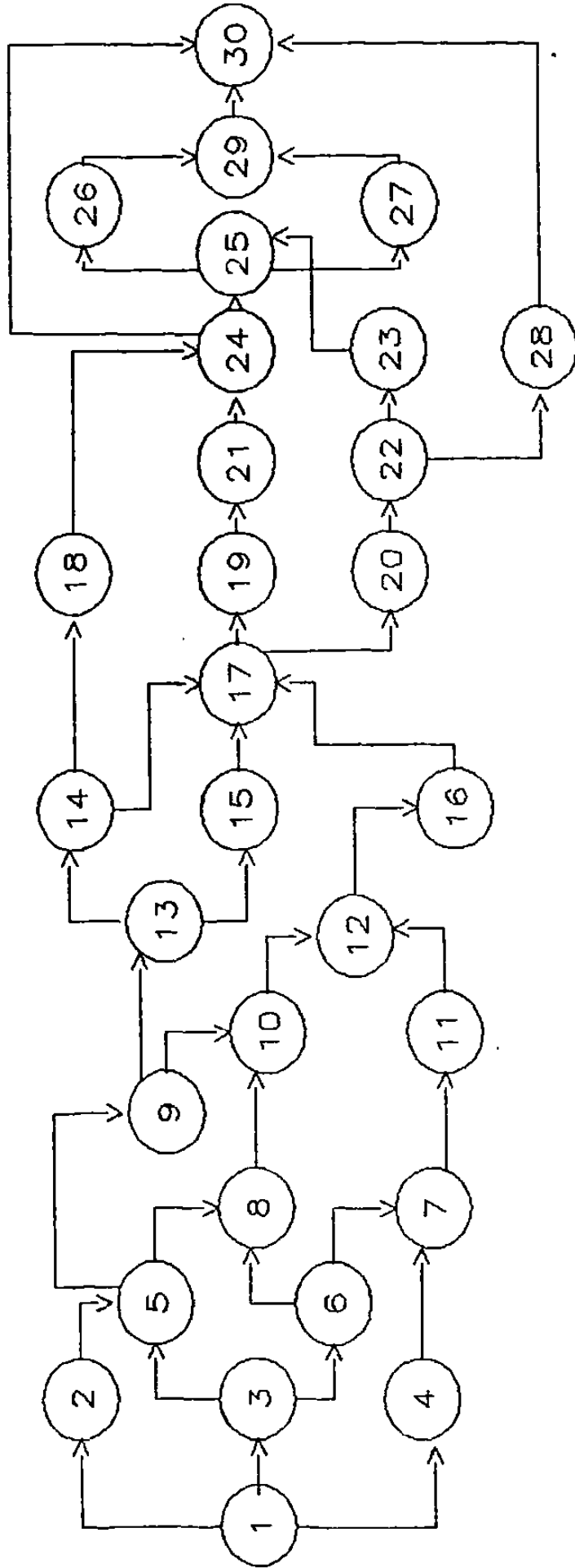


FIGURA 4.3  
 DIAGRAMA DE PRECEDENCIAS  
 PROYECTO No. 3

TABLA No. 4.1  
DATOS DE REFERENCIA

PROYECTO No. 1				
ACT.	PRECED.	DURACION	RECURSOS	HOLG.
1	-	2	2	0
2	1	6	5	0
3	1	4	4	2
4	2,3	9	4	0
5	3	3	5	6
6	3	5	3	3
7	4,5	3	1	0
8	5,6	6	1	3
9	5,6	4	3	5
10	7,8,9	2	6	0

TABLA No. 4.2  
DATOS DE REFERENCIA

PROYECTO No. 2				
ACT.	PRECED.	DURACION	RECURSOS	HOLG.
1	-	2	4	11
2	-	4	8	0
3	-	5	7	1
4	1	3	3	11
5	2,3	11	5	0
6	2	5	2	29
7	5	8	1	5
8	4,5	7	3	0
9	1,8	6	8	0
10	7,9	7	4	0
11	6,7	8	7	15
12	10	2	9	17
13	10	7	4	0
14	10,11	4	5	11
15	13	10	2	0
16	13	7	8	3
17	14,15	9	1	11
18	15,16	7	4	0
17	12,16	3	7	13
20	17,18,19	5	6	0

TABLA No. 4.3  
DATOS DE REFERENCIA

PROYECTO No. 3				
ACT.	PRECED.	DURACION	RECURSOS	HOLG.
1	-	3	5	0
2	1	5	3	0
3	1	2	4	3
4	1	1	2	8
5	2,3	4	5	0
6	3	3	7	4
7	6,4	7	6	4
8	5,6	9	3	0
9	5	3	5	6
10	8,9	6	2	0
11	7	8	4	4
12	10,11	6	1	0
13	9	2	6	18
14	13	3	8	18
15	13	1	10	20
16	12	5	9	0
17	14,15,16	7	3	0
18	14	6	5	26
19	17	3	6	0
20	17	5	3	0
21	19	4	4	0
22	20	2	2	0
23	22	1	8	0
24	21	1	7	0
25	24	5	5	0
26	25	4	6	0
27	25	2	10	2
28	22	3	8	7
29	26,27	6	2	0
30	24,29	8	5	0

62904

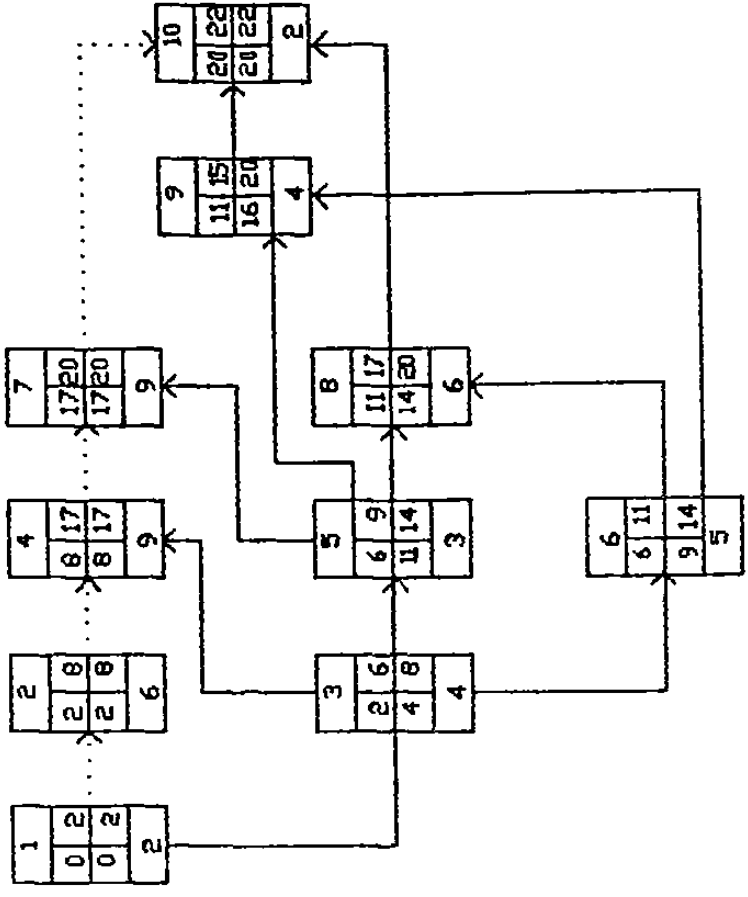


FIGURA No. 44

ROUTA CRITICĂ PROGRAMĂRII FLUX CPM

PROYECTO No. 1

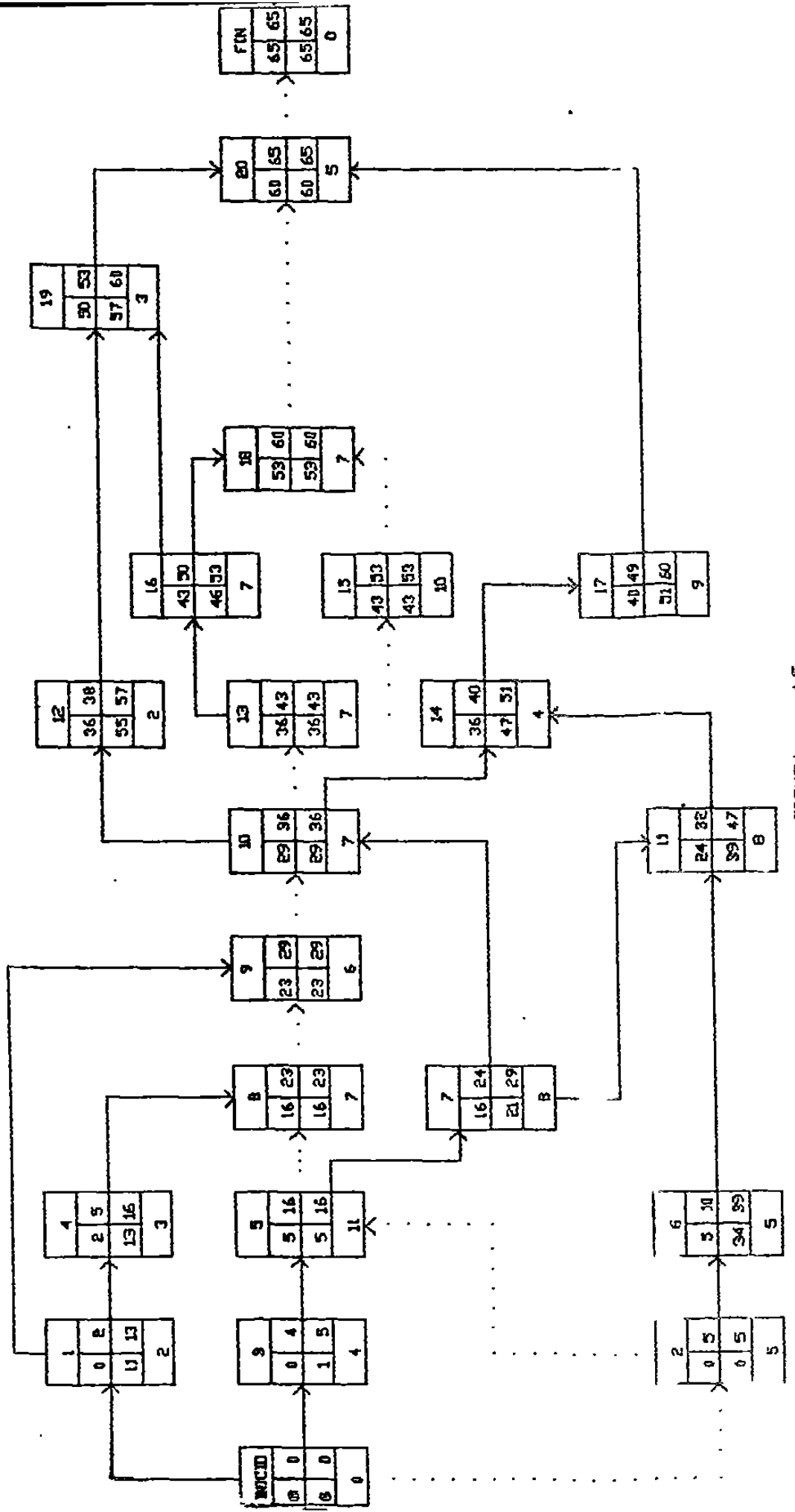


FIGURA NO. 4.5  
 RUTA CRITICA PROGRAMADA POR CPM

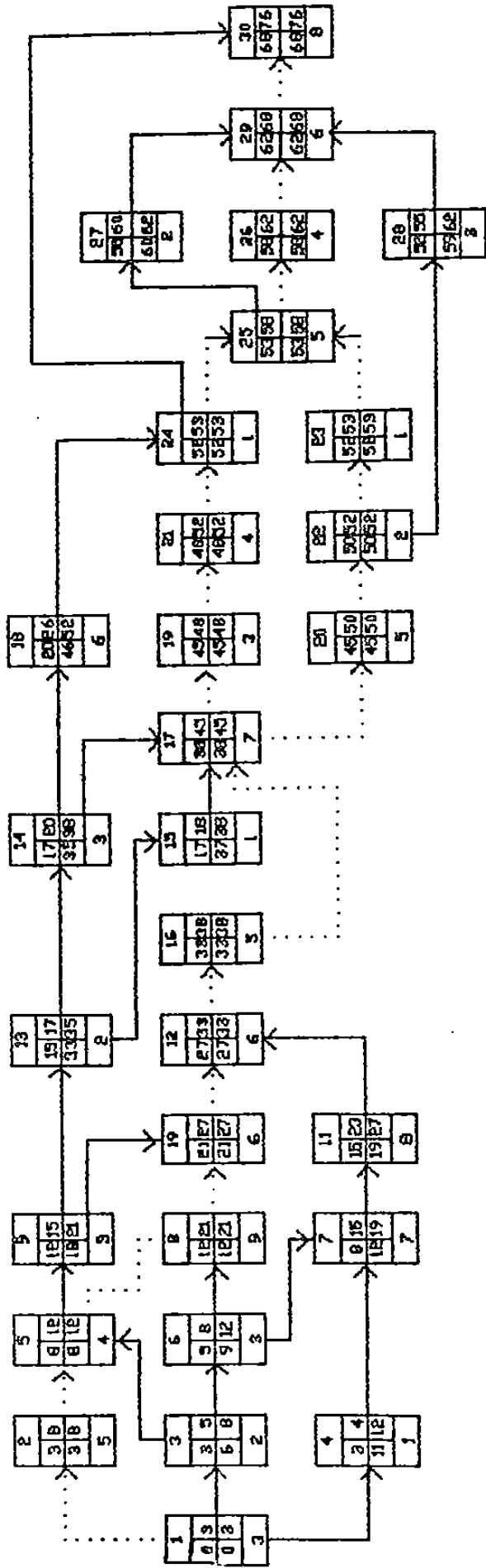


FIGURA No. 45  
 RUTA CRITICA PROGRAMADA POR CPM  
 PROYECTO NO 3



TABLA No. 4.4  
DATOS OBTENIDOS PARA EL DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO

PROYECTO No. 1						
No. DE ACTIVIDAD	DURACIONES			CANT. RECURSOS		
	T. MIN.	T. NOR.	T. MAX.	T. MIN.	T. NOR.	T. MAX.
1	1	2	2	4	2	2
2	3	6	6	10	5	5
3	2	4	6	8	4	3
4	5	9	9	7	4	4
5	2	3	9	8	5	2
6	3	5	8	5	3	2
7	2	3	3	2	1	1
8	3	6	9	2	1	1
9	2	4	9	6	3	1
10	1	2	2	=> 12	6	6

TABLA No. 4.5  
DATOS OBTENIDOS PARA EL DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO

PROYECTO No. 2						
No. DE ACTIVIDAD	DURACIONES			CANT. RECURSOS		
	T. MIN.	T. NOR.	T. MAX.	T. MIN.	T. NOR.	T. MAX.
1	1	2	13	12	4	1
2	2	4	4	16	8	8
3	3	5	6	12	7	6
4	2	3	9	5	3	1
5	6	11	11	9	5	5
6	3	5	10	3	2	1
7	4	8	8	2	1	1
8	4	7	7	5	3	3
9	3	6	6	16	8	8
10	4	7	7	7	4	4
11	4	8	19	14	7	5
12	1	2	18	=> 18	9	1
13	4	7	7	7	4	1
14	2	4	10	10	5	2
15	5	10	10	4	2	2
16	4	7	10	14	8	6
17	5	9	9	2	1	1
18	4	7	7	7	4	4
19	2	3	11	11	7	2
20	3	5	5	10	6	1

TABLA No. 4.6  
DATOS OBTENIDOS PARA EL DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO

PROYECTO No. 3						
No. DE ACTIVIDADES	DURACIONES			CANT. RECURSOS		
	T. MIN.	T. NOR.	T. MAX.	T. MIN.	T. NOR.	T. MAX.
1	2	3	3	8	5	5
2	3	5	5	5	3	3
3	2	2	5	4	4	2
4	1	1	2	2	2	1
5	2	4	4	10	5	5
6	2	3	7	11	7	3
7	4	7	11	11	6	4
8	5	9	9	5	3	3
9	2	3	9	8	5	2
10	3	6	6	4	2	2
11	4	8	12	8	4	3
12	3	6	6	2	1	1
13	1	2	12	12	6	1
14	2	3	12	12	8	2
15	1	1	10	10	10	1
16	3	5	5	15	9	9
17	4	7	7	5	3	3
18	3	6	30	10	5	1
19	2	3	3	9	6	6
20	3	5	5	5	3	3
21	2	4	4	8	4	4
22	1	2	2	4	2	2
23	1	1	1	8	8	8
24	1	1	1	7	7	7
25	3	5	5	8	5	5
26	2	4	4	12	6	6
27	1	2	2	=> 20	10	10
28	2	3	10	12	8	2
29	3	6	6	4	2	2
30	4	8	8	10	5	5

- b). Con restricción de recursos, (cuatro niveles de restricción). La primera cantidad utilizada como restricción será la cantidad mínima de recursos que se debe de tener disponible, (ver tablas No. 4.4, 4.5, 4.6), por ser la cantidad máxima de recursos que necesita el proyecto para llevarse a cabo satisfactoriamente.
- c). La restricción resultante en el inciso b). se analizará en todos los tiempos de duración del proyecto.
- d). Los 3 niveles de restricción restantes se darán arbitrariamente con la única condición de ser menores al valor resultante del inciso b).
- e). Todas las opciones se programarán con 2 nuevas alternativas: Tan pronto como sea posible (ASAP) y tan tarde como sea posible (ALAP).

#### 4.2. Resultados.

Una forma de medir los resultados obtenidos en los diferentes proyectos es mediante su costo total, (fórmula )  
Para esto fué necesario definir:

- a). Costo Directo.
- b). Costo Indirecto.
- c). Costo por Bonificación.
- d). Costo por Penalización.
- e). Costo Total

Ver tablas No. 4.7. a 4.7.5.

Teniendo desarrollada la tabla anterior, existe un total de 30 formas de tratar a un proyecto, en donde puede haber 10 s

TABLA No. 4.7  
 RESULTADOS FINALES DEL PROCEDIMIENTO  
 PROYECTO No. 1 (A S A P)

TIEMPO MINIMO.								
DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
12	25	194.4	148	300	43.2	50	0	293.2
19	12	30.2	44	228	68.4	15	0	281.4
23	9	17.3	45	207	82.8	0	10	299.8
28	6	3.1	13	168	100.8	0	60	328.8
53	3	0.7	7	159	190.8	0	310	659.8

TIEMPO NORMAL								
DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
22	15	177.3	181	330	79.2	0	0	409.2
22	12	76.7	115	264	79.2	0	0	343.2
32	7	25.3	75	224	115.2	0	100	439.2
38	5	8.4	38	190	136.8	0	160	486.8
54	3	1.7	11	162	194.4	0	320	676.4

TIEMPO MAXIMO.								
DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
28	15	271.3	265	420	100.8	0	60	580.8
28	12	137.5	181	336	100.8	0	60	496.8
36	6	18.3	61	216	129.6	0	140	485.6
46	4	4.5	27	184	165.6	0	240	589.7
74	2	0.3	3	148	266.4	0	520	934.7

NOTA:

DUR. = DURACION  
 REST. = DISPONIBILIDAD MAXIMA DE RECURSOS  
 VAR. = COSTO DE LA VARIACION  
 DIR. = COSTO DIRECTO  
 IND. = COSTO INDIRECTO  
 BONIF. = COSTO DE BONIFICACION  
 PEN. = COSTO DE PENALIZACION  
 TOTAL = COSTO TOTAL

TABLA No. 4.7.1  
 RESULTADOS FINALES DEL PROCEDIMIENTO  
 PROYECTO No. 1 (A L A P)

-----  
 TIEMPO MINIMO.

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
12	25	229.7	148	300	43.2	50	0	293.2
19	12	29.8	44	228	68.4	15	0	281.4
23	9	15.7	45	207	82.8	0	10	299.8
28	6	3.1	13	168	100.8	0	60	328.8
55	3	0.5	5	165	198.0	0	330	693.0

-----  
 TIEMPO NORMAL.

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
22	15	156.9	181	330	79.2	0	0	409.2
22	12	78.1	115	264	79.2	0	0	343.2
32	7	25.3	75	224	115.2	0	100	439.2
38	5	8.7	41	190	136.8	0	160	486.8
54	3	1.7	11	162	194.4	0	320	676.4

-----  
 TIEMPO MAXIMO.

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
12	25	229.7	265	300	43.2	50	0	293.2
19	12	29.8	181	228	68.4	15	0	281.4
23	9	15.7	61	207	82.8	0	10	299.8
28	6	3.1	27	168	100.8	0	60	328.8
55	3	0.5	3	165	198.0	0	330	693.0

TABLA No. 4.7.2  
 RESULTADOS FINALES DEL PROCEDIMIENTO  
 PROYECTO No. 2 (A S A P)

TIEMPO MINIMO.

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
36	42	3122.3	148	1512	194.4	140	0	1566.4
48	18	374.2	44	864	259.2	80	0	1043.2
59	13	118.4	45	767	318.6	25	0	1060.6
70	9	23.1	13	630	378.0	0	60	1068.0
115	5	5.6	7	575	621.0	0	510	1706.0

TIEMPO NORMAL.

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
65	20	908.6	181	1300	351.0	0	10	1661.0
64	18	708.0	115	1152	345.6	0	0	1497.6
69	11	118.9	75	759	372.6	0	50	1181.6
96	8	76.9	38	768	518.4	0	320	1606.4
124	5	21.1	11	620	669.6	0	600	1889.6

TIEMPO MAXIMO.

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
75	18	936.6	265	1350	405.0	0	110	1865.0
76	15	406.8	181	1140	410.4	0	120	1670.4
88	9	116.7	61	792	475.2	0	240	1507.2
126	6	54.2	27	756	680.4	0	620	2056.4
154	4	13.3	3	616	831.6	0	700	2347.6

TABLA No. 4.7.3  
 RESULTADOS FINALES DEL PROCEDIMIENTO  
 PROYECTO No. 2 (A L A P)

-----  
 TIEMPO MINIMO.  
 -----

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
37	42	1090.8	969	1554	199.8	135	0	1618.8
48	18	317.9	351	864	259.2	80	0	1043.2
57	13	113.1	202	741	307.8	35	0	1013.8
64	9	25.9	76	576	345.6	0	0	921.6
109	5	6.2	26	545	588.6	0	450	1583.6

-----  
 TIEMPO NORMAL.  
 -----

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
65	20	1112.1	747	1300	351.0	0	10	1661.0
65	18	677.0	630	1170	351.0	0	10	1531.0
69	11	127.9	219	759	372.6	0	50	1181.6
92	8	68.8	196	736	496.8	0	280	1512.8
134	5	17.0	76	670	723.6	0	700	2093.6

-----  
 TIEMPO MAXIMO.  
 -----

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
77	18	947.1	609	1386	415.8	0	130	1931.8
76	15	535.7	821	1140	410.4	0	120	1670.4
84	9	75.8	200	756	453.6	0	300	1409.6
128	6	69.7	211	768	691.2	0	640	2099.2
156	4	16.7	69	624	842.4	0	920	2386.4

TABLA No. 4.7.4  
 RESULTADOS FINALES DEL PROCEDIMIENTO  
 PROYECTO No. 3 (A S A P)

TIEMPO MÍNIMO.

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
42	35	2243.1	889	1470	252	170	0	1552
46	20	324.1	347	920	276	150	0	1046
73	10	61.9	159	730	438	15	0	1153
98	7	28.7	121	686	588	0	220	1494
117	5	10.4	54	585	702	0	410	1697

TIEMPO NORMAL.

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
76	25	2362.2	1318	1900	456	0	0	2356
76	20	1346.9	875	1520	456	0	0	1976
90	9	104.7	239	810	540	0	140	1490
112	7	73.2	206	784	672	0	360	1816
161	4	11.1	72	644	966	0	650	2460

TIEMPO MÁXIMO.

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
99	20	2065.5	1207	1980	594	0	140	2714
99	18	1249.9	1386	1782	574	0	140	2516
120	9	373.6	600	1080	720	0	440	2240
136	6	90.2	250	816	816	0	600	2232
188	4	40.6	187	1128	1128	0	1120	3000



TABLA No. 4.7.5  
 RESULTADOS FINALES DEL PROCEDIMIENTO  
 PROYECTO No. 3 (A L A P)

-----  
 TIEMPO MINIMO.  
 -----

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
42	35	2123.9	881	1470	252	170	0	1552
45	20	341.5	324	900	270	155	0	1015
73	10	62.7	159	730	438	15	0	1153
98	7	29.1	121	686	588	0	220	1494
117	5	10.4	54	585	702	0	410	1697

-----  
 TIEMPO NORMAL.  
 -----

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
76	25	2502.4	1296	1900	456	0	0	2356
76	20	1315.2	950	1520	456	0	0	1976
90	9	104.1	239	810	540	0	140	1490
121	7	87.6	270	847	726	0	450	2023
161	4	11.2	72	644	966	0	850	2460

-----  
 TIEMPO MAXIMO.  
 -----

DUR.	REST.	VARIANZA	VAR.	DIR.	IND.	BONIF.	PEN.	TOTAL
99	20	2089.5	1151	1980	594	0	230	2804
99	18	1548.3	1403	1782	594	0	230	606
126	9	315.3	561	1134	756	0	500	390
135	6	74.4	250	810	810	0	590	210
188	4	38.2	183	752	1128	0	1120	000

formas de observar y definir el mejor resultado o la mejor opción para desarrollar un proyecto. Esto es, manteniendo fija cualquiera de estas tres variables: duración, recursos o costo.

#### 4.3. Discusión de Resultados.

##### 4.3.1. Comportamiento Gráfico.

Entre mayor sea la cantidad de recursos destinados a un proyecto en particular, mayor será su fluctuación diaria de utilización, así como entre más se aleje de la cantidad conveniente para su máxima utilización, mayor será la fluctuación y subutilización de dichos recursos.

Con los datos obtenidos en la tabla No. 4.7, se pueden observar las cantidades de la varianza y el costo de la variación (C. Var.); en donde la varianza indica en datos numéricos las fluctuaciones de los recursos. Entre mayor es la cantidad de recursos, mayor es la fluctuación existente. El Costo de la Variación indica la cantidad que se paga por recursos y no se utiliza. Al igual que la varianza, éste disminuye conforme disminuye la cantidad de recursos utilizados.

En lo que a Costos se refiere, se observa que el costo total en tiempo mínimo es menor que el costo total en tiempo normal y también es menor que el costo total en tiempo máximo, (Figura 4.7 y 4.8).

$$C. Total \text{ mín.} < C. Total \text{ nor.} < C. Total \text{ Máx.}$$

FIGURA No. 4.7

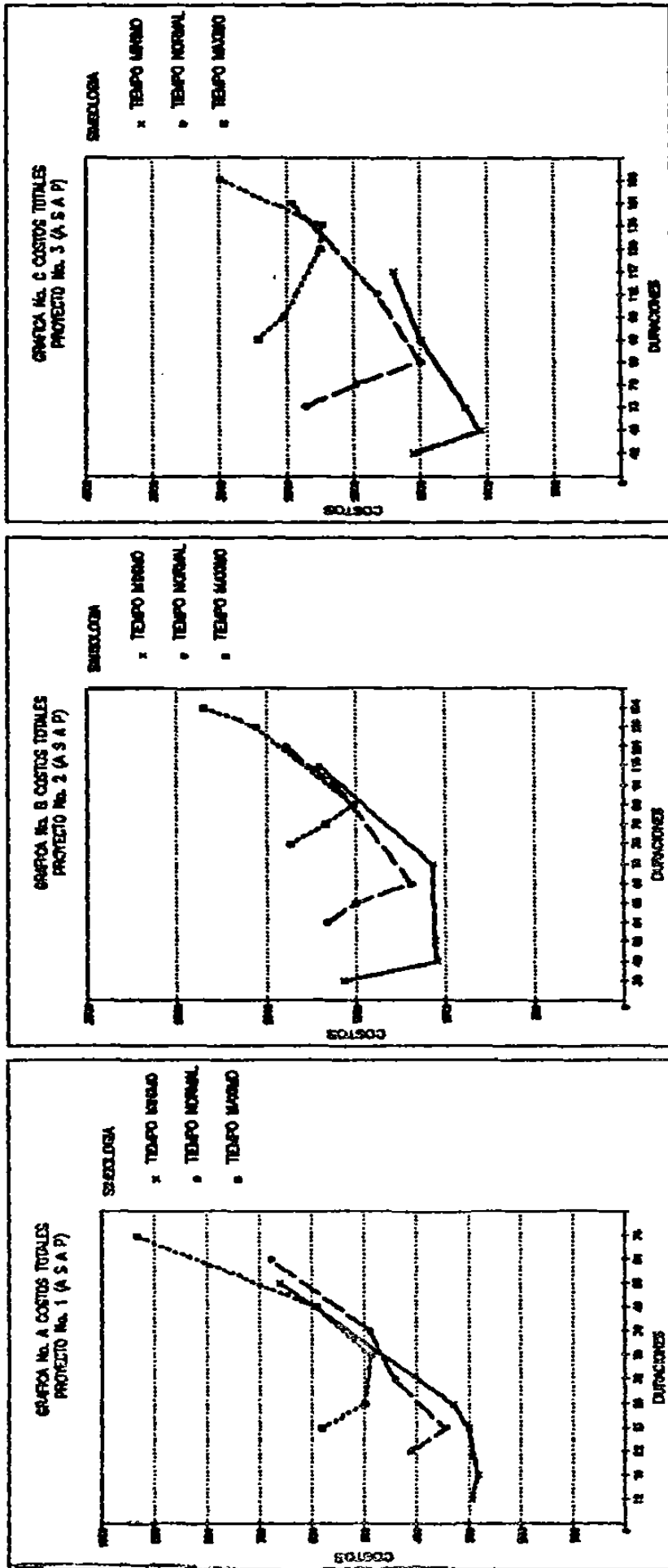
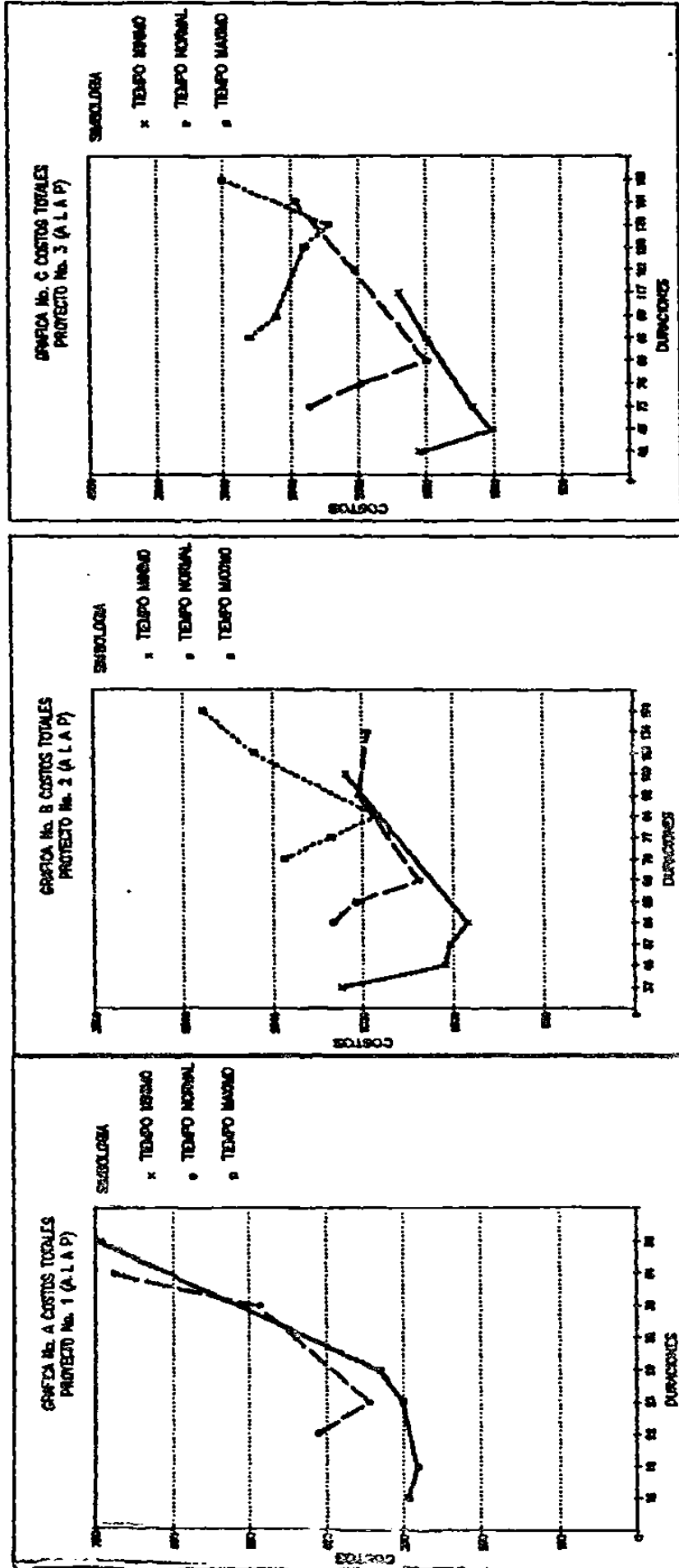


FIGURA NO. 4 - B



Los proyectos programados en Alap (tan tarde como sea posible), tienen regularmente un costo total menor o igual a los proyectos programados en Asap (tan pronto como sea posible), con la desventaja que programando en Alap todas las actividades se convierten en críticas, siendo este tipo de programación más factible de no poder cumplirse.

$$\text{Costo Total Alap} < = \text{Costo Total Asap}$$

#### 4.3.2. Mejor solución para el ejemplo fijando cada variable.

Para poder determinar qué solución es la mejor para el Proyecto No. 1 se fijó un rango de duración y costo en dicho proyecto. El rango de la duración fue entre 12 y 23 días y el del costo entre 200 y 400. Con este rango se tienen varias opciones, cada una de ellas con diferente costo y duración. Estos rangos son arbitrarios, se escogieron solamente para poder definir una forma de medición. En la programación Asap del proyecto, se tienen 3 opciones dentro del rango especificado en el tiempo mínimo. En el tiempo normal solo existe una opción mientras que en el tiempo máximo no existe ninguna opción que se encuentre dentro de ese rango.

Dentro de esas 4 opciones se pueden observar las ventajas y desventajas de cada una de ellas ya sea en cuanto a costo, a duración o si se tiene alguna restricción en la asignación de recursos.

Si la restricción es en cuanto a Duración, y se desea terminar en el menor tiempo posible se encuentra la opción de 12 días que es la menor duración, existiendo la desventaja de que tiene un costo mayor que otras opciones y tiene un alto grado de fluctuación de recursos, lo cual implica una subutilización de éstos.

Con los datos anteriores, el programador del proyecto puede tomar la determinación de escoger la siguiente opción en duración, que para este caso es de 19 días por tener un menor costo total, menor fluctuación y asignación de recursos y un aumento aceptable en la duración total. En el caso que exista Costo de Bonificación y Penalización por terminar antes o después de lo pactado, la mejor solución es el proyecto en 19 días por ser el de menor Costo Total.

Si se tiene un rango de Costo Total del proyecto, nuevamente la opción de 19 días es la mejor opción por ser la de menor Costo Total.

En la programación del proyecto No. 1 en Alap, para este ejemplo, los costos totales tienen los mismos valores que en la programación en Asap por lo que si se desea la mejor duración sin importar el costo total, la mejor opción es el proyecto en duración de 12 días. En cuanto al menor costo total, la mejor opción es la programación en 19 días. La única diferencia que existe en este proyecto en cuanto a programar en Asap y en

es que programando en Alap todas las actividades son críticas lo cual no es muy conveniente ya que si se atrasa una actividad se atrasa indiscutiblemente todo el proyecto, (Ver figuras 4.7.A y 4.8.A.).

Por lo tanto, una manera de escoger la mejor opción de programación es determinando las prioridades de cada proyecto y de esta forma escoger la que más se adecúe a dichas prioridades.

## V. CONCLUSIONES.

### 5.1. CONCLUSIONES.

Analizando los diferentes programas generados con el procedimiento, se llegó a las siguientes conclusiones:

A menor duración del proyecto, la fluctuación de recursos es mayor.

Con costos de variación de recursos, bonificaciones y penalizaciones altas, el costo menor del proyecto tiende a obtenerse con duraciones cortas del proyecto.

Con costos de variación de recursos y sin bonificaciones y penalizaciones, el costo menor del proyecto tiende a obtenerse en las duraciones medianas o largas del proyecto.

Teniendo un rango de duración y costo en la programación de un proyecto, se desarrollan una serie de opciones dentro del rango, con lo cual es más sencillo obtener y escoger una mejor solución, además de sensibilizarse en la interrelación de las variables.

Como se observa en las tablas No. 4.7. a 4.7.5. normalmente los costos totales desarrollados en los tiempos máximos son los de mayores duraciones y mayores costos, por lo que no es necesario desarrollarlos ya que se tienen mejores opciones de programación en los tiempos mínimos y normales.



## 5.2. RECOMENDACIONES.

Los proyectos son programados normalmente con varios recursos, por lo que es recomendable la utilización de 2 o más recursos a la vez.

Para el desarrollo del procedimiento la cantidad de recursos asignada para la programación, fué un límite fijo durante la duración total del proyecto, lo cual no es muy adecuado cuando se puede contratar personal conforme aumenta el tamaño del proyecto e ir disminuyéndolo conforme llegue a su fin, creando de esta forma un programa más acorde a la realidad. Por lo que es recomendable estudiar los costos en que se incurre por contrato y despido de personal para verificar de esta forma, qué opción es más conveniente en cuanto a costo total se refiere; es decir, establecer un límite fijo de recursos durante todo el proyecto o la contratación y despido de acuerdo a las necesidades.

Este procedimiento se puede utilizar en cualquier tipo de proyectos, pequeños o grandes en los que se desee minimizar cualquiera de las variables costo, duración y/o recursos humanos, en el cual por medio de la variable recursos (variando las cantidades de asignación), se determine la mejor solución para el proyecto.

Es recomendable el uso de cualquier paquete computacional de programación para el desarrollo del procedimiento, ya que ahorra

tiempo en su programación. Este tiempo que se invertía puede ser utilizado en desarrollar más opciones de programación para poder elegir la que más se adecúa a las necesidades del proyecto.

En el desarrollo de este procedimiento, el paquete de programación fué de gran utilidad ya que el tiempo invertido para la programación fué únicamente el utilizado en dar de alta las actividades, en la determinación de sus precedencias, duraciones, así como la cantidad máxima disponible de recursos del que se disponía y las restricciones del calendario de obra y programación; el cuál, comparándolo con una programación hecha manualmente, ésta tiene todas las desventajas así como la posibilidad de error.

APENDICES

A P E N D I C E I

EXPLICACION DEL PAQUETE UTILIZADO, "TIME LIFE".

## APENDICE I.

### EXPLICACION DEL PAQUETE UTILIZADO PARA LA GENERACION DE OPCIONES DE PROGRAMAS.

#### 1. INTRODUCCION.

En el pasado, los programadores de proyectos tenían que ejecutar ecuaciones matemáticas complicadas para resolver de una manera óptima los proyectos. Con TIME LINE (TL) nos podemos olvidar del tedioso trabajo matemático para concentrarnos en conocer mejor el proyecto.

Con cada nuevo dato, TL calcula la programación del proyecto, así como los cambios que vayamos considerando manual o automáticamente. En cada actividad TL revisa la estructura de sus dependencias, calcula sus tiempos de inicio y terminación, nivelación de recursos y disponibilidad.

En TL los proyectos son creados utilizando gráficas de Gantt y todas sus características pueden ser accedidas a través de menús. Algunos menús ordenan la ejecución de una función o el acceso a un submenú, otros permiten el acceso a las formas de TL. No existe una forma "correcta" para construir un proyecto en TL, aunque sí existe una forma natural de hacerlo. TL provee de los elementos necesarios para cubrir futuras eventualidades y analizarlos solo se requiere de un análisis concienzudo de los requerimientos.

Para la elaboración de un proyecto, es necesario definir los

condiciones de trabajo del mismo, establecer el calendario de trabajo y determinar los recursos a incluir, lo cual puede indicarnos posibles limitaciones que afectarían dramáticamente la duración del proyecto.

TIME LINE necesita una capacidad mínima de memoria de 256K y el TIME LINE GRAFIC de 384K.

## 2. ALIMENTACION DE DATOS DEL PROYECTO.

- \* Actividades
- \* Duración
- \* Calendario del Proyecto
- \* Recursos
- \* Dependencias
- \* Costos

### 2.1. ACTIVIDADES.

Cuando se dan de alta las actividades, se deben especificar los detalles de las mismas. El orden recomendado para hacerlo es el mismo que el de la secuencia en que habrán de realizarse aunque este puede cambiar en el momento que cambien las condiciones de trabajo, no teniendo lo anterior mucha importancia. Independientemente de cómo sean definidas las tareas, son los elementos básicos de un proyecto siendo la relación entre ellas la que lo conforma.

### 2.2. DURACION.

Es uno de los datos que deben de incluir las actividades al ser dadas de alta. Regularmente se desea que los proyectos terminen tan pronto como sea posible partiendo de una fecha de inicio conocida. TL permite hacer esto, así como fijar una fecha de terminación y programar las tareas tan tarde como sea posible, con lo cual podremos decir cuándo deberá empezar el proyecto para que termine en una fecha determinada.

Con TL podemos tener varias opciones de programación:

1. **FIXED.** La actividad ocurre en una fecha y tiempos predeterminados y aunque estas actividades no requieren ir ligadas con otras por representar eventos aislados, es conveniente unir las con otras actividades para que los conflictos generados por éstas se comuniquen a las demás.

2. **ASAP.** Son actividades programadas para empezar tan pronto como termine la actividad anterior. Antes de que se fije una dependencia, las actividades ASAP marcadas para el futuro serán programadas para las fecha y hora corrientes. Una vez establecida la dependencia la actividad ASAP empezará tan pronto se realice la actividad predecesora. Si la actividad depende de varias actividades anteriores, ésta empezará al finalizar la última de ellas.

3. **ALAP.** Las actividades ALAP son programadas para terminar tan tarde como sea posible antes de que otra tarea empiece. Estas actividades son aquellas que cuentan con tiempo de holgura, ya que de otra manera no hay beneficio alguno en 'eficiencia

actividad ALAP. Las actividades con tiempo de holgura que se declaren ALAP se convierten en tareas críticas. Cuando hay varios sucesores, la tarea ALAP terminará antes que la tarea que inicia primero.

4. SPAN. Las actividades SPAN se extienden en el tiempo entre dos o más tareas. Cuando se define una actividad SPAN no se requiere fijar la duración ya que esta se determina al establecer las dependencias de la actividad. TL medirá el tiempo disponible entre el sucesor y predecesor y automáticamente alimentará la duración.

### 2.3. CALENDARIO.

Permite establecer el marco adecuado de tiempo para la programación de las actividades de un proyecto y nos permite fijar los días laborables y no laborables para todo el proyecto (no se pueden elaborar calendarios para cada recurso), además nos permite fijar el horario regular de trabajo y la precisión con la que se desea contabilizar el tiempo (desde una hora hasta un minuto).

TL se ajusta a un calendario específico de trabajo. Dicho calendario se almacena con el proyecto y es creado por el administrador o responsable del mismo. Usando el calendario del proyecto, el responsable informa a TL de las horas y de los días disponibles de trabajo de modo que las tareas se programen adecuadamente. Este calendario puede ser modificado en cualquier momento.



momento.

#### 2.4. RECURSOS.

Los recursos considerados en TL pueden ser personas individuales o grupos de personas o herramientas, incluso que realicen una misma función. El equipo deberá ser definido como un recurso para que sea incluido en el proyecto.

TL siempre monitorea la asignación de recursos y alerta cuando estos han sido programados con una carga mayor de la que se le asignó anteriormente. Si el recurso es una persona, TL requerirá saber el porcentaje del tiempo de la persona que se asignará al proyecto. Para un grupo será necesario determinar cuántas personas trabajarán en el proyecto.

#### 2.5. DEPENDENCIAS.

Toda secuencia de actividades tiene un orden lógico de ejecución. Hay actividades que no pueden empezar hasta que termine la anterior. A este tipo de relaciones se les llama dependencias. TL basa sus cálculos en la combinación de las actividades y sus dependencias, de modo que es recomendable establecer las dependencias a medida que se van incluyendo las tareas en el proyecto.

#### 2.6. COSTOS.

Si se incluye una razón de pago para cada recurso, TL calculará el costo asociado con cada una de estas asignaciones de los recursos. TL maneja costos fijos, unitarios y variables.

### 3. DETERMINACION DE LA RUTA CRITICA.

TL determina automáticamente la ruta crítica (son las actividades que deben ser realizadas tal como se planearon para cumplir la fecha terminal de un proyecto).

### 4. NIVELACION DE RECURSOS.

Uno de los principales retos del administrador de proyectos es la coordinación de recursos, equipo y otros elementos necesarios para la terminación de un trabajo, a la vez que se lucha por permanecer dentro del presupuesto. Cuando ocurren conflictos en la asignación de recursos puede resultar muy difícil redistribuirlos y seguir satisfaciendo los requerimientos de tiempo.

Como TL monitorea constantemente la asignación de recursos, indicará a través de una "R" las tareas afectadas por un conflicto de recursos. En ocasiones será factible corregir manualmente el problema reasignando los recursos y/o reprogramando las actividades.

Con la opción de Nivelación de Recursos, TL recalcula manual o automáticamente estos conflictos, de tal forma que cada vez que haya un conflicto de recursos, TL reprogramará las tareas, retrasándolas hasta que el recurso quede disponible.

### 5. REPORTES.

Una vez que está completo el proyecto es posible crear los siguientes reportes:

#### 5.1. DE GANTT.

Este es un reporte gráfico el cual despliega los nombres de las actividades en el margen izquierdo del reporte, quién va a realizar esa actividad. En la columna de status se muestra su situación, si es crítica, no crítica, tipos de dependencias, si existen conflictos y si ya está realizada. Las actividades aparecen de acuerdo a las duraciones establecidas previamente en una escala de tiempo.

#### 5.2. DE PERT.

Esta gráfica muestra los nombres de las actividades en cuadrados interconectados con líneas que representan las dependencias entre las actividades. La gráfica de PERT es útil para analizar las interrelaciones entre las actividades mostrando las predecesoras a la izquierda de la actividad y las sucesoras a la derecha.

#### 5.3. DE HISTOGRAMAS.

El histograma de recursos es una gráfica de barras que despliega la carga de trabajo de hasta dos recursos en forma simultánea. La escala horizontal del histograma es la misma que la gráfica de Gantt y la línea horizontal que aquí parece representa la cantidad máxima de recursos disponibles.

#### 5.4. DE STATUS.

Este reporte imprime un listado de las actividades programadas para hoy y para la semana en curso, además de un listado de las actividades retrasadas. Adicionalmente, TL señala las actividades críticas (con holguras dentro del 20% de la duración de las tareas). Las tareas retrasadas son tareas fijas cuyas fechas de inicio han sido reprogramadas debido a problemas de dependencias o de recursos.

#### 5.5. ACTIVIDADES.

Imprime la lista de actividades que conforman el proyecto. TL permite añadir información selectivamente, columna tras columna, de acuerdo a una lista que aparece como opción.

#### 5.6. DE ACTIVIDADES DETALLADAS.

Este reporte imprime toda la información detallada de cada actividad por actividad de todo el proyecto.

#### 5.7. DE RECURSOS.

El reporte tabular de recursos lista la información alimentada para cada recurso previamente.

#### 5.8. DEL ANALISIS DEL VALOR AGREGADO.

Este reporte analiza el grado de avance de las actividades y la aplicación de los costos. Está específicamente diseñado para mostrar el impacto de las actividades en progreso.

#### 5.9. DE COSTOS.

Están organizados en 3 grupos: de recursos, de actividades y periódicos, pudiendo especificar el tipo de unidades en que se quiere presentar, el horas-hombre y dólares.

#### 5.10. DE REAL VS PLANEADO.

Muestra las actividades que han sido cambiadas entre la etapa de planeación y la de seguimiento de un proyecto. Al seleccionar este reporte y mandarlo a impresión, TL mostrará en la pantalla la listas de proyectos disponibles en su directorio, para que escoja el que represente el plan.

#### 5.11. SELECTIVOS.

Cualquier reporte de TL puede ser preparado para reflejar el efecto de una selección de tareas. Esta selección se basa en la información especificada.

APENDICE II.

Schedule Name: PED CON UN MAXIMO DE 10 ACTIVIDADES, REC. FIJOS esis.  
 Project Manager: GLORIA CARDONA BENAVIDES  
 As of date: 26-May-89 12:20pm Schedule File: B:\M1-RFL4

PROGRAMA CON DIEZ ACTIVIDADES Y CON UNA DURACION MINIMA, UTILIZANDO UNA CANTIDAD FIJA DE RECURSOS Y TAN TARDE COMO SEA POSIBLE, (ALAP).

Job	Who	Status	89		Jun				Jul				Aug				
			May 22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28
1	REC.1	D															
2	REC.1	RC	1														
3	REC.1	RC	3	1													
4	REC.1	RC		4	1												
5	REC.1	RC			5	1											
6	REC.1	RC				6	1										
7	REC.1	RC					8	1									
8	REC.1	RC						9	1								
9	REC.1	RC							10	1							

-----  
 \* Data: \*\*\* Task - Start time: \*\*  
 \* Conflicts: \*\* Start/End - Resource: \*\*  
 \* Resource conflict: \* Milestone \* Conflicts  
 \* Activity dependent  
 \* Order: Each character equals 1 d  
 -----





Schedule Name: RED COM 30 ACT, COM BUR, MINIMA, REC, FICCS, VERDE.  
 Project Manager: GLORIA CARDONA BENAVIDES  
 As of date: 22-May-89 9:42a Schedule File: BARRERA-89

PROGRAMA CON TREINTA ACTIVIDADES CON UNA DURACION MINIMA INICIANDOLA LO MAS TARDE COMO SEA POSIBLE, (CALAP).

		89													
		May		Jun		Jul		Ago		Sep		Oct			
Nº	Status	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21
1	REC.1	0	1												
3	REC.1	0	1												
2	REC.1	0	1												
4	REC.1	0	1												
5	REC.1	0	1												
6	REC.1	0	1												
7	REC.1	0	1												
8	REC.1	0	1												
9	REC.1	0	1												
10	REC.1	0	1												
11	REC.1	0	1												
12	REC.1	0	1												
13	REC.1	0	1												
14	REC.1	0	1												
15	REC.1	0	1												
16	REC.1	0	1												
17	REC.1	0	1												
18	REC.1	0	1												
19	REC.1	0	1												
20	REC.1	0	1												
21	REC.1	0	1												
22	REC.1	0	1												
23	REC.1	0	1												
24	REC.1	0	1												
25	REC.1	0	1												
26	REC.1	0	1												
27	REC.1	0	1												
28	REC.1	0	1												
29	REC.1	0	1												
30	REC.1	0	1												
31	REC.1	0	1												

-----  
 C. Cardona            878            - Card            BARRERA  
 D. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 E. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 F. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 G. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 H. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 I. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 J. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 K. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 L. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 M. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 N. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 O. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 P. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 Q. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 R. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 S. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 T. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 U. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 V. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 W. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 X. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 Y. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 Z. Cardona            878            - Cardona            BARRERA  
 -----

Schedule Name: RED CON 30 ACT. CON DUR. MINIMA, RED. FLUGS vertice.  
 Project Manager: GLORIA CARDONA BENAVIDES  
 As of date: 22-May-89 9:51:ae Schedule File: B:\RSMI-PP

PROGRAMA CON TREINTA ACTIVIDADES CON UNA DURACION MINIMA INICIANDOLA TAM  
 TARDE COMO SEA POSIBLE, (CALAP).

	89		May		Jun			Jul				Aug			Sep			Oct		
Activity	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	4	11	18	25	2
40.00																				
39.00																				
38.00																				
37.00																				
36.00																				
35.00																				
34.00																				
33.00																				
32.00																				
31.00																				
30.00																				
29.00																				
28.00																				
27.00																				
26.00																				
25.00																				
24.00																				
23.00																				
22.00																				
21.00																				
20.00																				
19.00																				
18.00																				
17.00																				
16.00																				
15.00																				
14.00																				
13.00																				
12.00																				
11.00																				
10.00																				
9.00																				
8.00																				
7.00																				
6.00																				
5.00																				
4.00																				
3.00																				
2.00																				
1.00																				
0.00																				

Schedule Name: RED CON 70 ACTIVIDADES CON DUR. MINIMA. REC. FINES  
 Project Manager: EUGENIA CARDONA BENAVIDES  
 As of date: 22-May-25 9:07am Schedule File: @AREDDING

PROGRAMA CON TREINTA ACTIVIDADES CON UNA DURACION MINIMA INICIANDOLA YA.  
 PRONTO COMO SEA POSIBLE. (ASAP).

		89														
		May														
		22	29	5	12	19	26	1	8	15	22	29	5	12	19	26
Act	Status															
1	REC.1	C	..													
4	REC.1															
7	REC.1															
10	REC.1	C	..													
13	REC.1															
16	REC.1	C	..													
19	REC.1															
22	REC.1															
25	REC.1															
28	REC.1															
31	REC.1															
34	REC.1															
37	REC.1															
40	REC.1															
43	REC.1															
46	REC.1															
49	REC.1															
52	REC.1															
55	REC.1															
58	REC.1															
61	REC.1															
64	REC.1															
67	REC.1															
70	REC.1															
73	REC.1															
76	REC.1															
79	REC.1															
82	REC.1															
85	REC.1															
88	REC.1															
91	REC.1															
94	REC.1															
97	REC.1															
100	REC.1															

-----  
 ACTIVITY NAME: REC.1  
 START DATE: 22-May-25  
 END DATE: 22-May-25  
 DURATION: 1  
 STATUS: C  
 PRIORITY: ..  
 -----

Schedule Name: RESUMEN DE ACTIVIDADES DE UN PROGRAMA DE MINIMA, ETC., ETC.  
 Project Manager: ELODIA CAROLINA BARRALES  
 As of date: 22-May-99 09:05a- Schedule File: 21AREDOYO.

PROGRAMA CON TREINTA ACTIVIDADES CON UNA DURACION MINIMA INICIAL DEL 7% PRONTO COMO SEA POSIBLE. (6840).

95	Ma		Ju		Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic	
Activ	22	29	5	12	19	26	2	9	16	23	30	6	13	20	27	3
70.00																
69.00																
68.00																
67.00																
66.00																
65.00																
64.00																
63.00																
62.00																
61.00																
60.00																
59.00																
58.00																
57.00																
56.00																
55.00																
54.00																
53.00																
52.00																
51.00																
50.00																
49.00																
48.00																
47.00																
46.00																
45.00																
44.00																
43.00																
42.00																
41.00																
40.00																
39.00																
38.00																
37.00																
36.00																
35.00																
34.00																
33.00																
32.00																
31.00																
30.00																
29.00																
28.00																
27.00																
26.00																
25.00																
24.00																
23.00																
22.00																
21.00																
20.00																
19.00																
18.00																
17.00																
16.00																
15.00																
14.00																
13.00																
12.00																
11.00																
10.00																
9.00																
8.00																
7.00																
6.00																
5.00																
4.00																
3.00																
2.00																
1.00																

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

BIBLIOGRAFIA.

- (1) ACKOFF, Russel L.; SASIENI, Maurice W.  
Fundamentos de Investigación de Operaciones  
LIMUSA
  
- (2) Administración Efectiva de Proyectos  
INFOTEC
  
- (3) AHUJA, H. N.  
Construction performance control by networks  
Wiley-Interscience publication  
John Wiley and Sons Inc. 1976 USA
  
- (4) BAKER, Kenneth R.; DARTMOUTH, College  
Introduction to sequencing and scheduling  
John Wiley and Sons, 1974 USA
  
- (5) BARRON, Duncan Robert  
Application of heuristic based leveling techniques to plant  
layout design  
Thesis master of science in Engineering, Dic. 1987
  
- (6) BURGESS, A.R.; KILLEBREW, J.B.  
Variation in Activity level on cyclic arrow diagram  
Journal of Industrial Engineering, XIII (march-april, 1960)
  
- (7) DAVIS, Edward W.; PATTERSON, James H.  
A comparison of Heuristic and Optimum solutions in

constrained project scheduling  
Management science, 21,8 (April, 1975)

(8) FRIAS, Garza Javier

La Estadística para la toma de decisiones  
Fac. de Arquitectura, UANL. Marzo, 1984.

(9) FRIAS, Garza Javier

An Equipment Replacement procedure that includes service  
Thesis master of science in Industrial Engineering

(10) GESSNER, Robert A.

Master production planning  
Wiley-Interscience publication  
John Wiley and Sons, 1986 USA

(11) HARRIS, Robert B.

Técnicas de redes de flechas y precedencias para construcción  
LIMUSA

(12) KARAA, Fadi A.; NASR, Anas Y.

Resource management in construction  
Journal of construction Engineering  
Sept 10, 1985, vol 112, No. 3.

(13) LAMBOURN, S.

Resource Allocation and Multiproject Scheduling (RAMPS)

A new tool in planning and control.

The computer journal, vol. 5, No. 4 January, 1963

(14) MARTINO, R.L.

Planeación de Operaciones aplicada (applied operational  
planning)

Editora técnica, s.a.

(15) MARTINO, R.L.

Asignación y programación de recursos (Allocating and  
Scheduling resource)

Editora técnica, s.a.

(16) MODER, Joseph J.; PHILLIPS, Cecil R.

Project Management with CPM and PERT

2da. edición, Van Nostrand Reinhold Company

(17) O'BRIEN, James J.

CPM in Construction Management

third edition, McGraw-Hill book company, 1984

(18) PARKER, Henry W.; CLARKSON, Oglesby H.

Methods, Improvement for Construction Managers

McGraw-Hill book company, New York, 1972.

(19) RIZO-PATRON, Gustavo, C.E.

Analysis of resource leveling and allocation using critical path



Thesis of the University of Texas at Austin, may. 1985

(20) RODRIGUEZ, Caballero Melchor

Aplicaciones de Ingeniería de Métodos modernos de  
Planeación, Programación y Control de procesos productivos  
LIMUSA

(21) WIEST, Jerome D., LEVY Ferdinand K.

A management guide to PERT/CPM  
second edition, USA Ed. Prentice-Hall, Inc.

(22) YAU, Chuk; RITCHIE, Eric

A linear model for estimating project resource levels and  
target completion times  
J. Opt Res. Soc. Vol. 39, No. 9, 1988

