

878517

3

2ej

**UNIVERSIDAD NUEVO MUNDO**

**ESCUELA DE INGENIERIA**

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**PLANEACION, PROGRAMACION Y  
CONTROL DE UN PROYECTO DE  
INGENIERIA**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICO**

**P R E S E N T A**

**MARIA DEL PILAR BARRIGA PEREGRINA**

DIRECTOR DE TESIS  
ING. ARTURO VARGAS WASHINGTON

**MEXICO, D. F.**

**1991**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

	Pag
Introducción	1
CAPITULO I	
PROBLEMAS Y CONCEPTOS GENERALES	
CAPITULO II	
CONTENIDO DE UN PROYECTO	
a) Análisis del mercado	4
b) Ingeniería del proyecto	7
c) Determinación del tamaño y localización	9
d) Análisis de las inversiones	10
e) Presupuesto de gastos e ingresos	11
f) Financiamiento y Organización	13
g) Evaluación del proyecto	14

### CAPITULO III

#### METODO DE PLANEACION, PROGRAMACION Y CONTROL DE PROYECTOS

a) Generalidades	15
b) Método tradicional del diagrama de barras	17
c) Generalidades sobre PERT y CPM	19
d) Diagrama de redes y su construcción	23
e) Relación costo-tiempo de las actividades	28

### CAPITULO IV

#### APLICACION DE LA PROGRAMACION LINEAL

a) Generalidades	43
b) Problemas típicos de la programación lineal	44

## CAPITULO V

### METODO SIMPLEX

a) Generalidades	48
b) Análisis del método	48
c) Aplicaciones prácticas	53

### CONCLUSIONES

57

## INTRODUCCION

Este trabajo se basa en la consideración del ingeniero industrial como analista y proyectista en general de toda una serie de actividades que enlacen las diferentes etapas para la planeación, programación y control de un proyecto en ingeniería.

Viviendo en un país en vías de desarrollo, y dándonos cuenta de que aumenta cada vez más la dependencia con el exterior, no tanto política, sino económica, y por consecuencia tecnológica y científica, es necesario afrontar la ingeniería con una vinculación cada vez más importante a la economía.

El propósito de esta tesis, es establecer un método para la planeación, programación y control de un proyecto de ingeniería, que pudiera ser de aplicación general en cualquier tipo de industria o empresa.

## CAPITULO I

### PROBLEMAS Y CONCEPTOS GENERALES

En esta tesis, entenderemos por proyecto, al conjunto de antecedentes racionales, que permitan analizar y decidir, las ventajas o desventajas que se deriven de la asignación de recursos económicos a una unidad productora, donde serán transformados con ciertos bienes o servicios.

A estos recursos económicos, los llamaremos insumos. En general la aplicación de estos insumos para instalar u operar nuevas unidades de producción o servicios, trae consigo enfrentarse a cierto riesgo de que resulte negativo, lo cual nos llevaria a la necesidad de efectuar un análisis racional y objetivo basado en antecedentes que se tengan disponibles.

Aquí solo pretende analizar alguno de los elementos principales de un proyecto, el cual representa la base racional de la decisión de montar una empresa, y esto explica la necesidad, para que dentro de lo posible, el proyecto este lo mejor estudiado.

Para analizar y estudiar un proyecto, se necesitará el trabajo en conjunto de ingenieros y economistas. Desde luego, no siempre es posible obtener toda la información y antecedentes necesarios, lo cual implica que el tratamiento de los problemas no siempre cumpla con todas las recomendaciones que se deseen.

CAPITULO II  
CONTENIDO DE UN PROYECTO

Las etapas que trata un proyecto se pueden agrupar en:

- a).- Análisis del mercado
- b).- Ingeniería del proyecto
- c).- Determinación del tamaño y localización de la planta
- d).- Análisis de las inversiones
- e).- Presupuesto de gastos e ingresos
- f).- Financiamiento y Organización
- g).- Evaluación del proyecto

a).- ANALISIS DEL MERCADO:

El análisis del mercado en un proyecto consiste en estimar la cuantía de los bienes o servicios provenientes de una nueva unidad de producción, que la comunidad estaría dispuesta a adquirir a determinado precio.

El análisis de mercado comprende dos etapas:

- 1.- La recopilación de los antecedentes el establecimiento de bases empíricas para el análisis.

2.- La elaboración y el análisis de esos antecedentes. Los antecedentes que son necesarios para recopilar, se refieren, tanto a la información estadística pertinente, como a las características del mercado en cuanto a comercialización, normas legales, racionamiento, controles de precio u otros elementos de incidencia insignificativa de la cuantía demanda y los precios del bien o servicio en estudio.

Los antecedentes principales que todo estudio del mercado tiene que recopilar son los siguientes:

a).- Series estadísticas de producción, comercio exterior y consumo del bien o servicio.

Para obtener los antecedentes anteriores se podrán utilizar como fuentes de información las estadísticas oficiales, los censos, los estudios especiales de institutos de investigación económica, las informaciones de empresas particulares, las cifras de tránsito y otras.

b).- Usos y especificaciones del bien o servicio que se quiere producir.

c).- Precios y costos actuales.

d).- Tipo de los consumidores o usuarios.

e).- Fuentes actuales de abastecimiento.

f).- Mecanismo de distribución.

g).- Bienes o servicios competitivos, que pueden sustituirse por efecto de los cambios en los precios relativos, cambios en la calidad, variación en los gastos de los consumidores, facilidades de obtención y otras causas.

h).- La política económica insitu, es decir, el control de precios, subsidios, exención de impuesto, etc.

Podemos resumir la técnica de compilación de informaciones en cuatro puntos principales que son:

- 1.- La investigación preliminar
- 2.- Planeamiento de la investigación final
- 3.- Recolección de datos
- 4.- Muestreo estadístico

La recopilación de antecedentes sentará las bases empíricas del estudio, pues permitirá reconocer en cada caso, las variables que afectan la cuantía de la demanda y los precios mas trascendentales.

Con los antecedentes obtenidos se podrá establecer " la función demanda " con objeto de cuantificar la demanda actual y futura para el proyecto en estudio.

#### b).- INGENIERIA DEL PROYECTO

La ingeniería del proyecto, se refiere a aquella parte del estudio que se relaciona con su fase técnica, es decir, con la instalación puesta en marcha y funcionamiento del proyecto.

Los aspectos básicos que hay que considerar en cuanto a ingeniería del proyecto son los siguientes:

a) Rendimientos.- Será la estimación de los recursos económicos que demandará el proyecto, tanto en el montaje como en el funcionamiento.

b) Flexibilidad de la capacidad de producción.- Es necesario debido a que a veces a la naturaleza de la demanda, y en otras ocasiones surge de la previsión de limitaciones temporales en la disponibilidad de materias primas o de una situación de estrechez financiera, que obliga a variar la escala de producción, y plantea la necesidad de una flexibilidad para lograr producir con eficacia a los distintos ritmos de producción, dada una cierta capacidad.

c) Programas de trabajo.- El programa de trabajo establece la ordenación con que se procederá a la instalación y puesta en marcha de la empresa. Su objetivo puede resumirse esencialmente en los siguientes puntos:

1. Prever una serie de problemas que se presentarán en la etapa de montaje y anticipar posibles soluciones.

2. Establecer una secuencia de inversiones sobre cuya base se estudiará el funcionamiento del proyecto.

3. Establecer el plan preliminar del funcionamiento hasta llegar a la capacidad normal.

El programa de trabajo en un proyecto manufacturero debe de prestar atención al problema de la puesta en marcha y de la sincronización con la llegada o con la disponibilidad oportuna de las materias primas.

c).- DETERMINACION DEL TAMAÑO Y LOCALIZACION

Por tamaño de un proyecto se entiende su capacidad de producción durante un periodo de tiempo de funcionamiento que se considera normal para las circunstancias y tipo de proyecto de que se trate. Como para cualquier otro aspecto del proyecto, la solución óptima en cuanto a tamaño y ubicación será aquella que conduzca al resultado económico más favorable para el proyecto en conjunto.

Este resultado se puede medir por uno o más de los siguientes coeficientes que sirven para escoger entre alternativas en el supuesto de que se asignaran recursos a un determinado fin: Utilidades por unidad de capital ( Rentabilidad ), costo unitario mínimo,

cociente de ventas a costo, cuantía total de las utilidades. La medición de cualquiera de ellos exige una estimación sobre todos los aspectos del proyecto, lo que conduce a un proceso de aproximación sucesiva. Entre las relaciones recíprocas existentes en los diferentes aspectos de un proyecto, con respecto al tamaño hay algunas de interés especial. Así se tiene la relación tamaño-mercado, cuyo elemento de juicio más importante es generalmente la cuantía de la demanda que ha de atenderse.

#### d).- ANALISIS DE LAS INVERSIONES

Al aceptar un proyecto, y llevarlo a cabo implica el asignar para su realización variados recursos, los cuales pueden agruparse en dos tipos:

a) Los que requieren la instalación del proyecto.

b) Los requeridos para la etapa del funcionamiento.

Los recursos necesarios para la instalación constituyen el capital fijo del proyecto, y los que se requieren para el funcionamiento constituyen el capital del trabajo o del circulante.

En términos generales los conceptos que integran la inversión fija son los siguientes:

- A) Costo de las investigaciones y estudios previos.
- B) Costo de los terrenos para la instalación.
- C) Costo de los equipos.
- D) Costo de la instalación de los equipos.
- E) Costo de los edificios industriales.
- F) Costo de la instalación complementaria.
- G) Costo de estudio del proyecto final.
- H) Costo de organización de la empresa.
- I) Costo de patentes y similares.
- J) Imprevistos.

e).- PRESUPUESTO DE GASTOS E INGRESOS

Es necesario hacer un cálculo estimativo de los costos e ingresos que resultarían del funcionamiento de la empresa e incluir en forma ordenada aquellos antecedentes que puedan ser necesarios para evaluar el proyecto.

El cálculo de los gastos o costos de producción se realiza asignando precios a los distintos recursos requeridos, físicamente cuantificados de acuerdo con los estudios de ingeniería.

Los incisos que integran los costos o egresos pueden agruparse de la siguiente manera:

- a) Materias primas
- b) Materiales
- c) Energía eléctrica
- d) Mano de obra (empleados y obreros)
- e) Seguros, impuestos y arriendos
- f) Gastos de venta
- g) Depreciación
- h) Intereses
- i) Imprevistos y varios

Los ingresos correspondientes al proyecto quedarán definidos por el volumen de producción y por los precios de ventas de los bienes o servicios que se produzcan.

Es conveniente separar los costos en dos grupos:

1.- Los que son proporcionales a la cantidad producida (Cv)

2.- Los que son independientes del nivel de producción (F)

La función costos totales quedaría dada por la expresión:

$$Ct = CvX + F \dots\dots\dots(1)$$

siendo: Ct Costo total anual

Cv Costo variable anual

F Costo fijo anual

X Nivel de producción

#### f).- FINANCIAMIENTO Y ORGANIZACION

En esencia se tratarán de especificar las fuentes monetarias a las que se recurrirán y las formas en que se proyecta canalizar los recursos financieros para traducir a la realidad la iniciativa.

g).- EVALUACION DEL PROYECTO

El objeto básico de todo el estudio económico de un proyecto es evaluarlo y compararlo con otros proyectos de acuerdo con una determinada escala de prioridades.

Los distintos criterios de evaluación se derivan de la forma de definir los beneficios y de la selección que se haga entre las distintas normas y tipos de cálculo. Estos criterios se suelen expresar en forma de un coeficiente numérico, por ejemplo, la tasa interna de retorno, tiempo de recuperación de la inversión, y otros.

CAPITULO III  
METODO DE PLANEACION, PROGRAMACION Y CONTROL  
DE PROYECTOS

a).- GENERALIDADES

En este capitulo se hará notar la necesidad de planear todo proyecto; y las diferencias existentes entre los métodos tradicionales de planeación de proyectos, así como sus principios y técnicas en que se basan y la forma de utilizarlos.

La planeación trae consigo tres aspectos diferentes, aunque estrechamente ligados entre sí

a) La concepción de un plan, el cual debe elaborarse a través de todos los niveles responsables de la administración.

b) La traducción de este plan en una serie de medidas completas.

c) La organización de las dos tareas anteriores y la ejecución, supervisión y constante adaptación del plan a los cambios de la realidad.

Un proyecto queda dividido en tres fases:

a) La planeación, o en otras palabras, la determinación de las necesidades de recurso del proyecto, y su orden necesario de aplicación en las diversas operaciones que deben realizarse para lograr objetivos.

b) La programación, es decir, la determinación de tiempos de calendario en que deben empezarse a realizar las actividades y en que deben emplearse los recursos asignados.

c) El control de todo el proceso desde que se decide hasta su terminación.

Antes de empezar un proyecto, es necesario considerar ciertos puntos como por ejemplo: cuáles son las alternativas que pueden existir, cuál es el costo de cada alternativa, cuales son los riesgos, cómo debe hacerse tal decisión, cuales serán las consecuencias si se retrasa cierta actividad, etc.

Es entonces necesario encontrar medios para desarrollar mejores planes para los proyectos, con objeto de asignar desde un punto de vista económico los

recursos a las actividades que lo forman, y controlar todos sus aspectos.

Con el fin de planear, programar y controlar eficientemente los proyectos, se han creado técnicas desde hace varias décadas que responden a las necesidades de la administración tales como: "The Program Evaluation and Review Technique" (PERT)¿ Programa de evaluación y Revisión Técnica y "Critical Path Method"(CPM)¿ Método de la Ruta Crítica.

Estos programas nos ayudan a controlar y coordinar los procedimientos de la maquinaria empleada y del personal que trabaja, logrando un costo mínimo.

#### b).- METODO TRADICIONAL DEL DIAGRAMA DE BARRAS

Este método gráfico se basa en dos principios que son:

a) El tiempo de las actividades puede ser medido por el tiempo que se requiere para su realización.

b) El espacio que representa la unidad de tiempo puede servir para representar la actividad que debió haberse realizado en ese tiempo.

Los principios que se siguen para la formación de un diagrama de barras son los siguientes:

1) Dividir el proceso en sus actividades principales determinando la cantidad de trabajo y rendimiento para cada una.

2) Se estima la duración de cada actividad.

3) Se toma una escala de tiempo de acuerdo a la duración del proceso.

El diagrama de barras se puede emplear para la planeación de un proceso y para la indicación del avance de trabajos, estos a su vez sirven de guía para un programa de gastos e ingresos.

Para un programa de recursos, se anotan en los renglones el equipo (o material humano) que se va a requerir; y en las columnas que representan el tiempo en que se realiza el proyecto, se van anotando en el renglón correspondiente, la cantidad de recursos que se utilizarán en la fecha correspondiente.

c).- GENERALIDADES SOBRE PERT Y CPM

Podemos considerar que ambas técnicas se pueden aplicar en la planeación, programación y control de cualquier proyecto, aunque en general el método de la ruta crítica es una síntesis de ambos métodos.

Al aplicar el método de la ruta crítica a un proyecto, consideraremos dos ciclos diferentes que son:

1. Planeación y Programación del proyecto.
2. Ejecución y control del mismo.

El primer ciclo se compone de las siguientes etapas:

- 1) Definición del proyecto
- 2) Lista de actividades
- 3) Matriz de secuencias
- 4) Matriz de tiempos
- 5) Red de actividades
- 6) Costos pendientes
- 7) Compresión de la red

- 8) Limitaciones de tiempo, de recursos y económicas
- 9) Matriz de elasticidad
- 10) Probabilidad de retraso

El segundo ciclo contiene las siguientes etapas:

- 1) Aprobación del proyecto
- 2) Ordenes de trabajo
- 3) Gráficas de control
- 4) Reportes y análisis de los avances
- 5) Toma de decisiones y ajustes

#### ANALISIS DEL PRIMER CICLO

1) Definición del proyecto. Como toda actividad por realizar, requerirá un conocimiento preciso y claro de lo que se va a hacer, de su finalidad, elementos disponibles, capacidad financiera.

Esta etapa es muy importante porque proporciona un panorama completo de las personas, obras, relaciones y capital que intervendrán en el proyecto.

2) Lista de actividades. Es la relación de actividades físicas o mentales que forman parte en el proyecto.

3) Matriz de secuencias. La secuencia de las actividades se puede conocer por medio de dos procedimientos que son:

I - Por antecedentes

II- Por secuencias

Aplicando el primer caso, se entrevistará al personal adecuado para conocer cuales actividades deben quedar terminadas para ejecutar las actividades que antes se han mencionado. Todas las actividades deberán tener un cierto antecedente, y en el caso de ser inicial, la actividad precedente será cero.

Aplicando el segundo caso, se preguntará al personal responsable sobre las actividades posteriores a una cierta actividad, iniciándola con la actividad cero.

4) Matriz de tiempos. En este estudio se requiere de tres cantidades estimadas por los responsables del proyecto en todos sus procesos, que son:

I - El tiempo medio (M)

II - El tiempo óptimo (o)

III - El tiempo pésimo (p)

El tiempo medio (M), es el tiempo normal que se necesita, para la ejecución de las actividades, basado en la experiencia laboral del informador.

El tiempo óptimo (o), es el que representa el tiempo mínimo posible, sin importar el costo o cuantía de elementos materiales y humanos que se requieran; es la posibilidad de realizar la actividad en el menor tiempo.

El tiempo pésimo (p), es un tiempo muy grande que pudiera presentarse por causa de accidentes, falta de suministros, retardos involuntarios, y otros.

Debe contarse sólo el tiempo en que se ponga remedio al problema. Se puede medir el tiempo en

minutos, horas, días, semanas, meses y años, con la condición de que se tenga la misma medida para todo proyecto.

Los tiempos anteriores servirán para promediarlos mediante la fórmula PERT, obteniendo un tiempo resultante llamado estandar (t), que recibe la influencia del óptimo y del pésimo a la vez.

$$t = \frac{o + 4M + p}{6} \dots\dots\dots(2)$$

Tanto la matriz de secuencias como la matriz de tiempos se reúnen en una sola matriz de información, que sirve para construir la red medida.

d).- DIAGRAMA DE REDES Y SU CONSTRUCCION

( Red de actividades)

Se denomina red a la representación gráfica de las actividades que muestran sus eventos, secuencias, interrelaciones y la ruta crítica.



1.- Dos actividades que parten del mismo evento y llegan al punto de partida. Este produce confusión de tiempo y de continuidad. Debe abrirse el evento inicial o el evento final en dos eventos y unirlos con una liga.

2.- Comenzar una actividad en una parte intermedia de otra. Toda actividad debe empezar en un evento y terminar en otro.

3.- No dejar eventos sueltos al terminar la red. Todos ellos deben de relacionarse con el evento inicial o con el evento final.

Para dibujar la red medida, se indica en la parte superior la escala con las unidades de tiempo escogidas en un intervalo razonable para que el proyecto se realice.

Se inicia la red dibujando las actividades que parten del elemento cero. Cada una de ellas debe dibujarse de tal manera que el evento "j" termine, de acuerdo con la duración estándar en el tiempo indicado en la escala superior.

No debe tomarse la numeración progresiva de la matriz de secuencias para dibujar la red, sino las terminales de las actividades, de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, según vayan apareciendo los eventos "j".

Si una actividad tiene cero de duración, se dibuja verticalmente ya sea ascendente o descendente, de tal manera que no ocupe tiempo dentro de la red (actividades de tiempo mínimo).

Cuando una actividad en secuencia de dos o más actividades anteriores, debe colocarse la red a continuación de la actividad antecedente más cercana.

La ruta crítica es la serie de actividades que se inician en el evento "i" del proyecto y terminan en el evento "j" del mismo, sin sufrir interrupciones por lo que señala el tamaño o duración del proyecto.

Cuando los tiempos de las actividades son muy desproporcionados entre sí, la red resultará muy larga por lo que hay que suprimir de la escala superior aquellos tiempos que no tengan mucha importancia, dejando todos los tiempos de iniciación o terminación.

de las actividades. A esta red se le llama de vencimientos sucesivos.

Para su construcción se dibuja una red solo de secuencia, indicando las actividades y el tiempo estándar de duración.

Como primer paso obtenemos nuestra matriz de información, en donde las columnas serán actividades, secuencias y tiempos. Después se traza una red de secuencias. Se van acumulando los tiempos de duración de cada proceso, anotándose dentro de un círculo la cantidad acumulada. Este círculo se coloca dentro del evento final de cada actividad.

Cuando en un evento se juntan dos o más actividades se hará la anotación de la cantidad acumulada a cada proceso con el objeto de separarlos con líneas si se trata de cantidades diferentes, pero dentro del círculo solo se pondrá la cantidad mayor.

Una vez trazada la red se pone en escala de tiempo en donde se anotarán los vencimientos representados por las cantidades acumuladas dentro y fuera de los círculos.

e).- RELACION COSTO-TIEMPO DE LAS ACTIVIDADES

(Costos pendientes)

Para iniciar el siguiente ciclo será necesario solicitar los costos de cada actividad realizada en tiempo estándar y en tiempo óptimo, al igual que en el ciclo anterior, estos serán proporcionados por las personas responsables de estos datos, de acuerdo con los presupuestos preparados por ellos. Estos costos nos proporcionarán la matriz información.

La matriz información tendrá tres columnas, la primera referente a las actividades, la segunda al costo normal para las actividades realizadas en tiempo estándar, y la última columna el costo límite para las actividades realizadas en tiempo óptimo.

El costo límite obtenido por la matriz información, no es un costo real, pues no todas las actividades se tendrán que realizar en tiempos óptimos. La red comprimida nos indicará en que actividades son las que se deben optimizar en tiempo.

Se define la pendiente como la relación que existe entre el incremento del costo y la compresión del tiempo.

$$\text{Pendiente} = \frac{\text{Costo límite} - \text{Costo normal}}{\text{Tiempo Estandar} - \text{Tiempo Optimo}} \dots(3)$$

Estas pendientes así calculadas se llevan a la matriz información.

A) Compresión de la red. Para poder comprimir la red se aplica el método siguiente:

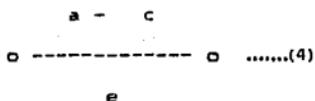
1.- Se dibuja una red que servirá de base de compresión y en cada actividad se anota el número, la pendiente, el tiempo estandar y el tiempo óptimo.

2.- Se divide el proyecto en todas las rutas posibles desde el evento inicial hasta el evento final, y se acumulan los tiempos óptimos de las actividades componentes de cada ruta.

La cantidad máxima de los tiempos óptimos representa la ruta crítica a tiempo óptimo. Es el tiempo menor en que puede ejecutarse todo el proyecto.

3.- Se construye la red con la ruta crítica a tiempo óptimo. Esta ruta puede ser diferente al crítico a tiempo estandar.

En la red comprimida se indican las actividades con el número (a), el incremento total en el costo por la compresión (c) y el tiempo programado de ejecución (e). Todas estas actividades se realizan a tiempo óptimo.



4.- El último paso de la compresión es el planear cada proceso para lo cual:

a) Se determina el intervalo disponible para realizar el proceso.

b) Se examina la posibilidad de realizar este proceso a tiempo normal, sumando los tiempos estandares de las actividades que lo forman.

c) Toda la serie debe compactarse tomando las actividades que tienen pendiente menor hasta llegar a la mayor.

Se suman los incrementos en los costos de las actividades comprimidas al costo normal y resultará el costo del proyecto a tiempo óptimo, y el costo será menor.

Para determinar si existe un costo menor que represente el óptimo, debemos investigar dentro del intervalo de realización del proyecto a tiempo estandar y a tiempo óptimo, o sea, hacer una red a tiempo intermedio y si el costo total es igual o mayor que cualquiera de los dos que ya obtuvimos, entonces no hay probabilidad de reducir el costo.

Si el costo total de la red intermedia es menor, habra que investigar con todas las redes que sean necesarias a diferentes tiempos, hasta encontrar el costo óptimo.

Si el proyecto tiene un gran número de actividades será necesario utilizar programas de computadora con algunos métodos de programación lineal.

B) Limitaciones de tiempo, de recursos y económicos.

En caso de limitaciones de tiempos lo que se hará es analizar el proyecto a tiempo normal, y si no se puede efectuar, se comprime la red utilizando tiempos óptimos de ejecución.

Cuando las limitaciones sean por recursos humanos o materiales limitados se encontrará una red media sin limitaciones y se verá qué actividades deben hacerse primero y cuáles después. Se hace el ajuste en la matriz de secuencias y se dibuja la red correspondiente con los ajustes.

Cuando se tengan limitaciones económicas, se determinará el costo óptimo para conocer si puede hacerse el proyecto con los recursos económicos que se tengan, y se buscará el tiempo total que más convenga.

C) Matriz de elasticidad.

Holgura es la libertad que tiene una actividad para alargar su tiempo de ejecución sin perjudicar otras actividades o el proyecto total.

Hay tres clases de holgura que son:

Holgura Total. Es la que no afecta la terminación del proyecto.

Holgura Libre. Es la que no modifica la terminación del proceso.

Holgura Independiente. Es cuando no se afecta la terminación de actividades anteriores ni la iniciación de actividades posteriores.

Se comienza con el tiempo cero que se indica sobre el evento inicial, y se va agregando la duración estándar de cada actividad, acumulándose en cada evento. Cuando dos o más actividades se unan en un evento se tomará la duración mayor.

Cuando la liga no indique terminación de proceso sino sólo continuidad entre dos procesos, las

cantidades acumuladas no deben cambiarse aunque la liga tenga fechas diferentes de iniciación y terminación.

Cuando se llega al último evento se coloca en un cuadrado. Después se va restando la duración de cada actividad e indicando la diferencia en el evento siguiente.

Cuando se llega al evento cero deberá aparecer tiempo cero. Si dos o más actividades se unen en un evento debe anotarse la que sea menor.

En los eventos iniciales de las ligas de fin de proceso debe aparecer la misma cantidad anotada en el evento final, pero en las ligas de continuidad se pondrá la cantidad menor de las actividades que se unen.

En la red en cada actividad aparecen cuatro lecturas:

Pi- Lo más temprano que pueden iniciarse las actividades.

U<sub>i</sub>- Lo más tarde que puede iniciarse la actividad

P<sub>j</sub>- Lo más temprano que puede terminarse la actividad.

U<sub>j</sub>- Lo más tarde que puede terminarse la actividad.

La diferencia entre la fecha más temprana de iniciación y más tardía de terminación sería:

+ <-----> o

$U_j - P_j = \text{intervalo del proyecto} \dots(5)$

P<sub>j</sub> en las actividades finales de proceso no señala la fecha más temprana de terminación pues se ha modificado para calcular la holgura libre.

Para calcularla debe agregarse la duración "t" a P<sub>i</sub>.

Al restar la duración "t" produce la holgura total.

$HT = U_j - P_i - t \dots(6)$

La diferencia entre la fecha más temprana de iniciación y la más temprana de terminación indica el intervalo de tiempo más reducido.



$$P_j - P_i = \text{intervalo de proceso .....(7)}$$

La diferencia entre la fecha más tardía de iniciación y la más temprana de terminación indica el intervalo de tiempo más reducido.



$$P_j - U_i = \text{intervalo de actividades.....(8)}$$

Al restar el tiempo "t" de este intervalo se obtiene la holgura independiente:

$$H_i = P_j - U_i - t \text{ .....(9)}$$

Las lecturas de los eventos y los resultados se ponen en la matriz de información.

El porcentaje de expansión se calcula dividiendo el número de días de holgura total entre el tiempo estándar de cada actividad.

$$\%(E) = HT / t \dots(10)$$

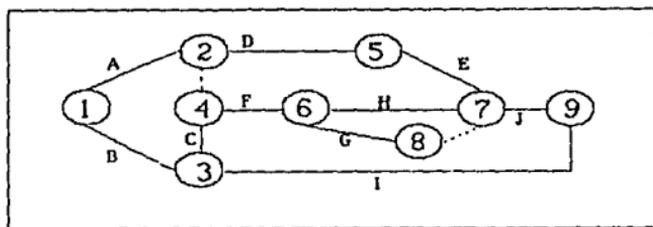


DIAGRAMA DE RED CON TIEMPOS DE ACTIVIDAD ESPERADOS

FIGURA 1

ACT	DESCRIPCION	ANTECEDENTES INMEDIATOS	TIEMPO DE ACTIVIDAD ESPERADOS
A	Elegir local de ofna.	_____	3
B	Crear el plan organizacional y financiero	_____	5
C	Determinar requerimientos de pnal.	B	3
D	Diseñar medios	A,C	4
E	Construir el interior	D	8
F	Elegir pnal. a mudar	C	2
G	Mudar requisitos, personales clave, etc.	F	2
I	Hacer arreglos financieros con las instituciones	B	5
J	Entrenar al nuevo pnal.	H,E,G	3

FIGURA 2

## ASIGNACIONES DE TIEMPO

El procedimiento PERT-CPM necesita que el administrador obtenga una estimación del tiempo esperado que cada actividad de la lista tarde en concluir.

Supóngase que Becky ha trabajado con los departamentos idóneos de la global para calcular estimaciones del tiempo esperado (en semanas) como las que se muestran en la figura 2.

La figura 1 presenta el diagrama de red con los tiempos esperados para cada actividad agregados entre paréntesis.

En la figura 2 se puede ver que el tiempo total de trabajo que se necesita para terminar el proyecto completo sería de 39 semanas.

No obstante, claro está que el tiempo total requerido para completar el proyecto íntegro puede ser de menos de 39 semanas, porque se pueden realizar al mismo tiempo muchas de las actividades.

Por ejemplo, la figura 1 permite ver que se pueden iniciar las actividades A y B en forma simultánea.

La actividad A requiere 3 semanas y la B requiere 5. Por lo tanto; si el administrador hace arreglos para que ambas actividades comiencen juntas (en el momento 0) ambas terminarán en el momento 5. Para obtener una predicción del tiempo mínimo requerido como duración del proyecto en su totalidad, debemos encontrar lo que se llama ruta crítica de red.

Se puede definir una ruta como una secuencia de actividades conectadas desde el nodo de inicio (1) hasta el de terminación (9).

Por ejemplo, la sucesión de actividades B-I que necesita 10 semanas para realizarse es una ruta. También lo es la secuencia B-C-D-E-J que necesita 23 semanas. Se pueden identificar muchas otras rutas en la figura 1.

Para terminar el proyecto deben realizarse las actividades de todas las rutas. En este sentido, podríamos decir que "deben atravesarse todas las rutas".

Entonces, acabamos de ver que nuestro proyecto llevará al menos 23 semanas para completarse, porque se debe atravesar la ruta B-C-D-E-J. Sin embargo, se deberán cruzar muchas otras rutas también, y algunas de ellas pudieran requerir más tiempo.

Nuestro trabajo consiste en analizar el monto total del tiempo que se necesita para cruzar todas. Esta llamada ruta crítica, determina la duración total del proyecto, puesto que ninguna es más larga. Si las actividades de la ruta más larga se demoran, entonces, dado que se deben concluir todas estas, el proyecto íntegro se demorará.

Por esta razón, las actividades de la ruta crítica se llaman actividades críticas del proyecto. Este es el conjunto de actividades que deberán ser mantenidas "a tiempo".

Especifiquemos ahora los pasos que se usan para encontrar una ruta crítica. Será fundamental en este proceso el tiempo más temprano de inicio de cada actividad. Supóngase ahora que el proyecto comienza en el momento cero y preguntese: "Cuál es el momento más temprano en que se pueda emprender la actividad D". Claro está, que no se puede comenzar sino cuando haya terminado la actividad A.

Por lo tanto, no se puede empezar antes del momento = 3. No obstante, tampoco se puede avanzar antes de que la actividad ficticia termine (la que requiere 0 tiempo).

Puesto que la actividad falsa no puede empezar sino hasta después de B y C (Un total de 8 semanas), concluimos que D se iniciará después de que hayan transcurrido 8 semanas.

En estos cálculos resulta crucial advertir que las actividades A y B comienzan ambas en el momento cero; A termina después de tres semanas, pero B necesitará dos semanas más.

Después de 5 semanas en total, B tendrá (8 en total al partir del principio) y terminará C. Por lo tanto, A y C concluirán después de 8 semanas y D podrá iniciarse.

En otras palabras, el tiempo más temprano de la iniciación de la actividad D = 8 semanas.

Otro concepto importante es el tiempo más temprano de conclusión de cada actividad.

Si ponemos:  $ES$  = tiempo más temprano de inicio de la actividad dada

$EF$  = tiempo más temprano de conclusión de dicha actividad

$t$  = duración esperada de la misma

Entonces, para esa actividad la relación entre el tiempo más temprano de inicio y el de conclusión es, claro esta:

$$EF = ES + t \dots(11)$$

Por ejemplo, acabamos de ver que para la actividad D tenemos  $ES = 8$ . Por lo tanto, para esa actividad:

$$EF = ES + t$$

$$EF = 8 + 4 = 12$$

Recuérdese que cada actividad comienza en un nodo. Sabemos que una actividad dada que parta de un nodo, no puede iniciarse antes de que todas las actividades que se dirijan hacia ese nodo hayan terminado.

# METODO DE LA ESQUINA NOROESTE

	1	2	3		M M
A	<sup>10</sup> LS	6	4		<del>LS</del>
B	<sup>9</sup> LS	5	7		<del>50 S</del>
C	<sup>3</sup>	6	9		LS
D	<sup>5</sup>	7	6		30
*	<del>30</del> LS	30	50		

FIGURA 3

	1	2	3		M M
A	<sup>10</sup> LS	6	4		<del>LS</del>
B	<sup>9</sup>	5	7		50
C	<sup>3</sup>	6	9		LS
D	<sup>5</sup>	7	6		30
*	<del>30</del> LS	30	50		

FIGURA 4

* * OFERTA
* DEMANDA

	1	2	3	**
A	$\frac{10}{LS}$	8	4	$\frac{15}{15}$
B	$\frac{9}{LS}$	5	7	$\frac{20}{20}$
C	3	$\frac{6}{25}$	$\frac{9}{20}$	$\frac{20}{20}$
D	5	7	6	30
*	$\frac{20}{20}$	$\frac{25}{25}$	$\frac{30}{30}$	

FIGURA 5

	1	2	3	**
A	$\frac{10}{LS}$	8	4	$\frac{15}{15}$
B	$\frac{9}{LS}$	5	7	$\frac{20}{20}$
C	3	6	9	$\frac{20}{20}$
D	5	7	6	30
*	$\frac{20}{20}$	$\frac{25}{25}$	30	

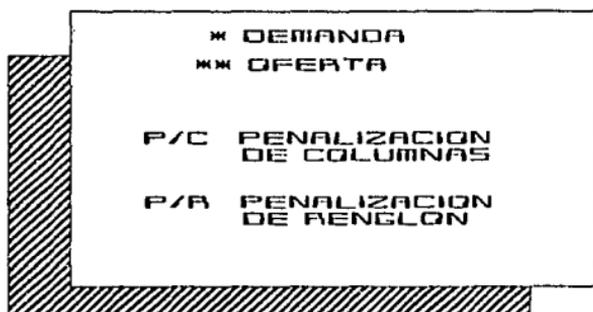
FIGURA 6

	1	2	3		* *
A	10 LS	8	4		<del>LS</del>
B	9 LS	5	7		<del>LS</del>
C	3	6	9		<del>LS</del>
D	5	7	6		<del>LS</del>
*	<del>LS</del>	<del>LS</del>	<del>LS</del>		

FIGURA 7

<b>COSTO TOTAL</b>
$10(45) + 9(45) + 5(5) + 6(25) + 6(30)$
<b>COSTO TOTAL</b>
<b>\$1,390</b>

**METODO DE  
APROXIMACION  
DE VOGEL**



	1	2	3	*	**	P/R
A	$\frac{10}{x}$	$\frac{8}{x}$	$\frac{4}{}$	<del>15</del>	<del>1</del>	
B	$\frac{9}{}$	$\frac{5}{}$	$\frac{7}{}$	50	1	
C	$\frac{3}{}$	$\frac{6}{}$	$\frac{9}{}$	15	3	
D	$\frac{5}{}$	$\frac{7}{}$	$\frac{6}{}$	30	1	
*	90	30	<del>50</del> 5			
P/C	2	1	2			

FIGURA 8

	1	2	3	**	P/R
A	X <sup>10</sup> 9	X <sup>8</sup> 5	L <sup>4</sup> 5	<del>1/5</del>	0
B				50	2
C	L <sup>3</sup> 5	X <sup>6</sup> 7	X <sup>9</sup> 6	<del>1/5</del>	ⓑ
D				30	1
*	<del>30</del> L <sup>5</sup>	30	<del>50</del> 5		
P/C	2	1	1		

FIGURA 9

	1	2	3	**	P/R
A	X <sup>10</sup> 9	X <sup>8</sup> 5	L <sup>4</sup> 5	<del>1/5</del>	0
B	L <sup>9</sup> 5			<del>5/30</del>	2
C	L <sup>3</sup> 5	X <sup>6</sup> 7	X <sup>9</sup> 6	<del>1/5</del>	0
D	30			<del>30</del>	1
*	<del>30</del> L <sup>5</sup>	30	<del>50</del> 5		
P/C	Ⓒ	2	1		

FIGURA 10

**COSTO TOTAL**

$$4(45)+9(15)+5(30)+7(5)+3(45)+5(30)$$

**COSTO TOTAL**

**\$ 785**

**CONVIENE MAS EL METODO DE APROX  
DE VOGEL**

CAPITULO IV  
APLICACION DE LA PROGRAMACION LINEAL

a).- GENERALIDADES

La programación lineal está relacionada con el problema de planear un conjunto de actividades económicas independientes, para obtener el resultado óptimo. Una característica de estos problemas es el estar sujetos a un conjunto de restricciones ocasionadas por las condiciones propias del problema y que son satisfechas para un gran número de soluciones posibles según sean los objetivos que se desean.

A través de los métodos de la programación lineal, se pueden adaptar varios problemas que pueden surgir como: Minimización de tiempos y costos de procesos industriales, asignación óptima de personal.

Se puede definir un problema de programación lineal, como es generado por un fenómeno económico o de organización en donde intervienen un cierto número de variables, que sólo tienen significado cuando son

positivas o nulas. Estas variables están ligadas entre sí por relaciones lineales que forman un sistema de ecuaciones o desigualdades llamadas restricciones; en donde debe existir antes que las restricciones una función "z" de estas variables, que constituyen la función económica o función objetivo que se debe hacer máxima o mínima según sea el caso.

#### b).- PROBLEMAS TIPICOS DE LA PROGRAMACION LINEAL

El problema del transporte es uno de los más comunes y se puede resolver por varios procedimientos como son:

1. Regla de la esquina noroeste

2. Método de aproximación de Vogel

#### REGLA DE LA ESQUINA NOROESTE

1. Se comienza en la esquina superior izquierda (origen A, destino 1) y se asigna a cada cuadro las unidades que sean posibles, o sea usar toda la oferta

del origen A que se pueda, para satisfacer la demanda del destino 1.

2. Se reduce la actual oferta disponible del origen y la actual demanda que no ha sido satisfecha en la cantidad asignada.

3. Se identifica el primer origen con oferta disponible, o sea el origen actual o el que está abajo.

4. Se identifica el primer destino con demanda insatisfecha, o sea el destino actual o el que está a la derecha.

5. Se asigna como en el paso 1 tantos artículos como sea posible a la ruta que sigue.

6. Se regresa al paso 2 hasta que la oferta y la demanda sean cero.

#### METODO DE APROXIMACION DE VOGEL

1. Para cada renglón con una oferta disponible y cada columna con una demanda que no ha sido satisfecha

se calcula un costo de penalización restando el menor dato del que le sigue en valor.

2. Se identifica el renglón o columna que tenga el mayor costo penal (si hay 2 o más iguales se escoge arbitrariamente).

3. Se asigna la máxima cantidad posible a la ruta disponible que tenga el costo más bajo en el renglón o columna elegido.

4. Se reduce la oferta y la demanda adecuados en la cantidad asignada en el paso anterior.

5. Se descarta cualquier renglón con oferta disponible cero y columnas con demanda cero.

6. Se regresa al paso 1 hasta que el costo de penalización de las columnas y los renglones sea de cero.

En ambos métodos, se multiplican los números que se tenían por las cantidades que les asignamos abajo; y se suman. Esto da el costo total y se pueden comparar los métodos para saber cuál es el que más nos conviene.

Ejemplo: Supongamos que una fábrica produce motores eléctricos para tres fabricantes en cada una de sus cuatro plantas. Los pedidos de consumidores que deben ser producidos son:

CLIENTE	DEMANDA
1	900
2	300
3	500

La capacidad de producción manual (oferta) es:

PLANTA	CAPACIDAD DE PRODUCCION MENSUAL
A	450
B	500
C	450
D	300

El costo de transporte por unidad es:

De \$1,390 con el método de la esquina noroeste  
y de \$785 con el método de aproximación de Vogel.  
A continuación se muestran los métodos.

## CAPITULO V

### MÉTODO SIMPLEX

#### a). GENERALIDADES

El método Simplex, es un algoritmo matemático inventado por el profesor George P. Dantzing de la Universidad de Stanford en los Estados Unidos. No obstante que su creador diseñó este procedimiento hace más de cuatro décadas, este algoritmo sigue siendo el método básico empleado en la solución de problemas de optimización en programación lineal.

#### b).- ANALISIS DEL METODO

El método simplex es un algoritmo que se aplica a problemas en los cuales se maximiza o minimiza una cierta función lineal, la cual está sujeta a ciertas restricciones que se expresan también por medio de desigualdades lineales.

Para aplicar el método simplex debemos transformar las desigualdades en igualdades, para esto se utilizará cierto número de variables artificiales, las cuales tendrán como coeficiente cero.

Así, el problema de maximizar la siguiente función con sus restricciones será:

$$f = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

Restricciones:  $A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n \leq B_1$   
 $A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + \dots + A_{2n}X_n \leq B_2$   
.....  
.....  
 $A_{K1}X_1 + A_{K2}X_2 + \dots + A_{Kn}X_n \leq B_n$   
 $X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, \dots, X_n \geq 0$

Se convierte en el problema siguiente sujeto a las siguientes igualdades:

$$f = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n + 0 \cdot X_{n+1} + 0 \cdot X_{n+2} + \dots + 0 \cdot X_{n+K}$$

Restricciones:  $A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n + X_{n+1} = B_1$   
 $A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + \dots + A_{2n}X_n + X_{n+2} = B_2$   
.....  
.....  
 $A_{K1}X_1 + A_{K2}X_2 + \dots + A_{Kn}X_n + X_{n+K} = B_K$   
 $X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, \dots, X_n \geq 0, X_{n+1} \geq 0, \dots, X_{n+K} \geq 0$

En general, podemos decir que el algoritmo simplex se resume en cuatro pasos:

1. Construir la tabla inicial
2. Encontrar y encerrar con un círculo la entrada pivote en la tabla
3. Calcular la nueva tabla a partir de la tabla dada y el nuevo pivote
4. Repetir el paso anterior hasta que en la columna final queden solamente números positivos

TABLA SIMPLEX INICIAL:

P1	P2	...	Pn					
A11	A12	...	A1n	1	0	....	0	B1
A21	A22	...	A2n	0	1	....	0	B2
AK1	AK2	...	AKn	0	0	....	1	BK
.....			.....	..				
-C1	-C2	...	-CK	0	0	.....		0

Las filas de la tabla ( menos la ultima ) son los coeficientes de las igualdades lineales.

En la última fila se colocan los coeficientes de la función objetivo pero con diferente signo.

En la última columna se colocan los resultados de las igualdades.

Entrada pivote:

Se obtiene de la siguiente manera:

1. Se selecciona el coeficiente más negativo de la última fila.
2. Se divide cada entrada positiva de la última columna entre cada uno de los elementos de la columna entre en donde se encuentra el coeficiente más negativo.
3. Se considera la entrada pivote a la que produzca el menor cociente del paso anterior.

La entrada pivote la debemos convertir en uno, para esto se dividirá cada renglón del pivote entre el número que sea el pivote. los convertiremos a cero; para esto habrá que multiplicar el renglón donde esta el pivote por el número del renglón donde se encuentra el pivote pero con signo contrario, después

de esto se suma a todo un renglón y así se convierte en cero; así se hace sucesivamente hasta que en donde está la columna pivote se haga uno el pivote y todos los demás cero.

Así seguimos hasta que no quede ningún número negativo en el último renglón.

Todos estos procedimientos se hacen sólo cuando las restricciones sean menor o igual, pues cuando sean mayor o igual o una igualdad, habrá que poner más variables artificiales.

Si hay una restricción en donde sea mayor o igual aumentará otra variable artificial y a la cual se le pondrá signo negativo (-1) además de la variable (1).

Además se pondrá un último renglón el cual tendrá ceros, excepto aquel en donde pusimos la variable artificial (1) en donde pondremos uno.

El siguiente paso será convertir a cero en donde está el número (1) del último renglón y después se siguen los pasos antes indicados; así sucesivamente

hasta que en el último renglón vuelvan a quedar solo ceros excepto en donde estaba la variable artificial (1) en donde quedará (1); y se quita ese renglón; así como la columna en donde estaban las variables artificiales (1) y se sigue el procedimiento.

Cuando sea una igualdad se pondrá la variable artificial (1) pero el último renglón tendrá solamente ceros excepto donde está la variable artificial (1) en donde escribiremos uno.

Y así se continúa hasta desaparecer como en la desigualdad mayor o igual al último renglón y la columna correspondiente a esa variable artificial.

#### c).- APLICACIONES PRACTICAS

Equipos Industriales Protac tiene dos líneas de equipo pesado. Una de estas líneas de productos (llamada para remoción de escombros) se destina esencialmente a aplicaciones de construcción. La otra línea (llamada equipos forestales) está destinado a la industria maderera. El miembro más grande de la línea de equipos para remover escombros (el E-9) y el miembro mayor de la línea de

equipos forestales (el F-9) se producen en el mismo departamento y con el mismo equipo, haciendo uso de las predicciones económicas para el próximo mes, el Gerente de mercadotecnia de Protac juzga que durante ese periodo será posible vender todos los E-9 y F-9 que la empresa pueda producir. La administración debe ahora recomendar una cédula de producción para el próximo mes.

En la toma de esta decisión, los principales factores a considerar son los siguientes:

1. Protac tendrá una utilidad de \$5,000 por cada E-9 que se venda y \$4,000 por cada F-9.(a)

El problema quedaría de la siguiente manera:

Maximizar :  $5000E + 4000F$  .....(a)

Restricciones:  $10E + 15F \leq 150$ .....(b)

$20E + 10F \leq 160$ .....(c)

$30E + 10F \geq 135$ .....(d)

$E - 3F \leq 0$ .....(e)

$E + F \geq 5$ .....(f)

$E, F \geq 0$

2. Cada producto pasa por operaciones mecánicas tanto el departamento A como el departamento B.

3. Para la producción del próximo mes, estos departamentos tienen disponibles 150 y 160 horas, respectivamente. Cada E-9 consume 10 horas de operación mecánica en el departamento A y 20 horas en el departamento B, mientras que cada F-9 consume 15 horas en el departamento A y 10 en el departamento B.(b,c)

DEPARTAMENTO	E-9	F-9	TOTAL
			DISPONIBLE
A	10	15	150
B	20	10	160

4. Con el objeto de cumplir un compromiso con el sindicato el total de horas de trabajo que se dedicarán con la comprobación del acabado de los productos terminados del próximo mes no puede ser menor en 10% a una meta establecida de 150 horas. Esta comprobación se realiza en un tercer departamento que no tiene relación con las actividades de los departamentos A y B. Cada E-9

requiere 30 horas de comprobación y cada F-9, 10. Puesto que el 10 % de 150 es 15 el total de horas de trabajo destinadas a la comprobación no puede ser menor a 135.

(d)

	1 E-9	1 F-9	TOTAL DE HRS. REQUERIMIENTO
Hrs para comprobación	30	10	135

5. Con el objeto de mantener su posición actual en el mercado, la alta Gerencia ha decretado que para la política de operación es necesario construir al menos un F-9 por cada 3 E-9.(e)

6. Un consumidor principal ha ordenado un total de por lo menos 5 aparatos (en cualquier combinación de E-9 y F9) para el próximo mes, así es que por lo menos debe de producirse esa cantidad.(f)

Dadas estas consideraciones, el problema es decidir cuantos E-9 deben producirse en el próximo mes.

MAXIMIZAR  
RESTRICCIONES

5000R	+	4000F		
10R	+	15F	<=	150
20R	+	10F	<=	160
30R	+	10F	>=	135
R	-	3F	<=	0
R	+	F	>=	5
R	.	F	>=	0

	R	F	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	P
	10	15	1	0	0	0	0	0	0	150
	20	10	0	1	0	0	0	0	0	160
	30	10	0	0	-1	1	0	0	0	135
	1	-3	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	1	0	0	0	0	0	-1	1	5
	-5000	-4000	0	0	0	0	0	0	0	0
PYA	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0

	R	F	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	P
	10	15	1	0	0	0	0	0	0	150
	20	10	0	1	0	0	0	0	0	160
	30	10	0	0	-1	1	0	0	0	135
	1	-3	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	1	0	0	0	0	0	-1	1	5
	-5000	-4000	0	0	0	0	0	0	0	0
PYA	-31	-11	0	0	1	0	0	1	0	-140

	R	F	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	P
	0	45	1	0	0	0	-10	0	0	150
	0	10	0	1	0	0	20	0	0	160
	0	10	0	0	-1	1	-30	0	0	135
	1	-3	0	0	0	0	1	0	0	0
	0	4	0	0	0	0	-1	-1	1	5
	0	-14000	0	0	0	0	4000	0	0	0
PYA	0	-104	0	0	1	0	31	1	0	-140

FIG. 11

	I	F	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	B
	0	0	1	0	0	0	1.25	11.25	-11.25	93.75
	0	0	0	1	0	0	-2.5	17.5	-17.5	72.5
	0	0	0	0	-1	1	-5	25	-25	10
	1	0	0	0	0	0	0.25	-0.75	0.75	2.75
	0	1	0	0	0	0	-0.25	-0.25	0.25	1.25
	0	0	0	0	0	0	250	-4750	4750	23750
FVA	0	0	0	0	1	0	5	-250	25	-10

	I	F	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	B
	0	0	1	0	0.45	-0.45	3.5	0	0	99.25
	0	0	0	1	0.7	-0.7	1	0	0	65.5
	0	0	0	0	-0.4	0.04	-0.2	1	-1	3.4
	1	0	0	0	-0.02	0.02	0.1	0	0	4.05
	0	1	0	0	-0.01	0.01	-0.3	0	0	1.35
	0	0	0	0	-190	190	-700	0	0	25650
FVA	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0

	I	F	S1	S2	S3	S5	S6	B
	0	0	1	0	0.45	3.5	0	99.25
	0	0	0	1	0.7	1	0	65.5
	0	0	0	0	-0.04	-0.2	1	3.4
	0	0	0	0	-0.02	0.1	0	4.05
	1	0	0	0	-0.01	-0.3	0	1.35
	0	0	0	0	-190	-700	0	25650
FVA	0	1	0	0	0	0	0	0

K	F	S1	S2	S3	S5	S6	B
0	0	0.285714286	0	0.128571	1	0	25.5
0	0	-0.285714286	1	0.57142	0	0	40
0	0	0.067142857	0	-0.01428	0	1	5.5
1	0	-0.028571429	0	-0.04235	0	0	1.5
0	1	0.285714286	0	0.02857	0	0	9
0	0	200.0000002	0	-99.999	0	0	43500

K	F	S1	S2	S3	S5	S6	B
0	0	0.350000001	-0.225000001	0	1	0	16.46666666
0	0	-0.500000001	1.750000007	1	0	0	70.00000008
0	0	0.050000001	0.025000001	0	0	1	6.499999981
1	0	-0.050000001	0.075000001	0	0	0	4.500000012
0	1	0.100000001	-0.050000001	0	0	0	6.999999959
0	0	150.0000002	174.9999995	0	0	0	50439.99998

I = 4.500000012  
 F = 6.999999963  
 5000K+400F = 50.439.99998

## CONCLUSIONES

Los diagramas de redes parecen ser una forma natural de expresar los planes del proyecto, que bien podría formar parte del lenguaje de administración respectivo.

En vista de éstos, los sistemas de costos y tiempo estimado de planeación, programación y control de proyectos basados en diagramas de redes, deben ser completamente explotados al límite de su utilidad.

Como conclusión, podemos decir que para la buena planeación, programación y control de un proyecto, deberán de seguirse los siguientes puntos:

1. Definición de las fases del proyecto y su secuencia lógica.

2. Detalle de los niveles de desdoble, considerados en el proyecto.

3. Definición específica de las actividades que constituyen cada nivel, indicando su secuencia lógica en él.

4. Determinación de duraciones, costos y recursos para las actividades del último nivel.

5. Construcción del diagrama de flujo del proyecto, utilizando la secuencia y procedencia de las actividades del último nivel y sus conexiones entre conjuntos .

6. Cálculo de la ruta crítica, empleando las duraciones en el diagrama de flujo; obteniendo holguras, tiempos de inicio y de terminación.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

#### RELACION DE FORMULAS

1. Función de costos totales
2. Tiempo estandar
3. Pendiente
4. Tiempo óptimo
5. Intervalo del proyecto
6. Holgura total
7. Intervalo de proceso
8. Intervalo de actividades
9. Holgura independiente
10. Porcentaje de expansión
11. Tiempo más temprano de inicio de cada actividad

## BIBLIOGRAFIA

Acosta, Moreno, Jauffred

METODOS DE OPTIMIZACION

R.S. de I

1971

Ackoff, Arnoff, Churchman

INTRODUCTION TO OPERATIONS RESEARCH

Wiley International Edición

1968

Ackoff Sasieni

FUNDAMENTOS DE INVESTIGACION DE OPERACIONES

Limusa - Wiley

1971

Eppen, Gould

INVESTIGACION DE OPERACIONES

Limusa

1984

Gass Saul

PROGRAMACION LINEAL

C. E. C. S. A.

1972

Kaufann Faure

INVITACION A LA INVESTIGACION DE OPERACIONES

C. E. C. S. A.

1970

Krick Edward

INTRODUCCION A LA INGENIERIA Y AL PROYECTO EN  
LA INGENIERIA

Limusa - Wiley

1969

Montaño Agustín

INTRODUCCION AL METODO DEL CAMINO CRITICO

Trillas

1970

Moder Elmaghraby

HANDBOOK OF OPERATIONS RESEARCH

Van Nostrand Reinhold

1978

S. Buffa Elwood, H. Taubert William

SISTEMAS DE PRODUCCION E INVENTARIO

Limusa

1984

Wilde, Beightler

FOUNDATIONS OF OPTIMIZATION

Prentice - Hall

1967