

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Industrial

CPM y PERT Métodos de Planeación
Programación y Control

Tesis de Grado

Presentada por el ex alumno

GERMAN DIAZ PORTUGAL

1966

Lima - Perú

INTRODUCCION

De la gran cantidad de definiciones que existen sobre lo que es Ingeniería, la siguiente es la que nos da una idea más concreta: "La Ingeniería es una actividad humana, fundamentalmente intelectual, que procura transformar, en condiciones de eficiencia máxima, los productos y las fuentes de energía que existen en 3.a naturaleza en beneficio de las necesidades materiales del hombre y de la Sociedad"*

Ya que tenemos definida la profesión de Ingeniero, es necesario establecer la de Ingeniería Industrial, Según el American Institute of Industrial Engineer, "La Ingeniería Industrial se refiere al diseño, instalación y mejoramiento de sistemas integrados por hombres, materiales y equipo. Utiliza los conocimientos y habilidades especializados de las ciencias matemáticas, físicas y sociales, aunados a los principios y métodos de análisis y diseños ingenieriles para especificar, producir y evaluar los resultados De dichos sistemas".

La Ingeniería Industrial se puede dividir, división arbitraria, en tres grupos:

- (a) Técnicas Tradicionales;
- (b) Ingeniería de Producción; y
- (c) Técnicas Modernas.

Algunas técnicas representativas de cada grupo:

- (a) Técnicas Tradicionales :

- 1.- Localización de Plantas.
- 2.- Distribución de la Planta.
- 3.- Organización.
- 4.- Estudio del Trabajo.
- 5.- Control de Producción,
- 6.- Valuación de Puestos e Incentivos.

- (b) Ingeniería de Producción

- 1. - Diseño de Producto.
- 2. - Diseño de Proceso

(e) Técnicas Modernas

1.- Determinísticas:

- 1,1» Programación Lineal.
- 1,2. Planeación por medio de redes
(Método del Camino Crítico).

2. - Probabilísticos:

- 2.1. Teoría de Líricas de Espera«,
- 2.2. Control Estadístico de Calidad«,
- 2.3. Predicción de la Demanda.
- 2.4. Control de Inventarios
- 2.5. Planeación por medio de redes (PERT)
- 2.6. Diseño de Experimentos.
- 2.7. Ingeniería Económica.

Me he permitido hacer esta breve introducción para ubicar, en el campo de la Ingeniería Industrial, el tema que desarrollo.

HISTORIA

Ante la necesidad de planear, programar y controlar mejor el desarrollo de un programa y ante la deficiencia que mostraban las técnicas tradicionales en la predicción de los problemas que pudieran presentarse en el desarrollo de un proyecto, se inició la investigación para encontrar algunas técnicas que lo permitieran, Fue así como surgieron lo que hoy se conoce como Método de Camino Crítico (CPM) y Evaluación de Programas y Técnicas de Revisión (PERT).

El Método de Camino Directo fue creado en los Estados Unidos el año 1957 por Morgan R. Walker, miembro del Departamento de Ingeniería del grupo E.I. Du Pont de Nemours & Co. y James E. Kelly Jr. de la Remington Rand Univac.

Posteriormente el doctor Rocco L. Martino trabajó en refinar la técnica original al aplicarla en la programación de obras relacionadas entre sí y en la programación de la mano de obra.

En 1958 la Marina de los Estados Unidos solicitó a la firma de consultores Booz, Allen y Hamilton el estudio de una técnica en que se aplicaran los métodos estadísticos y matemáticos para la programación y control de programas de defensa, Esta firma desarrolló un procedimiento que llamaron "Program Evaluation and Review Technique", conocida ahora por sus iniciales PERT. Este procedimiento se aplicó por primera vez y con mucho éxito en el desarrollo del proyectil submarino "Polaris".

I CAPITULO

COMENTARIOS

El PERT es una técnica relativamente nueva y se encuentra en la etapa de desarrollo. Se basa en la estructura de 3a carta de Gantt, la línea de balance y en el informe de las principales operaciones.

El PERT permite a la dirección identificar a cada uno de los responsables de la determinación del costo y tiempo necesarios, de la coordinación necesaria y de los resultados que se obtengan.

El PERT le puede proporcionar a la dirección, tan consecuentemente como lo necesite, la información necesaria para un efectivo control y para la implantación de medidas a cualquier nivel de la organización, lo cual nos da la base de la dirección por excepción.

El PERT puede usarse como elemento auxiliar para conseguir una mayor seguridad en las decisiones a tomarse, planear proyectos de gran envergadura, en la introducción de nuevos productos, en el mantenimiento de plantas, instalación de maquinarias y en cualquier tipo de operación que pueda ser descompuesta en actividades.

Es necesario al hacer los estimados, establecer diferencia que existe entre planear y programar. Por ejemplo en una construcción, el hacer la excavación antecede a vocear los cimientos para lo cual determinamos el método de excavación, programar conceptualmente esta secuencia es obvia pero difícil de practicarla. No estamos programando cuando decidimos usar máquinas, o cuando decidimos usar sólo una, pero sí lo estaremos al programar de usarla primero.

Se puede fijar una duración después de haber establecido un método, por lo que el encontrar los costos no es el verdadero problema sino establecer la duración. La dirección depende del método de realización desde que hay relación entre el tiempo y costo de efectuar una actividad.

El PEPT mejora la efectividad de la dirección en el planeamiento, programación y control de cualquier trabajo y que le permite comparar los planes con lo que se está realizando.

Los informes PERT le permiten a la dirección tomar medidas correctivas sin detener las operaciones y así podemos anticipar su acción a la de posibles problemas.

Esta técnica proporciona la base para combinar las diferentes acciones que puedan tomarse, evaluando cada alternativa y su impacto al sistema para luego escoger lo más conveniente.

Mediante el PERT se elimina la imposición de la dirección, pues mediante esta técnica se logra la debida orientación e integración de la dirección, basados en el planeamiento y control.

Existen tres mejoras primarias derivadas del planeamiento inicial del PEPT, la mejor realización del planeamiento, la mejor orientación del planeamiento fundamenta de los negocios y la mejora de la base para evaluar un y. al conocerse los objetivos de la dirección.

Los principales campos de cooperación donde actúa más recientemente el PERT son: Mejorar al control por parte la dirección; mejorar la distribución de recursos y en i mar mejores decisiones. El PERT observa todo el proveen y su progreso, ya que conforme se termina alguna actividad se anota el tiempo empleado y se le relaciona con el oro to con lo cual se mide su efecto sobre el camino crítico Do esta forma se puede analizar cualquier adelanto o dentro en el proyecto y tomar las medidas necesarias para evitar demoras o minimizar costos.

Ha hecho cambiar la manera de pensar de la dirección respecto al control, al comparar la cualidad estática los demás sistemas de control con la dinámica que introduce el PERT.

El C.P.M, (Método del Camino Crítico) es una nueva técnica de la Ingeniería Industrial que ayuda principalmente al control del desarrollo de una operación, ya que nos permite conocer las actividades que determinan la duración de un proyecto o proceso productivo, sobre las cuales es necesario ejercer un mayor control para tratar de acortar su duración.

El C.P.M. puede ser dividido en tres pasos diferentes: La primera es la construcción una representación o red, de la relación de secuencia de las operaciones que integran el proyecto. Esta fase es prerequisite para cada una de las otras; ha sido clasificada como una fase ya que su realización nos es útil, aun cuando no se realicen las siguientes, en vista de que una red es más fácil de entender que una gráfica convencional. El comprender la red es muy importante en la planeación y control de un proyecto.

La segunda fase consiste en desarrollar la información esencial más útil para propósito de control; en esta fase se determina cuáles operaciones son críticas, es decir, aquéllas que determinan La duración total del proyecto y la holgura que tienen las operaciones que *van* están en el camino crítico. Información que será muy útil para el control del proyecto. El conocimiento de las holguras nos servirá de base para programar los cambios de mano de obra y equipo. El hecho de que tanto la primera como la segunda fase puedan realizarse manualmente, sin gran esfuerzo, indica que pueden proporcionar una gran ayuda en la industria, sin necesidad de usar computadoras.

La tercera fase contempla la posibilidad de introducir variaciones en el tiempo de realización y también la introducción de datos sobre costo. Su objetivo determinar el programa de operaciones que produzca el

menor costo directo para una duración dada del proyecto. Es la rase más difícil de resolver, siendo, sin embargo, la que nos ofrece mayores posibilidades para la reducción de costos.

La segunda fase no sólo precede a la tercera, sino que también le sigue, ya que después que se han determinado las duraciones óptimas para cada operación aplicando la tercera fase, se puede volver a determinar las correspondientes nuevas fechas de iniciación y culminación aplicando la segunda fase.

DEFINICION DE PERT

PERT es un grupo de principios, métodos y técnicas para un planeamiento efectivo de trabajo orientado hacia un objetivo, con el cual establecemos una buena base para una efectiva programación, costeo, control y re planeamiento en la dirección de programas.

Emplea:

- la descomposición de la estructura del trabajo orientado para la obtención del producto, empezando por subdividir los objetivos para conseguirlo, en pequeñas artículos finales.
- un flujo del plan, constituido de todas las actividades y eventos que deberán ser terminados o realizados para llegar al objetivo del programa, mostrando la secuencia de realización planeada, su interdependencia, y sus interrelaciones; a esto se le conoce como la red de un proyecto.
- un programa, el cual intenta balancear los objetivos, la red del plan la disponibilidad de recursos.
- un análisis de la interrelación de redes, programas y holguras, como una base para una continua evaluación del estado del programa, predicción de excesos e identificación de áreas problemas en el momento adecuado para que la dirección aplica la acción correctiva.

PERT-Costo utiliza la estructura de la red como una referencia para estimar y controlar el costo así como también la programación del plan. Esto permite una medida más completa del progreso y capacita al director para apreciar más realísticamente las consecuencias de las diferentes acciones que se pueden tomar.

Esta técnica es flexible, la suficiente para abarcar efectivamente una variedad de objetivos y aplicaciones incluyendo la ubicación de recursos para servir a varios proyectos que persiguen el mismo fin. Aunque existen también algunas diferencias en la nomenclatura del PERT y el CPM, lo cual sugiere diferencia en conceptos, ambos usan la red para desarrollar y diagramar proyectos, y ambos sirven al mismo objetivo.

El PERT es básicamente una mejor técnica para intentar dirigir más ordenadamente un trabajo« Da una amplia base para planear, programa y el procesamiento continuo, dirigido por los diferentes niveles de directores responsables.

Las principales ventajas del PERT son:

- Impone una disciplina más rígida para considerar los elementos requeridos para conseguir los objetivos de interrelación entre los elementos
- Es método rápido y efectivo de comunicar planes y su contenido,
- Proporciona un plan estructural que tiende por sí mismo a una determinación sistemática del tiempo estimado total necesario, el cual puede ser comparado con una fecha de terminación fijada.
- Da una prueba palpable de que si lo planeado se está realizando.
- Sirve para evaluar el progreso contra los planes aprobados y predecir problemas en relación al programa.

El PERT por sí mismo no le proporciona ninguna ayuda a la dirección. Es una nueva y efectiva técnica de plan-

neamiento para problemas que involucrar incertidumbre.

El uso del PERT podría aumentar ligeramente el costo de una organización en su renglón de dirección, pero el costo total disminuiría como consecuencia de una dirección más efectiva. Si es usado inteligentemente se puede incrementar la efectividad de las funciones de planeamiento, programación y control. No requiere de una estructura organizativa especializada.

Sabido es que un director no puede delegar su responsabilidad de planeamiento y evaluación,, Aquí es donde el PERT introduce innovaciones, ya que hace posible que un director delegue en un funcionario algo del trabajo asociado a su función básica, bajo instrucciones específicas, sin dejar de revisar la composición del programa para tomar decisiones importantes.

La diferencia entre el PERT y el PERT-Costo reside en que el PERT fue introducido para reforzar el planeamiento y la evaluación del progreso con respecto al tiempo y el PERT-Costo fue orientado a proporcionar un método para dirigir la programación en términos de relacionar tiempo y costo.

EVALUACION DEL PERT-CPM

COMPARACION CON OTRAS TECNICAS DE DIRECCION

A.- CARTA DE GANTT Y PERT-CPM

Ni PERT ni CPM fueron diseñados para reemplazar los otros métodos de planeamiento. Se les ideó para complementar las técnicas existentes y proporcionar a la dirección información adicional que le ayude a tomar decisiones. Por medio de estas técnicas se ha logrado eliminar algunas de las siguientes dificultades que presentaba el uso de la carta de GANTT.

- 1.- No establecer la interdependencia que existe entre los esfuerzos representados por las barras.
- 2.- La naturaleza estática de la escala hace que no se refuerce fácilmente la dinámica del cambio de planea-

3.- La incapacidad de reflejar la incertidumbre o tolerancia en la estimación del tiempo.

B. - LINEA DE BALANCE Y PERT-CPM

La línea de Balance y PERT son sistemas complementarios desde que el PERT-CPM se diseñó para ser usado por la dirección como medio de investigación y desarrollo para planear la producción de un artículo. Una vez que se ha iniciado el ciclo de producción, la Línea de Balance puede usarse para controlarlo. Esta técnica tiene algunas ventajas,

- (a) No requiere el uso de computadoras y por lo tanto su operación será más barata que la del PERT o el CPM.
- (b) Produce información histórica sobre la producción, la cual puede servirnos para establecer en forma más segura el adelanto de las partes componentes.
- (c) Nos indica el nivel del inventario.

III - CAPITULO

CONCEPTOS BASICOS

1. - ACTIVIDAD

Una actividad se representa por una línea o flecha, es un elemento que consume tiempo y fuerza e indica el trabajo necesario para avanzar en un proyecto (actividad real) o También podría representar simplemente interdependencia para lo cual no necesita consumir tiempo ni esfuerzo (actividad ficticia). Sirve para indica», la sucesión de los eventos. Una actividad no debe comenzarse hasta que la actividad anterior no haya terminado.

2. - EVENTO

Un evento representa un punto distinguible en el tiempo que coincide con el inicio y/o término de una actividad específica». Puede ser un momento de decisión o ejecución que
110 consume tiempo ni recursos.

3.- RED

Una red es un diagrama de flujo, compuesto por las actividades y los eventos que deben cumplirse para lograr los objetivos del programa, mostrando su secuencia de realización, interdependencia e interrelaciones, según se planearon.

4*- CAMINO CRITICO,

Es la secuencia de actividades de un camino que tiene cero de holgura. Es el camino en duración más larga a través de la red. Su duración determinará la fecha da terminación de un proyecto.

5.- HOLGURA

Es la diferencia entre el tiempo más corto esperada y el último asignado para la realización de una actividad. Representa la flexibilidad de un programa, al indi-

caraos el lapso en el cual puede ubicarse una actividad, sin influir en la fecha de cumplimiento del objetivo.

Las actividades con holgura no se disponen de tiempo, sino también de recursos humanos y otras facilidades que pueden ser utilizados en las actividades críticas y así obtener su mejor aprovechamiento de los mismos.

6. - HOLGURA TOTAL (Hfc)

La diferencia que existe entre el tiempo disponible y el tiempo necesario para realizar una actividad es lo que se conoce como holgura total. Esta diferencia servirá para determinar diferentes fechas en las cuales se puede iniciar una actividad sin afectar al resto del proyecto. -

$$HT = T_{minj} - T_{mini} - D_{ij}$$

7. - HOLGURA LIBRE (HL)

Es la diferencia entre la fecha de terminación esperada de la actividad anterior (Te) y la de terminación esperada para una actividad particular (Ae). Sólo hay actividades con holgura libre cuando dos o más de éstas terminan en un mismo evento. Es una medida de lo que podría demorarse una actividad sin retrasar la siguiente.

$$HL = T_{minj} - T_{mini} - D_{ij}$$

8. - FECHA REAL

Es la fecha en la cual ocurre la terminación de una actividad.

9. - FECHA EN QUE SE ESPERA TERMINAR UNA ACTIVIDAD (Ae)

La fecha en la cual se espera terminar una actividad está basada en el tiempo estimado proporcionado. El Ae es igual a la fecha de terminación del evento precedente (Te) más el lapso esperado para esa actividad (te).

10. - FECHA EN LA CUAL SE ESPERA TERMINAR UN EVENTO (Te)

Es la fecha del calendario en la cual se espera que suceda un evento. El valor Te para un evento dado es igual a la suma de los tiempos esperados (te) para la actividad del mayor camino desde el inicio del programa hasta un evento dado.

11. - TIEMPO ESPERADO (te)

Es el tiempo que se espera requiera una actividad; se deriva del cálculo de un tiempo promedio, estimado estadísticamente, incorporando los tiempos estimados (a) optimista, (m) más probable y (b) pesimista, para el trabajo a realizar.

$$te = \frac{a + 4m + b}{6}$$

12. - TIEMPO ESTIMADO MAS PROBABLE (m)

Es el tiempo estimado más cercano a la realidad que podría demorar una actividad, se puede esperar que este tiempo ocurra más a menudo si la actividad se repitiera numerosas veces bajo las mismas circunstancias.

13. - TIEMPO OPTIMISTA ESTIMADO (a)

Es en el cual se puede completar una actividad si todo marcha bien.

14. - TIEMPO PESIMISTA ESTIMADO (b)

Es la mayor duración que podría requerir una actividad bajo las condiciones más adversas.

15. - VARIANCIA (σ²)

La variancia indica el grado de incertidumbre en la terminación asociada con el programa.

$$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{6}$$

16. - FECHA PROGRAMADA DE TERMINACION (Ts)

Es aquélla asignada a la terminación de una actividad para propósito de planeación y control dentro de una organización. También podría ser la fecha programada para cumplir un contrato.

17. - PROBABILIDAD SE EXITO

Un simple cálculo aritmético sobre las tres estimaciones de tiempo nos permite obtener una medida de la incertidumbre del tiempo esperado para cada actividad, ya que éste se calcula sumando a la actividad esperada los diferentes tiempos sobre el camino crítico que conduce hasta ese acontecimiento.

También podemos combinar estadísticamente la incertidumbre de cada actividad de tal manera que obtengamos una medida de la incertidumbre del tiempo esperado de cada acontecimiento. Así cuando se calcula el tiempo esperado (PER.T) del acontecimiento final del proyecto, puede también obtenerse una medida de incertidumbre o el tiempo de error probable de nuestra apreciación. Por otro procedimiento matemático podemos comparar el tiempo esperado (PERT) y su incertidumbre con la demanda programada para el acontecimiento final y derivar así la probabilidad de cumplir el programa.

IV CAPITULO

DIAGRAMACION DE UN PROYECTO

Para poder diagramar un proyecto es necesario conocer los pasos requeridos para llevarlo a efecto, A estos pasos, dentro de las técnicas del CPM (Método de Canino Crítico) y del PERT (Evaluación de Programas y Técnicas de Revisión) se les conoce como actividades. Por lo tanto, la primera tarea consiste en hacer una lista que comprenda todas las actividades necesarias para realizar un proyecto, cuidando de no omitir ninguna, para lo cual es conveniente consultar a cada una de las personas que tomarán parte en su realización.

Una vez lista la relación de las actividades, se establecerá el orden o secuencia de su ejecución, teniendo en cuenta los requisitos del proceso mismo y las condiciones particulares de la persona o empresa que va a realizar el proyecto. Para realizar esto se puede preparar una tabla de secuencias, en la cual se harán tantos renglones y columnas como actividades tenga el proyecto. En ella se marcarán las actividades convergentes o divergentes, dependiendo si leemos en las columnas o en los renglones. Se conseguirá una mejor información si al realizar la investigación se va respondiendo a las siguientes preguntas:

1. - ¿Qué actividades preceden inmediatamente a esta actividad?
2. - ¿Qué actividades le siguen inmediatamente?

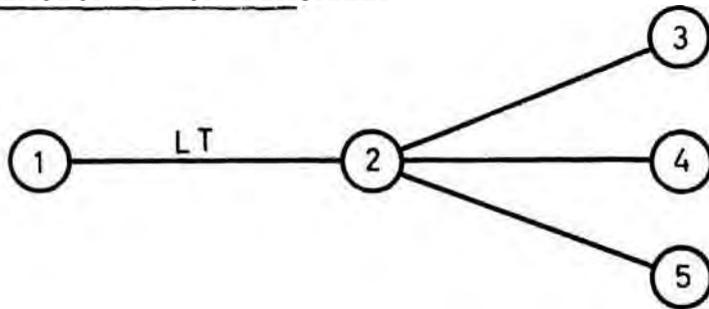
Para formar la red que conecta todas las actividades del proyecto es conveniente hacerse la siguiente pregunta:

¿Qué actividades son concurrentes a un evento?

Como la mayoría de los proyectos pueden iniciarse realizando varias actividades componentes al mismo tiempo, es aconsejable iniciar el diagrama con una sola flecha

a la cual llamaremos "Adelantado" (Lead Time) y que no consume recursos.

INICIACION DE UN DIAGRAMA



En la diagramación de un proyecto es importante la numeración de los eventos, ya que al hacerlo en una forma ordenada, teniendo en cuenta la secuencia de las actividades, rápidamente podemos conocer la relación que existe entre cada una de ellas, no dentro de todo el proyecto, sino respecto a cada evento. El hacer una numeración ordenada facilita también la ubicación de una actividad, quedando determinada por dos números ya que, de otra forma, ubicarla por su descripción llevaría mayor tiempo. La numeración ordenada no sigue una lógica, sino que más bien se basa en la conveniencia, para facilitar su manejo cuando estamos trabajando manualmente, para lo cual se puede tener en cuenta la siguiente regla :

"Numerar los eventos de tal forma que el número de la cola de cualquier flecha sea menor del que va en la cabeza de la misma"

Para mostrar prácticamente la aplicación de los párrafos anteriores, se presenta la diagramación de un ejemplo sencillo y de pocas actividades. Se trata de una compañía que produce bienes de consumo y que necesita cambiar su línea de producción de un piso a otro del mismo edificio.

1.- Relación de las actividades necesarias para efectuar el cambio

- (a) Establecer la distribución del equipo en su nueva ubicación (A)

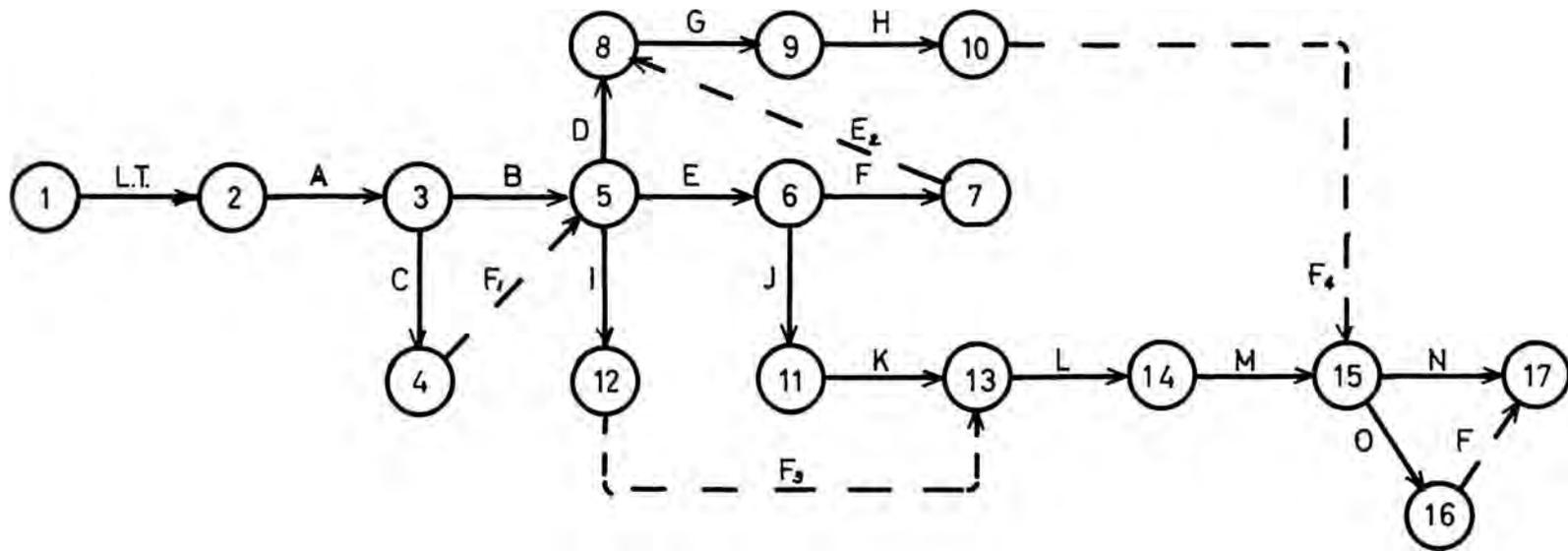
- (b) Elaborar órdenes de trabajo (C)
- (c) Desmontar primera parte de la línea (E)
- (d) Transportar primera parte de la línea (F)
- (e) Desmontar la segunda parte¹ de la línea (J)
- (f) Transportar la segunda parte de la línea (K)
- (g) Determinar las necesidades de personal y de herramientas (B)
- (h) Preparar la primera parte de las instalaciones (D)
- (i) Armar la primera parte de la línea (G)
- (j) (j) Probar el funcionamiento de la primera parte (H)
- (k) Preparar el resto de la instalación (X)
- (l) Armar la segunda parte del equipo (L)
- (m) Probar d. funcionamiento de la segunda parte (K)
- (n) Poner en producción la línea (N)
- (o) Limpiar el área de trabajo (O)

2. - Construcción de la tabla de frecuencias

Con el objeto de evitar congestión tanto en la tabla como en el diagrama, a cada actividad se le puede presentar por letras mayúsculas, tal como las que aparecen entre paréntesis en la relación de actividades.

3.- Construcción del diagrama y numeración

Según lo mencionado en el capítulo anterior, los eventos estarán representados por círculos y las actividades por flechas tal como aparecen en el gráfico N° 1.



GRAF CO N°1

8-a

VENTAJAS DE DIAGRAMAR UN PROYECTO

Las ventajas de un diagrama de flechas para crear in modelo de un proyecto son evidentes, siendo las principales que:

1. Es un modelo de trabajo que puede ser seguido por cualquiera después de una breve explicación. La creación del diagrama es mucho más compleja que su entendimiento,
2. Por medio del diagrama, todo el proyecto puede ser asimilado visual e inmediatamente.
3. Los problemas se pueden prever y resolver en el papel antes que ocurran.
4. La probabilidad de que nos olvidemos de alguna actividad componente, se reduce enormemente.
5. Se mejora la coordinación entre la realización del trabajo y la llegada de los suministros.
6. Se plantea el trabajo de acuerdo a lo que debe hacerse y no a lo que podría ser hecho.
7. Por cada evento, todo trabajo que sea prerrequisito de aquél será evidente,
8. - La preparación del diagrama de flechas requiere la cooperación de las personas que supervigilarán o realizarán el trabajo, con lo que se logra que el plan esté basado en sus opiniones y no en que se les imponga.

V CAPITULO

DETERMINACION DEL CAMINO CRÍTICO

La determinación del camino crítico de un proyecto servirá para conocer las actividades que, debido a su duración, deberán ser controladas para cumplir con el mismo. Esto crea la necesidad de encontrar el momento más próximo y el más lejano para iniciar una actividad, la diferencia entre estos tiempos es una medida de lo crítico de una actividad. A esta diferencia se le llama HOLGURA TOTAL, cantidad de tiempo durante la cual se puede iniciar una actividad, sin afectar la duración del proceso. Es una cantidad muy importante que debe determinarse en cualquier proceso de programación.

HOLGURA TOTAL $m T \max - T \min - D_{ij}$.

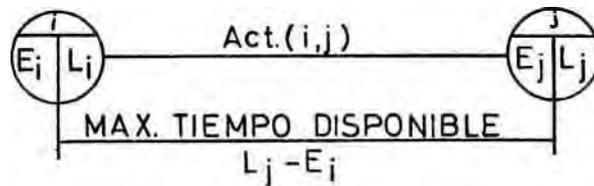
donde :

$T \max$ = al tiempo más lejano para iniciar una actividad.

$T \min$ = momento más próximo para iniciar una actividad

D_{ij} - duración de la actividad.

También se puede expresar de la siguiente manera:



$$H.T.(i,j) = L_j - E_i - D_{ij}$$

Por lo tanto la HOLGURA TOTAL es el exceso de tiempo disponible requerido para esa actividad.

Hay una regla que dice: "cualquier actividad que no tenga HOLGURA TOTAL, es crítica y la que sí la tenga no lo será".

Para determinar el momento más próximo de iniciar una actividad, es decir, el momento más próximo a la fecha

de iniciación del proyecto, se necesita lo siguiente

1. Fecha de iniciación del proyecto.
2. La relación de secuencia de todas las actividades del proyecto que se pueden iniciar con el comience del mismo.
3. La duración de cada una de las actividades del proyecto.

Analizando un poco los tres puntos anotados, se conseguirá más claridad sobre ellos:

1. La fecha de iniciación del proyecto no es necesario conocerla en el sentido de marcar en el calendario un día al mes para iniciar los trabajos. Es más conveniente trabajar con fechas relativas a la iniciación del proyecto que puede ser representada como el momento cero. Esto tiene dos ventajas :
 - (a) No se demora el proceso de planeación y programación en caso de no conocerse el día de inicio del proyecto.
 - (b) Es más conveniente trabajar con fechas relativas que con fechas de calendario.
2. Las relaciones de secuencia de todos los trabajos se determinan completamente por lógica y desplegadas para una rápida asimilación visual a través del diagrama de flechas.
3. La duración o medida del tiempo se estima de acuerdo al método de ejecución elegido.

Existen dos tipos más de holgura que son necesarios determinar para la comprensión de la red, la independiente y la libre.

Si hacemos un resumen hasta aquí, lo más importante a determinar es:

HOLGURA TOTAL: Exceso de tiempo, máximo, disponible sobre la duración.

$K.T, - L_j - E_i - \text{Duración}$

HOLGURA TOTAL LIBRE: Exceso de tiempo disponible sobre el necesario cuando los trabajos se inicien tan pronto como sea posible.

$K.L. = E_j - E_i - \text{Duración}$

HOLGURA INDEPENDIENTE: Al exceso de tiempo mínimo disponible sobre la duración del trabajo,

$K.I. - E_j - E_i - \text{Duración}$

Se aplicarán todas las reglas y definiciones al ejemplo del Capítulo anterior, a fin de encontrar el camino crítico correspondiente.

Los gráficos que siguen, nos servirán para mostrar las anotaciones que pueden hacerse en la red sin lugar a confusión. En el primer gráfico se representa las duraciones de cada actividad, con el número que aparece «obre la cabeza de la flecha y siempre del mismo lado.

En el segundo, se muestra la representación de los tiempos mínimos y máximos para la realización de los eventos y aparecen anotados dentro del mismo círculo que sirve para indicar el número del evento.

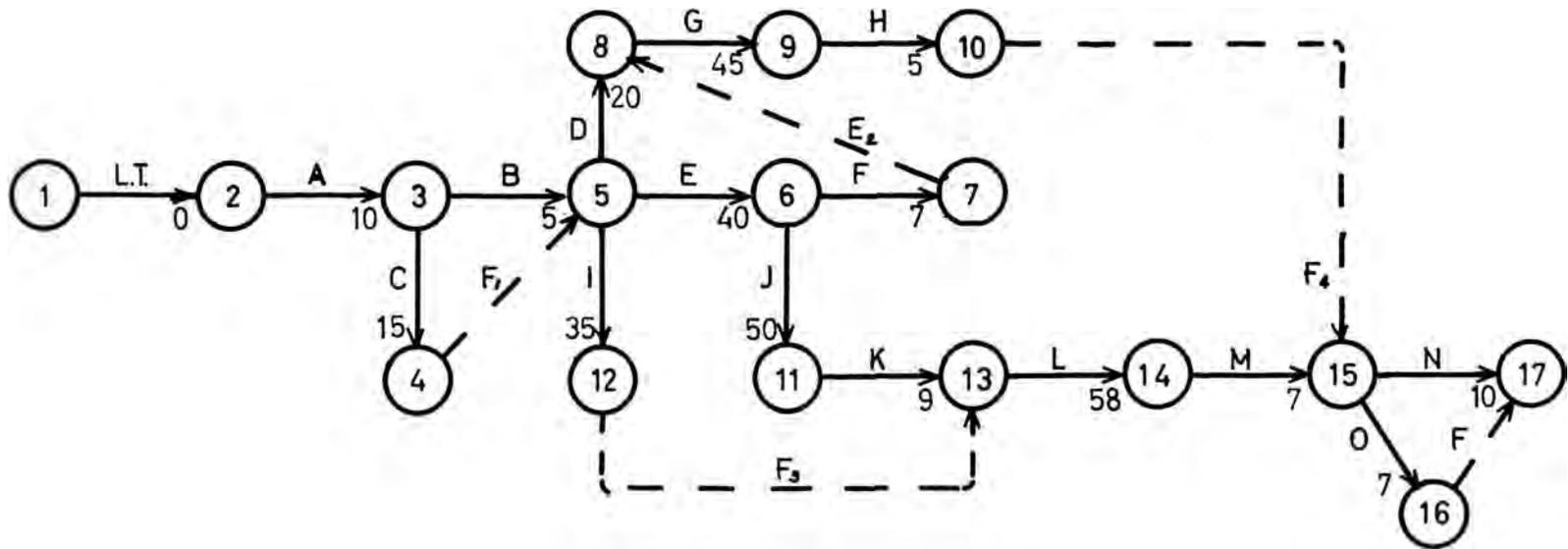


GRAFICO N° 2

La forma más adecuada para seguir los diferentes cálculos elementales es mediante la tabl.a que sigue :

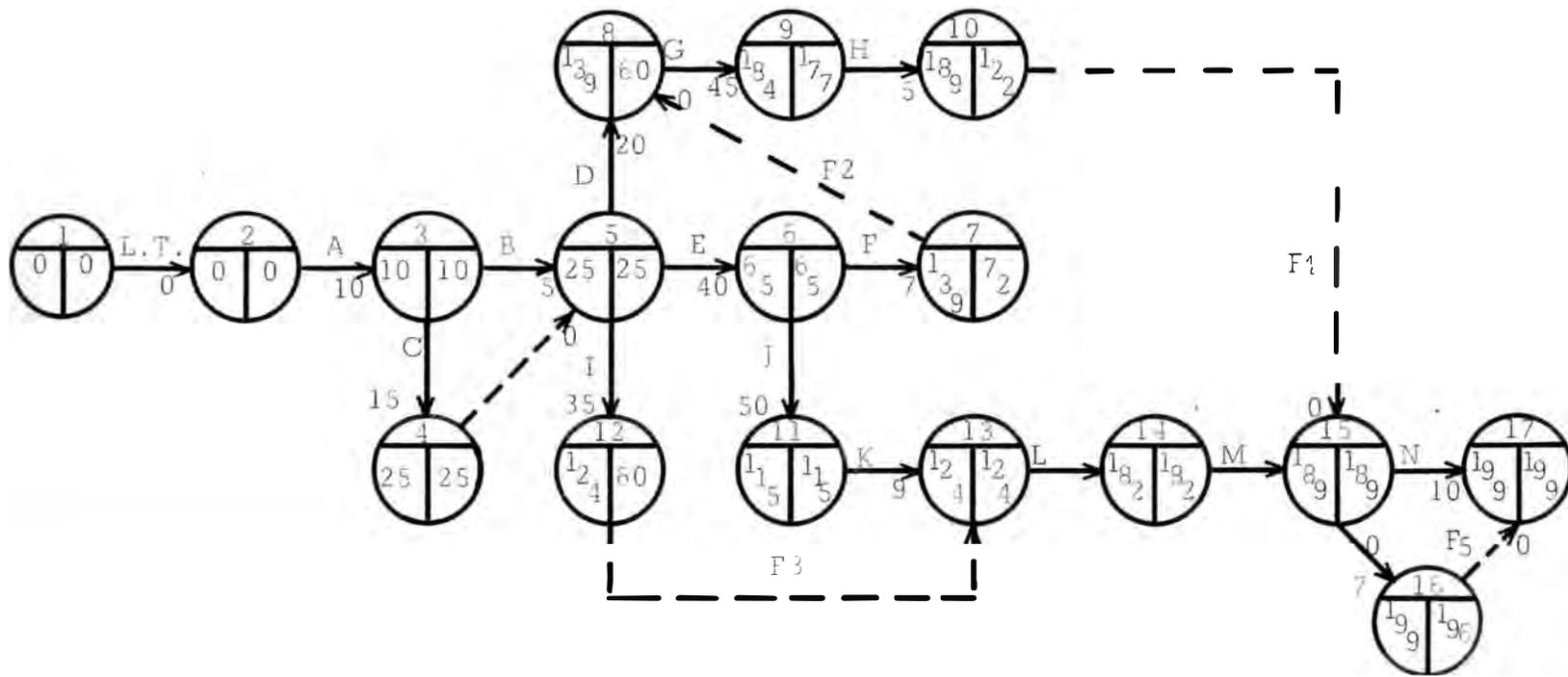
Act.	Evento Inf.		Ej		Li		L _d		Holguras	Tot.	
	Di.i	Tmin-i	Tini	ni	Tmax-	Tmaxi	X-				
A.	2	.Kj)	10	10	0	0	10	0	0	0	
B.	3	5	5	25	10	10	25	10	10	10	
C.	3	4	15	25	10	10	25	0	c	0	
D.	5	8	20	72	25	25	139	27	27	94	
E.	5	6	40	65	25	25	65	0	0	0	
F.	6	7	7	72	65	65	139	0	0	67	
G.	8	9	45	117	72	139	184	67	c	67	
H.	9	10	5	122	117	184	189	67	o	67	
I.	5	12	35	60	25	25	124	0	o	64	
J.	6	11	50	115	65	65	115	o	o	o	
K.	11	13	9	124	115	115	124	o	o	o	
L.	13	14	58	182	124	124	182	0	0	G	
		14	15	7	189	182	182	189	0	0	0
M.	15	17	10	199	189	189	199	0	0	0	
O.	15	16	7	196	189	189	199	0	0	0	
F1.	4	5	0	25	25	25	25	0	0	0	
F2	7	8	C	72	72	72	55	0	0	67	
F3:	12	13	0	124	60	124	124	0	64	64	
F4	1G	15	0	189	122	189	189	0	67	67	
F5		17	0	199	196	199	199	0	3	3	
	16		0					0			

EL - Ej - Li - Duración

EL = Ej - Ei - Duración

FI - Lj - Ei - Duración

Dij- duración de la actividad



GRAF O N°3

De acuerdo a lo dicho sobre las actividades que tienen holgura total igual a cero, son actividades críticas con este ejemplo el camino crítico formado por las actividades:

A, C, E, J, K, L, M,

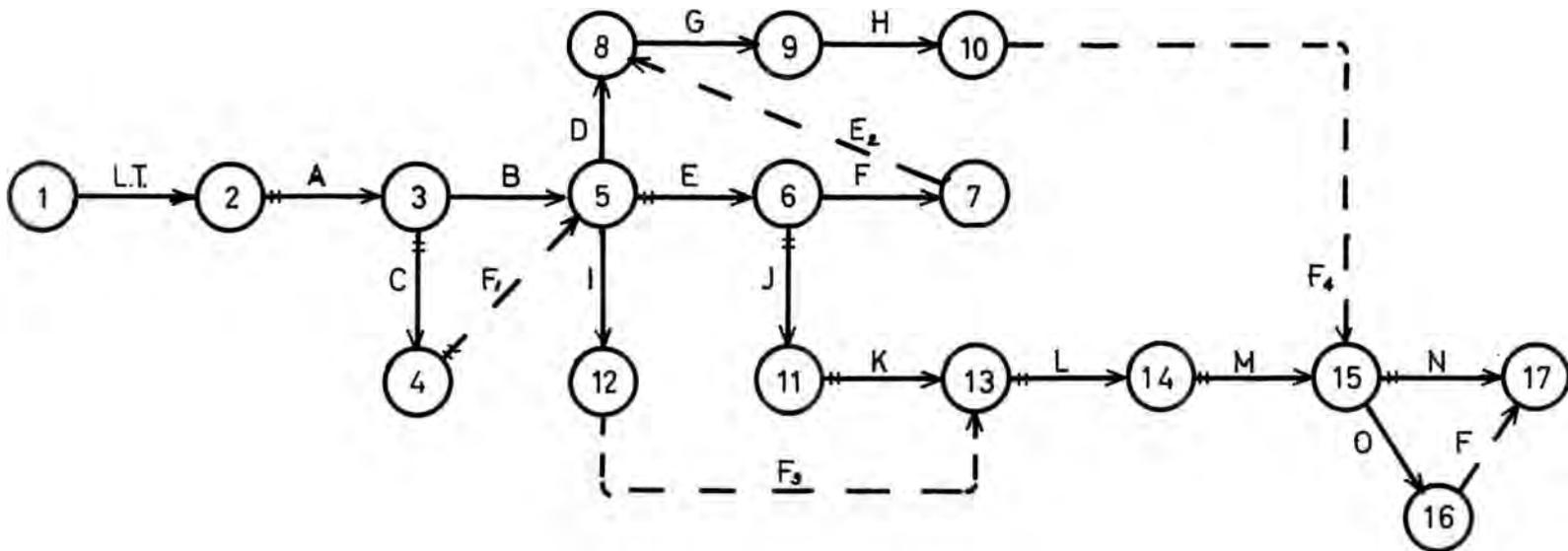


GRAFICO N°4

Las actividades    marcadas de esa forma son las del camino crítico.

VI CAPITULO

EL METODO PERT Y LA PLANEACION, PROGRAMACION Y CONTROL

Establecimiento y operación efectiva del PERT

Al planear la aplicación del PERT, los objetivos deseados deberán ser establecidos tan específicamente como sea posible, éstos deberán contestar las siguientes preguntas ;

- ¿Cuáles son los resultados que se esperan o desean obtener al usar el PERT?
- ¿Qué oficinas puedan dar información para el PERT?
- ¿Cuáles métodos, informes y procedimientos existentes pueden ser reemplazados?
- ¿Quién puede ser responsable de la operación del PERT y cuál su autoridad?
- ¿Cuál será el alcance de su aplicación en el programa total, en la elección de sub-áreas críticas, etc.?
- ¿Cuáles son las características de la realización del sistema en términos de tiempo requerido para realizar un ciclo de operación, costos de operación, etc.?

El paso inicial y más significativo en el establecimiento del PERT es la publicación de la política establecida por la dirección, la cual sirve para respaldar el uso y beneficio del PERT y oficialmente reconocerlo como una técnica autorizada para planear, programar y controlar. La experiencia muestra que también puede servir como incentivo.

Para traducir la política general en operaciones, se puede desarrollar procedimientos específicos para operar el PERT. La responsabilidad para desarrollar el procedimiento inicial se basa en un equipo de información. El procedimiento puede ser diseñado para acelerar la operación del PERT y deberá ser totalmente compatible con las necesidades de personal y la capacidad del proceso de operación de datos.

Algunas de las áreas donde se puede especificar los procedimientos son :

- Preparación y transmisión de la fecha de input.
- Distribución de la fecha de output ..

Organización y necesidades del personal.

La operación funcional de un sistema PERT deberá ser responsabilidad del staff desupervisión normal y personal dirigente. Los especialistas necesarios usualmente están disponibles dentro de la organización. La realización de funciones específicas puede ser asignada a individuos que pertenecen al grupo que opera el PERT. Los miembros de este grupo deberán conocer perfectamente el mecanismo del PERT, incluyendo el desarrollo de la red, su cálculo, análisis y aplicación.

La presencia de un pequeño grupo consejero especializado en PERT es necesaria para explicar y entrenar al personal de operación; este grupo recomienda procedimientos y usualmente dirige la ejecución de esfuerzo. Basado en la continuidad nos da una pauta para

- Enseñar el método a personal adicional.
- Mantenimiento de las redes (networks).
- Prepara datos de input.
- Analizar output.

Preparación de la organización de la dirección.

- Asistir a los Directores en la identificación de sus problemas y sugerir posibles soluciones basadas en los datos disponibles.

El grupo PERT podría reportar a la dirección colectiva, a un director de programa o a un director de operación si el esfuerzo está solamente dentro de los límites de una organización operacional. El grupo actúa como consejero, la línea de dirección tiene la responsabilidad de mejorar el PERT y la efectividad con la que se le usa.

El personal PERT Staff que participó en la mejora de operación del PERT tiene amplia diferencia de conocimientos. Las características principales deben ser :

Interés en planear el trabajo.

- Habilidad para tratar efectivamente con gente de todos los niveles.

Capacidad analítica.

Para grandes problemas por lo menos un miembro del PERT deberá estar familiarizado con las operaciones y procedimientos del procesado de datos. Tal persona puede sugerir buenos procedimientos y resolver las dificultades que puedan surgir si se usa computadora.

La tarea de preparar buenos diagramas o de trabajar con personal técnico en la preparación de los planes, requiere que la persona tenga gran conocimiento del trabajo a ser realizado y de la estructura de la organización. Las personas que hayan tenido relación con la organización y que sean calificadas técnicamente en algún área de la operación, son muy efectivas en la preparación del diagrama.

El personal que tiene experiencia y responsabilidad para realizar el trabajo es imprescindible para determinar los datos específicos del input, tal como los tiempos estimados para las actividades. Se necesita ayuda para pasar los datos a las hojas de trabajo.

El número de personas necesarias para armar y operar el PERT varía de organización a organización, dependiendo de la complejidad del programa, de la existencia de estructura organizativa, grado de detalle y grado de similitud entre el PERT y el procedimiento existente. Desde que muchas de las funciones o reemplazan o reducen los primeros procedimientos, el complemento del personal existente es a menudo innecesario.

La importancia del respaldo directriz al hacer trabajar el PERT no puede ser olvidado.

Standards de la Operación del PERT

La operación del PERT debe satisfacer a ciertos criterios fundamentales. Estos criterios son estable-

cidos relacionando las redes, datos estadísticos y análisis de outputs.

La descomposición de la estructura del trabajo y la red proporcionan :

- Un plan general completo, actual, aprobado, el cual en términos de actividades y eventos indica el proceso de obtención, paso por paso de los objetivos cualitativos y cuantitativos del programa.
- Un detalle de la división de la mano de obra, actual y proyectada, entre las organizaciones responsables, de una forma consistente respecto a los objetivos, planes y programas de la mayor autoridad.
- Una división de los objetivos del programa en actividades y eventos secuenciales y paralelos los cuales realmente programan, miden y gobiernan la dirección del trabajo por parte de los organismos responsables. La relación entre los objetivos soporte y el objetivo final del trabajo.
- Las actividades y eventos que han sido definidos por la autoridad competente.
- La estructura para un sistema de información dirigido, para uso del director del programa.
- Que sea construido de tal forma que coordine o intercale con programas de diferentes niveles de autoridad.
- Que sea usado sobre una base continua para una efectiva comunicación para integrar los objetivos y actividades de los varios directores del programa y otras organizaciones relacionadas.

Los datos estadísticos deben

- Ser derivados después de la definición del trabajo a ser hecho dentro de las actividades a ser realizadas. Deducir de una fuente aprobada cuál es la organización responsable.
- Indicar la fecha de terminación en términos de los eventos y actividades en la red.

- Mantener la totalidad de los datos a través del proceso, manualmente o por computadora, para producir informes analíticos.

Ser regularmente auditoriado y readaptado.

El análisis PERT del output debe :

- Hacer posible una evaluación continua del estado actual y proyectado del programa.

Hacer posible la preparación del programa de avance e informar los problemas a la dirección sobre una base cíclica.

- Ser usado regularmente por la dirección en el proceso de decisiones y en tomar la acción correctiva necesaria para asegurar la terminación, a tiempo, de los objetivos del programa.

Costo de establecerlo y operarlo

La pregunta más frecuente respecto al uso del PERT es sobre el costo de implementación y operación. La implementación y operación pueden inicialmente costar algo más que el sistema existente desde que PERT requiere más planeamiento y detalle. Los beneficios obtenidos podrían valer más que los costos de implementación y operación. En cada caso se puede hacer un estimado del costo real de implementación y operación del PERT para evaluar debidamente esos beneficios.

Condiciones para la planeación

- 1.- Tener personal con experiencia en la ejecución de procesos similares o con amplios conocimientos de cada una de las fases del proceso.
- 2.- Conocer los métodos mediante los cuales se puede realizar el proceso de acuerdo con los recursos humanos, económicos, equipo, etc. disponibles.
- 3.- Tener en cuenta el tiempo para el cual se exige sea entregada cada una de las fases del proceso y las condiciones climatéticas en que va a realizarse el mismo.

Condiciones para la programación

Teniendo en cuenta que la programación de un proceso consiste en la elaboración de tablas que muestren los tiempos de duración y los momentos de iniciación y terminación, es necesario tener en cuenta

- 1.- La duración del proceso.
- 2.- Costo y recursos requeridos para realizar cada actividad.
- 3.- Costo del proceso.
- 4.- Secuencia de las actividades.
- 5.- Posibilidad de cambiar la fecha de terminación sin demorar la duración del proceso.
- 6.- Distribución eficiente de los recursos mientras dure el proceso, para poder determinar la duración de cada actividad y escoger el momento en que se iniciará.

VII CAPITULO

Los programas complejos pueden manejarse más eficientemente sólo si los directores de un proyecto tienen una estructura común desde la cual planean y controlan el programa y los costos del trabajo necesario para alcanzar los objetivos. Los beneficios pueden incrementarse cuando PERT/COSTO es incluido como parte del sistema general de planeación y control.

Los directores de cada nivel necesitan técnicas para cada etapa del proyecto para

Definir el trabajo a ser realizado.

- Desarrollar costo estimados más reales, basados en los recursos planeados para efectuar el trabajo.
- Determinar dónde deben aplicarse los recursos para obtener menor tiempo, costo y alcanzar técnicamente los objetivos.
- Identificar las áreas donde hay sobrecosto para corregirlo.

Por ejemplo, los directores a cualquier nivel deben estar listos para determinar :

si el costo estimado actual para completar el proyecto se acerca al real.

- si el programa se está realizando de acuerdo al costo estimado y si no, la diferencia que existe.
- si las necesidades de mano de obra y otros recursos han sido planeadas para minimizar costo extras y el tiempo ocioso.
- cuánta mano de obra y otros recursos se pueden asignar a las actividades críticas para acelerarlas.
- cuánta mano de obra y recursos disponibles pueden ser mejor utilizados cambiando el programa de tareas.
- las consecuencias de las alternativas que pueden tomarse.

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA PERT-COSTO

PERT-COSTO utiliza el análisis de la estructura del trabajo y el diagrama de flechas o red, como la estructura común para planear el costo y programa del proyecto. En el sistema PERT se define primero el proyecto, luego se divide en las partes principales y, finalmente, se subdivide en las unidades de trabajo que se asignarán a la primera línea de supervisores. Estas unidades de trabajo en una red PERT condicional están representadas por actividades (una o más) para indentificar la interdependencia en el programa y la secuencia en la cual el trabajo puede ser realizado. Después que la red ha sido hecha y el programa del proyecto se ha establecido, el personal responsable de la operación y dirección desarrollará el costo estimado para cada unidad de trabajo, basándose en la mano de obra y otros recursos necesarios para la realización del proyecto. Estos estimados se hacen determinando, primero, la mano de obra, materiales y otros recursos necesarios para realizar cada unidad de trabajo. Los recursos estimados se convierten en dinero para determinar el costo directo de cada unidad de trabajo. Los costos indirectos se suman a la unidad de trabajo donde es posible, mediante proceso contable o si lo requiere el contrato. Todos los otros costos indirectos son prorrateados al final del proyecto, basados en costo indirecto total menos los costos indirectos ya acumulados o asignados.

No es necesario calcular por separado el costo estimado para cada actividad de una unidad de trabajo ya que resultaría un excesivo detalle y un vano esfuerzo contable.

El costo estimado para una unidad de trabajo es afectado por el tiempo necesario para realizarlo y el período del año durante el cual se ha programado que se realice. El estado del último programa es considerado en la preparación del costo estimado de las unidades de

trabajo y en planear la distribución de la mano de obra y otros recursos.

El personal de operación y dirección analiza los estimados para eliminar costos, mano de obras y pagos extras por materiales y servicios no necesarios.

Por ejemplo, la necesidad mensual de mano de obra es totalizada por especialistas y examinada para minimizar sobretiempos y sueldos innecesarios debidos a aumentos seguidos por despido de la mano de obra. Esta mano de obra fluctuante es eliminada reprogramando las actividades con holgura para períodos en los que no se necesita especialistas para las actividades críticas. Reprogramando las actividades con holgura, también se puede eliminar o reducir los pagos extras por materiales y servicios.

Se deben hacer comparaciones periódicas entre los costos reales y los estimados. Esto nos da la situación del costo del proyecto e identifica cualquier sobrecosto. El costo estimado para lo que falta del proyecto se determina para predecir sobrecostos e identificar dificultades en la realización de las actividades críticas y permitir a la dirección tomar la acción correctiva.

La estructura del Código Contable consiste de números, los cuales son usados para cargar y sumar el costo de un programa. A cada unidad de trabajo se le da un número al nivel más bajo de división y número resumen a cada artículo final de la división de la estructura básica del proyecto. Todos los costos se juntan o registran bajo el número de carga asignado a la unidad de trabajo y luego resumido para cada artículo final de la división de la estructura básica para que sea usado por los niveles más altos de la dirección.

El nivel de detalle al cual es deseable aplicar PERT-COSTO es materia de discusión y varía de proyecto a proyecto, de una parte del proyecto a otra y del estado de preparación propuesto al estado de ejecución del proyecto.

Para obtener un costo estimado más seguro es conveniente que desde la línea de supervisores responsables de la realización del trabajo, participen en la estimación del costo de la mano de obra y los demás recursos necesarios ya que el costo estimado nos servirá además como patrón de medida interna y para realizar el control.

INFORME PERT-COSTO

No es necesario que los datos que aparecen en ese reporte sean presentados en esa forma a los directores. Mejor dicho, los datos con estos informes y este sistema podrían ser presentados a la dirección en la forma más habitual posible para alcanzar una mayor ventaja de la experiencia de los directores.

Informes periódicos a la dirección le permiten a los directores anticipar los costos fuera de línea. También indican las áreas que requieren atención de la dirección.

El informe le da a cada director la siguiente información relativa a su área de responsabilidad :

- 1.- La variación del costo a la fecha (es una medida del rendimiento del costo) haciendo una comparación del costo planeado con el real del trabajo realizado.
- 2.- La proyección total de los costos, sobre o bajo absorbidos, el cual es obtenido comparando el costo estimado original (costo planeado) con el costo real más el costo estimado para completar el proyecto (último estimado realizado).
- 3.- La cantidad del plan no realizado, indicado por la diferencia entre la fecha programada para la terminación del proyecto y la fecha que en la actualidad esperamos terminarlo (fecha más temprana de terminación).
- 4.- Identificación de problemas, esto es identificación de aquellas áreas del proyecto donde la si-

tuación del tiempo y el costo requieren la atención de la dirección.

Los informes-resumen a la dirección son preparados por los directores de cada nivel o escalón de la estructura del proyecto. Cada uno de estos informes debe ser acompañado de un breve análisis escrito. Analizando el estado de un programa, el director responsable podrá examinar los informes para aquellos artículos terminados donde existen problemas. Entonces podría referirse al informe de más bajo nivel que sea necesario para aislar el problema.

Otro informe a la dirección es el del costo de trabajo, el cual demuestra al director

- (a) El costo planeado para realizar el trabajo;
- (b) El costo real a la fecha;
- (c) El valor del trabajo realizado a la fecha;
- (d) La proyección del costo para terminar el proyecto, basado en costo real a la fecha y el estimado para completar el trabajo aún no realizado.

Una comparación del costo real acumulado a la fecha y el trabajo realizado nos mostrará si el trabajo está siendo efectuado a un costo mayor o menor que el planeado.

El informe de costo probable y el informe del programa previsible muestran la tendencia de las proyecciones mensuales del tiempo y costo para completar el trabajo. Cada mes se hacen nuevas proyecciones y estas proyecciones nos dan nuevos ingresos para los informes anteriormente mencionados.

Relacionando la tendencia de estas proyecciones a las decisiones previas de la dirección, el director puede observar los efectos de estas decisiones sobre los costos y programas del proyecto.

Pued determinar en una base mensual si las acciones tomadas para controlar los programas y costos están produciendo los resultados deseados.

A través del uso de estos informes, un director está listo para determinar la situación de un proyecto e identificar el costo con área problema. Basado en su evolución un director podría realizar cualquiera de las siguientes acciones para minimizar el costo de un proyecto

- (1) Ajustar el programa de actividades con holgura para minimizar las necesidades de sobretiempo y sueldos adicionales.
- (2) Traspasar fondos de áreas donde sobren hacia áreas críticas.
- (3) Revisar los recursos planeados para cada unidad de trabajo, tratando de intercambiar entre las actividades críticas y las holgadas los recursos necesarios o incrementando o reduciendo los recursos planeados para las actividades.
- (4) Revisar la secuencia de la red empleando una mayor o menor cantidad de actividades concurrentes o modificando las especificaciones o métodos de efectuar el trabajo, con lo cual alteramos, suprimimos o añadimos actividades.

Desde el momento que las acciones que toma el director para corregir problemas a menudo involucran revisión de planes, programas y presupuestos, PERT-COSTO prevé el necesario reciclaje para intervalos regulares a través del curso de un programa.

Los principales informes PERT-COSTO para la dirección son:

- (a) Resumen para cada nivel de dirección, muestra la fecha real y la proyectada y el gasto de tiempo y costo de un proyecto.
- (b) Carga de la mano de obra, en el cual se hace una proyección de la mano de obra necesaria por nivel de especialización.
- (c) Distribución de la mano de obra, es una representación gráfica del anterior.

- (d) Costo del trabajo, mediante un gráfico comparamos los gastos reales y cambios de la fecha y el presupuesto de gastos con el estimado en el contrato realizado a la fecha.
- (e) Tendencia del costo. Indica la tendencia del costo a partir de los datos del informe mensual.
- (f) Tendencia del Proyecto. Indica la tendencia del estado del trabajo proyectado hasta la terminación basado en los datos el informe mensual.
- (g) Informe de las actividades principales. Es una forma de presentar la realización o cumplimiento de las principales actividades del proyecto.

EL PERT . Y LA REDUCCION DE LOS COSTOS DE OPEFACION

Para **mostrar** cómo esta técnica permite reducir principalmente los costos variables aún cuando el acortar el tiempo durante el cual se realiza una actividad generalmente es necesario asignarle mayor cantidad de recursos.

El ejemplo con el cual se **mostrará** la utilidad práctica del PERT sólo estará compuesto de dos actividades, las cuales han sido separadas de un diagrama completo pues podría traer confusión el analizar varias actividades al tener que efectuar un mayor número de combinaciones de diferente duración. Además si con sólo considerar dos actividades logramos reducir nuestro costo variable al determinar la combinación de duración más económica, esto nos dará una idea de la utilidad de esta técnica en proyectos de gran número de actividades.

Los datos necesarios para la realización de este trabajo aparecen en la tabla siguiente

La tabla que a continuación se presenta muestra las combinaciones que pueden hacerse con las duraciones desde la duración normal hasta la duración mínima, más allá de la cual es imposible reducirla; asimismo, nos

muestra la variación del costo indirecto y del costo directo. En cuanto al indirecto, por razones de simplificación lo consideraremos variando en línea recta en función del tiempo de duración y, finalmente, el costo total, en el cual podremos notar que lo más conveniente en este caso es acortar la duración de la actividad 2,3 hasta su límite y dejar normal la duración de la actividad 1,2

Actividad	Duración		Costo		Gasto
	Norm.	Lim.	Norm.	Lim.	
1,2	16	10	700	1000	50
2,3	8	4	400	500	25

Actividad		Costo directo	Costo indirecto (\$ 30/día)	Costo Total
1-2	2-3			
Duración				
16	8	1100	720	1820
16	7	1125	690	1815
16	6	1150	660	1810
16	5	1175	630	1805
16	4	1200	600	1800
15	4	1250	570	1820
14	4	1300	540	1840
13	4	1350	510	1860
12	4	1400	480	1880
11	4	1450	450	1900
10	4	1500	420	1920

Finalmente, los datos de la tabla anterior en forma de gráfico.

RELACION TIEMPO - COSTO

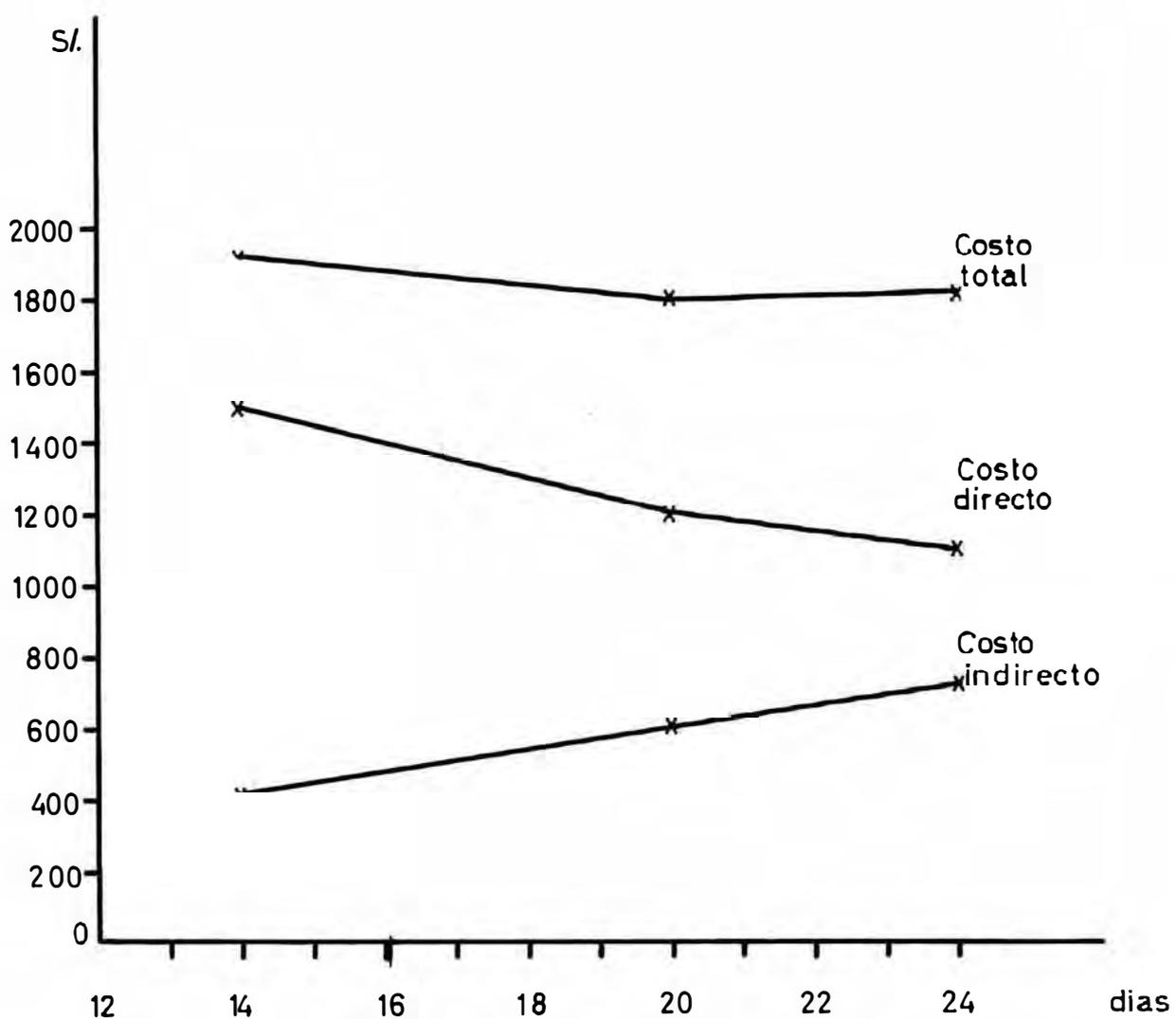


GRAFICO N° 5

VIII CAPITULO

UTILIZACION DEL CPM-PEIT

Se tratará de determinar cuál es la probabilidad de que se pueda instalar una planta de ciertas características en el plazo de 210 días.

Para su solución se seguirá las pautas dadas en los Capítulos IV y V, entonces lo primero a realizarse será la confección de la lista de actividades necesarias para tener montada la planta. En ella se tratará de que figuren actividades que tengan un mismo nivel de importancia, en este caso se considera necesario dividir el proyecto en 41 actividades; a continuación se procederá a construir la tabla de secuencia para facilitar la construcción del diagrama, seguirá luego la asignación de los tiempos de cada actividad para determinar, según el cuadro que se incluye en las páginas siguientes, las holguras y la variancia de cada actividad, las holguras necesarias para determinar el camino crítico y la variancia para calcular la probabilidad; se proseguirá con la construcción de los diagramas necesarios para indicar gráficamente los tiempos máximos y mínimos en que se puede iniciar alguna actividad y marcar las actividades componentes del camino crítico; finalmente, se calculará la probabilidad de tener la planta lista en la duración establecida.

Relación de Actividades.

- 1.- Planear la distribución del equipo.
- 2.- Elegir arquitecto.
- 3.- Redactar especificaciones para la construcción de la planta y ofrecerla a los contratistas.
- 4.- Elegir contratista.
- 5.- Elegir director general de la obra.
- 6.- Preparar el diagrama (network) de la construcción del edificio.
- 7.- Preparar los planos para la construcción del edificio.

- 8.- Elegir coordinadores y jefes de equipo, de producción, compras, facilidades para la construcción, relaciones públicas y personal.
- 9.- Establecer los programas que deberán ampliarse durante la erección.
- 10.- Pedir materiales para la construcción.
- 11.- Determinar la fecha en que debe iniciarse la construcción del edificio.
- 12.- Preparar el terreno y vacear los cimientos.
- 13.- Entrevistar a los vendedores de la localidad
- 14.- Preparar reglamento de circulación a seguirse mientras dure la construcción.
- 15.- Levantar columnas, paredes y vacear techo.
- 16.- Instalar sistemas: eléctrico, mecánico, clima artificial y contra incendio.
- 17.- Pavimentar pistas y áreas de parqueo, sembrar jardines.
- 18.- Terminar interiores y pintar.
- 19.- Retirar del interior de la planta el equipo auxiliar y los desperdicios una vez terminada la construcción.
- 20.- Marcar en el piso y etiquetar el equipo según su ubicación.
- 21.- Determinar la fecha en que debe pedirse la maquinaria.
- 22.- Programar el desembalaje de la maquinaria.
- 23.- Preparar la maquinaria para su instalación.
- 24.- Realizar la evaluación de puestos.
- 25.- Planear el reclutamiento de personal.
- 26.- Selección y contratación de personal.
- 27.- Escoger personal para instalar el equipo.
- 28.- Instalar el equipo.
- 29.- Probar los sistemas del edificio.
- 30.- Retirar equipo auxiliar usado en la instalación de la maquinaria y limpiar el área de trabajo.
- 31.- Chequear : iluminación, tomas de tierra, ubicación de los fusibles, potencia de salida, sistemas de control, etc.

- 32.- Establecer el programa de producción basados en la demanda.
- 33.- Determinar niveles de inventario de las materias primas y el de los artículos terminados.
- 34.- Preparar el programa de mantenimiento
- 35.- Preparar las instrucciones de rutina.
- 36.- Calibrar equipos de control mecánico y/o electrónico.
- 37.- Estudiar las facilidades de transporte.
- 38.- Programar a los proveedores de la maquinaria para que la instalen.
- 39.- Programar el entrenamiento y entonar al personal.
- 40.- Preparar programa de relaciones públicas.
- 41.- Probar flujo de la línea

Cálculo de las holguras y variancias

Las actividades componentes del camino crítico son
2-3, 3-4, 4-5, 5-7, 7-8, 8-12, 12-15, 15-16, 16-17
17-18, 18-20, 20-21, 21-24, 24-30, 30-31, 31-40 y
40-42

El cuadro siguiente muestra los cálculos seguidos para la determinación del camino crítico

Act.	t_e	E_1	L_j	L_i	L_j	H. I	H. L	H. T	a	m	b	
1-2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
2-4	4.2	0.0	5.3	0.0	5.3	1.1	0.0	1.1	2	4	7	0.97
2-3	5.3	0.0	5.3	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	3	5	9	1.00
4-5	14.5	5.3	19.8	5.3	19.8	0.0	0.0	0.0	7	15	20	4.69
5-7	10.0	19.8	29.8	19.8	29.8	0.0	0.0	0.0	5	10	15	2.77
7-8	5.5	29.8	35.3	29.8	35.3	0.0	0.0	0.0	3	5	10	1.36
8-12	10.0	35.3	45.3	35.3	45.3	0.0	0.0	0.0	5	10	15	2.77
12-13	3.0	45.3	48.3	45.3	72.0	0.0	0.0	23.7	1	3	5	0.44
12-15	26.7	45.3	72.0	45.3	72.0	0.0	0.0	0.0	15	25	45	25.00
15-16	10.5	72.0	82.5	72.0	82.5	0.0	0.0	0.0	3	10	20	8.02
16-17	25.8	82.5	108.3	82.5	108.3	0.0	0.0	0.0	15	25	40	17.36
17-18	27.5	108.3	135.8	108.3	135.8	0.0	0.0	0.0	15	25	50	34.02
18-19	12.8	135.8	148.6	135.8	154.6	0.0	0.0	6.0	12	19	25	4.69
18-20	18.3	135.8	154.6	135.8	154.6	0.0	0.0	0.0	9	12	20	3.36
20-21	5.3	154.6	159.9	154.6	159.9	0.0	0.0	0.0	2	5	10	1.77
21-24	5.0	159.9	164.9	159.9	164.9	0.0	0.0	0.0	2	5	8	1.00
21-25	5.3	159.9	165.2	159.9	174.9	0.0	0.0	9.7	2	5	10	1.77
24-30	10.0	164.9	174.9	164.9	174.9	0.0	0.0	0.0	5	10	15	2.77
30-31	35.0	174.9	209.9	174.9	209.9	0.0	0.0	0.0	20	30	70	69.44

31-32	5.0	209.9	214.9	209.9	216.9	0.0	0.0	2.0	2	5	3	1.00
31-40	7.0	209.9	216.9	209.9	216.9	0.0	0.0	0.0	3	6	15	4.00
31-33	6.2	209.9	216.1	209.9	216.9	0.0	0.0	0.8	3	6	10	1.36
40-42	2.0	216.9	218.9	216.9	218.9	0.0	0.0	0.0	1	2	3	0.11
4-6	6.3	5.3	11.6	5.3	22.8	0.0	0.0	11.2	4	6	10	1.00
6-9	7.2	11.6	18.8	22.8	30.0	-11.2	0.0	18.2	5	7	10	0.69
9-10	10.0	18.8	26.8	30.0	40.0	-11.2	0.0	11.2	5	10	15	2.77
10-11	5.3	28.8	34.1	40.0	45.3	-11.2	0.0	11.2	2	5	10	1.77
10-14	3.0	23.8	31.8	40.0	72.0	-11.2	0.0	40.2	1	3	5	0.44
10-22	3.2	23.8	52.0	40.0	161.9	-11.2	0.0	129.9	2	3	5	0.25
22-23	3.0	32.0	35.0	161.9	164.9	-129.9	0.0	129.9	1	3	5	0.44
10-34	10.8	28.8	39.6	40.0	194.9	-11.2	0.0	155.3	5	10	20	6.25
34-35	5.3	39.6	44.9	194.9	200.2	-155.3	0.0	155.3	2	5	10	1.77
35-36	4.0	44.9	49.9	200.2	209.2	-155.3	0.0	160.3	2	4	6	0.44
35-37	4.7	44.9	49.6	200.2	214.9	-155.3	0.0	165.3	2	4	10	1.77
37-38	12.0	49.6	61.6	214.9	216.9	-165.3	0.0	155.3	6	12	18	4.00

36-39	7.7	48.6	61.6	209.2	216.9	-155.3	5.0	160.3	3	7	15	4.00
10-41	10.0	28.8	38.8	40.0	218.9	- 11.2	0.0	130.1	5	10	15	2.77
10-26	16.3	23.3	45.1	40.0	196.5	- 11.2	0.0	151.4	3	15	30	13.40
26-27	7.2	45.1	52.3	196.5	203.7	-151.4	- 9.1	151.4	3	7	12	2.25
27-28	9.2	52.3	61.5	203.7	212.9	-151.4	2.0	151.4	5	8	10	0.69
28-29	4.0	61.5	65.5	212.9	216.9	-151.4	- 4.5	151.4	2	4	6	0.44
29-40	20.0	65.5	216.9	216.9	216.9	- 20.0	147.4	131.4	10	20	30	11.11
3-4	0.0	5.3	5.3	5.3	5.3	0.0	-20.0	0.0	0	0	0	0
6-7	0.0	11.6	29.8	22.8	29.8	7.0	18.2	18.2	0	0	0	0
11-12	0.0	34.1	45.3	45.3	45.3	0.0	11.2	11.2	0	0	0	0
13-15	0.0	48.3	72.0	72.0	72.0	0.0	21.7	23.7	0	0	0	0
14-15	0.0	31.8	72.0	72.0	72.0	0.0	40.2	40.2	0	0	0	0
19-20	0.0	148.6	154.6	154.6	154.6	0.0	6.0	6.0	0	0	0	0
23-24	0.0	35.0	164.9	164.9	164.9	0.0	129.9	129.9	0	0	0	0
25-30	0.0	164.2	174.9	174.9	174.9	0.0	10.7	10.7	0	0	0	0
29-30	0.0	65.5	174.9	216.9	174.9	- 42.0	109.4	109.4	0	0	0	0
39-40	0.0	61.6	216.9	216.9	216.9	0.0	155.3	155.3	0	0	0	0
41-42	0.0	38.8	218.9	218.9	218.9	0.0	180.1	180.1	0	0	0	0
32-40	0.0	214.9	216.9	216.9	216.9	0.0	2.0	2.0	0	0	0	0
33-40	0.0	216.1	216.9	216.9	216.9	0.0	0.8	0.8	0	0	0	0

Cálculo de la probabilidad

Supóngase que los t_e sigan la distribución normal, la función standarizada, z , se determinará mediante la siguiente fórmula

$$z = \frac{t_c - t_{\min}}{\sqrt{\sum \sigma_c^2}}$$

donde

t_e = duración impuesta por un contrato,

t_{\min} = duración mínima obtenida al determinar la duración del proyecto a lo largo del camino crítico.

$\sum \sigma_c^2$ = variancias de las actividades que forman el camino crítico

Ahora la σ_c^2 se calcula mediante la siguiente fórmula

$$\sigma_c^2 = \left(\frac{b-a}{6} \right)^2$$

donde

b = duración pesimista

a = duración optimista

aplicando en nuestro caso

$$t_c = 210$$

$$t_{\min} = 218.9$$

$$\sum \sigma_c^2 = 179.44$$

$$z = \frac{210 - 218.9}{\sqrt{179.44}} = \frac{218.9 - 210}{13.4}$$

$$z = \frac{8.9}{13.4} = 0.66$$

para $Z = 0.66$ la probabilidad es de 0.74537, pero como hemos aprovechado la simetría de la distribución normal, la probabilidad que buscamos será el complemento de la que se ha hallado

$$\text{Prob.} = 1 - 0.74537 = 0.25463$$

lo que es equivalente a decir que tenemos un 25% de posibilidad de terminar el proyecto en 210 días.

Esta probabilidad tan baja indica que ha de ponerse especial atención a las actividades del camino crítico para acortar su duración, pero sin elevar el costo de realización.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Program Evaluation Review Technique and Critical Path Method pero David M. Stires and Maurice M. Murphy.
- 2.- A Programmed Introduction to PERT - por Federal Electric Corp.
- 3.- An Introduction to PERT-CPM, por Baker and Eris.
- 4.- Project Management and Control, por R. L. Martino.
- 5.- Project Managment with CPM and PERT, por Moder and Philips.
- 6.- Aplicaciones en Ingeniería de Métodos Modernos de Planeación, Programación y Control de Procesos Productivos, por Rodríguez caballero.
- 7.- Técnicas de la Ingeniería Industrial Aplicadas a la Ingeniería Química, por el Ingeniero Gonzalo Mitre.
- 8.- Chemical Engineering Nov. 196- - Critical Path Saves Time and Money, por R. C. Steinfeld.
- 9.- Factory - Mar 1964.
Network Management Technique
- 10.- A Non Computer Approach to the CPM for the Construction Industry por John W. Fondahl.
- 11.- Operations Planning and Control, por Dooley, McGarrah, McKenney, Rose Bloom, Skinner, Thorston.
- 12.- PERT - Un nuevo Instrumento de Planificación y Control, por Gabriel N. Stilian y Colaboradores.
- 13.- Project Engineering, por Víctor G. Hajek