

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y DE ADMINISTRACION

INSTITUTO DE ECONOMIA, ADMINISTRACION
Y CONTABILIDAD DE HACIENDAS PRIVADAS



CUADERNO N° 23

**PERT: Una Técnica Sencilla
para Administrar Proyectos Complejos.
Su Aplicación a un Caso Real.**

GUIDO SERRANO
J. C. GAYO APOLO

Apartado de la Revista N° 25 de la
Facultad de Ciencias Económicas y
de Administración.

MONTEVIDEO
URUGUAY
1965

PERT: Una Técnica Sencilla para Administrar Proyectos Complejos. Su Aplicación a un Caso Real

INTRODUCCION.

EL PROYECTO DE REMODELACION DE LA PLANTA DE LUBRICANTES DE ANCAP Y SU TRATAMIENTO POR PERT.

↳ **EL PROYECTO.**

↳ **EL GRAFICO GANTT.**

↳ **LA MALLA O MODELO PERT.**

La Fase de Planeamiento.
La Fase de Programación.

- a) Programación con un tiempo único.
- b) Programación probabilística.

↳ **LA DETERMINACION DEL CAMINO CRITICO.**

Los Momentos de un Nodo.
a) El Momento Temprano.
b) El Momento Tardío

Las Holguras de las Actividades.
El Camino Crítico.

LAS FASES POSTERIORES.

La Revisión del Plan.
Reprogramación y Control.

PRO Y CONTRA DEL PERT COMO TECNICA.

EVALUACION DEL PERT COMO TECNICA DE ADMINISTRACION EN NUESTRO MEDIO.

LA FUNCION PLANIFICACION EN LA EMPRESA NACIONAL.

POSIBLES REPERCUSIONES DEL PERT EN LAS PRACTICAS ADMINISTRATIVAS DE LAS EMPRESAS.

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

La función de planificación podría haberse considerado hasta hace poco un pariente pobre en la familia de las técnicas de Administración de Empresas. Desde Taylor y Fayol han habido progresos notables en personal, finanzas, estudios de mercados, etc. La planificación, en cambio, había ido muy poco más allá de la carta Gantt. Pero en los últimos cinco años, con la aparición en EE. UU. de la técnica PERT y sus derivados, aquel panorama está cambiando y un número cada vez más importante de trabajos, que antes no encuadraban en las formas convencionales de planificación, quedan hoy comprendidos dentro de las posibilidades de la nueva técnica.

El PERT (Program Evaluation Review Technique), que aún no tiene una denominación comúnmente aceptada en castellano, es un producto original de ciertos planes militares de la era espacial y de la necesidad de administrar mejor situaciones cada día más complejas; pero es también una técnica especialmente promisoría para cualquier país donde los empresarios sientan el desafío del progreso.

El presente artículo ilustra las líneas generales del PERT, aplicado a una situación real del Departamento de Combustibles de ANCAP, cuya colaboración fuera solicitada por la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración para concretar algunas experiencias de Investigación Operacional y tratar de evaluar nuevas posibilidades de su aplicación en nuestro medio.

El PERT es básicamente, una técnica de planeamiento, programación y control, para trabajos complejos y de carácter no repetitivo.

Toda empresa que aspire a algo más que sobrevivir, está siempre encarando nuevos proyectos y pensando en la mejor manera de realizarlos. Y en torno a esos proyectos —en cualesquiera de aquellas tres frases de planificación, programación y control— se plantean normalmente interrogantes de importancia, como por ejemplo:

¿Cuál es la mejor manera de encarar el trabajo?

¿En qué plazo podremos terminarlo?

¿Está saliendo el proyecto conforme a las especificaciones?

¿Se han producido atrasos?

¿Qué podemos hacer para recuperar el tiempo perdido?, etc.

En la medida en que el proyecto es más complejo, estas interrogantes son naturalmente más difíciles de contestar, y en situaciones de plazo fijo de terminación o de gran insumo de recursos, ellas pueden tornarse críticas para la empresa.

El PERT proporciona una respuesta a esas preguntas y a muchas otras similares, sobre la base de un modelo de simulación de las actividades a desarrollar y de la relación tiempo-costos de esas actividades.

Por último, de lo dicho anteriormente se desprende que para que un proyecto pueda ser objeto de esta técnica, se requieren ciertas condiciones preliminares que en síntesis serían:

- a) un grado de complejidad que justifique el esfuerzo;
- b) la posibilidad de identificar claramente los trabajos de que consta el proyecto; y
- c) cierta información —convenientemente ordenada— acerca de recursos disponibles, costos y tiempos.

Pasemos a explicar la utilización de la técnica en un proyecto que cumplía estas condiciones preliminares, y que servirá de ejemplo en nuestra exposición de los fundamentos del PERT.



EL PROYECTO DE REMODELACION DE LA PLANTA DE LUBRICANTES DE ANCAP Y SU TRATAMIENTO POR PERT

EL PROYECTO

La Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP), es una empresa estatal que tiene entre otros cometidos, el de la importación, refinación y comercialización de petróleo crudo y sus derivados.

Uno de los proyectos abordados a comienzos de 1965 por la Sub-División Obras Nuevas de su Depto. de Combustibles, era el de la remodelación de la planta mezcladora de lubricantes, en su refinería de La Teja en Montevideo.

En una primera aproximación, podemos decir que el proyecto consistía en aumentar la capacidad de la planta y en transformar su sistema de alimentación. Desde la creación de la planta, ANCAP importaba los lubricantes básicos envasados en tambores, los que se descargaban en el muelle y se transportaban hasta la planta mezcladora, distante unos 500 metros. El proyecto consideraba la instalación de un sistema de cañerías que permitiera alimentar la planta con lubricantes importados a granel y la adición de diversos equipos de mezclado y depósito que casi cuadruplicaban la capacidad instalada de la planta. La mayor parte de los planos de construcción se encontraban terminados en enero de 1965.

El proyecto, aunque sencillo en sí mismo, implicaba algunas reformas estructurales en el local, varios traslados de instalaciones y equipos existentes, y el montaje de muchos equipos nuevos. Por otro lado, la ejecución de la obra se veía condicionada a no interrumpir el funcionamiento de la planta por un período demasiado prolongado y a no interferir en exceso con las actividades normales de la Refinería.

Por último, era previsible la necesidad de una estrecha coordinación con las reparticiones encargadas de adquirir los nuevos equipos, con el Depósito de Materiales, con los Talleres —que proveerían los trabajadores de las distintas especialidades—, con los inspectores y con los técnicos proyectistas.

EL GRAFICO GANTT

Bajo las técnicas convencionales de planificación, muchos proyectos simples pueden programarse razonablemente bien con ayuda de un gráfico de barras o carta Gantt. Para confeccionar dicha carta es necesario conocer la lista completa de las operaciones del proyecto, su secuencia, y el tiempo que se estima demandará cada una. La carta Gantt facilita entonces un medio para seguir la marcha del trabajo, y reajustar recursos, tiempos y secuencias, de acuerdo a lo que va ocurriendo en la práctica.

Pero cuando el proyecto se hace más complejo o cuando interesa resolver interrogantes como las que veíamos en la introducción, la utilidad de la carta Gantt es limitada. Las inter-relaciones entre las tareas más o menos elementales no aparecen muy claras en el gráfico de barras. Tampoco se aprecian a simple vista cuáles de entre todas aquellas tareas tienen influencia decisiva sobre los tiempos del programa y cualquier evaluación sobre las alternativas en la marcha del proyecto, se hace dificultosa.

LA MALLA O MODELO PERT

Al igual que el gráfico de barras, la malla PERT supone la definición de las operaciones y secuencias del proyecto, y la estimación de su tiempo. Pero siguiendo una tendencia de la Investigación Operacional, el PERT se propone que su representación gráfica constituya un verdadero modelo del trabajo a realizar, es decir, una representación de la realidad que facilite un estudio dinámico de la interacción de todos los elementos que intervienen en el proyecto.

Antes de comentar ese modelo, es conveniente precisar algunos términos de él.

Distinguiremos en primer lugar, entre "actividades" y "eventos".

Una actividad será para nosotros, una operación perfectamente identificable dentro del trabajo total que el proyecto requiere, y que puede medirse en términos de tiempo insumible en su ejecución. En algunos casos, las actividades pueden representar simples "esperas", más o menos pasivas.

Un evento, será el término o el inicio de una o varias actividades, asociado a un instante determinado del total del tiempo que demanda el proyecto.

Gráficamente los eventos se representan por nodos o pequeños círculos, y las actividades que nacen o terminan en ellos, por flechas. Cuando nodos y flechas se ordenan en un gráfico según la secuencia del proyecto, resulta un diagrama semejante a una malla (figura 1), que constituye la estructura formal del modelo al que hemos hecho referencia.

La sola construcción de la malla pone de relieve una primera e importante diferencia entre el modelo PERT y la carta de Gantt. Esta diferencia viene dada por la nítida separación que el modelo PERT hace, entre las fases de planeamiento y programación del trabajo. En este sentido entendemos por "plan", el ordenamiento de las actividades según una secuencia lógica; y por "programa", el resultado de asignar a cada actividad un tiempo o duración, en función de los recursos disponibles. La carta Gantt implica necesaria y simultáneamente un plan y un programa. Al programa lo muestra claramente; pero no así al plan.

El modelo de malla, en cambio, permite presentar primero un plan (figura 1) y después programarlo en forma independiente. Analizaremos cada una de esas fases separadamente.

La fase de Planeamiento

La primera providencia para formular un plan, es la de subdividir convenientemente el trabajo total que demanda el proyecto. En el caso de la planta de lubricantes, esa subdivisión significó distinguir 78 actividades (Ver Tabla 1).

Establecida la lista de actividades, han de investigarse las secuencias o encadenamientos lógicos entre todas ellas, para efectuar su representación gráfica en una malla. Normalmente (recuérdese que el PERT se aplica sobre todo a trabajos no repetitivos), no se dispone de una secuencia standard, y tanto la subdivisión del trabajo en tareas simples, como la determinación de sus secuencias, son típicos cometidos de equipo. Esta misma característica hace que, en la práctica, la división en lista de actividades y diseño de la malla resulte bastante arbitraria. En efecto, el diseño de la malla facilita el análisis del proyecto y la redefinición de actividades y viceversa. Esta interacción es precisamente uno de los buenos aportes del modelo.

REMODELACION DE LA PLANTA DE LUBRICANTES**LISTA DE ACTIVIDADES**

1 — Construcción de soportes para tanques usados	1- 7
2 — Preparación de líneas de entrepiso nuevo a agitadoras ..	1- 16
3 — Desapuntalado y desencofrado de entrepiso	1- 25
4 — Reparación de tanques usados	1- 4
5 — Rampa y abertura de entrepisos, y escalera	25- 31
6 — Preparación de líneas de acceso a la planta	1-105
7 — Colocación de 2 medidores	1- 93
8 — Adquisición de 1 tanque medidor de 10.000 lts.	1- 84
9 — Preparación de soportes tipo 1 para líneas de acceso	1- 99
10 — Construcción de parrilla y demás elementos para el tanque medidor	1- 83
11 — Construcción de elementos de anclaje para 11 tanques ..	1- 10
12 — Preparación de soportes tipo 2 para líneas de acceso	1-102
13 — Traslado a planta de 5 tanques nuevos	1- 13
14 — Orificios en paredes para tendido de líneas acceso	96- 99
15 — Colocación de soportes tipo 1	99-105
16 — Traslado a planta de 6 tanques usados	7- 13
17 — Montaje de 11 tanques "A" en entrepiso nuevo	13- 15
18 — Orificios en pilares para tendido líneas de acceso	96-102
19 — Tendido de líneas de entrepiso nuevo a envasadoras	19- 22
20 — Replanteo de ubicación soportes para líneas acceso	1- 96
21 — Colocación de soportes tipo 2	102-105
22 — Tendido de líneas de acceso a la planta	105-108
23 — Vaciado, limpieza y desmontaje de 11 tanques "B"	31- 33
24 — Reparación, traslado y montaje de 11 tanques "B"	33- 36
.....	
74 — Montaje de un tanque medidor	84- 87
75 — Conexiones de 11 tanques "B" en entrepiso	36-162
76 — Conexión del tanque medidor a líneas de acceso	114-162
77 — Líneas de vapor entre tanque medidor y agitadoras	90-162
78 — Prueba	162-

NOTA: Los números del margen derecho identifican los nodos posteriormente adjudicados a cada actividad, en la malla de fig. 1.

Dentro de este marco de acción una buena regla práctica para determinar las secuencias es la de escoger un trabajo cualquiera de la lista y preguntarse:

¿Qué actividades vienen inmediatamente antes?

¿Cuáles inmediatamente después?

¿Cuáles simultáneamente?

Estas preguntas, aplicadas reiteradamente y teniendo en vista la conveniencia de la Empresa, suelen ser suficientes para situar cada actividad con respecto a las demás y para construir un gráfico, con flechas orientadas de izquierda a derecha, que refleja la secuencia de las actividades. Los eventos quedan a su vez representados por nodos de unión convenientemente numerados (Figura 1).^{*} Si el diagrama es correcto no podrá presentarse nunca una cadena de flechas en la que su cabeza y su cola se unan formando un ciclo, pues esto representaría una ambigüedad lógicamente inaceptable.

En muchos casos, para facilitar las posteriores etapas de cálculo y preservar la lógica del diagrama, se necesitará introducir ciertas actividades virtuales o ficticias con duración nula. En la figura 1 aparecen algunas de estas actividades representadas por flechas punteadas. Por ejemplo: la actividad 33-84 (virtual), vincula la finalización del desmontaje de once tanques de depósito (actividad 31-33), con el comienzo del montaje de un tanque medidor (actividad 84-87). Y eso, sencillamente porque el tanque medidor se instalará donde actualmente están ubicados los once tanques de depósito.

La fase de programación

Obtenida la malla, es necesario asignar los recursos disponibles a las distintas actividades del proyecto, y estimar la duración de las mismas, dada aquella asignación de recursos. Este proceso constituye la fase de programación.

La correcta estimación de la duración de las tareas es uno de los puntos centrales del PERT y como tal ha recibido mucha atención de parte de los usuarios del método. Vamos a referirnos aquí a dos de los procedimientos de programación más usados: el de un tiempo único o "normal", que fue el empleado en el caso de la planta de lubricantes, y el probabilístico o de tres estimaciones.

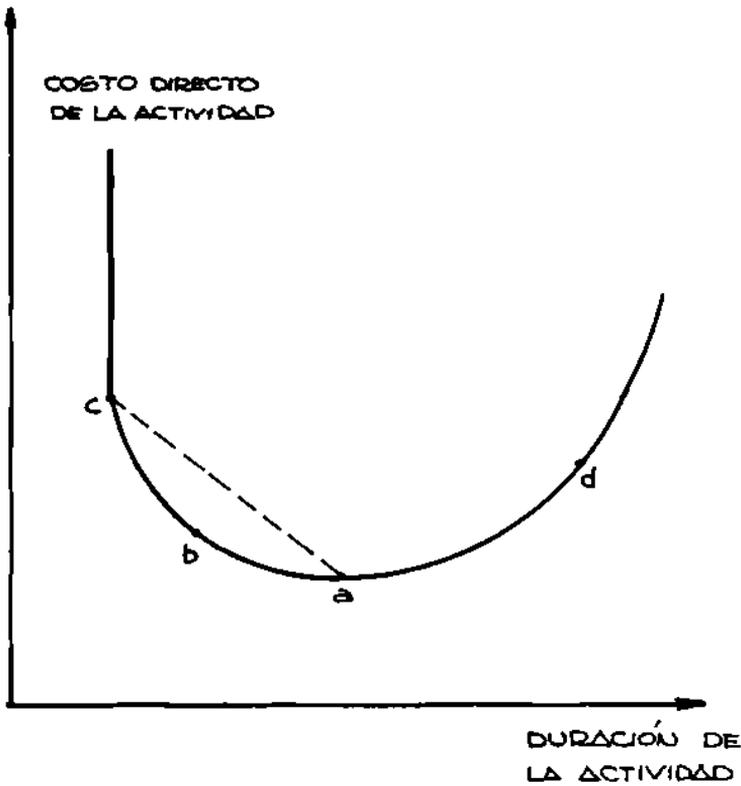
a) *Programación con un tiempo único.* Por este procedimiento se trata de estimar la duración de cada actividad, en base a la experiencia acumulada por las personas de la organización más familiarizadas con el tipo de tareas de que se trate, y a los standars de rendimiento de los recursos.

(*) Tanto la malla expuesta en figura 1 como en las figuras que siguen, son solo aspectos parciales de la malla total. Esta última era de muy difícil reproducción en este artículo.

La estimación de este tiempo único adquiere especial sentido cuando se asocia a la cuantía de recursos cuyo uso es más eficiente para la Empresa. Siempre habrá en efecto un nivel de recursos que hace mínimo el costo directo de la tarea. Al mismo se le denomina comúnmente nivel "normal", y en la figura 2 se le ha identificado con la letra "a". Si aumentamos los recursos asignados a la actividad hasta un nivel "b" ($b > a$) ella se efectuará más rápidamente pero a un costo mayor. Si seguimos aumentando los recursos llegaremos a un cierto nivel "c" ($c > b > a$), a partir del cual los sucesivos aumentos de recursos sólo acrecerán los costos, sin disminuir significativamente la duración de la tarea. A este punto "c" se le llama comúnmente *punto de rotura*.

Si por el contrario, asignáramos una cuantía de recursos "d", menor a la que corresponde al punto "normal" ($d > a$), el costo y la duración de la tarea aumentarán conjuntamente a partir de aquel punto. En la práctica, las dificultades, para obtener los datos que permiten trazar la curva de la figura 2, se salvan trabajando con una aproximación rectilínea "c-a". Para esta aproximación, es necesario conocer los niveles de recursos correspondientes a los puntos normal y de rotura y las duraciones y costos asociados, alrededor de los cuales hay generalmente una buena idea. Cada actividad tendrá entonces una recta c-a de distinta pendiente, lo que equivale a decir que en cada una de ellas será distinto el costo de aceleración por unidad de tiempo.

RELACION TIEMPO-COSTO PARA UNA ACTIVIDAD



a, b, c, y d: niveles de recursos asignados
a la actividad: donde
 $c > b > a > d$

La consideración simultánea de esos costos directos, de la pendiente de modificación de costos de cada actividad, de los costos indirectos del programa (siempre crecientes con su duración), y de los beneficios perdidos por la demora en la conclusión del proyecto, permite determinar —a través del modelo de malla y de su poder de simulación—, un programa de costos mínimos dentro de nuestras disponibilidades de recursos. Dentro de la gran variedad de denominaciones que se manejan alrededor de estas técnicas, el procedimiento que hemos descrito se designa a menudo como CPM (Critical Path Method). Esta designación suele también usarse como alternativa de PERT para describir toda la técnica. */

En el caso de la planta de lubricantes hemos trabajado con una duración estimada única, basada a su vez en un nivel de recursos aproximadamente normal para cada actividad. Los tiempos resultantes aparecen anotados sobre las flechas de la figura 8. Para algunas tareas iniciales, que ya estaban comenzadas en el momento de dibujar la malla, se consideró sólo el tiempo necesario para concluir las.

b) *Programación probabilística.* Paralelamente al anterior existe un procedimiento probabilístico, que no sólo aspira a poner expresamente de relieve el carácter aleatorio de cualquier duración estimada, sino que aún pretende cuantificar ese aleas. Vamos a exponer brevemente la teoría, sin llegar a pronunciarnos sobre su eficiencia práctica.

Al estimar la duración de una actividad, es siempre posible formular tres pronósticos: un tiempo "pesimista", representativo de la duración esperada para el caso en que todos los factores regulares de perturbación influyeran poderosamente, bajo la forma de retrasos; un tiempo "optimista", para el supuesto de que no aparezca por el contrario ninguna dificultad; y finalmente, un tiempo "normal" como representativo de la duración más probable.

Es claro que en la hipótesis de que una tarea pudiera repetirse muchas veces con el fin de observar su duración, la cifra que más veces se registraría sería la que hemos llamado normal. Esto, en términos estadísticos, es reconocer que la estimación normal es el valor modal de una distribución de frecuencia, siendo además libre de tomar cualquier valor comprendido entre las estimaciones optimista y pesimista.

Experimentalmente se ha concluido que la distribución que mejor representa situaciones de ese tipo es la llamada distribución "beta", un ejemplo de la cual aparece en la figura 3, donde:

- a = duración estimada optimista
- b = duración estimada pesimista
- c = duración estimada normal
- y m = valor central del intervalo (a, b)

(*d) Existe una gran diversidad de siglas que describen variantes o ampliaciones del PERT. Entre las más usadas están: LESS (Least Cost Estimating and Scheuling System), COT (Control Operation Technique), PEP (Program Evaluation Procedure) etc., etc.

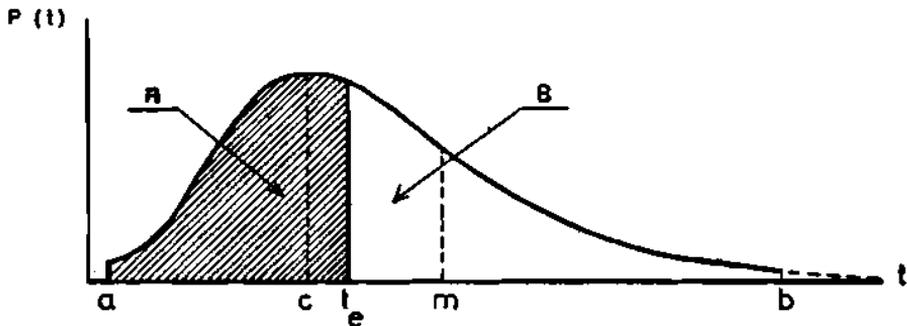


FIGURA 3

Para los efectos del trabajo con la malla, las tres estimaciones deben reducirse a un tiempo esperado único (t_e); la desviación standar σ de la distribución, nos da entonces una medida de nuestra incertidumbre.

Aceptando determinadas características experimentales de la distribución beta referida a este tipo de problemas, (especialmente en cuanto a las estimaciones optimista y pesimista), y aplicando algunas de sus propiedades se tiene:

$$t_e = 1/3 (2c + m)$$

expresión que indica que el tiempo esperado se sitúa a un tercio de camino entre el valor modal "c" y el valor central "m". Reemplazando "m" por su valor en términos de a y b resulta:

$$t_e = 1/3 \left[2c + \frac{a + b}{2} \right]$$

y finalmente:

$$t_e = \frac{a + 4c + b}{6}$$

En la práctica, entonces, el tiempo esperado puede considerarse como un promedio ponderado de las tres estimaciones.

En cuanto a la desviación standar, ella resulta ser:

$$\sigma = \frac{b - a}{6}$$

A partir de aquí podemos trabajar en nuestra malla con los diversos t_e como tiempos únicos de cada actividad. Pero ahora, el conocimiento

de la desviación standard de cada estimación nos permite calcular la probabilidad de lograr, dentro de un cierto plazo, un evento dado. Esta propiedad descansa en que, sobre la base del teorema central del límite, se puede concluir que la distribución de probabilidad del logro de un evento en el tiempo, viene dada por una distribución Normal o Gaussiana, siempre que a ese evento se llegue a través de un número suficientemente grande de actividades. (En la práctica, más de diez).

Para un evento entonces representado por un nodo "n", tendremos una fecha más probable de verificación T_E , que es la suma de los tiempos esperados del camino de mayor duración, entre todos los que conducen al nodo "n".

$$T_E = t_{e_1} + \dots + t_{e_n}$$

La desviación standard de la fecha más probable para el nodo es:

$$\sigma(T_E) = \sqrt{\sigma^2(t_{e_1}) + \dots + \sigma^2(t_{e_n})}$$

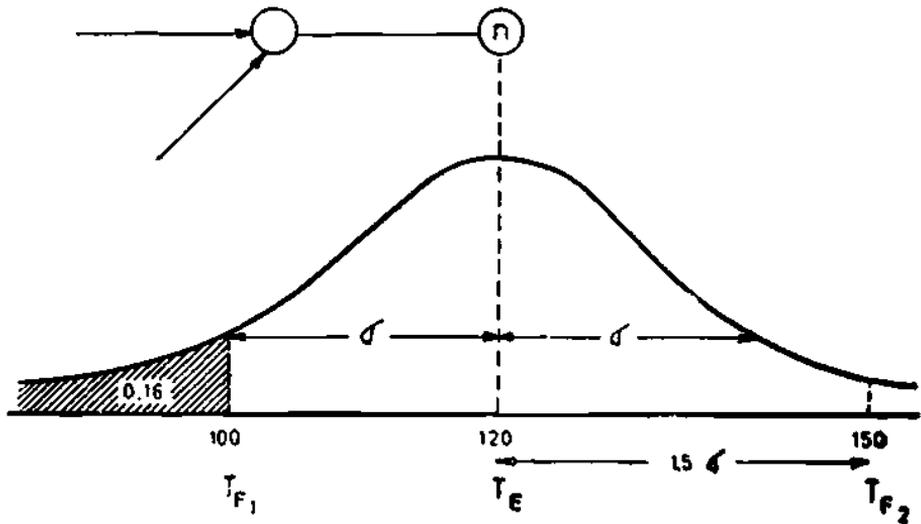
Ahora bien, para ejemplificar esta somera exposición teórica, supongamos que para nuestro nodo "n" hemos obtenido (ver figura 4).

$$T_E = 120 \text{ días y } \sigma(T_E) = 20 \text{ días}$$

Imaginemos ahora, —alternativamente—, dos fechas fijadas por la dirección para el cumplimiento del evento que representa el nodo "n"

$$T_{F_1} = 100 \quad \text{y} \quad T_{F_2} = 150$$

El problema es calcular qué probabilidades tenemos de lograr el evento "n" en cada uno de aquellos plazos.



Para cualquier fecha que fijara la dirección, podemos expresar su diferencia con la fecha esperada, en unidades de la desviación standard

$$\frac{T_F - T_E}{\sigma}$$

y entrando con ese valor a una tabla de la distribución normal, tendremos la probabilidad buscada.

En el ejemplo que venimos considerando, se tiene:

$$\begin{aligned} \text{para } T_{F_1} = 100: & \quad \frac{100 - 120}{20} = -1 \\ \text{para } T_{F_2} = 150: & \quad \frac{150 - 120}{20} = 1,5 \end{aligned}$$

Para estos valores, una tabla de distribución normal nos da, respectivamente, probabilidades de 0,16 y 0,93. En otras palabras esto significa que si la dirección nos propone un plazo de 100 días para lograr el evento n, ya sabemos que —con nuestro programa— solo hay 16 posibilidades en 100 de cumplir con esa meta. Si en cambio el plazo fijado es de 150 días, nuestras posibilidades de cumplirlo llegan a 93 en 100.

Con razonamientos similares puede calcularse la probabilidad de exceder de determinada fecha en el logro de un evento, y aun la probabilidad de que un evento se verifique entre dos fechas dadas. Pero, como veremos en la segunda parte de este artículo, parece más indicado conseguir otros beneficios de la técnica PERT, antes que intentar la aplicación de su forma probabilística.

Finalmente, y volviendo a nuestro caso práctico, digamos que la malla PERT puede facilitar considerablemente la vinculación de cada proyecto con todos los demás de la Empresa, y con todas las limitaciones existentes en materia de tiempo y recursos.

Gráficamente esas vinculaciones y limitaciones deben aparecer bajo la forma de nuevas flechas que, si bien no significan actividades propias del proyecto, pueden representar poderosas restricciones externas, que influyan tanto o más sobre el programa, que los tiempos de sus propias actividades. Solo cuando esas restricciones se han tenido en cuenta, los tiempos de la red adquieren calidad de tiempos calendario.

Por razones de sencillez en nuestra exposición nos hemos limitado sin embargo en las redes que se presentan, únicamente a la consideración de las tareas propias del proyecto. El lector interesado encontrará más detalles sobre este punto en el artículo de Frishberg que se menciona en la Bibliografía con que termina nuestro trabajo.

LA DETERMINACION DEL CAMINO CRITICO

Construída la malla y asignados los recursos a las actividades, comienza la verdadera utilización del modelo. Empezaremos por definir los tipos de magnitudes temporales que están implícitas en la malla de cada proyecto. Estas magnitudes son los momentos de los nodos y las holguras de las actividades. La consideración combinada de ellas, nos llevará finalmente después a definir un elemento central de la técnica, que es el "camino crítico".

Los Momentos de un Nodo

a) *El Momento Temprano.* Definiremos como momento temprano de un nodo (mTE) el instante en que de acuerdo al programa quedan concluídas todas las tareas que concurren al nodo considerado; este momento es también, por consiguiente, el instante más temprano en que pueden iniciarse las actividades cuyas flechas parten del nodo.

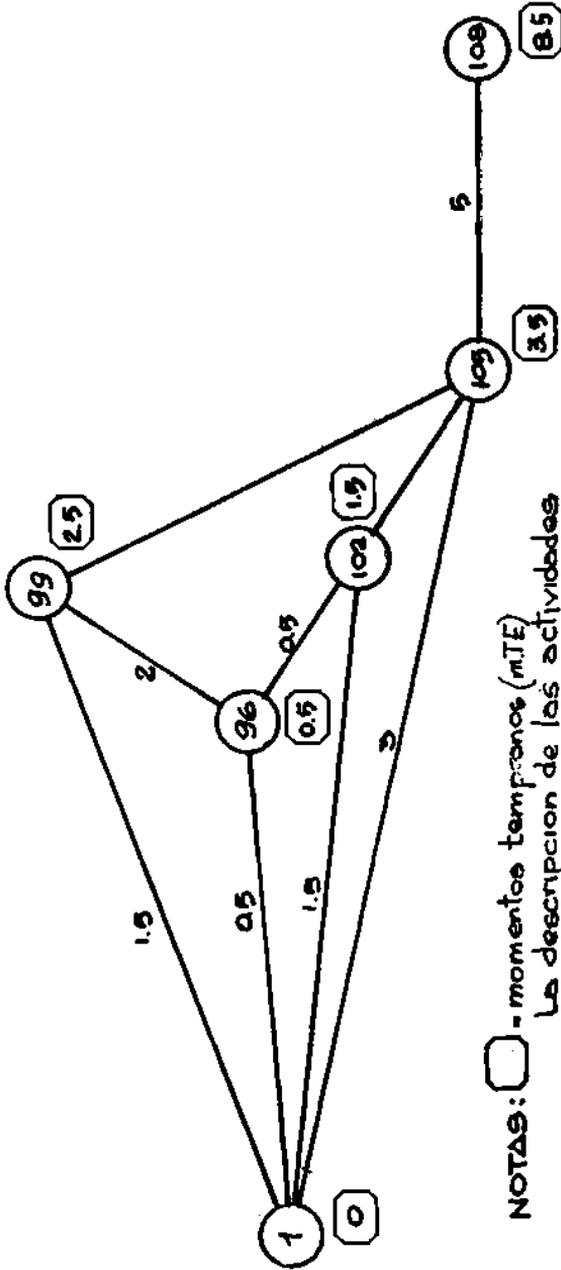
En la figura 5, que representa uno de los sectores iniciales de la malla total de la planta de lubricantes, pueden verse los momentos tempranos de los distintos nodos encerrados en pequeños rectángulos.

Nótese que al nodo 1, se le ha asignado un $mTE = 0$, convención que se adopta siempre para el nodo que constituye el punto de partida del proyecto.

ANCAP
DPTO. DE COMBUSTIBLES

UN SECTOR INICIAL DE LA MALLA DE PLANTA DE LUBRICANTES

sector: "línea de acceso", con los momentos temporales.



NOTAS: □ - momentos temporales (m.T.E)
La descripción de las actividades
puede verse en fig. 1 u. 8.

Ahora, ¿cómo calcular el momento temprano de otros nodos, por ejemplo del nodo 96 (mTE_{96})? Dado que la única actividad previa a ese nodo es la 1-96, cuya duración es de 0,5 días, se tendrá $mTE = 0,5$ días. Siempre, para un nodo "j" al que concurre una sola actividad i-j, se tendrá:

$$mTE_j = mTE_i + D_{ij}.$$

En general: para un nodo "j" al que concurren varias actividades, el mTE_j de ese nodo, está dado por la mayor de las sumas $mTE_i + D_{ij}$, considerando los distintos nodos "i" que anteceden inmediatamente al nodo "j". Por ejemplo, para el nodo 105 en la figura 5 tenemos:

$$mTE_{105} = \max. \begin{vmatrix} mTE_1 + D_{1-105} \\ mTE_{99} + D_{99-105} \\ mTE_{102} + D_{102-105} \end{vmatrix} = \max. \begin{vmatrix} 0 + 3 \\ 2,5 + 1 \\ 1,5 + 1 \end{vmatrix} = 3,5$$

El momento temprano del nodo final de la malla viene a representar entonces el instante más temprano en que es posible terminar el proyecto, o lo que es igual, su duración mínima. En el caso de la planta de lubricantes, esa duración mínima resultó de 38 días ($mTE_{162} = 38$), según se ve en la figura 8.

b) *El Momento Tardío.* El momento tardío de un nodo (mTA) es la contrapartida del concepto anterior.

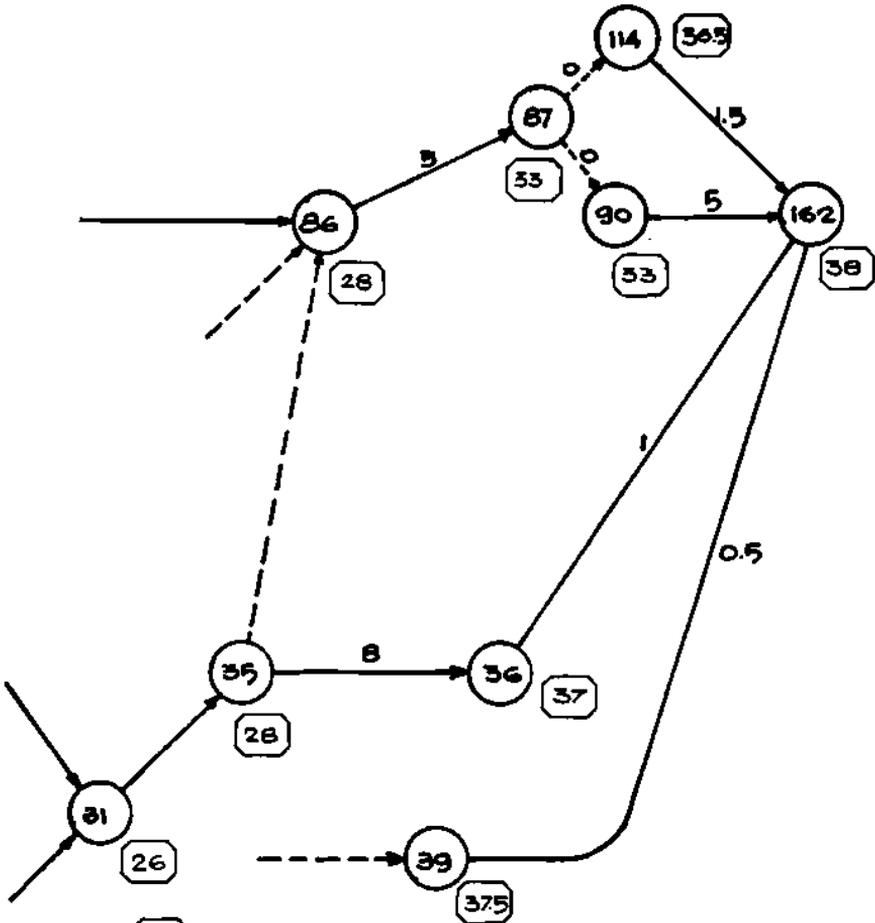
Determinado el instante más temprano en que es posible terminar el proyecto, convenimos —al solo efecto del método— en tomar ese instante como la fecha final de nuestro programa.

Asignamos pues al evento final, un momento tardío igual a su momento temprano y a partir de él comenzamos a calcular la última fecha en que podríamos iniciar las actividades que parten de cada nodo, sin comprometer el plazo de terminación del proyecto. Estas fechas o instantes constituyen el mTA de cada nodo.

En la figura 6, que representa un sector final de la malla total, los momentos tardíos aparecen encerrados en pequeños círculos. Nótese que para el último nodo:

$$mTA_{162} = mTE_{162} = 38$$

UN SECTOR FINAL DE LA MA-
LLA DE PLANTA DE LUBRICANTES.
(con los momentos tardíos)



NOTAS: momentos tardíos. La descripción de las actividades puede verse en fig. 1 u. B -

¿Cómo calcular el momento tardío de cada nodo? La respuesta es análoga al caso de los momentos tempranos y no necesita de mayor desarrollo. Para un nodo genérico "i", el momento tardío mTA_i vendrá dado por la menor de las diferencias $mTA_j - D_{ij}$, considerando todos los nodos "j" que siguen inmediatamente al "i". Por ejemplo, para el nodo 33 en la figura 6 tenemos:

$$mTA_{33} = \min. \left| \begin{array}{r} mTA_{86} - D_{33-86} \\ mTA_{36} - D_{33-36} \end{array} \right| = \min. \left| \begin{array}{r} 28 - 0 \\ 37 - 8 \end{array} \right| = 28$$

Calculando todos los momentos tardíos a partir del último nodo, se llegará al momento tardío del primer nodo, que ha de resultar —si no se incurre en errores de cálculo—:

$$mTA_1 = mTE_1 = 0$$

Hemos empleado aquí una forma de cálculo más bien conceptual para los momentos tempranos y tardíos. Esa forma de cálculo, cuando se aplica a una malla compleja, resulta engorrosa y puede inducir a errores. Para solucionar esa cuestión se ha ideado una matriz de cálculo de los momentos, de manejo manual y rutinario. En la figura 7 se muestra parte de la matriz de la planta de lubricantes, con algunas explicaciones de su construcción y manejo. En mallas más extensas y cuando importa mucho la rapidez de las decisiones, puede llegar a hacerse necesario el uso de computadoras.

Las holguras de las actividades

De acuerdo a lo expuesto hasta aquí, ya se advertirá que no todas las tareas tienen igual influencia sobre la duración total del programa. Hay algunas actividades, en efecto, que admiten cierta *holgura* o margen de tolerancia en el tiempo previsto para su iniciación o su ejecución, o ambas, sin que ello afecte el plazo de conclusión del proyecto. Esta tolerancia juega un importante papel en la aplicación del PERT y vamos a examinarla con más detención.

Hay en primer lugar actividades que admiten un determinado retraso, —ya en su iniciación o en su ejecución—, sin afectar la terminación del proyecto. A esa posibilidad de retraso se le denomina *holgura total* de la actividad. (HT).

Hay también normalmente tareas que, con un criterio más exigente, admiten un retraso sin afectar siquiera el momento temprano del nodo a que concurren; es decir, sin demorar la iniciación de las tareas inmediatamente siguientes. A esa posibilidad de retraso se le denomina *holgura libre* de la actividad (HL).

Por último —y llevando la exigencia al máximo— pueden haber tareas tales que, aun cuando su nodo de partida se verifique en el momento tardío, todavía admitirán un determinado retraso sin afectar el momento temprano del nodo a que concurren; es decir, sin demorar la iniciación de las tareas inmediatamente siguientes. A esa posibilidad de retraso se le denomina *holgura independiente* de la actividad (HI).

Los tres tipos de holgura pueden expresarse en función de la duración de la tarea considerada, y de los momentos temprano y tardío de los nodos que la encierran. En efecto, luego de una breve reflexión sobre el punto resulta para una tarea genérica i-j:

$$\begin{aligned} HT_{ij} &= mTA_j - (mTE_i + D_{ij}) \\ HT_{ij} &= mTE_j - (mTE_i + D_{ij}) \\ HT_{ij} &= mTE_j - (mTA_i + D_{ij}) \end{aligned}$$

Fácilmente puede probarse también que $HT \geq HL \geq HI$, y que solo la holgura independiente puede tomar valores negativos.

El proyecto de la planta de lubricantes permite ejemplificar estos conceptos a través de la figura 8 que representa un aspecto parcial de la malla con los momentos de cada nodo ya calculados. Veamos el caso de la actividad 141-150 (preparación de las cañerías de succión y expulsión para las bombas). En base a las anteriores expresiones, tendremos:

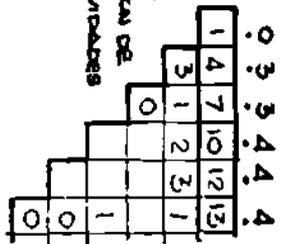
- a) $HT_{141-150} = 32$
- b) $HL_{141-150} = 0,5$
- c) $HI_{141-150} = -29$

Veamos qué significan esas tres magnitudes.

La *holgura total* nos indica que la tarea 141-150 admite un retraso de hasta 32 días en su ejecución, sin afectar por sí sola la fecha 38 programada para la finalización del proyecto.

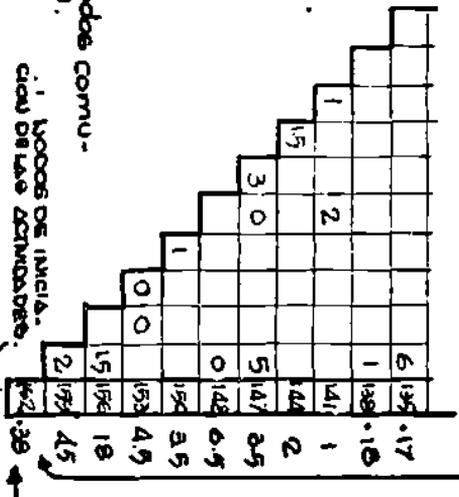
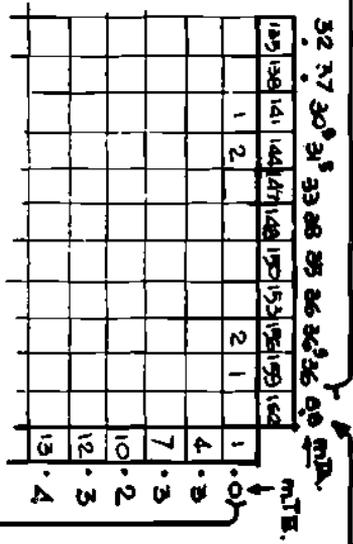
Pero debe quedar claro que cualquier retraso en la tarea, aun cuando no afecta la fecha final del proyecto, puede retrasar el cumplimiento de muchas actividades intermedias, disminuyendo sus holguras, y haciendo por tanto más riesgoso el cumplimiento de nuestro programa. Este punto queda bien aclarado por el concepto de *holgura libre*. En nuestro caso, si no se quiere demorar la iniciación de ninguna otra actividad de la red, la tarea 141-150 solo puede retrasarse medio día.

LEGADA



MATRIZ de CALCULO

ASPECTO PARCIAL DE LA MATRIZ CORRESPONDIENTE A LA MALLA GEOMÉTRICA DE LA PLANTA DE LUBRICANTES.



Nota: Se han marcado con un punto los nodos comunes a esa matriz y la matriz de fig. 8.

Los nodos de inicio de las actividades.

FIG. 7

CONSTRUCCION Y MANEJO DE LA MATRIZ

(Figura 7)

La matriz tiene tantas filas y columnas como nodos hay en la malla, pero se utiliza solo la mitad de ella que está sobre una de sus diagonales.

Se anotan los números de los nodos, en orden creciente, sobre las columnas y junto a las filas. Los primeros denotan término de actividades. Los segundos comienzo.

Cada retículo puede considerarse entonces representativo de una actividad definida por un nodo de origen (identificado por la fila correspondiente) y por un nodo de término (identificado por la columna respectiva).

En los retículos que corresponden a una actividad, real o virtual, del proyecto se anota su duración estimada.

Se calculan los momentos tempranos colocándolos a la derecha de los nodos considerados de origen; y los momentos tardíos colocándolos sobre los nodos de término, respectivamente.

Las reglas de cálculo son las mismas dadas al definir los mTE y mTA , pero ahora basta recorrer columnas o filas, para identificar fácilmente las sumas de tiempos mayores o menores, según el caso.

Por último, el resultado negativo de la *holgura independiente*, significa que si el nodo 141 de origen se verifica en su momento tardío ($mTA_{141} = 30,5$), por lo menos las tareas que siguen inmediatamente a la dada, sufrirán un retraso de 29 días en su comienzo.

El camino crítico

La existencia de holguras en una malla revela, como hemos dicho, que para algunas actividades se dispone de un tiempo mayor que el necesario y que pueden, en consecuencia, tolerarse ciertas demoras en su ejecución. La falta de holgura total en una actividad significa, por el contrario, que no hay tal margen de tolerancia.

Cualquier atraso en una actividad así, afectará la terminación del proyecto y por lo tanto esa actividad debe ser considerada *crítica* para el cumplimiento del programa. El conjunto de actividades que no tienen holgura total, y por lo tanto ningún tipo de holgura, define siempre un camino entre el primer y el último nodo.

Este camino, que en la figura 8 aparece marcado con trazo grueso, es el *camino crítico*.

Si meditamos un poco sobre la forma en que hemos llegado a identificar el camino crítico, veremos que la suma de los tiempos asociados a cada una de sus actividades, es también la duración total del proyecto. Esta propiedad se usa a menudo para definir el camino crítico. Se dice entonces que éste es el conjunto de actividades sucesivas, comprendidas entre el primer y el último nodo, cuya suma de tiempos asociados es máxima.

Esta misma definición permite determinar el camino crítica por simple comparación de la duración de los distintos caminos posibles, cuando la malla es pequeña. Pero para mallas más grandes, como la del proyecto de ANCAP, el método más apropiado es otro.

Al referirnos a los momentos tempranos y tardíos de los nodos, vimos que ambas características tomaban igual valor para el primero y el último de ellos. Ahora bien: en cualquier proyecto que se considere, esa igualdad se repite para una serie de nodos intermedios que unen, —sin solución de continuidad— los nodos inicial y final. Esa reiterada igualdad obedece a nuestra primera convención de tomar en el último nodo un momento tardío igual al temprano. De esa forma, siempre el camino más largo a través de la red resulta totalmente constreñido; sus actividades carecen por completo de holgura, y en todos sus nodos se verifica la igualdad $mTE = mTA$. Esto nos da una forma práctica de identificar el camino crítico; simplemente por la unión de todos los nodos en que se cumple aquella igualdad. Así lo hemos hecho para marcarlo en la figura 8.

El hecho de que la duración del proyecto coincida con la del camino crítico, pone de relieve una primera e importante propiedad de éste: cualquier demora en una actividad crítica dilatará por un tiempo igual el término del programa. Recíprocamente, un adelanto en la ejecución de cualquier actividad crítica reducirá la duración de nuestro proyecto, aunque esta vez no necesariamente en el mismo tiempo. De cualquier modo, la disminución del tiempo del proyecto que puede lograrse mediante el adelanto de una tarea crítica, es perfectamente cuantificable, como veremos al tratar la revisión del plan.

El conocimiento de las actividades críticas y de las holguras de las tareas restantes, constituye uno de los principales logros de la técnica PERT. Aún cuando no es difícil advertir las ventajas que aquel conocimiento supone, mencionemos rápidamente algunas de ellas.

En primer lugar, el camino crítico nos informa sobre la duración mínima del proyecto y sobre las actividades que condicionan más directamente esa duración.

En segundo lugar, provee un medio ágil para estudiar y evaluar los resultados de decisiones alternativas, identificando anticipadamente las áreas o actividades que requieren mayor control, o las que harán necesarias determinadas medidas preventivas.

Por último, si todos los datos de holguras y momentos se ordenan adecuadamente en una tabla, se obtiene automáticamente una sencilla escala de prioridad para las tareas. Esa escala constituye un fundamento racional para muchas decisiones acerca de recursos y reajustes de planes y programas durante la ejecución.

LAS FASES POSTERIORES

La determinación del camino crítico y el uso de sus propiedades inmediatas, pueden parecer auxiliares suficientes para mejorar el desarrollo —por los métodos tradicionales— de cualquier proyecto complejo. La veta del PERT, sin embargo, no está aún agotada. En lo que sigue, comentaremos algunos aspectos posteriores a la determinación del camino crítico. A esta altura, las funciones de planeamiento, programación (o más bien re-programación) y control, aparecerían a menudo entremezcladas, y la separación que aquí haremos de ellas, será tan sólo a efectos de facilitar la exposición. Tampoco contaremos para estas últimas fases con la experiencia real de ANCAP porque, a diferencia de las etapas anteriores, ellas no fueron experimentadas en forma sistemática en el caso de la remodelación de la planta de lubricantes. Con todo, hemos mantenido algunas referencias a ese proyecto que —aunque hipotéticas— ilustran bien el uso del PERT. Por lo demás, esta suspensión del caso práctico, no hay que explicarla por deficiencias de la técnica, sino más bien por nuestra propia imposibilidad de seguir el proyecto en todo su transcurso.

Revisión del Plan

Hemos definido la malla como un ordenamiento lógico, pero no único, de las diversas actividades de un proyecto. Esto hace posible que, a cualquier altura del desarrollo de los trabajos, pueda presentarse la necesidad o la conveniencia de revisar el plan inicial.

Un examen atento del camino crítico suele mostrar, —aún antes de iniciar los trabajos—, que algunas actividades de él admiten cierta comprensión en su tiempo de duración, sin que por eso aumente su costo.

Consideremos por ejemplo la actividad crítica 13-15 de la figura 8. Se trata del montaje de 6 tanques usados y 5 nuevos, en el entrepiso construido en la planta. En el plan de la figura 8 se ha convenido en que la instalación de esos 11 tanques sólo se iniciará, cuando todos estén en las debidas condiciones y con los soportes y elemento de anclaje preparados.

Es evidente, sin embargo, que no es necesario esperar la reparación y traslado de los tanques usados, para comenzar la instalación de los nuevos. Anticipando el inicio de esta última tarea podemos llegar a un nuevo plan, que se muestra parcialmente en la figura 9. Obsérvese que ahora el nodo que representa la conclusión del montaje de los 11 tanques (nodo 15), tiene un momento temprano de 10 días, mientras que el nodo que representaba el mismo evento en la figura 8, tenía un momento temprano de 16. Hemos pues adelantado en seis días un evento crítico del programa y la duración total de éste, ha sido reducida a su vez en este mismo plazo.

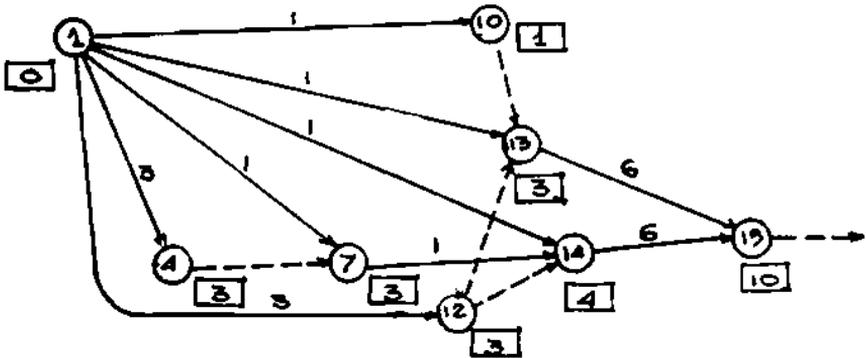
Aquí, como en la mayor parte de los casos, no se modifica el camino crítico, y se logra por tanto una reducción para el término del proyecto, igual a la que se consigue en aquel camino, pero debemos advertir que no es éste siempre el caso.

La revisión del plan, según su finalidad, puede concretarse en muy diversas alteraciones de la red. A veces se desdobra una actividad en varias actividades concurrentes, tal como ha sucedido en nuestro ejemplo para la tarea del montaje de 11 tanques. En otras ocasiones el cambio puede referirse a la transformación de actividades paralelas en concurrentes (o viceversa). Pueden también aparecer tareas nuevas en el plan. En algunos casos, por último, pueden suprimirse lisa y llanamente algunas actividades que no son imprescindibles al objetivo trazado.

Reprogramación y Control

El desarrollo material de un proyecto, por simple que sea, presenta siempre diferencia con el programa original. Esas diferencias no son sino el efecto natural de la incertidumbre inherente a cualquier previsión. Por eso, el verdadero trabajo del planificador consiste en tratar de reducir al mínimo esa incertidumbre, aunque esto no sea nada fácil, y menos tratándose de proyecto complejos. En estos últimos las discrepancias iniciales tienen, —por lo general, un efecto acumulativo que mantiene “in crescendo” la distancia entre el programa original y la ejecución real.

UN SECTOR MODIFICADO DE LA MALLA GRAL.
(con los nuevos momentos temporales) -



ACTIVIDADES DE LA MALLA GENERAL

0-1	0
1-4 REPARAC. TS USADOS	3
1-7 CONST. SOPORT. TS USADOS	1
4-7 VIRTUAL	0
1-10 CONST. ANCLAJES TS.	2
7-13 TRASL. A LUB. DE TS USADOS	1
4-13 " " " " NUEVOS	1
10-13 VIRTUAL	0
1-12 DESPUNT. Y DEBENCOF.	
EL ENTREG.	3
12-13 VIRTUAL	0
13-15 MONTAJE DE TS.	12

ACTIVIDADES DE LA MALLA MODIFICADA

0-1	0
1-4 REPARACION TS USADOS	3
1-7 CONST. SOPORTES TS USADOS	1
4-7 VIRTUAL	0
1-10 CONST. ANCLAJE TS. NUEVOS	1
1-14 " " " USADOS	1
7-14 TRASL. A LUB. TS USADOS	1
1-3 " " " NUEVOS	1
10-13 VIRTUAL	0
1-12 DESPUNT. Y DEBENCOF.	
EL ENTREGES	3
12-13 VIRTUAL	0
12-14 VIRTUAL	0
13-15 MONTAJE TS. NUEVOS	6
14-15 " " USADOS	6

Reconciliar continuamente ambos aspectos, suele ser una ardua e importante tarea para las personas que administran un proyecto, pero en este terreno otra vez, el PERT puede prestar eficaz ayuda.

En primer lugar, la malla permite visualizar, con muy poco esfuerzo, el cumplimiento de los plazos programados para la ejecución. A esos efectos se han desarrollado gráficos que sobreponen la malla PERT a un calendario de líneas verticales, tomando para sí la única ventaja que todavía conservaba la carta Gantt. En la figura 10 se muestra un gráfico de este tipo, para un pequeño sector de la malla de la anterior figura 8.

Como podrá observarse, los nodos se ubican en el calendario, de acuerdo a sus momentos tempranos. A su vez, los trazos horizontales llenos, representan la duración estimada de las actividades, y los trazos horizontales punteados, la holgura libre de cada tarea. Los trazos verticales señalan las interrelaciones entre las actividades.

Una representación de esa clase es de gran utilidad en la reprogramación y el control del proyecto. En efecto, al mostrar gráficamente las actividades "contemporáneas" y sus respectivas holguras, se facilita considerablemente —por ejemplo— cualquier intento de reasignar recursos transfiriéndolos de las actividades con holgura a las que no la tienen (especialmente a las actividades críticas).

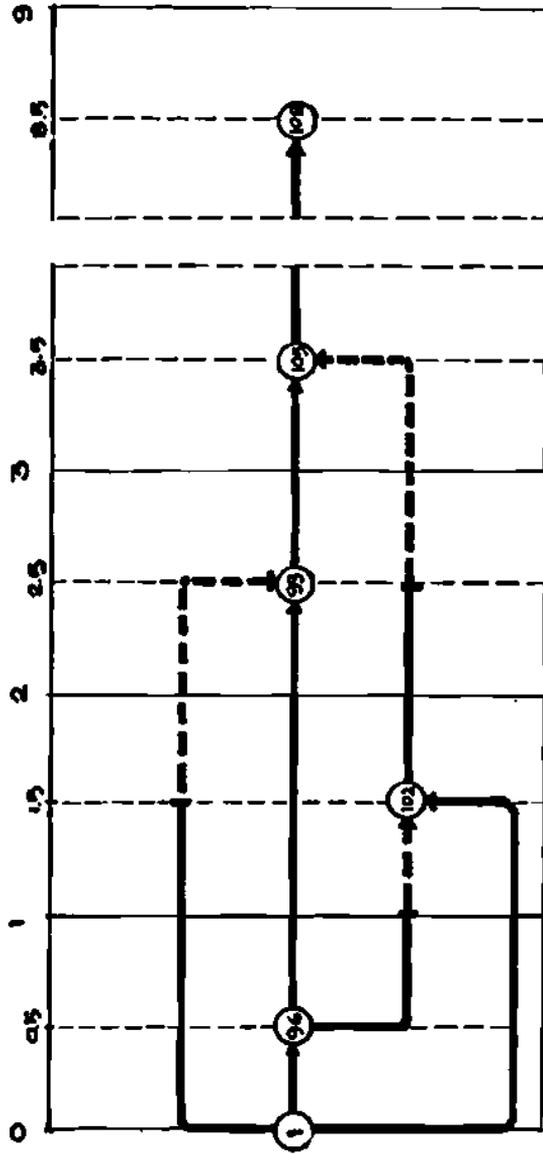
La reprogramación —que surge de los informes del control— se vale de los mismos fundamentos usados en el programa original, y debe tener una periodicidad que contemple la dinámica del proyecto. De todos modos en algunos casos puede hacerse necesaria una revisión extraordinaria del programa, como cuando una actividad considerada crítica, deja de serlo en la práctica. Tomemos, por ejemplo, una actividad que consiste en la adquisición por Licitación Pública de un equipo industrial, y supongamos que esa actividad forma parte del camino crítico. Normalmente, una buena parte del tiempo estimado para una actividad de ese tipo, corresponde al estudio comparativo de las ofertas. Pero, si llegado el momento de la apertura de las propuestas quedara claro que sólo uno de los oferentes cumple con las condiciones del pliego, la duración real de la actividad puede verse bastante reducida.

FIG. 10

UN SECTOR COMO MALLA CALENDARIO

sector : líneas de exceso (véase fig. 9)

DIAS



NOTA : la descripción de los actividades puede verse en figs. 1 u. 9 -

Es probable entonces que el camino crítico experimente un desplazamiento hacia otras tareas; pero al mismo tiempo, los directores del proyecto tendrán la debida información para pedir la revisión del programa y la redistribución de los recursos de que se dispone, en la forma que se entiende más adecuada a la nueva situación.

PRO Y CONTRA DEL PERT COMO TECNICA

Aunque el lector que haya seguido los desarrollos anteriores estará a estas alturas en condiciones de hacer su propio balance de las ventajas e inconvenientes del PERT, creemos conveniente recapitular aquí los pro y contra que nos parecen más importantes. Los juicios que vamos a presentar se refieren preferentemente a virtudes o defectos de la técnica misma, y no a factores propios de la Empresa o del medio, ya que hemos reservado el análisis de estos últimos para la última parte de este artículo.

Entre las posibilidades del PERT pueden destacarse las siguientes:

- a) facilita una clara representación de la magnitud y calidad del proyecto;
- b) proporciona una forma sistemática para su planificación;
- c) permite la selección del mejor programa de trabajo para cumplir con los objetivos y metas de la Empresa;
- d) da un fundamento racional para estimar la duración total del proyecto;
- e) constituye un ágil modelo de simulación, sobre el cual se reflejan claramente los efectos de las distintas decisiones posibles;
- f) señala anticipadamente las áreas o tareas que constituirán puntos neurálgico del programa;
- g) permite actuar en base a decisiones "preventivas";
- h) provee una escala de prioridad para todas las actividades, que nos indica dónde debemos concentrar nuestra atención;
- i) facilita el control y la evaluación periódica de la marcha de los trabajos;
- j) permite a través de su modelo probabilístico, cuantificar la incertidumbre envuelta en nuestras decisiones;
- k) destaca la responsabilidad de cada dependencia relacionada con el proyecto;
- l) posibilita el uso más eficaz de los recursos de la Empresa, etc.,

Pero al mismo tiempo la técnica presenta algunas limitaciones. Las más evidentes parecen ser:

- a) el trabajo con PERT no es inmediato; requiere un cierto grado de adiestramiento, además de dedicación e interés;
- b) no resulta económico para proyectos muy simples o muy pequeños;

- c) inversamente en sus modos más elaborados, o en programas muy extensos, requiere el uso de computadoras;
- d) algunas de sus variantes —como el modelo probabilístico—, parecen no tener todavía un fundamento teórico muy firme, y presentan dificultades de aplicación práctica.
- e) sus ventajas se ven aminoradas cuando no existe convencimiento de su utilidad en todos los niveles llamados a intervenir.

Por último, podemos afirmar con entera objetividad que comparado el PERT con los métodos tradicionales es, por lo menos, tan bueno como ellos en lo que se refiere al control y bastante mejor cuando se trata de fundamentar racionalmente cualquier reajuste de planes y programas.

EVALUACION DEL PERT COMO TECNICA DE ADMINISTRACION EN NUESTRO MEDIO

Siempre que nos encontramos frente a una forma nueva de solucionar problemas antiguos es conveniente adoptar una actitud crítica y preguntarse ¿hasta qué punto se avienen las nuevas ideas con nuestras reales necesidades y posibilidades? Esta actitud es especialmente legítima en el caso de las técnicas administrativas las que, por lo general, son “importadas” de países más avanzados que el nuestro en la materia. El PERT está en este caso y por ello nos ha parecido conveniente dedicar la última parte de este trabajo a evaluar sus posibilidades de aplicación en nuestro medio. Las consideraciones que haremos valen de preferencia para empresas estatales de tipo industrial que son las que constituyen, tanto por el número como por la complejidad de los proyectos que están normalmente llevados a cabo, el mayor campo de aplicación potencial del PERT.

Comenzaremos por situar la función de planeamiento dentro del marco administrativo en que se desenvuelven nuestras empresas.

LA FUNCION DE PLANIFICACION EN LA EMPRESA NACIONAL

Un breve examen de nuestra realidad administrativa permite constatar varios hechos que podríamos clasificar en favorables y desfavorables para la implantación del PERT. En gran parte estos hechos son también los que condicionan el mayor o menor desarrollo alcanzado por la función de planificación en nuestras empresas. Empezaremos por tratar los que pueden catalogarse de desfavorables. Entre ellos tenemos:

a) Nuestras empresas tienen, por lo general, problemas administrativos más urgente que resolver. El PERT puede colaborar eficazmente, como hemos visto, en la mejor realización de muchas funciones administrativas pero para extraer suficiente provecho de él, se necesita un mínimo de desarrollo de la organización. Así, por ejemplo, si la empresa no ha definido claramente su estructura administrativa, incluyendo funciones principales y accesorias, líneas de mandó y responsabilidad, políticas para

alcanzar objetivos, etc.; si no existe un mínimo de coordinación; si no hay seguridad y fluidez en las comunicaciones; si no hay un mínimo de satisfacción con las prácticas de administración de personal y si, por fin, no existe una razonable experiencia anterior en planificación y control; entonces es seguro que habrán resultados más rápidos y de mayor importancia mejorando cualquiera de estos aspectos antes de introducir el PERT, o cualquier otra técnica más o menos elaborada de planificación.

b) No existe en general, una mentalidad que valore debidamente los beneficios derivados del uso más eficiente posible de los recursos de la Empresa. Esta actitud tiene un trasfondo complejo, producto en gran parte del momento socio-económico que vive el País y naturalmente no pretendemos analizarla en este artículo. Es evidente, sin embargo, que las derivaciones de una mentalidad así limitan grandemente el potencial del PERT. Tomemos por ejemplo, el fenómeno de la burocratización que es apreciable en las empresas del Estado. De poco serviría al ente concluir que es más rápido, fácil y económico contratar la ejecución de un proyecto, o parte de él, que realizarlo con personal propio. Una solución así significaría o desocupación de los trabajadores del ente, que el resto de la economía no está en condiciones de absorber, o subutilización de un número apreciable de trabajadores. Lo corriente en estos casos será que la empresa ignore las ventajas señaladas y acometa, de todas maneras, la realización del proyecto con su personal.

c) La carencia de suficiente información estadística es también un factor limitativo para cualquier intento serio de planificación. El PERT requiere como hemos visto, buenos datos de rendimiento, costos, etc. para la programación y sus fases posteriores. Si bien la recolección sistemática de estos datos puede organizarse paralelamente a la implantación de la técnica, no puede esperarse mucho de ésta mientras aquellos datos no alcancen cierto nivel de confianza y representatividad.

Los factores que hemos reseñado aquí como desfavorables no son del todo independientes. Si hubiéramos de buscarles un común denominador podríamos decir repitiendo una frase conocida, que no hay todavía en el País una conciencia generalizada de que el desarrollo económico se logra a través del manejo de la palanca de la productividad. No debemos ignorar sin embargo la labor pionera que algunos Institutos realizan para promover esta idea. Esto hace pensar que los factores desfavorables pueden ser dilatorios, pero no excluyentes de la introducción de una técnica como el PERT.

Veamos ahora los hechos que podrían estimarse favorables a ese advenimiento.

a) Existe un creciente reconocimiento de la necesidad de planificación efectiva de los grandes proyectos. Se sabe en efecto que hay normalmente en ejecución una cantidad de proyectos, de igual o mayor importancia que el que nos ha servido para ejemplificar el uso del PERT, cuyo planeamiento recibe sólo limitada atención. Esta atención se concentra

por lo general en las fases preliminares del planeamiento y no siempre responde al interés por una óptima administración de los recursos. En proyectos que precisan del crédito externo, por ejemplo, el planeamiento puede ser el resultado de presiones del organismo financiador. Las fases de programación y control reciben por lo general menos atención y los métodos usados en ellas son más bien formales que efectivos. Un buen ejemplo de esto lo constituye la afirmación de que en los entes autónomos *"existe un contralor contable clásico, pero no se da el contralor de cumplimiento real de la gestión, entendiéndose como tal el contralor que confronta la responsabilidad asignada con la labor cumplida"* ^{*/} Hay pues, un gran campo virgen para la aplicación del PERT.

b) La necesidad de planificación en las empresas se ha de hacer más evidente en el futuro inmediato como resultado de la puesta en marcha de los planes de desarrollo en que está empeñado el País.

c) Existe en distintos niveles de las jerarquías, aunque en forma dispersa, la voluntad y la capacidad para hacer del planeamiento una función central de la Empresa.

Debemos referirnos por último a un factor que no admite una clasificación "a priori"; el costo de implantación del PERT. Los costos para una implantación generalizada y sistemática pueden variar, según la Empresa, desde los necesarios para el adiestramiento del personal de una oficina ya operante de planificación, hasta la adquisición de un computador electrónico. Este último equipo es de importancia en el uso del PERT cuando se trata de manejar proyectos de gran envergadura, en los que el volumen de información a procesar es considerable y en los que la agilidad de las decisiones puede traducirse en ahorros apreciables de tiempo y dinero. Es posible que en la actualidad un equipo así resulte sobre-dimensionado para muchas empresas individualmente consideradas, pero no para dos o tres que quisieran compartir la inversión y el uso del computador. Esta fórmula ha sido ensayada con éxito en otros países vinculando incluso a Universidades a la eventual sociedad. Tampoco debe olvidarse que un computador puede auto-financiarse a corto plazo con las economías que produce y que, en cualquier caso, su sola presencia estimularía el desarrollo de otras técnicas cuantitativas de decisión que, con el PERT, constituyen los avances más recientes de la Administración de Empresas. Este papel de agente catalizador del desarrollo administrativo puede ejercerlo también el PERT independientemente del computador. Vamos a analizar este punto con más detalle en nuestra última sección.

^{*/} C.I.D.E. (Comisión de Inversiones y Desarrollo Económico) "Estudio Económico del Uruguay", Evolución y perspectivas, cap. II, D, mayo 1963.

POSIBLES REPERCUSIONES DEL PERT EN LAS PRACTICAS ADMINISTRATIVAS DE LA EMPRESA

El PERT representa, por sus características, uno de los ejemplos más puros de lo que en lenguaje empresarial se llama el principio de la *administración por excepción*. Este principio no hace sino consagrar la idea de que la dirección de una empresa es tanto más eficaz, cuanto más logran sus ejecutivos liberarse de la rutina de las operaciones diarias. Cuando esa rutina es sistematizada y oportunamente delegada, sólo los problemas que hacen excepción a esa rutina, y por tanto los de real entidad, llegan a la decisión del administrador. Basta recordar la definición de camino crítico y el uso que se hace de él, para comprender que el PERT representa el advenimiento de la administración por excepción a la función de planeamiento. Pero en la dinámica de la organización, las funciones se coordinan, complementan e influyen recíprocamente y la superación de un Departamento de Planificación necesariamente estimula el progreso de las demás unidades de la organización.

El PERT, una vez instalado, promueve la producción de información estadística que es de utilidad en variados campos de acción de la Empresa. Así por ejemplo la necesidad de contar con estimaciones de tiempo para las fases de programación, lleva a elaborar datos de rendimiento que son fáciles de registrar y standarizar. Estos datos pueden ser valiosos no sólo para la malla PERT sino, entre otros, para el Departamento del Personal. La fijación de niveles standard de rendimiento es en efecto una base necesaria para implantar o perfeccionar sistemas de evaluación de tareas, de calificación por méritos y eventualmente de incentivos en el pago de remuneraciones.

Otra repercusión favorable es la conveniencia de trabajo de equipo que se plantea al usar el PERT. El trabajo de equipo o comité es necesario con cualquier método de planificación, pero el PERT tiene, por así decirlo, mayor poder de cohesión sobre los miembros del equipo. La malla permite a los representantes de cada departamento comprometido en el proyecto (Producción, Costos, Compras, Inspección, etc.) valorar visiblemente los efectos de su contribución sobre el trabajo total. Esta propiedad facilita el acuerdo y la coordinación del equipo a lo largo de todo el desarrollo del proyecto.

La propiedad de estimular el trabajo en equipo sugiere, de paso, un aspecto que deseamos destacar. Hasta ahora las aplicaciones más espectaculares del PERT han tenido lugar en el campo industrial, pero su utilidad no está limitada a esta área. (*) Creemos por ejemplo que en algunas de nuestras empresas, donde la preparación de cada balance anual es de por sí un proyecto complejo, la programación por camino crítico contribuiría notablemente a la reducción del tiempo y el esfuerzo desplegado.

*/ Los autores de este artículo conceden especial importancia a este punto porque puede existir la impresión de que el PERT está restringido a proyectos de alto contenido tecnológico, lo que, en opinión de algunos, podría disminuir notablemente su utilización por profesionales ajenos a ese campo.

El rol de promotor del progreso administrativo que puede adquirir una técnica como el PERT, no termina con lo que hemos expuesto. Bastará en efecto que el lector familiarizado con las empresas nacionales medite sobre las ventajas intrínsecas de la técnica, que expusimos al comentar los pro y contra del PERT, para que con toda seguridad aparezcan nuevas vetas. Creemos, no obstante haber mostrado en sus principales aspectos, cómo una técnica nueva y promisorias de dirección puede integrarse a nuestras prácticas administrativas y contribuir a su perfeccionamiento. Si este artículo despierta inquietudes adicionales en este campo, se habrá contribuido a cumplir uno de los objetivos permanentes de la Administración de Empresas.

BIBLIOGRAFIA

La literatura sobre el PERT y sus derivados se encuentra diseminada, en general, en artículos de publicaciones periódicas más que en textos. De los que han llegado a nuestras manos anotamos:

TEXTOS

MARTINO, R. L. *Project Management and Control*, tres volúmenes titulados:

- I. Finding the Critical Path.
- II. Applied Operational Planning.
- III. Resource Allocation and Scheduling.

American Management Association (AMA), New York, 1964.

STILLIAM, GABRIEL N. y otros. *PERT: A New Management Planning and Control Technique*.

American Management Association (AMA), New York, 1962.

Traducción al Castellano con el título *PERT: Un Nuevo Instrumento de Planificación y Control*, por Deusto. Bilbao, España, 1964.

ARTICULOS

CHELOS, MARSHALL R. *Does PERT work for small projects?* en "DATA PROCESSING", Diciembre 1962.

FRISHBERG, M. C. *Less tells you how project is doing*, en HYDROCARBON PROCESSING & PETROLEUM REFINER, Febrero 1962.

KAST, W. G. *Critical Path Method, ideal for plant construction*, en la misma publicación anterior, mismo número.

MILLER, ROBERT W. *How to Plan and Control with PERT*, en HARVARD BUSINESS REVIEW", Marzo-Abril 1962.

TOOLEY, ARCH R. *Interpretations of PERT*, en la misma publicación, número de Marzo-Abril 1964.

Las compañías que fabrican equipos electrónicos de computación tienen normalmente, algunas publicaciones sobre el tema.