



## Importancia económica y estratégica del proyecto de Cerro Motoso

**Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"**  
Bogotá D.C., Colombia

1979

FUERZAS MILITARES DE COLOMBIA  
ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA

TESS  
232

Economico

42  
3 libros

IMPORTANCIA ECONOMICA Y ESTRATEGICA DEL PROYECTO DE CERRO MATOSO  
=====

34  
15 i

59

Bogotá, Abril 03 de 1.982

# IMPORTANCIA ECONOMICA Y ESTRATEGICA DEL PROYECTO DE CERRO MATOS

## ANTECEDENTES Y LOCALIZACION

El yacimiento fué descubierto en 1.956 por la Richmond Petroleum Company ( posteriormente Chevron Petroleum Company de Colombia) Subsidiaria de la Standard Oil Company of California (SOCAL).

Cerro Matoso está localizado aproximadamente a 22 kilómetros carretera de la Población de Montelíbano en el Departamento de Córdoba, en un área de terreno ondulado y cubierto de pasto, dedicada especialmente a la ganadería. La población de Montelíbano está situada a una distancia de aproximadamente 280 kilómetros al sur de Cartagena, tiene economía agrícola y una población que se acerca los 12.000 habitantes. El área de la planta de Cerro Matoso está aproximadamente a 60 metros sobre el nivel del mar y la máxima cota del yacimiento es de 270 metros, el clima es tropical.

En 1.960 SOCAL entró en un convenio de empresa conjunta con Hanna Mining Company de Cleveland, Ohio, en proporción 50/50 para desarrollar el yacimiento. La Hanna produce ferroniquel desde la mina de Riddle, Oregon, a partir de lateritas similares a las del depósito de Cerro Matoso.

La concesión del yacimiento fué otorgada en 1.963. A partir de esta fecha y hasta 1.970 se efectuaron por parte del Gobierno Colombiano, negociaciones con las compañías extranjeras que concluyeron en un cambio de estructura del proyecto. Este cambio permitió que el gobierno entrara a participar como socio del proyecto a través del Instituto de Fomento Industrial, IFI, quedando este último con un tercio de la concesión y la obligación de aportar un tercio de la inversión dentro de un esquema de Operación Conjunta. La Hanna y la compañía de Niquel Colombiano S.A, Conicol.

Posteriormente en Diciembre de 1.970, se constituyó la Empresa

Colombiana de Niquel Ltda., ECONIQUEL, filial del IFI, a quien este último organismo cedió todos sus derechos y obligaciones en lo relacionado a Cerro Matoso.

El Proyecto desde esa fecha se desarrolló como una Operación Conjunta (Joint Venture), entre Econiquel (1/3 de participación) y Conicol (2/3 de participación), hasta fines de 1.977, cuando Econiquel aumentó su participación al 40%. Durante 1.978 se concertó la participación en el Proyecto de la firma Billiton, subsidiaria de Royal Dutch Shell, con quien se negoció un contrato de venta de níquel a largo plazo. En Marzo de 1.979, se constituyó la Sociedad Cerro Matoso S.A., con participación de Econiquel Ltda. (45%), Billiton (35%) y Conicol (20%).

La exploración del yacimiento se comenzó en 1.958, inicialmente empleando métodos manuales y luego con taladros adecuados para el tipo de labor y material que se iba definiendo en los trabajos.

#### INVESTIGACION Y DESARROLLO DEL PROCESO

Hasta el presente se han realizado más de 2.000 sondeos con un total superior a los 80.000 metros. La intensa exploración del yacimiento ha permitido establecer unas reservas de 21 millones de toneladas con un tenor promedio de níquel del 2.7%, las cuales se explotarán durante los próximos 25 años; y 41 millones de toneladas con un tenor de níquel entre 1.0 y 1.5%, suficiente para 40 años adicionales de producción.

A partir de los resultados iniciales de la exploración del depósito, se inició la investigación sobre la aplicabilidad de procesos comerciales conocidos para el tratamiento de lateritas níquelíferas, incluyendo la reducción selectiva con ferro-silicio, proceso utilizado por La Hanna en sus instalaciones comerciales de Riddle, Oregon.

Luego de descartar algunos procesos comerciales por no ser aplicables a las características físicas y químicas del mineral de Cerro Matoso, o por ser antieconómicos, la investigación se dirigió -

hacia un proceso de reducción selectiva del níquel y hierro, mediante una adecuada preparación del mineral y su mezcla con carbón como agente reductor.

El éxito obtenido en el laboratorio llevó al diseño y construcción de una planta piloto en Riddle, Oregon, en el cual durante años de 1.971 y 1.972, se utilizaron ensayos con el mineral de Cerro Matoso, con resultados satisfactorios. Esta conclusión fue confirmada a fines de 1.972 y principios de 1.973 en una planta piloto localizada en Fiskaa, Noruega, en donde se utilizó un horno rotatorio para la calcinación de pellets en lugar del horno vertical para la calcinación de briquetas usado en la planta piloto de Riddle.

Teniendo en cuenta que el horno rotatorio y los equipos de preparación del mineral utilizados en Fiskaa son más convencionales se decidió modificar la planta piloto de Riddle y efectuar ensayos de prueba del proceso a mayor escala. Estos nuevos ensayos, realizados durante 1.975 y principios de 1.976 definieron el proceso como adecuado para los propósitos del proyecto.

El proceso, denominado RKEF ( Rotary Kiln Electric Furnace), involucra las siguientes operaciones :

- Trituración primaria, secado y trituración secundaria.
- Adición de carbón como reductor, mezcla y aglomeración
- Calcinación y prerreducción
- Reducción, fusión y separación de metal y escoria
- Refinación del ferroníquel

Las pruebas de planta piloto han demostrado que se obtienen condiciones de operación estables y resultados metalúrgicos óptimos un mineral de composición química controlada y constante, en cuanto a contenidos de sílice, magnesia y óxidos de hierro. El nivel y estabilidad del tenor de níquel es desde luego importante, puesto que este tenor depende en primera instancia el flujo de fondos del proyecto.

Para asegurar al proceso una alimentación de mineral de comp

4.

ción adecuada, en cada turno se extraen proporciones predeterminadas de mineral de varios bancos de explotación, que después de la trituration primaria va a una de ocho pilas de almacenamiento separadas e identificadas; luego, a partir de dos omás de estas pilas, se mezclan proporciones calculadas para constituir la alimentación a la planta.

El horno secador es un horno rotatorio con flujo de gases concurrente al de mineral, de 45 mts. de largo y 5.5 mts. de diámetro, en el cual se reduce la humedad del mineral a un 16%. El producto del secador es conducido a un depósito cubierto de mineral seco para emergencias, o normalmente a tolvas de mineral seco.

El carbón se adiciona en proporciones controladas por medio de alimentadores y la mezcla se homogeniza en un mezclador. La aglomeración de mezcla de mineral, carbón y agua se efectua en un disco peletizador.

En el horno rotatorio, de 185 metros, de largo por 6.1 mts de diámetro, la temperatura de los pellets es elevada a unos 900°C y en el curso del calentamiento se pierden el agua libre y el agua de cristalización del mineral; tambien se lleva a cabo una reducción parcial del contenido de hierro férrico a hierro ferroso.

En el horno eléctrico se realiza el proceso de fusión y reducción en el cual el hierro del mineral y el níquel del mismo entran en aleación en la fase metálica; se procede a la separación de la carga metálica y la escoria. La temperatura de colada de la escoria es del orden de los 1.650°C; la del ferroníquel está por debajo de los 1500°C. El consumo de energía es de alrededor de 530 kwh por tonelada métrica de mineral seco.

El equipo para la refinación del ferroníquel, fabricado por ASEA, está diseñado en base a agitación del metal por inducción y recalentamiento en un horno crisol eléctrico. Después del ciclo de refinación, el procesamiento termina con operaciones convencionales de lingoteo, enfriamiento y zunchado.

El principal insumo en el proceso , la energía eléctrica, s suministrada a partir de una línea de 500 Kv, la cual interconectará el sistema central nacional con la Costa Atlántica. El programa de construcción de esta línea que pasa cerca al sitio de la planta se encuentra coordinado con el programa de construcción del proyecto.

Como combustible para el horno rotatorio y el secador se utiliza gas natural. El suministro se realizará por medio de un gasoducto que unirá los campos de Jobo Tablón (35 kilómetros al norte de Cerro Matoso) con la planta de proceso.

El carbón que se utiliza como reductor provendrá en un principio de los depósitos localizados en el municipio de Amagá, Antioquia. Sin embargo recientes progresos en la exploración de áreas circundantes a Cerro Matoso permiten preveer que en relativo corto plazo el Proyecto podrá disponer de un suministro adecuado de carbón de la región.

#### DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto de Cerro Matoso contempla las instalaciones necesarias para la minería del depósito, la planta del proceso y las complementarias de infraestructura, incluyendo carreteras de acceso, aeropuerto, vivienda, comunicaciones y programas de saneamiento ambiental.

La inversión total asciende a 400 millones de dólares. El programa de construcción se desarrollará en 34 meses, con terminación prevista para Abril de 1.982.

El mineral níquelífero consiste en saprolitas y peridotita alterada, cubiertas por suelos lateríticos y, en parte del depósito por una capa de canga rica en hierro. El yacimiento se presta para explotación a cielo abierto con equipo convencional. El material es blando y requiere poco uso de explosivos.

Los bancos de descapote y minería serán de 7 metros de altura. Está previsto el almacenamiento de material con contenido de níquel entre 1 y 1.5% para uso posterior, y el almacenamiento de canga para posible utilización por parte de Ecominas, según condiciones del contrato de concesión.

Para mantener una alimentación uniforme a la planta de proceso, está prevista la explotación simultánea de diversos frentes en por lo menos tres bancos, regida por un estricto procedimiento de muestreo y análisis.

La planta está diseñada para procesar 850.000 toneladas métricas secas de mineral por año, para la producción de 42 millones de libra de níquel por año promedio. Estará localizada en la base del cerro que conforma el depósito. El proceso pirometalúrgico descrito anteriormente será utilizado para producir lingotes de ferroníquel con un contenido de níquel de 37.5 %.

A la fecha, la carretera La Apartada - Montelíbano - Cerro Matoso así como el aeropuerto de Montelíbano, ya han sido reconstruidos y puestos en servicio.

#### FINANCIACION

Los créditos para el proyecto de Cerro Matoso fueron negociados durante el año de 1.979 y los contratos correspondientes se firmaron el 20 de Diciembre del mismo año. El total comprometido a través de los diferentes préstamos es de US\$ 225 millones, repartidos así :

<u>Entidad Prestamista</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Vencimiento Final</u>
Chase Manhattan Bank (como lider de un grupo de bancos)	US\$ 120 M	Agosto 15 /89
Banco Mundial	US\$ 80 M	Agosto 15 /93
Eximbank (parte directa)	US\$ 12.5 M	Agosto 15 /87

Eximbank (Parte de  
bancos comerciales)

US\$ 12.5 M̄

Agosto 15 /92

#### INVERSIONES EFECTUADAS

Compromisos adquiridos : US\$ 346.9 Millones (85,3% del total)

Gastos reales efectuados: US\$ 298.0 Millones (73.4% del total)

A finales del mes de Junio de 1.980 se completó toda la información y documentación requerida por las entidades prestamistas para hacer efectivos los préstamos, habiéndose logrado obtener los pros desembolsos en Julio del mismo año.

Las inversiones en infraestructura suman US\$ 405 millones, de los cuales US\$ 200 millones provienen del capital de los inversi-  
tas y de préstamos.

#### OBRAS REALIZADAS

- Construcción Gasoducto
- Terminación Urbanización
- Aeropuerto en Montelíbano
- Carretera La Apartada - Montelíbano - Cerro Matoso
- Pilotajes y fundaciones en Concretos
- Edificios tales como : Oficinas, Bodegas, Clínicas, Cafete Talleres, etc.
- Obras de Infraestructura, como acueductos, alcantarillados energía temporal.
- Transporte de Equipos y Materiales
- Construcción Edificios Auxiliares de Planta
- Montajes de Acero Estructural
- Montajes Mecánicos
- Montajes Eléctricos y de Instrumentación
- Colocación de Refractarios
- Descapote
- Minería
- La Ingeniería, tanto en San Francisco como en Colombia se cuenta totalmente terminada.

La gran mayoría de los contratistas que se han vinculado al Proyecto en actividades de construcción, son firmas Colombianas.

Personal :

- Bechtel + Contratistas	:	2.200 personas
- Cerro Matoso, S.A.	:	<u>280 personas</u>
Total .....	:	2.480 personas

De este total de personas que trabajan actualmente en el Proyecto el 60% es de la región.

Entrenamiento de Personal : En desarrollo de los programas de entrenamiento elaborados por CMSA para el personal colombiano, se han adelantado entre otros, los siguientes :

- Cursos continuos en diversas disciplinas dictados por el SENA en Montelíbano.
- Cursos dictados por el SENA en otras ciudades de Colombia, principalmente sobre electricidad e Instrumentación.
- Curso para operadores y mecánicos del equipo de minería, en las Instalaciones de Caterpillar en Barranquilla.
- Cursos de adiestramiento en el exterior, para técnicos colombianos.
- Entrenamiento en todas las áreas para el personal de operación de la planta.

Protección Ambiental : A mediados de 1.979 fué contratado un estudio de protección del medio ambiente con la firma INCITEC. Estos estudios se han desarrollado en forma satisfactoria y las recomendaciones en cuanto a las medidas que deben tomarse y los equipos que deben adquirirse para evitar contaminación del ambiente que pueda ser causada por la operación de la planta de proceso del mineral, se encuentran en poder de la Administración de Cerro Matoso.

Diseño : El diseño de la planta y coordinación de la construcción están a cargo de la firma Bechtel Corporation de San Francisco, California. La Ingeniería Colombiana está a cargo del diseño, construcción e interventoría de la infraestructura y obras complementarias.

El desarrollo habitacional para proveer alojamiento al personal del Proyecto durante construcción y operación, se está ejecutando en terrenos de la compañía, ubicados en las inmediaciones de Montelíbano y está concebido como un barrio más de la población.

#### IMPORTANCIA ECONOMICA Y ESTRATEGICA DEL PROYECTO DE CERRO MATOSO

Colombia tiene una posición geográfica privilegiada y la ubicación Estratégica ideal, es casi el centro del mundo.

Estamos conscientes de que el mundo se encamina hacia la organización de grandes emporios políticos, geográficos y económicos. La integración es una forma de ir hacia ese objetivo.

Cuando la población aumenta, los recursos se hacen más escasos cuando las formas de explotación y producción se hacen más difíciles y toda una serie de situaciones tales como la estrechez del mercado, la escasez de capital y de técnica y la falta de ingresos se acercan entonces cuando se hace necesaria la unión de los esfuerzos tendientes a hacer menos dificultosas las perspectivas de desarrollo de los pueblos.

Con el desarrollo del Proyecto de Cerro Matoso, se pretende una verdadera integración social, económica, política y psicológica, como una forma de asegurar los objetivos Nacionales.

Cerro Matoso está trabajando en forma coordinada con las entidades de Gobierno, Municipales, Departamentales y Nacionales, para lograr un desarrollo integral de la región afectada por el proyecto Cerro Metalúrgico. En este sentido se están adelantando estudios programados en los campos de salud, educación, saneamiento ambiental y mejoras de infraestructura.

El impacto socio-económico y estratégico del proyecto, ha tenido especial importancia dentro de toda la planeación del proyecto. Los estudios se han hecho sobre la región y sobre Montelíbano y como resultado se han realizado contactos a nivel nacional y departamental.

para buscar a través de las entidades indicadas el mejoramiento de aspectos tan importantes como salud, educación y vivienda en la región. En la actualidad, a través de dos contratos con la Universidad Javeriana, se están implementando los estudios específicos en las áreas de salud y educación.

Adicionalmente, en combinación con la Corporación Autónoma Regional de los valles del Sinú y San Jorge CVS y el Departamento Nacional de Planeación, se están desarrollando planes para darle una debida atención a los aspectos de dotación de servicios de acueducto y alcantarillado, mejoramiento de vías, a este sector del país.

Efectivamente después de más de 10 años de preparación y proyectos, Cerro Matoso será una realidad a partir del presente año, luego de 34 meses de ardua labor en actividades de construcción del proyecto en especial obras locales de dotación de infraestructura para el montaje de la planta y preparación de lámina, Cerro Matoso se encuentra lista para comenzar la producción de " ferroniquel ".

Colombia despachará su primera exportación de níquel en la historia el próximo mes de Abril de 1.982. El futuro de la comercialización del níquel Colombiano, se puede decir que está asegurado. La venta se hará a Escandinavia y los sucesivos despachos tendrán como origen puertos de Japón, Europa y Estados Unidos.

La producción inicial será de 42 millones de libras del metal y en 1.982, las divisas generadas por Cerro Matoso, serán ya del orden de US\$ 40 millones.

El principal consumidor de níquel es la industria del acero y el hierro, entre la cual se encuentran la producción de armas con las tres cuartas partes del consumo; también en las plantas nucleares se le está dando cada vez mayores usos.

Cuando ya se inicia en Colombia la primera producción de níquel de Cerro Matoso, considerado de las mejores calidades del mundo y - que sin duda irá a beneficiar en gran medida a nuestro país; es ne-

cesario recordar la importancia de este proyecto.

El país tiene que mejorar la calidad de su producción, elevar productividad y conseguir mejores canales de distribución. Con la ejecución del proyecto de Cerro Matoso se logra este propósito que percute necesariamente en la Economía del País, ya que después de ciclo descendente de los últimos años, vendrá una fase de recuperación más o menos sostenida, ya que se están creando nuevas empresas como esta de Cerro Matoso, con la suficiente tecnificación y recursos, que será el motor de la producción con destino a mercados externos, como solución de primerísima importancia. Además Colombia tiene gran crédito internacional. Los grandes bancos privados y estatales de Europa y Estados Unidos están ofreciéndole a nuestro país financiación de corto y largo plazo, confiados en las reservas actuales y gran capacidad exportadora de los próximos años.

Como se puede observar, el proyecto de Cerro Matoso será un pilar del desarrollo nacional y tiene una importancia estratégica y económica de gran trascendencia para nuestro país, ya que permitirá el desarrollo de zonas fuertemente deprimidas, en su gran mayoría de economía agrícola y pecuaria y con altos índices de desocupación; este proyecto será un generador de empleo en el sector rural y ayuda a desarrollar las ciudades, al frenar el éxodo campesino.

Así mismo contribuye a resolver los problemas que enfrenta la economía, ya que permitirá que el sector externo de la economía colombiana se fortalezca en el futuro y el país pueda hacer frente a situaciones adversas que periódicamente causan distintos tipos de trastornos en el proceso de desarrollo del país.

En corto plazo, el níquel y el carbón competirán por ser la nueva fuente de divisas después del café.

#### BIBLIOGRAFIA

Folleto Cerro Matoso S.A. Septiembre 30 de 1.981  
Síntesis Económica " Revista del 1º Enero de 1.982

Mayor JAIME GARZON GUZMAN  
Alumno CEM/82.

P.M

622.34

G245i

Garzón Guzman, Jaime

Importancia económica y estratégica del proyecto de Cerro Matoso.

FECHA	F I R M A	No. Carné



BIBLIOTECA CENTRAL DE LAS FF. MM.

P.M

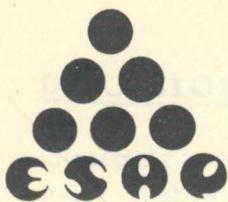
No. 622.34

G245i

Garzón Guzman, Jaime

Importancia económica y estratégica del proyecto de Cerro Matoso.

T 606  
332



ESAP - PUBLICACIONES

ESCUELA  
SUPERIOR  
DE  
ADMINISTRACIÓN  
PÚBLICA

Area : Sistemas de Dirección  
Curso : Toma de Decisiones  
Contenido : LAS DECISIONES  
Autor : *[Faint signature]*  
Código : 05-04.002

## LAS DECISIONES

### DECISIONES "TACTICAS" Y DECISIONES "ESTRATEGICAS"

Cualquier cosa que el gerente haga, la hace a través de decisiones. Estas decisiones pueden tomarse como cuestión de rutina. Hasta puede no darse cuenta de que las toma. O pueden afectar la existencia futura de la empresa y requerir años de análisis sistemático. Pero la gerencia como proceso consiste en tomas de decisiones.

La importancia que tomar decisiones tiene para la gerencia se reconoce generalmente. Pero gran parte de la discusión tiende a concentrarse en la resolución de problemas, esto es, en dar respuesta. Y ese es el enfoque erróneo. La fuente más común de errores en las decisiones gerenciales está en la insistencia en tratar siempre de encontrar la respuesta correcta en lugar de la pregunta correcta.

La única clase de decisión que realmente se concentra en la resolución de problemas es la que no tiene importancia, la de rutina, la decisión táctica. Si tanto las condiciones de la situación como los requisitos que tiene que satisfacer la respuesta son conocidos y simples, la resolución de problemas es lo único necesario. En este caso la tarea consiste meramente en elegir entre unas pocas alternativas obvias. Y el criterio es habitualmente económico: la decisión debe lograr el fin deseado con el mínimo de esfuerzo y molestia.

Al decidir cuál de las dos secretarias debe bajar todas las mañanas a buscar café para la oficina - para tomar el ejemplo más sencillo -, la pregunta debe ser: Cuál es la etiqueta social o cultural que prevalece? Al decidir la pregunta más compleja: Debe haber un momento para tomar café por la mañana?, habría dos preguntas: Ese momento resulta en una ganancia o en una pérdida de trabajo hecho?, es decir, la energía que se gana para trabajar, compensa el tiempo perdido? Y si la pérdida es mayor que la ganancia, Vale la pena alterar una costumbre por unos pocos minutos?

Por supuesto que la mayoría de las decisiones tácticas son más complicadas y más importantes. Pero son siempre monodimensionales, por decirlo así: la situación es dada y los requisitos son evidentes. El único problema es encontrar la adaptación más económica de los recursos conocidos.

Pero las decisiones importantes, las decisiones que realmente cuentan, son estratégicas. Implican averiguar cual es la situación o bien averiguar cuáles son los recursos o cuáles deberían ser. Estas son las decisiones específicamente gerenciales. Todo el que sea gerente tiene que tomar decisiones estratégicas así y cuanto mayor sea su nivel en la jerarquía gerencial, más decisiones así deberá tomar.

Entre ellas están todas las decisiones sobre objetivos comerciales y respecto a los medios de alcanzarlos. Todas las decisiones que afecten a la productividad encajan aquí; siempre tiende a cambiar la situación total. También encajan aquí todas las decisiones de organización y las decisiones importantes sobre inversiones de capital. Pero la mayor parte de las decisiones que se consideran de decisiones de operación son de carácter estratégico; la asignación de territorios de ventas o el adiestramiento de los vendedores; el trazado de la fábrica o el inventario de materia prima; el mantenimiento preventivo o el flujo de los comprobantes de pagos de sueldos en una oficina.

Las decisiones estratégicas, cualquiera sea su magnitud, su complejidad o su importancia, no se deben tomar nunca mediante la resolución de problemas. En estas decisiones específicamente gerenciales, la tarea importante y difícil no es nunca encontrar la respuesta correcta sino la pregunta correcta. Porque hay pocas cosas tan inútiles como la respuesta correcta a la pregunta errónea.

Tampoco es suficiente encontrar la respuesta correcta. Más importante y más difícil es hacer efectivo el curso de acción que se haya decidido. La gerencia no tiene interés por el conocimiento en sí; lo que le interesa es el desempeño. Nada es por lo tanto tan inútil como la respuesta correcta que desaparece en el cajón del archivo o la solución correcta que la gente que tiene que hacerla efectiva sabotea silenciosamente. Y una de las tareas más cruciales de todo el proceso de tomar decisiones es asegurarse de que las decisiones a las cuales se ha llegado en varias partes del negocio y en varios niveles gerenciales sean compatibles entre sí y consonantes con las metas de todo el negocio.

### TOMA DE DECISIONES: SUS FASES

La toma de decisiones tiene cinco fases distintas: la definición del

problema, el análisis del problema, la búsqueda de soluciones alternativas, la decisión respecto a cuál es la mejor solución y la conversión de la decisión en acción efectiva. Cada fase encierra varios pasos.

La toma de decisiones puede ser una pérdida de tiempo como puede ser el mejor medio del gerente para resolver el problema de la utilización del tiempo. Se debe invertir tiempo en definir el problema. Se invierte bien el tiempo en analizar un problema y buscar las soluciones alternativas. El tiempo es necesario para que la solución sea efectiva. Pero se debe invertir mucho menos tiempo en buscar la solución correcta. Y todo tiempo invertido en "vender" una solución después de haberla alcanzado es pura pérdida y evidencia una mala utilización del tiempo en las etapas anteriores.

## 1. LA DEFINICION DEL PROBLEMA

Prácticamente ningún problema de la vida -en el comercio o fuera de él- se presenta como un caso con respecto al cual se pueda tomar una decisión. Lo que a primera vista aparece como elementos del problema raramente son las cosas realmente importantes y pertinentes. Cuando mucho son síntomas. Y frecuentemente los síntomas más visibles son los menos reveladores.

La gerencia puede ver un choque de personalidades; el verdadero problema puede ser una mala estructura de organización. La gerencia puede ver un problema de costos de fabricación y comenzar una campaña para reducirlos, pero el verdadero problema puede estar en el diseño o en el planeamiento de ventas. La gerencia puede ver un problema de organización, pero el problema real puede ser la falta de objetivos claros.

### 1.1. BUSQUEDA Y DEFINICION DEL PROBLEMA

La primera tarea de la toma de decisiones es por lo tanto la búsqueda del problema real y su definición. Y no se puede invertir mucho tiempo en esta fase. Los libros y los artículos sobre conducción están llenos de consejos sobre la manera de tomar decisiones rápidas, vigorosas e incisivas. Pero no hay consejo más tonto, ni que haga perder tanto tiempo, como el de decidir rápidamente en qué consiste realmente un problema.

El diagnóstico sintomático, que es el método utilizado por la mayoría de los gerentes, no es una solución. Se basa en la experiencia más que en el análisis, lo que de por sí lo hace excluyente para el gerente que no puede adquirir esta experiencia sistemáticamente. No podemos poner los negocios enfermos en una clínica y exhibirlos a los estudiantes, como hacemos con la gente enferma. No podemos comprobar si el gerente ha adquirido bastante experiencia para diagnosticar correctamente antes de dejarlo solo frente a problemas reales. Podemos utilizar casos para preparar a los hombres para tomar decisiones comerciales, y lo hacemos. Pero el mejor de los casos sigue siendo un ejemplar muerto conservado en alcohol, por decirlo así. No es un sustituto mejor del problema comercial de lo que los ejemplares del museo anatómico lo son del paciente vivo del hospital.

Además, el diagnóstico sintomático solamente es permisible donde los síntomas son dignos de confianza, de tal manera que se puede suponer que ciertos fenómenos superficiales pertenecen a ciertas enfermedades definidas. El médico que utiliza el diagnóstico sintomático puede suponer que ciertos síntomas en general no mienten. (Aunque hoy hasta el médico trata de sustituir el diagnóstico sintomático por métodos analíticos estrictos). El gerente, sin embargo, debe suponer que los síntomas mienten. Sabiendo que muchos problemas comerciales producen el mismo juego de síntomas, y que el mismo problema se manifiesta en una infinita variedad de maneras, el gerente debe analizar el problema antes que diagnosticarlo.

Para llegar a la definición del problema debe comenzar por buscar el "factor crítico". Este es el elemento (o los elementos) de la situación que hay que cambiar antes de poder cambiar cualquier otra cosa, moverla o actuar con respecto a ella.

Un fabricante de artículos de cocina bastante importante dedicó todas las energías de la gerencia durante diez años a reducir los costos de producción. Los costos bajaron realmente, pero el beneficio no mejoró. El análisis del factor crítico demostró que el verdadero problema era la mezcla del producto que se vendía. Los vendedores de la compañía colocaban los productos que se vendían con mayor facilidad. Y ponían toda su insistencia sobre el atractivo más obvio: el menor precio. Como resultado la compañía vendió más y más productos de la línea menos provechosa, en la que sus competidores realizaban los menores esfuerzos. Y tan pronto como reducía sus costos rebajaba los

precios. Ganó en volumen de ventas, pero la ganancia era puro engorde antes que crecimiento. En realidad, la compañía se hizo más vulnerable a las fluctuaciones del mercado. Solamente definiendo el problema como un problema de mezcla del producto se lo pudo resolver. Y solamente cuando se formuló la pregunta: Cuál es el factor crítico de esta situación?, se pudo dar la definición correcta del problema.

Descubrir el factor crítico mediante un análisis directo del problema no es siempre fácil. Con frecuencia hay que utilizar dos enfoques subsidiarios. Ambos son aplicaciones de un principio desarrollado por los físicos clásicos del siglo dieciocho para aislar al factor crítico: el principio del "movimiento virtual". Uno de los enfoques supone que nada cambiará ni se moverá, y pregunta: Qué ocurrirá en el tiempo? El otro enfoque se proyecta hacia atrás y pregunta: Qué cosa que pudiera haberse hecho o dejado de hacer cuando este problema apareció por primera vez habría afectado materialmente la situación actual?

Un ejemplo del uso de estos dos enfoques es el caso de una compañía química que enfrentó la necesidad de reemplazar al vicepresidente ejecutivo, quien falleció repentinamente. Todo el mundo estuvo de acuerdo en que el extinto había creado la compañía, pero todos estaban también de acuerdo en que había sido cruel y tiránico y había hecho que abandonara la compañía toda la gente independiente. En consecuencia el problema como lo veía la gerencia, consistía en decidir entre no llenar la vacante o llenarla con un hombre igualmente fuerte. Pero en el primer caso, quién dirigiría la compañía? Y en el segundo, no habría otro tirano?

La pregunta de qué se podría haber hecho diez años antes puso en evidencia el hecho de que el vicepresidente ejecutivo, su función y su personalidad no constituían el verdadero problema. El problema era que la compañía tenía un presidente nominal pero no efectivo. Mientras que el vicepresidente ejecutivo había tenido que tomar todas las decisiones y hacerse cargo de la responsabilidad, la autoridad final y sus símbolos los investía un presidente que cuidaba celosamente de sus derechos, aunque en la práctica había abdicado. Todo lo que se podría haber hecho diez años antes para asegurar a la compañía el beneficio de la energía del extinto y salvaguardarla de sus debilidades hubiera requerido el establecimiento claro de su autoridad y su responsabilidad como principal. Entonces se podrían haber establecido salvaguardias constitucionales, tales como la organización del cargo máximo en equipo, la asignación de la parte de formulación de objetivos a vice

presidentes que operan como comisión de planteamientos, o la descentralización federal de los negocios por productos, y entonces el problema se habría solucionado. Este análisis reveló que la remo - ción del presidente era la primera medida que debía tomarse. Hecho esto, pudo resolver el problema.

## 1.2. DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DE SOLUCION

El segundo paso de la definición del problema es determinar las condiciones de su solución.

Al reemplazar al vicepresidente ejecutivo extinto los objetivos de la solución del problema eran bastante evidentes. Había que evitar la repetición de la tiranía unipersonal. Y había que evitar la repetición del intervalo sin conducción; había que proveer a la formación de los gerentes superiores del mañana.

El primer objetivo excluía la solución más apoyada por algunos de los vicepresidentes; una comisión de vicepresidentes funcionales que tra**ba**jara libremente con el presidente nominal. El segundo excluía la solución apoyada por el presidente del directorio; el reclutamiento de un sucesor para el vicepresidente ejecutivo. El tercer objetivo exigía que, cualquiera fuera la organización de la gerencia superior, se crearan negocios por productos federalmente descentralizados para adiestrar y poner a prueba a los futuros gerentes superiores.

Los objetivos deben reflejar siempre las metas del negocio, deben estar siempre enfocados en el desempeño y en los resultados del negocio. Deben equilibrar y armonizar siempre el futuro inmediato y el futuro a largo plazo. Deben tener siempre en cuenta tanto el negocio como un todo así como las actividades que se necesitan para dirigirlo.

## 1.3. LIMITACIONES A LA SOLUCION

Al mismo tiempo, las reglas que limitan la solución deben ser pen - sadas. Cuáles son los principios, las políticas y las reglas de conducta que hay que seguir? Puede ser una regla de la compañía no pedir nunca prestado más de la mitad del capital que necesita. Puede ser un principio no emplear nunca a un hombre de afuera sin tener primero en cuenta cuidadosamente a todos los gerentes de adentro. Se puede considerar como un requisito de la buena preparación de gerentes no crear príncipes herederos en la organización. Puede ser política establecida que los cambios de diseño tengan que ser sometidos a la gente de fabricación y de comercialización antes que ser

puestas en práctica por el departamento de ingeniería.

Es necesario establecer las reglas, porque en muchos casos la decisión correcta requerirá el cambio de política o prácticas aceptadas. A menos que el gerente piense claramente qué quiere cambiar y por qué, estará en peligro de intentar al mismo tiempo la alteración y la preservación de la práctica establecida.

La regla es en realidad el sistema de valores dentro del cual hay que tomar la decisión. Estos valores pueden ser morales, pueden ser culturales, pueden ser metas de la compañía. En su totalidad constituyen un sistema ético. Un sistema así no decide cuál ha de ser el curso de la acción; solamente decide cuál no debe ser. La gente de la gerencia frecuentemente imagina que la Regla de Oro de proceder con los demás como quisiéramos que los demás procedieran con nosotros es una regla de acción. Están equivocados; la Regla de Oro solamente decide qué acción no debe tener lugar. La eliminación de los cursos de acción inaceptables es en sí un requisito esencial de la decisión. Sin él habrá tantos caminos para elegir como para paralizar la capacidad de actuar.

## 2. EL ANALISIS DEL PROBLEMA

La búsqueda de la pregunta correcta, la fijación de los objetivos y la determinación de las reglas, constituyen en conjunto la primera fase de la toma de decisiones. Definen el problema. La siguiente es el análisis del problema: su clasificación y la búsqueda de los hechos.

### 2.1. CLASIFICACION DEL PROBLEMA

Es necesario clasificar el problema a fin de saber quién debe tomar la decisión, a quién hay que consultar al tomarla y quién debe ser informado al respecto. Sin una clasificación previa, la efectividad de la decisión final peligrará seriamente, porque solamente la clasificación puede mostrar quién tiene que hacer qué a fin de convertir la decisión en acción efectiva.

Los principios de la clasificación son cuatro: la actualidad de la decisión (el lapso por el cual compromete al negocio a seguir un curso de acción y la rapidéz con que se puede revisar la decisión); el impacto de la decisión sobre otros aspectos y funciones; el número de consideraciones cualitativas que entran en él, y la calidad de ser única o periódica la decisión. Sólo esta clasificación pue

de asegurar que una decisión contribuya realmente al todo del negocio antes que a solucionar un problema inmediato o local a costa del todo. Porque la clasificación propuesta clasifica los problemas de acuerdo con su correlación tanto con las metas generales del negocio como con las metas del componente que dirige el gerente individual. Fuerza al gerente a ver su problema desde el punto de vista de la empresa.

## 2.2. BUSQUEDA DE LOS HECHOS

"Averigüe los hechos" es el primer mandamiento de la mayoría de los textos sobre la toma de decisiones. Pero esto no se puede hacer hasta que el problema haya sido definido y clasificado. Hasta entonces, nadie puede conocer los hechos, sólo se puede conocer la información. La definición y la clasificación determinan cuáles datos son los procedentes, es decir, los hechos. Permiten al gerente hacer a un lado los meramente interesantes pero improcedentes. Le permiten decir qué parte de la información es válida y qué parte tiende a concluir.

Al averiguar los hechos el gerente tiene que preguntar: Qué información necesito para tomar esta decisión particular? Tiene que decidir hasta qué punto son procedentes y válidos los datos que posee. Tiene que determinar que información adicional necesita y hacer lo que sea necesario para conseguirla.

Estas no son tareas mecánicas. La información en sí requiere un análisis hábil e imaginativo. Se la debe examinar para descubrir detalles que puedan indicar que el problema ha sido definido en forma errónea o clasificado en forma errónea. En otras palabras "averiguar los hechos" es solamente una parte de la tarea. Utilizar la información como medio para poner a prueba la validez del enfoque entero es por lo menos igualmente importante.

Una revista comercial mensual se encontró en dificultades financieras. El problema fué definido como proveniente de las tarifas de publicidad. Pero el análisis de los hechos y las cifras demostró algo que nadie había sospechado nunca en la revista: si algún éxito había tenido la revista había sido como fuente de noticias para sus suscriptores. Los suscriptores tenían un exceso de revistas mensuales pesadas, echaban de menos una publicación informativa menor, y valoraban a esta revista en cuanto se acercaba a una revista de noticias en su formato y contenido. Como resultado de este análisis, el problema fué definido de otra

manera: Cómo podemos convertirnos en una revista de noticias? Y la solución fué: convirtiéndose en un semanario. Era la solución correcta, como lo demostró el éxito posterior de la revista.

### 2.3. DEFINICION DEL DESCONOCIDO

El gerente nunca podrá averiguar todos los hechos que debería conocer. La mayor parte de las decisiones tienen que basarse en conocimientos incompletos, o bien porque la información no se encuentra disponible o porque costaría demasiado tiempo y dinero obtenerla. Para tomar una buena decisión, no es necesario conocer todos los hechos, pero es necesario saber qué información falta para juzgar cuánto riesgo implica la decisión, así como el grado de precisión y rigidez que puede permitirse el curso de acción propuesto. Porque no hay nada más traicionero, o más común, que la tentativa de tomar decisiones precisas sobre la base de información burda e incompleta. Cuando la información no se puede obtener, hay que suponer. Y sólo los hechos subsiguientes pueden demostrar si las suposiciones fueron justificadas o no. A los gerentes que toman decisiones se les puede aplicar el viejo dicho de los médicos: "El mejor diagnóstico no es el hombre que hace el mayor número de diagnósticos correctos, sino el que puede descubrir pronto y corregir enseguida sus errores de diagnóstico". Para hacerlo sin embargo, el gerente debe saber dónde la falta de información lo ha forzado a suponer. Debe definir lo desconocido.

### 3. LAS SOLUCIONES ALTERNATIVAS

Debería ser norma invariable preparar varias soluciones alternativas para cada problema. De otra manera se corre peligro de caer en la trampa del falso "o bien". La mayoría de las personas protestarían si uno les dijera: "Todas las cosas del mundo son o bien verdes o bien rojas". Pero la mayoría de nosotros aceptamos todos los días declaraciones que no son un ápice menos absurdas y procedentes de acuerdo. Nada es más común que la confusión entre una verdadera contradicción: verde y no verde, por ejemplo, que comprende todas las posibilidades, y un contraste, verde y rojo, por ejemplo, que menciona solamente dos de numerosas posibilidades. El peligro está aumentando por la tendencia humana común a enfocarse los extremos. Todas las posibilidades de color están expresadas en "negro o blanco", pero no están contenidas en la frase. Sin embargo, cuando decimos "negro o blanco", tendemos a creer que hemos nombrado toda la gama, simplemente porque hemos mencionado los extremos.

La vieja fábrica de un pequeño fabricante de equipos de plomería se había hecho anticuada y amenazaba a la compañía con la pérdida total de su situación en el mercado en una industria altamente competitiva y cuidadosa de los precios. La gerencia llegó correctamente a la conclusión de que tenía que abandonar la fábrica. Pero como no se forzó a preparar soluciones alternativas, decidió que tenía que construir una nueva fábrica. Y esta decisión llevó a la compañía a la bancarrota. En realidad, nada fué consecuencia del descubrimiento de que la vieja fábrica resultada anticuada, excepto la decisión de dejar de fabricar allí. Había bastantes cursos de acción alternativos: subcontratar la producción, por ejemplo, o convertirse en distribuidor de otro fabricante que no estuviera representado en la zona. Cualquiera de ellos hubiera sido preferible y hubiera sido bien recibido por una gerencia que reconocía los peligros relacionados con la construcción de una nueva fábrica. Sin embargo, la gerencia no pensó en estas alternativas hasta que era demasiado tarde.

Otro ejemplo es el de un gran ferrocarril que, en los años de la posguerra sufrió un agudo aumento del volumen de su tráfico. Estaba claro que había que expandir las instalaciones. El impedimento principal parecía ser la playa de maniobras más grande de la compañía. Situada a mitad del camino entre los dos puntos terminales principales, la playa atendía a todos los trenes de carga, que se dividían en ella y en ella volvían a ser preparados. Y el exceso de tránsito era ya tan grave que los trenes tenían que esperar a varias millas de distancia y a veces hasta veinticuatro horas antes de poder entrar. El remedio obvio era ampliar la playa. Y así se hizo, a un costo de muchos millones. Pero la compañía no tuvo nunca oportunidad de utilizar las instalaciones ampliadas. Porque las dos playas subsidiarias que hay entre la principal y los dos puntos terminales, al norte y al sur, respectivamente, no podrían manejar las cargas adicionales que les impondrían las nuevas instalaciones si se les utilizara. Rápidamente se hizo evidente que el verdadero problema había sido la capacidad limitada de las playas subsidiarias. La playa principal original podría haber sido capaz de atender mucho tráfico más si tan sólo las subsidiarias hubieran sido más grandes y más rápidas. Y la ampliación de estas dos playas hubiera costado menos de un quinto de la suma que se invirtió en ampliar la playa principal.

Estos casos revelan cuán limitada es la imaginación de casi todos nosotros. Tendemos a ver una forma y a considerarla correcta, si no la única. Como la compañía ha fabricado siempre sus mer-

caderías, tiene que seguir haciéndolo. Como la ganancia ha sido siempre considerada como margen entre el precio de venta y los costos de fabricación, la única forma de aumentar el lucro es reducir los costos de producción. Ni siquiera pensamos en subcontratar la fabricación o en cambiar la mezcla del producto.

Las soluciones alternativas constituyen el único medio de traer nuevas suposiciones básicas a un nivel consciente, forzándonos a examinarlas y a poner a prueba su validez. Las soluciones alternativas no constituyen una garantía de sabiduría o de decisión correcta. Pero por lo menos evitan que tomemos la decisión que de haber pensado el problema a fondo hubiéramos sabido que era la incorrecta.

Las soluciones alternativas son en efecto el único elemento para movilizar y adiestrar a la imaginación. Constituyen el corazón de lo que se conoce como "método científico". La característica del científico de primera clase verdadero consiste en que siempre considera explicaciones alternativas, no importa cuan familiar y corriente sea el fenómeno observado.

Por supuesto que la búsqueda y la consideración de las alternativas no le da a un hombre la imaginación que le falta. Pero la mayoría de nosotros tenemos mucha más imaginación de la que jamás utilizamos. Un ciego no puede por cierto aprender a ver. Pero es sorprendente lo que no ve una persona que tiene visión normal y cuánto puede llegar a percibir mediante el adiestramiento sistemático. En forma similar, la visión de la mente se puede adiestrar, disciplinar y desarrollar. Y el método para hacerlo es la búsqueda sistemática de soluciones alternativas para un problema y su desarrollo.

### 3.1. LA ALTERNATIVA DE NO HACER NADA

Las alternativas pueden variar según el problema. Pero hay una solución posible que siempre se debe tener en cuenta: no hacer nada.

No hacer nada es una decisión tanto como lo es encarar una acción específica. Sin embargo, poca gente lo comprende. Creen que pueden evitar una decisión desagradable dejando de hacer cosa alguna. La única forma de evitar que se engañen de esta manera es explicar las consecuencias que pueden resultar de una decisión en contra de actuar.

En una empresa la acción es de la naturaleza de una interferencia quirúrgica con un organismo vivo. Significa que la gente tiene que cambiar sus hábitos, sus maneras de hacer las cosas, su relación mutua, sus objetivos o sus elementos. Aunque el cambio sea pequeño, siempre existe el peligro del "shock". Un organismo sano soportará un "shock" así más fácilmente que uno enfermo; "sano", dicho con respecto a una organización, significa que puede aceptar un cambio fácilmente y sin sufrir un traumatismo. Pero sigue siendo distintivo de un buen cirujano el hecho de que no corta si no es necesario.

La creencia de que hay que actuar con relación a un problema - puede ser en sí pura superstición.

Durante veinte años una gran compañía de navegación había encontrado dificultades para cubrir uno de sus cargos superiores. Nunca tuvo a nadie realmente calificado para el puesto. Y quien quiera lo ocupaba, pronto se encontraba en dificultades y conflictos. Pero durante veinte años cada vez que quedó vacante se lo volvió a ocupar. En el vigésimo primer año un nuevo presidente preguntó: Qué ocurriría si no lo ocupáramos? La respuesta fue: nada, se hizo evidente entonces que el cargo había sido creado para desempeñar una tarea que había dejado de ser necesaria hacía mucho tiempo.

Es importante que en todos los problemas de organización uno considere la alternativa de no hacer cosa alguna. Porque es aquí donde de las formas tradicionales de hacer las cosas y los puestos que reflejan el pasado más que el presente tienen su mayor ascendiente sobre la visión y la imaginación de la gerencia. Existe además el peligro del crecimiento casi automático de estratos y niveles gerenciales que será constante salvo que la decisión de no llenar una vacante se considere parte de la decisión de cómo llenarla.

#### 4. LA BUSQUEDA DE LA MEJOR SOLUCION

Sólo ahora debe tratar de determinar el gerente cuál es la mejor solución. Si ha realizado un trabajo adecuado, o bien tendrá varias alternativas para elegir, cualquiera de las cuales solucionará el problema, o tendrá alrededor una docena de soluciones, ninguna de las cuales llega a la perfección pero que difieren entre sí en cuanto al aspecto en que son insuficientes. Es rara la situación en que hay una solución y solamente una. En realidad, siempre que el análisis del problema conduce a esta conclusión reconfortante, uno puede sospechar razonablemente que la solución no es otra co

sa que un argumento plausible para una idea preconcebida.

#### 4.1. CRITERIOS PARA ELEGIR LA MEJOR SOLUCION

Hay cuatro criterios para elegir la mejor solución entre los posibles :

1. El riesgo. El gerente tiene que comparar los riesgos de cada curso de acción posible con las ganancias que se esperan de él. No hay ninguna acción sin riesgo, ni siquiera hay falta de acción sin riesgo. Pero lo que más importa no es la ganancia que se espera ni el riesgo previsible, sino la proporción entre ellos. Cada alternativa tiene que contener por lo tanto una valoración de sus probabilidades.
2. El esfuerzo económico. Cuál de las posibles líneas de acción dará los mejores resultados con el menor esfuerzo; cuál obtendrá el cambio que se necesita con la menor perturbación de la organización? Demasiados gerentes eligen armas contra elefantes para cazar gaviotas. Demasiados también utilizan hondas contra tanques de cuarenta toneladas.
3. La elección del momento. Si la situación es muy urgente, el curso de acción preferible es el que dramatice la decisión y notifique a la organización de que ocurrirá algo importante. Si por el contrario se necesita un esfuerzo largo y consistente, un comienzo lento que provoque expectativa puede resultar preferible. En algunas situaciones la solución debe ser final y debe levantar inmediatamente la visión de la organización hacia una nueva meta. En otras lo que más importa es conseguir que se dé el primer paso. La meta final puede estar envuelta en las tinieblas por el momento.

Las decisiones referentes a la elección del momento oportuno son extremadamente difíciles de sistematizar. Rehusan el análisis y dependen de la percepción. Pero hay una guía. Siempre que los gerentes deben cambiar su visión para alcanzar algo nuevo es mejor ser ambicioso; presentarles la vista grande, el programa completo, la meta final. Siempre que tenga que cambiar sus hábitos, puede ser mejor ir paso a paso, empezar lenta y modestamente, no hacer más al principio que lo absolutamente necesario.

4. Las limitaciones de los recursos. El recurso más importante cuyas limitaciones hay que considerar son los seres humanos que llevarán a cabo la decisión. Ninguna decisión puede ser mejor que las personas que tienen que llevarla a la práctica. Su visión, su competencia, su habilidad y su comprensión determinan lo que pueden y lo que no pueden hacer. Un curso de acción puede muy bien requerir más de estas cualidades de lo que poseen hoy y no obstante construir el mejor programa. Entonces deben realizarse esfuerzos, que deben estar previstos en la decisión, para aumentar la capacidad y el nivel de las personas. O puede tener que buscarse a personas que tengan lo que la decisión exige. Esto puede sonar obvio, pero las gerencias toman decisiones todos los días, desarrollan procedimientos o ponen en vigencia políticas sin formular la pregunta: Tenemos los medios para realizar estas cosas? y tenemos a la gente?

Nunca se debe adoptar la decisión equivocada porque falte la gente y la competencia necesaria para hacer lo que corresponde. La decisión debe siempre recaer entre alternativas genuinas, es decir, entre cursos de acción cada uno de los cuales solucionará el problema en forma adecuada. Y si el problema solamente se puede solucionar exigiendo más de lo que las personas son capaces de dar, o bien deben aprender a hacer más o se las debe reemplazar por gente que pueda. Encontrar una solución que funciona en el papel pero fracasa en la práctica porque los recursos humanos para llevarla a cabo no están disponibles o no están en el lugar en que se los necesita, no es resolver un problema.

## 5. HACER QUE LA DECISION SEA EFECTIVA

Finalmente, toda solución tiene que ser hecha efectiva en la acción.

- 5.1. La "venta" de la decisión : En la actualidad se pierde mucho tiempo "vendiendo" las soluciones. Es tiempo perdido. Intentar vender una solución es muy poco y demasiado a la vez. Implica que todo irá bien siempre que la gente "compre". Sin embargo, hace a la esencia de la decisión gerencial que alguien debe aplicarla para hacerla efectiva. La decisión de un gerente es siempre una decisión

respecto a lo que deben hacer otras personas. Y para ello no es suficiente que compren. Deben hacerla suya.

Hablar de "vender" también implica que lo que constituye la decisión correcta esté subordinado a lo que "el cliente" quiera, pero esto es venenoso y deshonesto como doctrina. Lo que es correcto está determinado por la naturaleza del problema; los deseos y la receptividad de los clientes son bastante improcedentes. Si se trata de la decisión correcta, se los debe llevar a aceptarla, ya sea que al principio les guste o no.

Si hay que dedicar tiempo a vender una decisión, no se la ha tomado con propiedad y no es probable que entre en vigencia. La presentación de los resultados finales no debe constituir una gran preocupación, sin embargo, de acuerdo con la más antigua y más fundamental de las reglas de la retórica, según la cual una decisión se debe presentar siempre a la gente en el lenguaje que usa y entiende.

Aunque es un término objetable, la insistencia en "vender" una decisión señala un hecho importante: es propio de la naturaleza de la decisión gerencial ser llevada a la práctica por otras personas. El gerente que "toma" la decisión en realidad no hace tal cosa. El define el problema. El fija los objetivos y explica las reglas. El clasifica la decisión y reúne la información. El busca soluciones alternativas, las juzga y elige la mejor. Pero para que la solución se convierta en decisión, se requiere acción. Y eso no lo puede suministrar el gerente que toma decisiones. El solo puede comunicar las a otros lo que deben hacer y darles motivos para que lo hagan. Y solo cuando ellos inician la acción correcta se toma realmente la decisión.

## 5.2 COMPRESION Y ACEPTACION DE LA DECISION

Convertir una solución en acción requiere que la gente entienda qué cambio de conducta se espera de ellos y qué cambio deben esperar en la conducta de otros con los cuales trabajan. Lo que tienen que aprender es el mínimo necesario para permitirles actuar de la nueva manera. Presentar una decisión como si exigiera que la gente aprendiera todo de nuevo o tuviera que rehacerse sobre la base de una nueva imagen es tomar mal las decisiones. El principio de la comunicación efectiva consiste en transmitir solamente la desviación significativa o excepción y eso en forma clara, precisa y nada ambigua. Es un problema de economía y precisión.

### 5.3. PARTICIPACION EN LAS DECISIONES

Pero el motivo es un problema psicológico y por lo tanto está regido por diferentes reglas. Requiere que toda decisión se convierta en "nuestra decisión" para la gente que tiene que convertirla en acción. Esto a su vez significa que tienen que participar en forma responsable en tomarla.

Podemos estar seguros de que no deben participar en la definición del problema. En primer lugar, el gerente no sabe quien tiene que participar hasta que la definición y la clasificación están hechas; sólo entonces sabe qué impacto tendrá la decisión y sobre quién. La participación es innecesaria y habitualmente indeseable, en la fase de reunión de información. Pero la gente que tendrá que llevar a la práctica la decisión debe participar siempre en el trabajo de desarrollar alternativas. Es probable que esto mejore la calidad de la decisión final, al revelar puntos que el gerente puede haber pasado por alto, descubrir dificultades ocultas y poner en evidencia recursos disponibles pero no utilizados.

Precisamente porque la decisión afecta el trabajo de otras personas, debe ayudarlas a alcanzar sus objetivos, ayudarlas en su trabajo, contribuir a que se desempeñen mejor, más efectivamente y con una mayor sensación de haber logrado algo. No puede ser una decisión ideada meramente para ayudar al gerente a desempeñarse mejor, hacer su trabajo con mayor facilidad u obtener mayor satisfacción de él.

### LOS NUEVOS MEDIOS PARA TOMAR DECISIONES

Nada de lo que he dicho hasta ahora con respecto a la toma de decisiones es nuevo; por el contrario, sólo repite lo que se ha sabido durante miles de años. Pero mientras muchos gerentes utilizan el método de tomar decisiones bien, son pocos los que entienden claramente lo que están haciendo.

Dos novedades, sin embargo, hacen importante que todo gerente comprenda el proceso. En primer lugar, una batería completa de nuevos elementos para tomar decisiones se encuentra ahora disponible. Son elementos poderosos y valiosos, pero no se los puede utilizar si el gerente no comprende su finalidad.

Segundo, la nueva tecnología está cambiando rápidamente el equilibro entre las decisiones tácticas y las estratégicas. Muchas deci

cisiones que siempre han sido tácticas, y si no rutinarias se están convirtiendo rápidamente en decisiones estratégicas que contienen un alto grado de proyección hacia el futuro, un gran efecto y un gran número de consideraciones cualitativas; en otras palabras, se están convirtiendo en decisiones de un orden elevado. Y sólo se pueden tomar con éxito si el gerente sabe qué está haciendo y lo hace sistemáticamente.

Los nuevos medios han sido introducidos bajo el nombre confuso de "Investigación de Operaciones". No se trata de investigación ni de operaciones. Se trata de medios de análisis y síntesis sistemáticos, lógicos y matemáticos. En realidad, ni siquiera es correcto decir que los medios son nuevos; difieren poco de los medios utilizados por el lógico simbólico medieval tal como San Buenaventura. Lo único nuevo son algunas técnicas matemáticas y lógicas.

No es suficiente por lo tanto adiestrar a la gente en el uso de las nuevas técnicas y pasarle entonces las decisiones de la gerencia. Las decisiones gerenciales las tiene que tomar el gerente. Y siguen siendo decisiones basadas en el criterio. Pero los nuevos medios pueden ayudar mucho en algunas fases de la toma de decisiones.

Frente a un nuevo elemento es importante decir primero qué es lo que no puede hacer. La Investigación de Operaciones con todas sus técnicas, el análisis matemático, la lógica simbólica moderna, la teoría matemática de la información, la "Teoría de los Juegos", la probabilidad matemática, etc., no puede ayudar a definir cuál es el problema. No puede fijar objetivos para la solución. No puede fijar reglas. En forma similar, los nuevos elementos no pueden decidir cuál es la mejor solución y no pueden de por sí hacer que una decisión sea efectiva. Empero, estas son las fases más importantes de la toma de decisiones.

Pero los nuevos medios pueden ser de gran utilidad en las dos etapas centrales: el análisis del problema y el desarrollo de alternativas. Ellos pueden encontrar y extraer lo que determina el comportamiento del negocio y de su medio, incluyendo aquello que hasta ahora ha estado más allá del campo visual o del alcance de la imaginación del gerente. De esta manera pueden extraer cursos de acción alternativos. Pueden demostrar qué factores son improcedentes (es decir, menos datos) y cuáles son procedentes (es decir, hechos). Pueden demostrar el grado de confianza que

merece la información disponible y qué datos adicionales se requieren para llegar a un juicio sólido. Pueden demostrar qué recursos se necesitarán en cualquiera de los cursos de acción alternativos y qué contribución se requerirá de cada componente o función. Se los puede utilizar para mostrar las limitaciones de cada curso de acción disponible, sus riesgos y sus probabilidades. Pueden mostrar qué efecto tendrá una acción dada sobre otros aspectos, componentes y funciones, la relación entre inversión y rendimiento y la ubicación y naturaleza de los obstáculos. Pueden relacionar el trabajo y la contribución de cada función o componente con los de todos los demás y mostrar la repercusión total resultante sobre el comportamiento y los resultados de todo el negocio.

Los nuevos elementos tampoco carecen de peligro. A menos que se los use con propiedad, pueden convertirse en medios potentes para tomar decisiones equivocadas. Precisamente porque hacen posible el análisis concreto y específico de problemas que hasta ahora solamente se podrían definir burdamente o intuir, se puede abusar de los nuevos elementos para "resolver" los problemas de un aspecto pequeño o una función a costa de otros aspectos o funciones o del negocio entero. Se puede abusar de ellos, como le llaman los técnicos, para "suboptimizar". Y es importante señalar que prácticamente todos los problemas que hasta ahora se dan en las publicaciones como ilustraciones de la Investigación de las Operaciones son problemas que nunca deberían solucionarse aisladamente, ya que tal solución tiene inevitablemente por resultado una seria "suboptimización". En realidad, el uso debido de estos elementos es posible solamente cuando se los aplica primero al análisis y la definición de las características de todo negocio. Solo entonces se los puede utilizar provechosamente para el análisis de problemas individuales y para la mejora de las decisiones individuales.

Finalmente, los nuevos elementos prometen ayudar a hacer que otros comprendan qué acción se requiere de ellos y qué se puede esperar de los colaboradores. La teoría matemática de la información está todavía en la infancia. Pero es probable que produzca elementos capaces de identificar el cambio que convenga introducir en la conducta y definirlo en símbolos precisos.

Todas estas cosas han sido practicadas durante muchas generaciones por gente de imaginación. Lo que hacen los nuevos elementos es poner esos logros al alcance de todos. Arman la imaginación, la desarrollan y la guían.

En esencia son armas de información y de sistematización de datos, no de toma de decisiones. Como armas de información, son las mejores. En realidad, no es demasiado fantástico esperar que dentro de diez o veinte años estos nuevos elementos de análisis lógico y matemático hayan reemplazado a los métodos tradicionales de contabilidad con los cuales estamos tan familiarizados hoy.

Por que los nuevos elementos ponen sobre el tapete la cuestión de sobre que se basan los fenómenos antes que su mera descripción. Enfocan la acción, mostrando qué cursos alternativos puede tomar ésta y qué implica cada uno. Por lo tanto hacen posibles decisiones que tienen un alto grado de racionalidad con respecto a actualidad, riesgo y probabilidad. Esta es la clase de información que necesita cada gerente para contribuir al máximo al negocio y controlarse a sí mismo. La contabilidad seguirá siendo necesaria para poder informar a los accionistas en el campo financiero, para el trabajo de impuestos y el trabajo de custodia. La información de la gerencia, en cambio, será crecientemente matemática y lógica.

El gerente puede no tener que trabajar personalmente con estos elementos (aunque su utilización para muchas aplicaciones no requieren más conocimientos matemáticos de los que se necesitan para leer los gráficos de ventas de la actualidad). Pero es especial que los comprenda, sepa cuándo llamar a un especialista para su uso y sepa qué pedir al especialista.

Pero sobre todo, debe entender el método básico implícito en tomar decisiones. Si tal comprensión o bien no podrá utilizar los nuevos elementos en absoluto o exagerará su contribución y verá en ellos la clave de la solución de los problemas, lo que sólo puede resultar en la sustitución del pensamiento por artilugios, y del criterio por la mecánica. En lugar de encontrar una ayuda en los nuevos elementos, el gerente que no comprende la toma de decisiones como un proceso en el que tiene que definir, analizar, juzgar, correr riesgos y conducir a la acción efectiva, a semejanza del Aprendiz de Brujo se convertirá en víctima de sus propios trucos.

### LA GRAN IMPORTANCIA DE LA TOMA DE DECISIONES

Al mismo tiempo, el gerente, cualquiera sea su función o su nivel, tendrá que tomar cada vez más decisiones estratégicas. Cada vez podrá confiar menos en su habilidad para tomar intuitiva-

mente la decisión táctica correcta.

Siempre se necesitarán ajustes tácticos, por supuesto. Pero ten  
drán que hacerse dentro de la estructura de las decisiones estra  
tégicas básicas. Ninguna cantidad de habilidad para tomar deci  
siones tácticas liberará al gerente de mañana de la necesidad de  
tomar decisiones estratégicas. Hasta el gerente que hoy se las  
arregla sin conocimiento o comprensión del método de tomar de  
cisiones, tendrá que comprenderlo, conocerlo y usarlo mañana.

(Adaptado de Peter F. Drucker. - La Gerencia de Empresas.  
Traducción de Luis Prats. Buenos Aires, Editorial Sudame  
ricana, 1966. Págs. 398 a 418)

CIRCULACION RESTRINGIDA Y SIN OBJETIVO COMERCIAL

36821

57

FE DE ERRATAS

PARA CONSULTA  
NO DEBE SALIR DE  
ESTA SALA

<u>Pág.</u>	<u>Línea</u>	<u>Dice</u>	<u>Léase</u>
6	16	$T_o$ y el tiempo parcial valorado $T_e$ .	$\Delta T_o$ y el tiempo parcial valorado $T_e$ .
7	3	$E_{ei}: T_{fi} = T + T_{ei}$	$T_{ei}: T_{fi} = T_{oi} + T_{ei}$
16		Página 16	página 15
17		Página 17	página 16
18		$0 \ a \ n \equiv M \equiv T_e$	$0 \ a \ n \equiv M \equiv T_e \ b$
30	17	$(T_{max})_2^{   } = (T_{max})_3 - 10 = 23 - 10 = 13$	$(T_{max})_2^{   } = (T_{max})_3 - 10 = 23 - 10 = 13$
32	7	$(T_{libre})_{Act} = (T_{min})_j - (T_{min})_K + T_e$	$(T_{libre})_{Act} = (T_{min})_j - [(T_{min})_K + T_e]$
37	11	$S = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_K^2 + \sigma_i^2}$	$S = \sqrt{\sigma_j^2 + \sigma_K^2 + \sigma_i^2}$
38	22	$- \infty \ y \ + \ \infty$	$- \infty \ y \ + \ \infty$
39	6	porque se puede hacer ordenadores.	porque se puede hacer por ordenadores.

## P E R T

### A) ORIGEN Y APLICACIONES

En la preparación y ejecución de cualquier proyecto industrial, es necesario considerar una serie de actividades, o tareas elementales, que dispuestas según esquemas convenientemente trazados nos conducirán a la consecución del fin propuesto.

Para juzgar si una solución es más idónea que las otras, es preciso calcular sus efectos y valorarla con relación a los fines que se quieran alcanzar.

La elección de aquellas decisiones que se consideran más útiles se basa, por consiguiente, en la información y el cálculo; es necesario que ambos sean lo más exactos posibles.

Se ha hecho imprescindible una nueva técnica que permita representar fiel y racionalmente estos esquemas de actividades, con los cuales, mediante el cálculo, poder deducir las informaciones convenientes para formar la base científica sobre la cual apoyar la decisión.

El PERT es un método con el cual quien dirige los programas de actividades puede detallar con orden y claridad todas las complejas relaciones que une las actividades parciales.

Si a este análisis se añaden los datos obtenidos por el cálculo PERT, se obtendrá una serie de informaciones específicas y esquemáticas, elevadas al grado justo de la síntesis que sirven para dar a la dirección los datos esenciales, con los cuales tomar las decisiones oportunas.

Estos estudios han sido llevados a cabo por el personal de la "Oficina de Proyectos Oficiales" de la Armada de los EE.UU. y por la

## Sección de proyectiles dirigidos.

El perfeccionamiento del PERT se consiguió valiéndose de los datos obtenidos en la construcción, apenas terminada, de un submarino-atómico. La Armada lo empleó por primera vez en el proyecto "POLARIS" y mediante esta nueva técnica fué posible el lanzamiento del proyectil agua-tierra poco después de los tres años de haber comenzado los trabajos. De acuerdo con las experiencias anteriores se había previsto un período de cinco años.

El tiempo de ejecución del proyecto quedó con el PERT reducido en un 30%. Este gran éxito contribuyó a su difusión; otros sectores de la aviación y del ejército lo adoptaron y comenzó a interesarse por él la industria privada.

El PERT se puede aplicar a todo proyecto, que permita definir mediante un análisis oportunamente realizado, todas las tareas elementales para su completo desarrollo, así como las relaciones de interdependencia lógico-temporales de estas tareas.

Sus más inmediatas aplicaciones se dan en los campos de:

- Desarrollo e investigación científica
- Preparativos militares
- Programas de asistencia social
- Instalación de fábricas
- Proyectos de bonificación
- Construcción de edificios
- Construcción de diques y naves
- Control de cargas de trabajo
- Control de la producción y sostenimiento
- Almacenaje
- Transportes

- Problemas de distribución
- Preparación de balances financieros
- Descargas en puerto.

B) VENTAJAS

Por cuanto se ha dicho queda claro que el PERT permite:

- Definir lo que se ha de hacer para alcanzar el objetivo establecido dentro del tiempo previsto.
- Individualizar los sectores del proyecto que exijan determinadas intervenciones administrativas o decisiones propias de la Dirección.
- Disponer de un método que facilite la representación de un proyecto por un diagrama dinámico mediante la red de actividades. (Basta pensar en las dificultades prácticas que pueden encontrarse en los diagramas de GANTT para presentar grandes programas caracterizadas por las unidades complejas y dinámicas que existen entre las distintas actividades).
- Mejorar los medios de información.
- Disponer de informaciones frecuentes durante el desarrollo de los trabajos, que pongan de manifiesto los retrasos o anomalías presentadas, y por tanto los sectores sobre los que será más conveniente actuar.
- Conseguir una representación de los efectos producidos por determinadas alteraciones, con la posibilidad de estudiar previamente los efectos que pueden tener estas alteraciones sobre las distintas actividades que componen el proyecto.
- Tener un índice de probabilidades de alcanzar, con éxito, determinados resultados, dentro de lo previsto por el cálculo.

La naturaleza del PERT es tal que con su aplicación los resultados que se obtienen son más valiosos cuanto más grande y complejo es el proyecto. Obtenemos contestación a:

- ¿ Qué operaciones o fases del proyecto determinan su duración ?
- ¿Cuál es la duración mínima del proyecto de acuerdo con los datos de que se dispone ?
- ¿ Cómo se encuentra el proyecto en un momento cualquiera con relación a la fecha de terminación ?
- ¿ A qué actividades habrá que dedicar esfuerzos adicionales -- medios, nuevos turnos, etc.-- para cumplir con la fecha pre-establecida ?

SUPUESTOS TEORICOS Y DEFINICIONES DE LOS ELEMENTOS

BASICOS

A) ACTIVIDAD

Es conveniente hacer constar que aquí se dá a la palabra "actividad" un significado que puede ser totalmente diferente del que se le atribuye en el lenguaje corriente.

Efectivamente, mientras que normalmente, por "actividad" se entiende todo aquello que tiene que llevarse a cabo para alcanzar un cierto fin, en el lenguaje PERT conviene tener sobre todo en cuenta la característica de "desarrollo temporal" y definirla por consiguiente como "UN ACTO NECESARIO PARA ALCANZAR UN CIERTO OBJETIVO EN EL AMBITO DE UN PROYECTO Y CARACTERIZADO POR UNA DURACION".

Por ejemplo, la construcción de una estructura de hierro, para la cual es necesario emplear obreros, instrumentos, máquinas, etc., es una actividad.

Es "actividad" también el tiempo de espera de aquel material que se ha encargado anteriormente, aunque esta espera sea totalmente pasiva, y no se hagan reclamaciones, comprobaciones, etc.

Una actividad resulta, por lo tanto, determinada por los recursos empleados y por el intervalo temporal necesario para su desarrollo.

Comencemos por considerar una actividad única, la cual se representa como está en la figura 1.

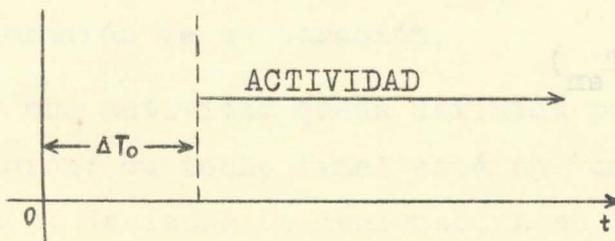


Figura 1

En este caso la fecha de comienzo es un dato del problema.

Si por ejemplo, tomamos como fecha de referencia el primero de enero de 1.963, y se fija, para el comienzo de la actividad, el 4 de Marzo de 1.963 se tiene:

$$\Delta T_o = 62 \text{ días}$$

Si la actividad que se estudia es la primera de una cadena, su comienzo con frecuencia se considera como fecha de referencia y en este caso la fecha de comienzo de dicha actividad equivale a cero.

Otro dato del problema lo constituyen los recursos disponibles; por éstos, es posible deducir una valoración de tiempo:  $T_e$ .

Sumando a la fecha de comienzo:  $\Delta T_o$  el tiempo previsto:  $T_e$  se obtiene la fecha final,  $T_f$  que indica el tiempo complementario de la actividad considerada:

$$T_f = \Delta T_o + T_e$$

Si las actividades son muchas, tantas como para formar una cadena, serán por consiguiente siempre elementos conocidos  $T_o$  y el tiempo parcial valorado  $T_e$ .

Lo cual permite afirmar que para una actividad genérica,  $A_i$  se rá siempre posible conocer la fecha inicial:  $T_{oi}$  la cual se puede calcular como la suma de la duración de las actividades que preceden a  $A_i$

$$T_{oi} = \Delta T_o + T_{e1} + T_{e2} \dots + T_e(i-i) = \Delta T_o +$$

$$\sum_{n=1}^{i-1} (T_{en})$$

Para obtener la fecha final:  $T_{fi}$  de la actividad  $A_i$  será suficiente sumar a la fecha de su comienzo  $T_{oi}$  el tiempo correspondiente  $E_{ei}$ :

$$T_{fi} = T_{oi} + E_{ei}$$

Consideremos la cadena de actividades de la figura 2.

Las actividades  $A_1$  y  $A_2$  por ejemplo, tienen en común el nudo  $N_2$  que puede considerarse tanto como la fecha final de la actividad  $A_1$ , tanto como el instante en que comienza la actividad  $A_2$ ..

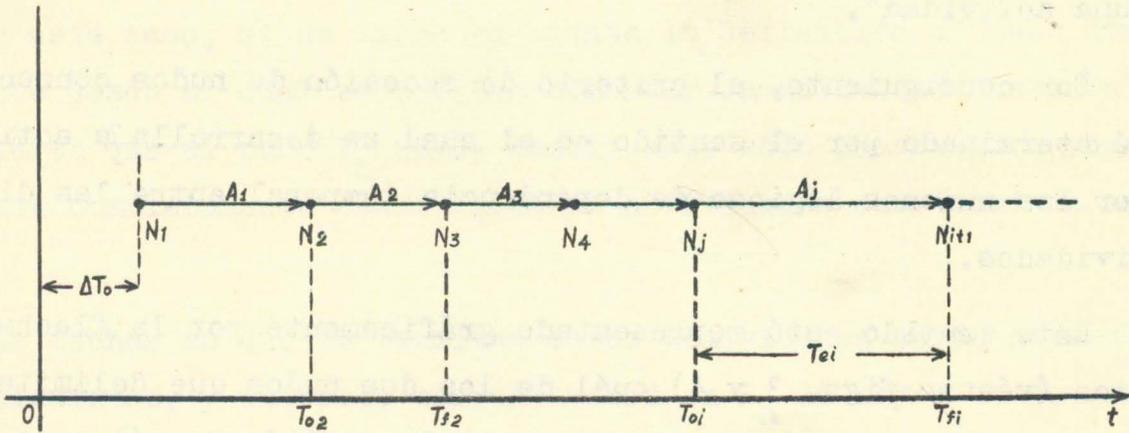


Figura 2

Queda claro pues, cómo una representación del tipo de la figura 2 expresa rigurosamente que la actividad  $A_2$  no puede comenzar antes de que esté totalmente terminada la actividad precedente ( $A_1$ ) y generalizando más una actividad cualquier  $A_i$  no puede comenzar antes de que se hayan terminado todas las actividades que concurren en el nudo  $N_i$ .

EL "TIEMPO ES EL COMUN DENOMINADOR AL CUAL SE REDUCEN TODOS OTROS PARAMETROS QUE CARACTERIZAN UNA ACTIVIDAD, (disponibilidad de medios, personal, posibilidades técnicas, nivel organizador) que fluyen en la valoración de su duración.

Resumiendo: una actividad queda definida por la fecha de comienzo y por su duración: su fecha final está en función de la suma de estos dos términos: la fecha de comienzo, a su vez, está en función de la duración de las actividades precedentes.

B) SUCESO (NUDO)

Los puntos como  $N_1, N_2 \dots N_i \dots$  de la figura 2 que representan los instantes del comienzo o del fin de las actividades, se representan, para mayor comodidad gráfica, con círculos que se llaman nudos.

Definiremos el suceso como: "instante que marca el fin de las actividades que en él concurren y el principio de las que parten de él".

Un suceso podría considerarse también, como el "instante final de una actividad".

Por consiguiente, el criterio de sucesión de nudos consecutivos está determinado por el sentido en el cual se desarrolla la actividad y por las uniones lógicas de dependencia temporal entre las distintas actividades.

Este sentido está representado gráficamente por la flecha que es específica (véanse figs. 3 y 4) cuál de los dos nudos que delimitan la actividad debe considerarse como punto de partida y cuál como punto final.

Los nudos están normalmente marcados por una clave o por una palabra que los distingue:

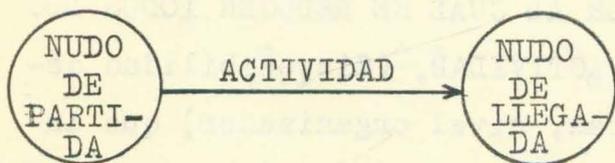


Figura 3

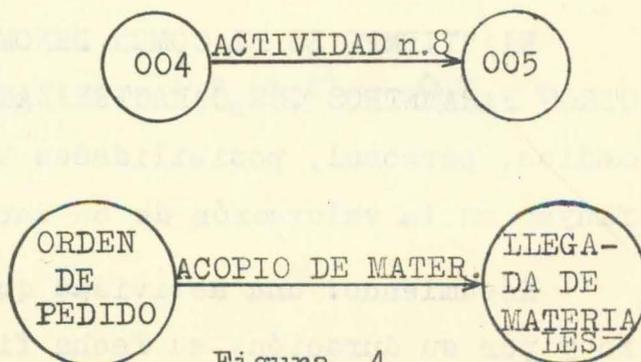


Figura 4

C) RETICULO (RED)

Observemos cómo hasta ahora se ha hablado sólo de "CADENA" de actividades, caracterizada por el hecho de que cada uno de sus nudos es el instante final o de partida de UNA SOLA actividad.

Puede, sin embargo, ocurrir que en un nudo  $E_h$  concurren más de una actividad.

Cuando se dá este hecho no se puede hablar de "cadena" sino de "retículo".

En este caso, si se tiene en cuenta la definición de nudo como "instante desde el cual es posible comenzar la actividad sucesiva" se advierte que el nudo  $E_h$  puede verificarse sólo cuando se hayan realizado completamente todas aquellas actividades que terminen en  $E_h$ .

Las fechas en que se terminan estas actividades serán generalmente distintas, y entonces corresponderá en  $E_h$  la mayor de éstas.

Pongamos un ejemplo sencillo:

La actividad  $A_7$  consiste en comenzar los trabajos de carpintería en una construcción de nueva planta, y serán:

$A_6$  : construcción de los muros

$A_5$  : llevar a pie de obra los materiales necesarios

$A_4$  : encontrar la mano de obra

Esta situación está representada claramente por el retículo de la figura 6.

Es evidente que aunque los muros estén terminados el 1 de Abril y el 4 de aquel mismo mes, llegue la carpintería, si los operarios

no están disponibles antes del 10 de Abril, esta última fecha, que es la mayor entre todas las que completan las actividades que llegan al nudo  $E_4$ , será la que determine el comienzo de  $A_7$ .

Por consiguiente, en este caso, como fecha de comienzo para la actividad  $A_7$  se deberá fijar el 10 de Abril.

Conviene notar las diferencias esenciales entre las figuras 5 y 6 y las precedentes, 2 y 1.

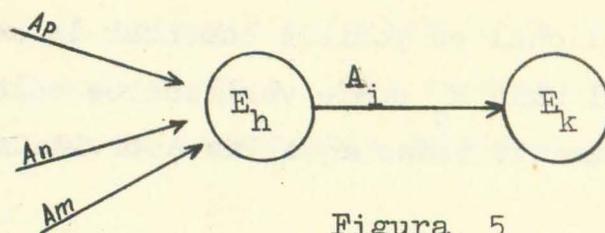


Figura 5

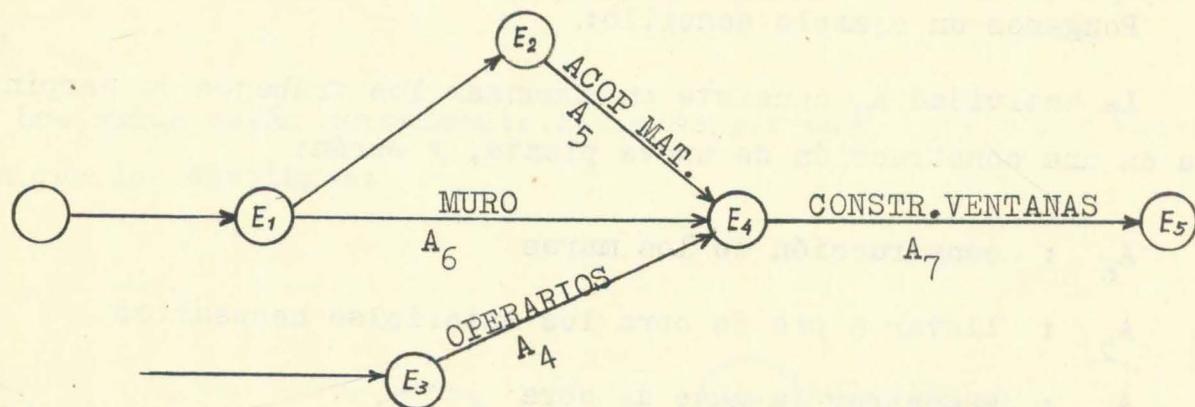


Figura 6

1. En las figuras 5 y 6 no existe ya relación alguna entre índices que representan una numeración progresiva de los nudos y relativos a las actividades, además:

2. No se representa ya el eje de los tiempos.

La primera diferencia se debe al hecho de que mientras en una cadena de actividades el número total de nudos es siempre igual al número total de las actividades más 1, en la red, en cambio, en un nodo pueden concurrir o partir más de una actividad, el número de actividades es generalmente mayor que el número de nudos y puede también como máximo, ser igual al número de todas las combinaciones posibles de todos los nudos, dos a dos.

Para aclarar la segunda diferencia basta considerar una red elemental, en la cual se manifiestan claramente la duración de las distintas actividades (figura 7).

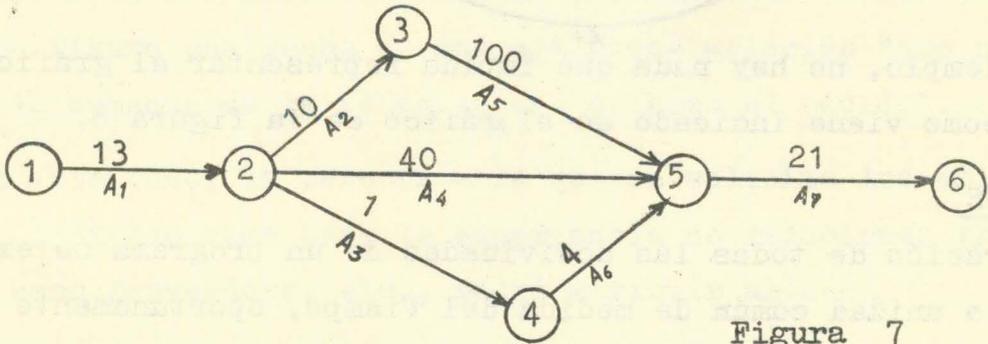


Figura 7

Se puede ver cómo no es posible referirse a ninguna escala temporal representada no sólo sobre el eje de las abscisas ni siquiera en ninguna otra recta del plano.

Por tanto, la flecha que representa la actividad, debe considerarse solamente como un medio gráfico que sirve para representar

sentido direccional, en relación con las sucesiones temporales que expresa.

Toda duración que establece el valor representativo de la flecha (actividad) es una función por sí misma sin uniones de ninguna clase con los períodos de duración de las otras actividades.

Esto quiere decir que no se verifican las condiciones de congruencia física del retículo en un espacio tridimensional: existe solamente una congruencia lógica de uniones funcionales numéricas.

Una actividad, por consiguiente, puede estar representada también por una línea curva cualquiera, si ésto resulta gráficamente cómodo. La única condición que hay que respetar es que siempre sea posible identificar los respectivos nudos de comienzo y fin.

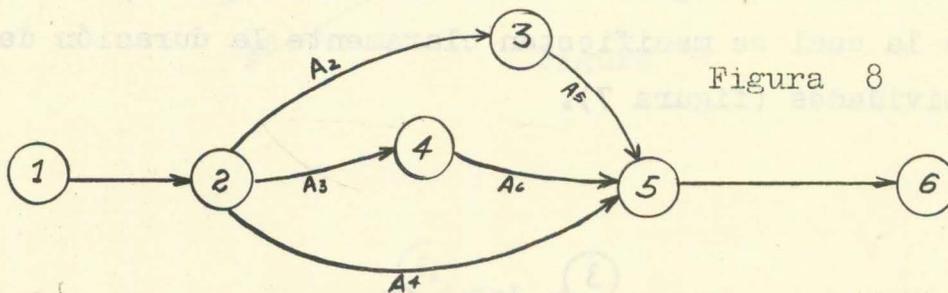


Figura 8

Por ejemplo, no hay nada que impida representar el gráfico de la figura 7 como viene indicado en el gráfico de la figura 8.

#### D) TIEMPOS

La duración de todas las actividades de un programa se expresa en una sola unidad común de medida del tiempo, oportunamente seleccionada, teniendo presente la duración total del programa.

Así, por ejemplo, si el programa de trabajo se refiere a la construcción de un dique o de una nave, como unidad de medida de tiempo (generalmente llamada "periodo") se pueden coger "el día" o "la semana"; para otros programas, el período base oportuno podrá ser la hora, el minuto, etc..

Los elementos para el cálculo de la duración quedan comprendidos en la fase más delicada de la obtención de datos. Se realiza el análisis inicial, que nos dió la definición de la actividad y el diseño de la red.

Se solicita a las oficinas de producción, o a la persona o grupo de personas competentes del sector administrativo a la cual la actividad corresponde, que se hagan los cálculos sobre el tiempo, teniendo bien en cuenta las dificultades y los recursos realmente disponibles.

Para toda actividad se requieren tres tiempos:

- tiempo optimista a.
- tiempo normal n.
- tiempo pesimista b.

Para aclarar el criterio por el cual se adoptan estos tres tiempos, consideremos una actividad que sea, por ejemplo: "la espera de un material anteriormente encargado", supongamos además que en el contrato figure una fecha de entrega preestablecida "que no sobrepase las 12 semanas de la fecha en que se hizo el pedido".

En este caso, la persona a la que se solicita los cálculos de tiempo, teniendo como base la experiencia de relaciones precedentes con la casa proveedora, etc., podrá atribuir al:

- tiempo optimista = a            11 semanas, si todo sale perfectamente.
- tiempo normal = n            12 semanas, si las cosas se realizan normalmente.
- tiempo pesimista = b            20 semanas, si todo sale mal.

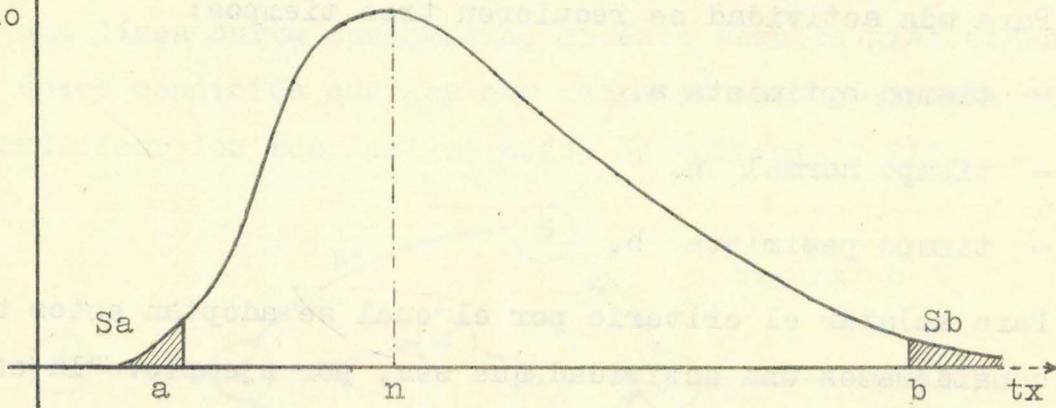
Se han previsto estos 3 tiempos, nada más que para tener en cuenta la distribución estadística, que se obtiene de la experiencia.

semejante a la que se representa en la figura 9 donde  $n$  representa el tiempo que se ha dado mayor número de veces,  $a$  y  $b$  son tiempos -- que por lo menos tienen un 2 por ciento de posibilidades de darse, de forma que la relación entre las áreas  $S_a$  ó  $S_b$  y el área total comprendida en la curva de la figura 9 será aproximadamente 0,02.

Esta última definición de  $a$ ,  $b$  es necesario para limitar razonablemente el intervalo  $b-a$ .

Nº de veces que se ha verificado tx

Figura 9



Refiriéndonos al ejemplo precedente, si se tiene en cuenta la posibilidad, aunque mínima de que la casa a la cual se ha encargado el material falle, el tiempo  $b$  podría tender a infinito.

En el cálculo de los 3 tiempos, y precisamente porque se tiene que tener en cuenta una distribución estadística, que se representa mediante una curva en el plano cartesiano, no es conveniente atribuir a esta curva una forma caprichosa, sino semejante a la que normalmente tienen las curvas de la distribución estadística Beta, formadas por los datos, de un número de observaciones suficientemente alto.

La forma de las curvas estadísticas de tiempo se consideran principalmente dependientes de la posición de  $n$  relativa a los extremos--

del intervalo  $b - a$  y de la amplitud de dicho intervalo.

Este hecho se pone de manifiesto observando como cambia el aspecto de las curvas en la figura 10 cuando, en igualdad de condiciones, el intervalo  $b - a$  de oscilación es menor.

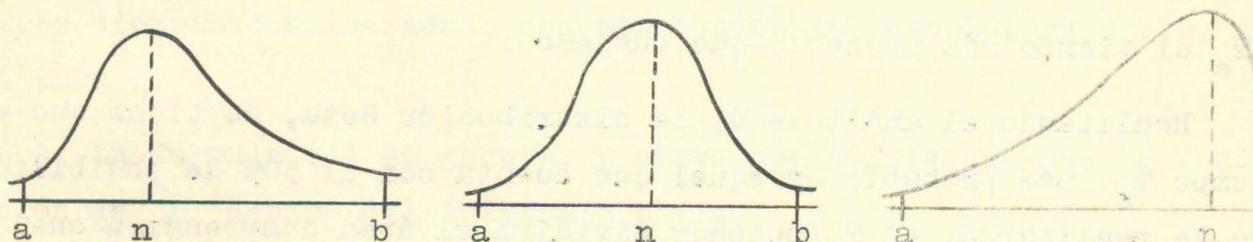


Figura 10

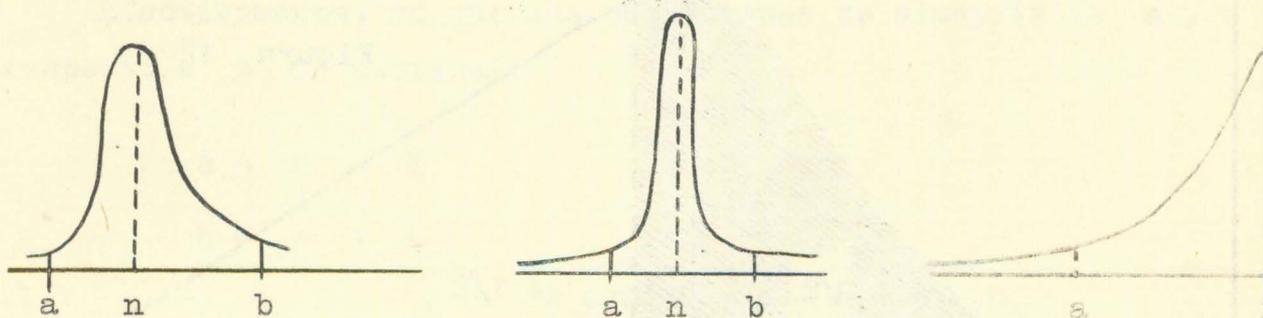


Figura 11

Resulta evidente como los tiempos  $n$  previstos para la distribuciones de la figura 11 son mucho más aconsejables que aquellos tipos análogos  $n$  que aparecen en la figura 10, por estar limitados por un intervalo de oscilación mucho más restringido.

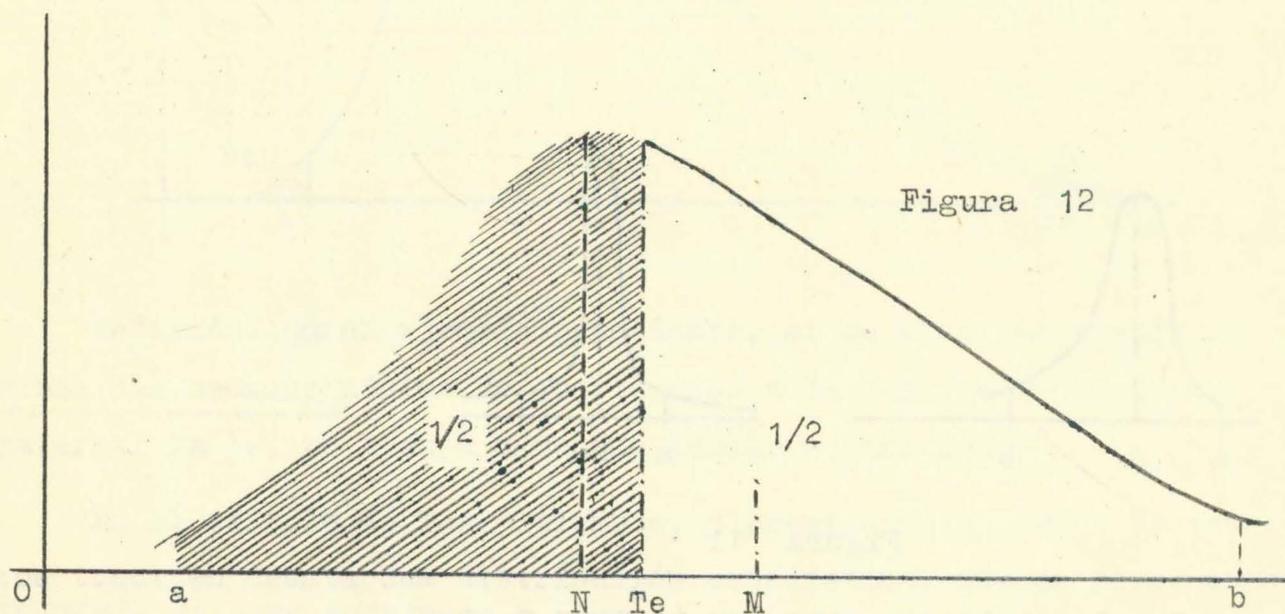
El tiempo esperado  $T_e$  es una función de los tres tiempos  $a$ ,  $n$  y  $b$ . Es decir  $T_e = f(a, n, b)$ .

Para determinar esta dependencia funcional consideraremos una distribución estadística del tipo de las figuras 10 y 11 representada en la figura 12, en donde sea  $M$  el punto central del intervalo  $b - a$ .

$$M = \frac{a + b}{2}$$

y  $T_e$  el tiempo más probable que buscamos.

Realizando el análisis de la distribución Beta, se tiene que el tiempo  $T_e$ , más probable es aquel que cuenta con el 50% de posibilidades de realizarse; el  $T_e$  buscado dividirá el área comprendida en la curva en dos partes iguales.



Cuando este hecho se expresa, según la teoría estadística se iguala  $T_e$  a una media ponderada de  $n$  y  $M$ , dando un peso 2 a  $n$ , y un peso 1 a  $M$ .

en fórmula :

$$T_e = \frac{2n + M}{3}$$

y puesto que:  $M = \frac{a + b}{2}$

$$T_e = \frac{a + 4n + b}{6} \quad (1)$$

de donde resulta que  $T_e$  es calculable como media ponderada de los tres tiempos considerados, con atribución de peso 1 para a y b, y 4 para n.

La fórmula (1) es general y sirve cualquiera que sea la posición de n dentro del intervalo b - a.

En el caso en que n sea el centro del intervalo b - a, y la curva por lo tanto adquiera un aspecto de "campana" de Gauss, los tres puntos n, M y  $T_e$ , coincidirán y además se dará otro hecho muy interesante.

Efectivamente, ya que las condiciones de simetría de a y b respecto a n se expresan:

$$a = n - K$$

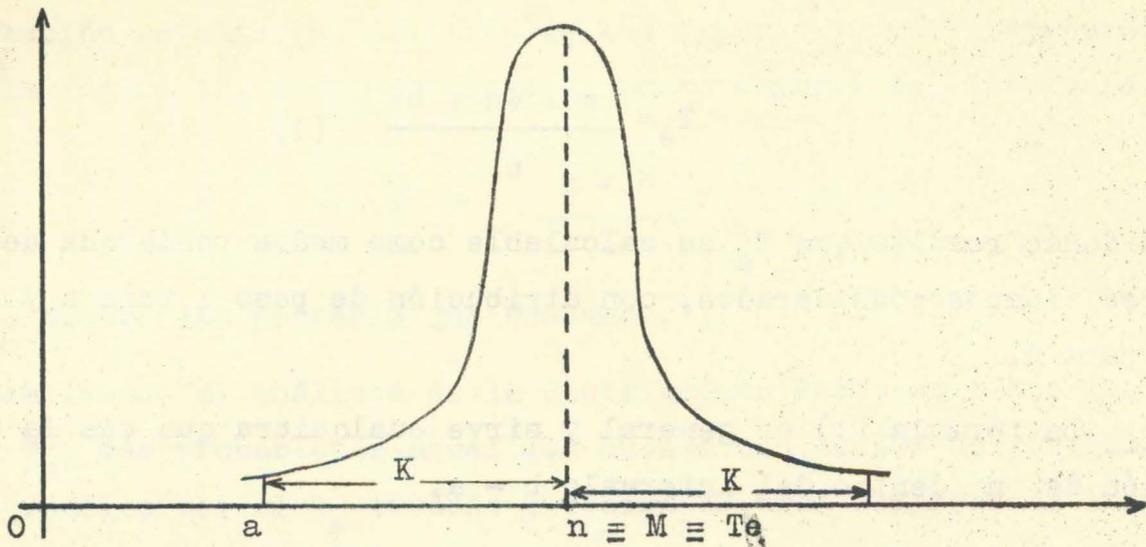
$$b = n + K$$

de aquí  $K = n - a = b - n$ ,

sustituyendo estos valores de a y b en la fórmula (1) se tiene:

$$T_e = \frac{n - K + 4n + n + K}{6} = n$$

y es fácil ver como, en el cálculo de  $T_e$ , no ha quedado huella de amplitud 2 K del intervalo b - a, y esto, cualquiera que sea K.



En este punto resulta evidente la necesidad de introducir un término que considere la amplitud del intervalo de oscilación,  $b - a$ .

Este término es: definido con arreglo a la teoría de la distribución Beta:

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

La varianza contiene una indicación sobre la exactitud del tiempo que se atribuye a una actividad.

Puesto que la fecha final o intermedia, estará siempre en función de la suma de los tiempos de las actividades precedentes, también el grado de exactitud de aquella fecha estará en función de la suma de los distintos términos de la varianza.

En este caso todo término tiene que llevar una aportación positiva, y de esto se puede estar seguro si se calcula la varianza:

$$\sigma^2 = \left( \frac{b - a}{6} \right)^2 \quad (3)$$

y si después se considera la desviación cuadrática media de la cadena:

$$S = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots}$$

Si los tres tiempos a, b, n, son iguales, significa que n representa el tiempo efectivo  $T_e$  de la actividad considerada.

entonces resulta:  $T_e = a = n = b$

y por la fórmula (2) se tiene:  $\sigma = 0$

#### E) ACTIVIDADES VIRTUALES

Se dá esta denominación a aquellas actividades que no exigen ningún gasto de tiempo, de trabajo ni dinero.

Se justifica la necesidad de crear este tipo de actividades, con el cumplimiento de las reglas fundamentales que rigen la red.

Los casos mas importantes son los siguientes:

- 1) Entre dos sucesos (i, j) no puede existir mas que una actividad, si hubiese de existir otra, se hará según vemos en la figura 14-I, mediante la actividad virtual V.
- 2) Todas las actividades que terminan en un suceso han de finalizarse antes de empezar las que salen del mismo.

De acuerdo con ésto, para cumplir ciertas exigencias de prioridad se hace necesario el empleo de la actividad virtual.

En la figura 14-II han de terminar A y B antes de comenzar C y D.

En la figura 14-III antes de empezar D, debe haber terminado solo B, y para empezar C han de haber terminado A y V (virtual), y, por lo tanto, A y B.

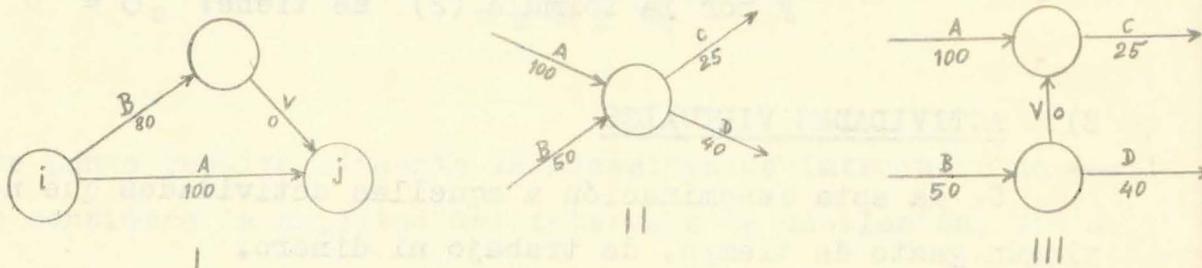


Figura 14

## II METODO DE CALCULO

### 1a. FASE: OBTENCION DE LOS DATOS

#### A) ANALISIS DEL PROBLEMA

Se examinan las características del programa dado, y se hace lista de todas las actividades que lo componen.

El número total de las actividades dependerá no sólo del programa sino también, del nivel que se quiera dar al análisis.

Evidentemente, cuanto más alto sea el nivel del análisis, tan mayores serán las ventajas activas obtenidas con la aplicación de PERT.

En esta fase se escogerá una medida común que se considere oportuna para expresar el tiempo.

#### B) UTILIDAD ESPECIAL DE UN ANALISIS DETALLADO QUE PERMITE REPRESENTAR UN PROGRAMA DE ACTIVIDADES ELEMENTALES Y HOMOGENEAS - CALIBRADO DEL TIEMPO.

##### Representación de la red:

Pongamos como ejemplo un "Programa de construcción de una instalación industrial" y supongamos que después de un primer examen ha conseguido por medio de él, un retículo en "grandes bloques" representado en la figura 15.

Como puede verse esta representación no se ha extendido en demasiados detalles. Efectivamente, la "construcción del Barracón A" en el ejemplo, se ha representado como una actividad única entre los números 9 y 13.

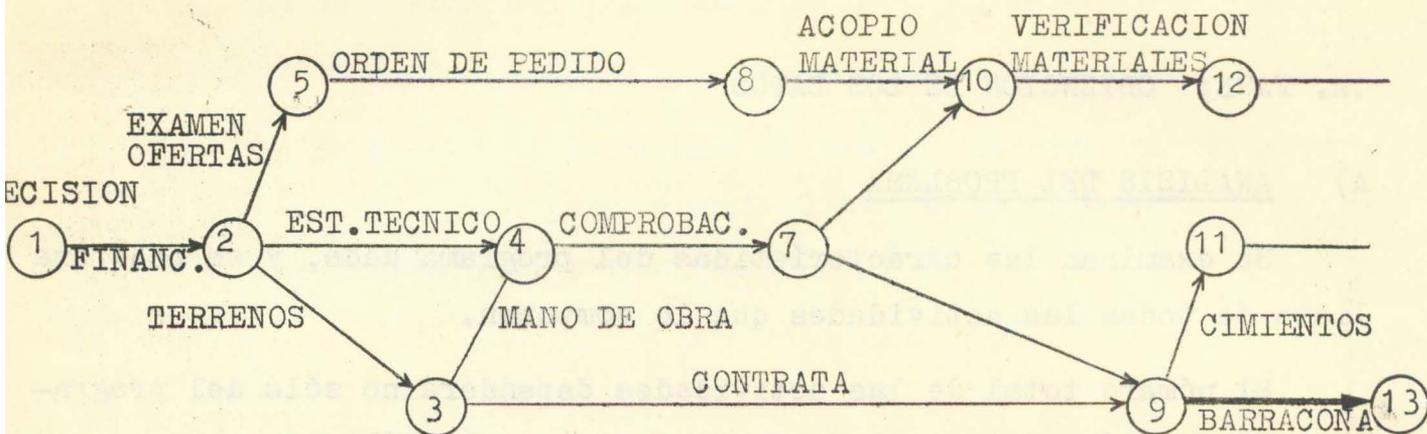


Figura 15

En este caso, cuando se soliciten cálculos para la duración de dicha actividad, el hacer una serie de valoraciones será muy incómodo. Esta incomodidad será debida, principalmente, al hecho de que la actividad considerada "construcción del barracón A" no es ni elemental ni homogénea.

Una actividad se considera "elemental", cuando corresponde a unas operaciones que pueden realizarse con una continuidad en el tiempo (sin contar, como es natural, las horas en que no se trabaja), sin exigir sistemáticamente intervalos de espera, desplazamientos considerables, cambio de máquinas, o mano de obra.

La homogeneidad caracteriza la igualdad del material y de los medios (máquinas, personal) empleados.

Así, en la construcción de una barraca, será posible identificar las actividades elementales homogéneas que por ejemplo, serán:

- trabajos de tierra
- armadura de madera
- armadura de hierro

- preparación del hormigón
- trabajar el hormigón
- encofrado de pilares
- armadura interna, en hierro, de pilares
- preparación del hormigón
- colocación del hormigón de pilares
- fraguado
- desencofrado
- armadura de vigas maestras
- 
- 
- pavimentar
- 
- instalaciones eléctricas
- 
- 

Entonces todo aquello que en la red de la figura 15 se había representado con una sola actividad puede desarrollarse como un subretículo.

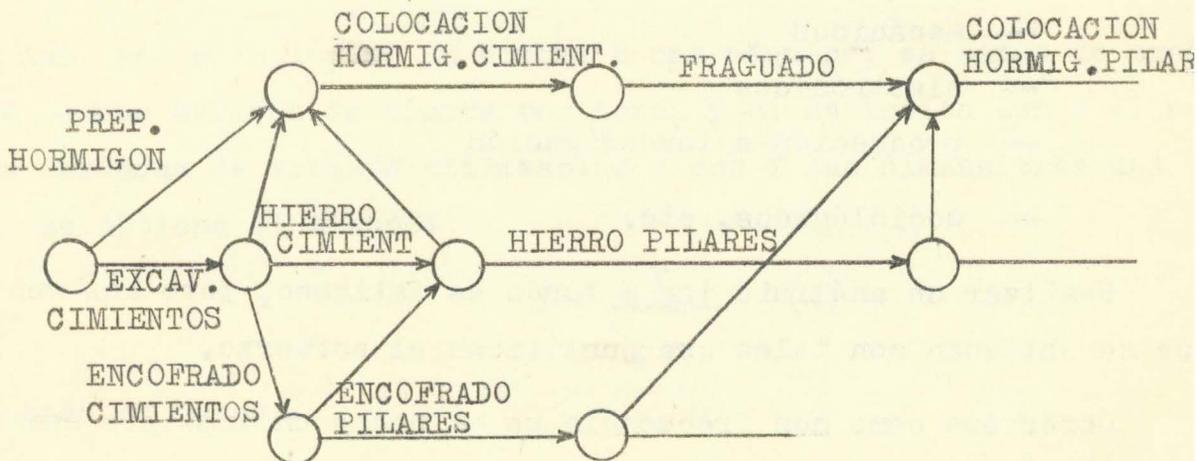


Figura 16

Obsérvese como para representar una obra sencilla, como la construcción de las pilares, se ha considerado seis actividades.

La construcción de un pilar no se puede considerar como una actividad elemental homogénea puesto que requiere:

- armadura interna de hierro
- encofrado de madera
- preparar el cemento
- hormigonar
- esperar a que frague
- desencofrar

para lo cual se emplean materiales diversos:

- hormigón, cemento, madera, hierro
- máquinas y utensilios diversos
- armaduras, herramientas
- diferentes equipos de trabajo
- excavadores, montadores albañalis, etc.

Es fácil imaginar ejemplos y situaciones análogas en otros tipos de actividad, principalmente en proyectos.

- mecánicos
- electrónicos
- producción e investigación
- sociológicos, etc.

Realizar un análisis tan a fondo es fatigoso, pero las ventajas que se obtienen son tales que justifican el esfuerzo.

Obsérvese como con frecuencia se ha hecho un análisis semejante, especialmente en aquellos sectores mejor organizados de la industria mecánica, asociando a cada concepto su "ciclo de trabajo", en

los distintos niveles de la pieza, el montaje del conjunto, etc.

Será posible responder, entonces, con más exactitud a la pregunta ¿En cuanto tiempo se conseguirá construir el barracón A?

En efecto, ya no se tendrá que dar una valoración de la duración global de un numeroso conjunto de actividades heterogéneas.

Estas, en general, se escapan a una valoración inmediata y precisa, tanto por la variedad de sus características particulares como por la multiplicidad y complejidad de las interconexiones.

Las actividades elementales y homogéneas en cambio, se definen siempre perfectamente con arreglo a sus dimensiones y medios disponibles.

En este caso, se podrán hacer cálculos más exactos sobre el tiempo.

La homogeneidad permite además VALERSE DE TABLAS hechas de acuerdo con la experiencia, capaces de indicar con una cierta precisión el tiempo necesario para realizar una "unidad" de la obra en función del empleo de una unidad de trabajo.

Así, por ejemplo, si un hombre o una máquina, es capaz de excavar K metros cúbicos de tierra por hora, y si se indica con X el número de unidades de trabajo utilizables y con Y las dimensiones del trabajo, se obtiene el tiempo:

$$T = \frac{Y}{K X} \quad (4)$$

expresado en horas.

Si por ejemplo, hay que cavar una trinchera de 120 m<sup>3</sup>, dispondo de 4 obreros, y si cada obrero cava como término medio 0.5 m<sup>3</sup>/h entonces

$$Y = 120, \quad X = 4, \quad K = 0,5$$

y aplicando la fórmula ( 4 ) resulta:

$$T_n = \frac{120}{0,5 \times 4} = 60 \text{ horas}$$

duración de la actividad =  $T_n = 60$  horas.

Un razonamiento y una fórmula análoga sirven para las otras actividades y para las distintas máquinas (herramientas, etc.).

(En muchos sectores de la industria estos tiempos de las actividades elementales están ya definidos y catalogados).

Un análisis profundo además de permitir calcular mejor el tiempo, permite valorar mejor las actividades, conociendo perfectamente las características, las uniones de interdependencia con los otros componentes y disponer de una representación "fotográfica" que permite tener presente y controlar mucho mejor todo el conjunto.

El esfuerzo del análisis realizado de esta forma tan racional y sistemática, y la consiguiente confección del retículo, son ya resultados interesantísimos, aunque se renunciase a las fases siguientes del cálculo.

Sin embargo, demostraremos en los párrafos siguientes cómo el cálculo PERT provee informaciones muy útiles, aptas para determinar cuáles son las intervenciones más ventajosas y oportunas, de los planificadores.

## 2a. FASE : CALCULO DE $T_e$ Y DE $\sigma^2$

Para toda actividad, a la que se le hayan dado, como duración, tres tiempos : a, n, b, aplicando la fórmula 1 y 3, se calculan:

$$T_e = \frac{a + 4n + b}{6}$$

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

3a. FASE ; CALCULO DE LOS  $T_{min}$ :

Consideremos un retículo cualquiera sencillo. Por ejemplo el de la figura 17, e imaginemos que ya se han realizado el cálculo de  $T_e$  de tal forma que se hayan reducido los 3 tiempos que se consideran a uno sólo, como queda demostrado en la figura 18.

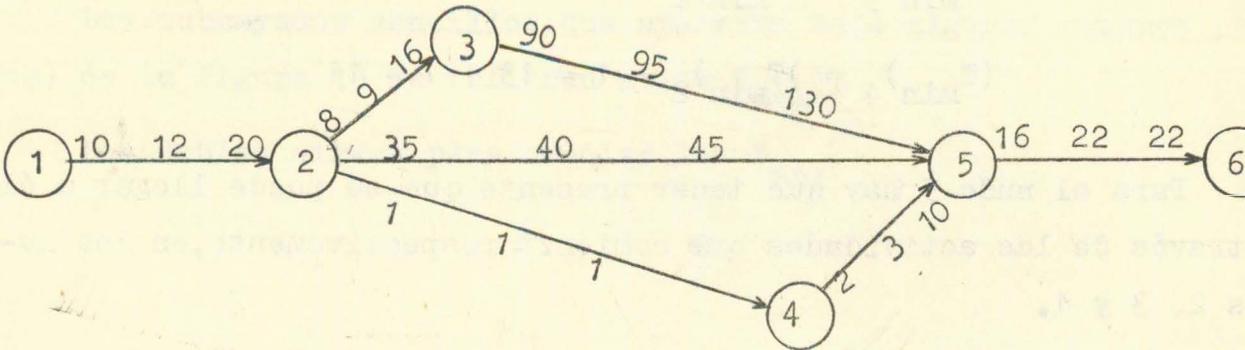


Figura 17

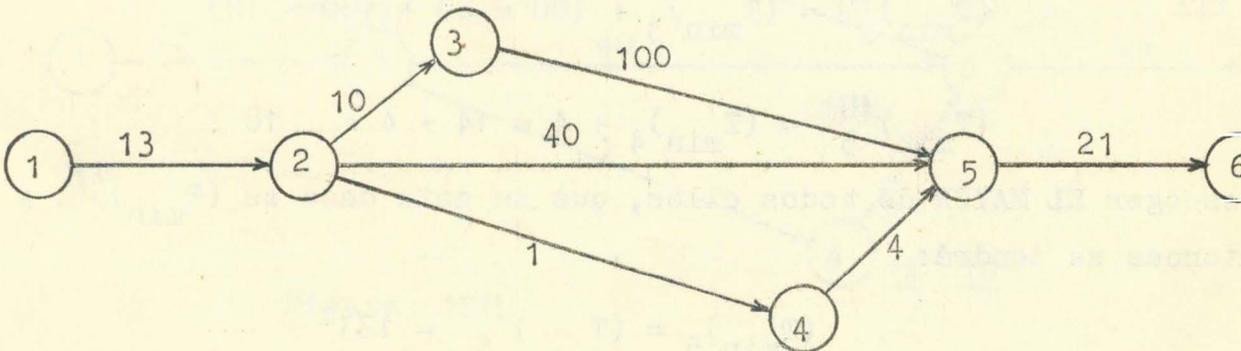


Figura 18

Demos, para mayor comodidad, a la fecha que corresponde al nudo de partida un valor igual a cero, y tomémosla como fecha de referencia. Entonces el nudo 2 se le atribuirá un tiempo correspondiente a la fecha del nudo 1, aumentando por la duración de la actividad que va del nudo 1 al nudo 2. A este tiempo le llamaremos  $(T_{\min})_2$  y resultará:

$$(T_{\min})_2 = (T_{\min})_1 + T_e = 0 + 13 = 13$$

Con gran facilidad se podrán calcular los nudos 3 y 4 sumando  $(T_{\min})_2$  los tiempos correspondientes:

$$(T_{\min})_3 = (T_{\min})_2 + 10 = 13 + 10 = 23$$

$$(T_{\min})_4 = (T_{\min})_2 + 1 = 13 + 1 = 14$$

Para el nudo 5 hay que tener presente que se puede llegar a él a través de las actividades que comienza respectivamente, en los nudos 2, 3 y 4.

Para determinar  $(T_{\min})_5$  hay que confrontar los 3 tiempos:

$$(T_{\min})_5^I = (T_{\min})_2 + 40 = 13 + 40 = 53$$

$$(T_{\min})_5^{II} = (T_{\min})_3 + 100 = 23 + 100 = 123$$

$$(T_{\min})_5^{III} = (T_{\min})_4 + 4 = 14 + 4 = 18$$

y escoger EL MAYOR de todos ellos, que en este caso es  $(T_{\min})_5^{II}$ ; y entonces se tendrá:

$$(T_{\min})_5 = (T_{\min})_5^{II} = 123$$

El cálculo se desarrollará de este modo, sumando las duraciones

de las actividades, al ( $T_{\min}$ ) correspondiente al nudo de partida y mando como  $T_{\min}$  del nudo final la mayor de las fechas entre todas calculadas a lo largo de todos los caminos posibles.

El  $T_{\min}$  de un nudo genérico E, representa la fecha mínima antes de la cual no es posible comenzar las actividades que parten de E.

El último será el nudo final.

A este corresponderá un ( $T_{\min}$ ) final = 144, que servirá para presentar la FECHA MINIMA, antes de la cual no es posible disponer la obra totalmente acabada.

Estos tiempos ( $T_{\min}$ ) han sido llevados a la figura 19.

Los subrayados sencillos que aparecen bajo algunos números (tiempos) de la figura 19 se refieren a los  $T_{\min}$ .

Los dobles sirven para señalar los  $T_{\max}$ .

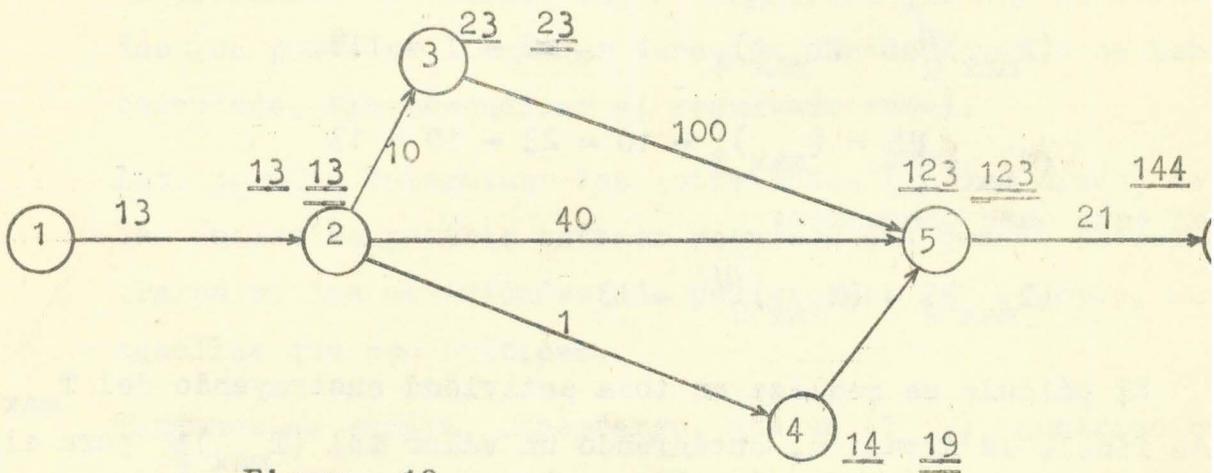


Figura 19

4a. FASE ; CALCULO DE LOS  $T_{\max}$ .

Conseguida, por medio del cálculo precedente, la fecha del nudo final, hagamos ahora un cálculo al contrario.

Este cálculo se desarrolla restando la duración de las distintas actividades, de las fechas de los nudos finales correspondientes, obteniéndose un valor que llamaremos  $T_{\max}$ . Se tomará, como ejemplo, el nudo 5.

$$(T_{\max})_5 = (T_{\max})_{\text{final}} - T_e = 144 - 21 = 123$$

También aquí en el caso de que de un nudo partan varias actividades, habrá que hacer una selección entre las fechas ( $T_{\max}$ ) colocadas a lo largo de todos los arcos por medio de los cuales es posible, retrocediendo, alcanzar aquel nudo.

Ahora, entre los diversos ( $T_{\max}$ ), se escogerá el valor MENOR, por ejemplo:

$$(T_{\max})_2^I = (T_{\max})_5 - 40 = 83$$

$$(T_{\max})_2^{II} = (T_{\max})_4 - 1 = 119 - 1 = 118$$

$$(T_{\max})_2^{III} = (T_{\max})_3 - 10 = 23 - 10 = 13$$

y en este caso tendremos:

$$(T_{\max})_2 = (T_{\max})_2^{III} = 13$$

El cálculo se realiza en toda actividad sustrayendo del  $T_{\max}$  del nudo final, la duración, obteniendo un valor del ( $T_{\max}$ ) para el nudo de partida.

El menor de todos estos valores ( $T_{\max}$ ) que se han calculado -- por medio de todos los arcos que parten de un nudo, se escoge como el

$(T_{\max})$  relativo a aquel nudo, y representa la FECHA MAXIMA de la cual no se debe pasar para dar comienzo a las actividades que parte del aquél, porque un retraso se reflejaría sin duda sobre la fecha final.

5a. FASE : EXAMEN DE LOS RESULTADOS

A) Tiempo libre de cada nudo.

Hemos demostrado como para cada nudo  $E_i$  se ha calculado una fecha mínima  $(T_{\min})_i$  y una fecha máxima  $(T_{\max})_i$ .

La diferencia  $(T_{\max})_i - (T_{\min})_i$  representa el tiempo libre

Es decir, el intervalo de tiempo entre cuyos límites se puede fijar libremente el comienzo de las actividades que parte de  $E_i$ , seguros de que ésto es compatible con cuanto precede, y que no influirán negativamente en la fecha final.

B) Tiempo libre de las actividades.

La presencia de tiempos libres significa que hay actividades que puede prolongar su duración más de cuanto se había calculado, sin perjudicar el resultado total.

Esto permite determinar las actividades ( y las áreas) de las cuales es posible extraer recursos que pueden concentrarse en las actividades más peligrosas. Por ejemplo, en aquellas que son críticas.

Tengamos en cuenta, sin embargo, que un  $(T_{\min})_i$  genérico es el mayor entre los diversos  $(T_{\min})_i$   $(T_{\min})_i$  ... que se obtienen a lo largo de todas las actividades que concurren en aquel nudo  $E_i$ , por consiguiente, el tiempo libre definido

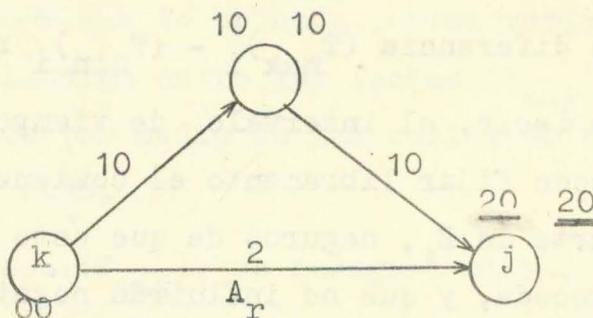
corresponde solamente a la actividad que contribuye más en la determinación del  $T_{\min}$ .

Puede ser muy útil considerar también un tiempo libre relativo a todas las otras actividades que concurren en  $E_i$ .

Si una actividad  $A_r$  de duración ( $T_e$ ) parte del suceso  $E_k$  y termina en el suceso  $E_j$  será igual a :

$$(T.\text{libre})_{\text{Act}} = (T_{\min})_j - (T_{\min})_k + T_e$$

Figura 20



En el ejemplo de la figura 20 el tiempo libre de  $A_r$  equivaldrá :

$$20 - (0 + 2) = 18$$

C) Nudos críticos.

Si  $T_{\min} = T_{\max}$ , la diferencia  $T_{\max} - T_{\min}$  equivale a 0

$$(Tiempo\ libre)_{E_V} = T_{\max} - T_{\min} = 0$$

El tiempo libre es nulo.

Los nudos por los cuales se verifica esta condición son los nudos críticos.

La misma naturaleza de su definición nos demuestra la imposibilidad de disponer de un intervalo aunque mínimo, que permita --

eventuales retrasos, sin que éstos sean peligrosos.

Un retraso en la verificación de un nudo crítico, repercutirá sin duda en la fecha final del proyecto.

#### D) Actividades críticas y camino crítico

Si, como hasta aquí se ha dicho, se toma como  $(T_{\max})$  final el mismo valor de  $(T_{\min})$  final, se tiene:

$$(T_{\max})_{\text{fin}} = (T_{\min})_{\text{fin}}$$

habrá siempre por lo menos un camino formado por las actividades que comienzan y dan lugar a los nudos críticos que comienzan en el nudo inicial y llega hasta el nudo final.

Así en el ejemplo de la figura 19, los nudos 1, 2, 3, 5 y 6 son críticos y determinan con las actividades críticas correspondientes el camino crítico.

Las actividades críticas son aquellas más peligrosas porque componen el camino crítico, que es el más largo entre todos aquellos que unen el nudo inicial con el final.

La fecha final por lo tanto, es precisamente la suma de la duración de las actividades que se quedan en el camino crítico.

Por consiguiente, será muy conveniente concentrar la atención sobre las actividades críticas tanto:

- en la fase preliminar del cálculo, para intentar reducir los tiempos mediante posibles determinaciones administrativas y decisiones tomadas por la dirección,
- durante el desarrollo de los trabajos porque un retraso en su duración repercutiría directamente sobre la fecha final.

#### E) Actividades y nudos hiper-críticos

Puede darse que en el desarrollo de un programa de actividades:

tenga particular interés el respetar una fecha prefijada, como término de la obra que se considera.

Pero, la fecha final :  $(T_{\min})_{\text{final}}$ , calculada por medio de la elaboración de izquierda a derecha, no puede evidentemente tener presente este deseo, siendo función únicamente de las sumas de la duración de las actividades críticas.

Por lo demás cada tiempo depende de los recursos que la dirección ha destinado para las mismas actividades.

Estos tiempos parciales y totales dependen también de la calidad de las técnicas empleadas en un nivel táctico (es decir, en la organización de los trabajos internos de las actividades) y estratégico (sucesión oportuna de las actividades en el ámbito de todo el programa).

En este caso es interesante hacer  $(T_{\max})_{\text{fin}} = \text{fecha prefijada}$   
Pueden darse tres casos:

1)  $(T_{\min})_{\text{fin}} = \text{Fecha prefijada} = (T_{\max})_{\text{final}}$   
y volvemos al caso normal anteriormente demostrado.

2)  $(T_{\min})_{\text{fin}} < \left[ \text{Fecha prefijada} = (T_{\max})_{\text{fin}} \right]$

Esto significa que los recursos que se consideraban disponibles para las distintas actividades han permitido unos tiempos parciales tales que la fecha final es ya inferior a la fecha deseada.

En este caso, cuando no se quiera anticipar la fecha final, o mantener un cierto margen de seguridad, se pueden aumentar



= 75 semanas) puede ocurrir que el nudo 14 presente un tiempo libre-negativo de 3 semanas, lo que significaría que se debería comenzar la construcción de los muros 4 semanas antes de haber terminado los ci--mientos.

Lo cual es evidentemente absurdo.

Y sin embargo, un cálculo que nos dé estas informaciones es de un gran interés porque se sabe donde, Y EN QUE MEDIDA, hay que subrayar-este valor cuantitativo de la información que da el PERT. Se debe, y-es más oportuno, intervenir concentrando los esfuerzos organizadores-y financieros, para hacer posible que la fecha deseada de 75 semanas-sea una realidad.

Las intervenciones pueden ser de doble naturaleza:

- de tipo organizador. Tanto de nivel táctico como estraté--gico, en el sentido que se ha expues-to anteriormente, buscando sutilizas-que en función de técnicas más sofisti-cadas de investigación, permitan orga-nizar mejor el trabajo y mejoren el -uso de los recursos disponibles.
- de carácter financie- A la dirección corresponde decidir so-bre la conveniencia de un eventual es-fuerzo financiero, que signifique un-aumento tal de los recursos que permi-ta una reducción del tiempo.

Cualquiera que sea el sistema que se adopte, bien de carácter --técnico organizador o de modificaciones o intervenciones finan-cieras que la dirección estime oportunas, las soluciones posi --bles serán por lo general más de una.

Se trata de escoger la mejor

Es preciso, por consiguiente, cada vez, representar los efectos de las intervenciones (es decir, variar determinados tiempos y volver a hacer de nuevo todo el cálculo).

Resulta, evidente la conveniencia de disponer de un medio de cálculo rápido, seguro y económico (con respecto al conjunto manual) - como solamente puede conseguirse con máquinas electrónicas.

### PROBABILIDAD

Es muy interesante indicar, para cada fecha calculada o prefijada, el grado de exactitud que presenta al verificarse.

Con este fin se ha asociado, al cálculo de cada tiempo  $T_e$ , una varianza

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

que considere la amplitud del intervalo de oscilación.

Para el cálculo de la probabilidad de la fecha que corresponde a un nudo  $E_i$ , se debe considerar la mayor entre las sumas de las varianzas calculadas a lo largo de todos los caminos que concurren en

$E_j$  (el cálculo se ha hecho con el mismo criterio adaptado para  $T_{\min}$ ).

Si se considera la desviación cuadrática media

$$S = \sqrt{\sigma_j^2 + \sigma_K^2 + \sigma_i^2}$$

Volvamos a examinar las curvas de distribución Beta de la figura 9 y sucesivas.

En un camino que comprenda varias actividades, sucederá que  $n$  - está más o menos distante de  $M$ , alejándose unas veces hacia la derecha y otras hacia la izquierda, según una distribución estadística casual.

Si el número de las actividades de un camino es suficientemente alto, por ejemplo, mayor de 12, se hace ilícito considerar normal la distribución de  $n$  con respecto a  $M$ : en otros términos la suma de un número de distribuciones Beta suficientemente grande se puede considerar una distribución Gaussiana normal.

Si se considera que las fechas de las cuales interesa calcular su probabilidad corresponden a nudos a los cuales se llega, en las retículas reales, a lo largo de caminos de varias decenas o centenas de actividades, la inexactitud que resulta al adoptar como válida una distribución Gaussiana, tiende a 0.

Consideremos la relación que expresa la diferencia temporal  $T_{pref}$  -  $T_{min}$  en términos de unidad  $S$ .

Colocando  $Z$  en la curva de Gauss, obtendremos el valor del grado de probabilidad de  $T_{min}$ .

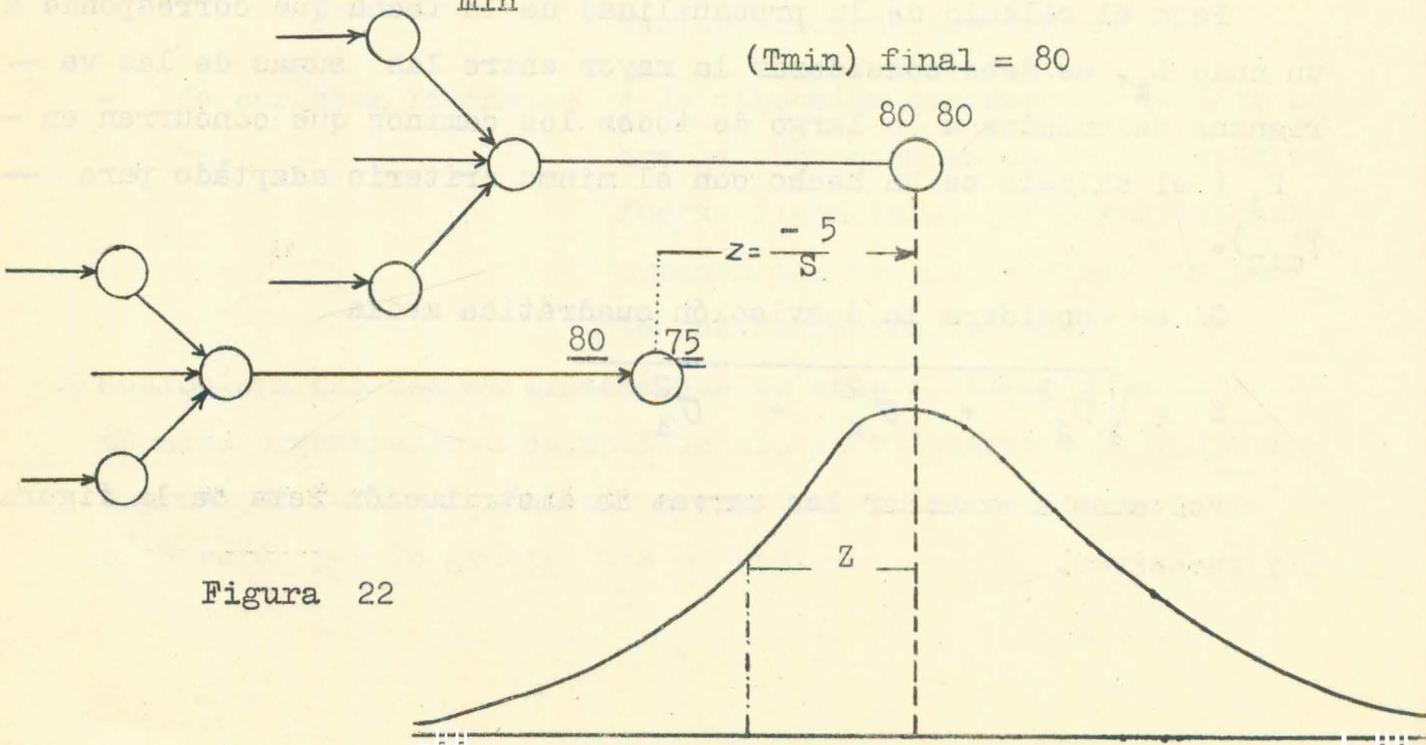


Figura 22

APLICACION DEL PERT A LOS PROGRAMAS DE  
TRABAJO

A) OBTENCION DE LOS DATOS

Por cuanto se ha expuesto resulta evidente como el PERT es una técnica relativamente sencilla y facilmente asimilable, el cálculo no preocupa porque se puede hacer ordenadores; sin embargo, su aplicación práctica resulta bastante delicada.

Las dificultades mayores, se pueden situar en la fase de obtención de los datos, por ser ahí donde se dan problemas diferentes para cada caso.

Será por lo tanto muy conveniente concentrar toda la atención en esta fase, de forma que el retículo resultante, equipado con los tiempos parciales que se consideren convenientes, represente un modelo fiel y completo del programa de actividades.

Ya se ha insistido sobre la conveniencia de llevar el análisis de un programa hasta conseguir su representación mediante actividades lo mas "elementales y homogéneas" posibles.

En este capítulo se expondrán algunas consideraciones y observaciones que será conveniente tener en cuenta durante la fase de aplicación.

Los datos son:

- las características del problema
- los recursos que se disponen

se deduce:

- la formación de la red
- los cálculos sobre los tiempos (a, n, b)

Después se pasa a la fase de cálculo desarrollada, generalmente por ordenadores electrónicos, teniendo:

- para cada actividad:

$$T_e = \frac{a + 4n + b}{6} \quad \sigma^2 = \left( \frac{b - a}{6} \right)^2$$

- y para cada nudo :  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$ , Tiempo libre = ( $T_{\min}$  -  $T_{\max}$ )

y la probabilidad de la fecha final.

### R E D

Ya se ha visto como en un programa de trabajo concurren una serie de actividades generalmente distintas entre sí.

Sin embargo, es frecuente que existan grupos de actividades que sean comunes entre sí al menos en alguna de sus características.

Para nuestros fines, es conveniente considerar grupos que se caractericen por el mismo sistema de trabajo; bien porque estén bajo la responsabilidad de un mismo dirigente, o ejecutadas por un mismo departamento, o hechas con las mismas máquinas, o el mismo equipo de obreros.

(A veces, en cambio, puede ser útil clasificar las actividades con arreglo al material que se usa, al conjunto o subconjunto, etc).

Agrupar las actividades según las unidades de trabajo de las que dependen significa sobre todo: "definir bien la responsabilidad específica", con todas las ventajas organizadoras y técnicas que esta supone.

Además estas clasificaciones facilitarán la composición del

artículo y harán después mas clara y fácil su interpretación.

Para diseñar la red algunas suelen partir del nudo final, considerando todas las actividades que condicionan su realización, y después, el nudo de partida correspondiente a cada una de éstas, las actividades que allí concurren, y así sucesivamente....

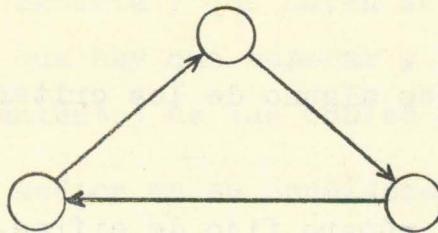


Figura 23

Obsérvese como, según las teorías en que se basa el PERT, queda ~~excluída~~ por hipótesis la presencia de mallas cerradas del tipo que se muestra en la figura 23, claramente indicaría una situación absurda puesto que partiendo de un nudo que se verifica en una fecha determinada se acabaría por volver a aquel mismo nudo y por consiguiente, a aquella misma fecha, después de haber hecho todas las actividades que componen la malla un recorrido en sentido positivo de su desarrollo temporal (los tiempos nunca son negativos).

#### LA NUMERACION DE LOS NUDOS

Es necesario proceder a una clasificación de los nudos dibujados. Esto se puede conseguir por medio de símbolos, palabras o números de referencia. Puesto que el número total de nudos de un programa de cualquier actividad supera con gran facilidad el centenar o millar es conveniente utilizar los números.

La clasificación numérica puede ser cualquiera, sin ningún vínculo como se demuestra en la figura 24.

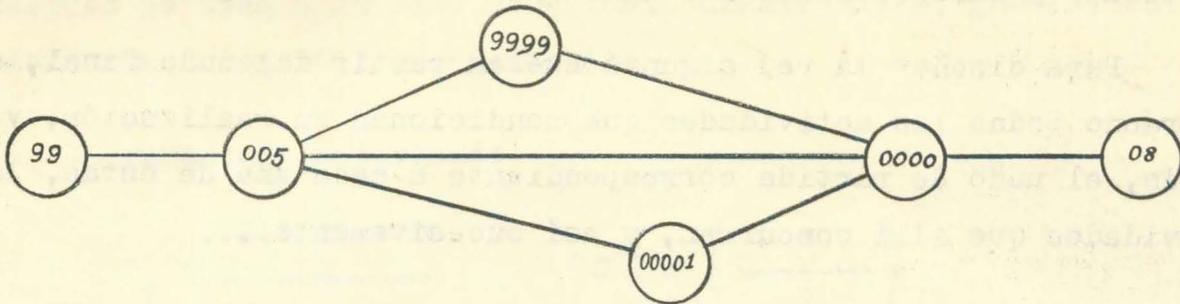


Figura 24

Sin embargo, daremos alguno de los criterios que es conveniente seguir:

- A) establecer un número fijo de cifras, por ejemplo, 4 para to dos los nudos.
- B) denominar **el** nudo de partida : 0001
- C) tratar de obtener una numeración progresiva de los nudos, - creciente según el sentido positivo de las flechas de actividades.
- D) el número que se atribuye al nudo final de cada actividad - ha de ser siempre mayor que el número que se da al nudo de partida.

### T I E M P O S

De la bondad con que se ha llevado a cabo, la fase de obtención de datos sobre las duraciones de las diversas actividades, depende - en gran parte, la calidad, mejor o peor, de los resultados y las informaciones conseguidas por el cálculo PERT.

Es por tanto necesario poner la máxima atención, racionalizar - lo más posible el procedimiento y tomar algunas precauciones.

Esto se consigue ateniéndose a algunos principios informativos - sencillísimos como:

- tener cuidado de que antes de formular los cálculos sobre -- los tres tiempos -(a, n, b)- relativos a la duración de una actividad determinada, la persona o el grupo de personas -- quienes se haya preguntado, conozcan a fondo el sector pro - ductivo que se estudia y que hayan definido bien las dificul tades técnicas que hay que superar y los medios (máquina, per sonal, financiamiento) de las cuales disponen.
- que los mismos medios no se consideren como utilizables, con temporáneamente para más de una actividad.

Por esto es conveniente, en aquellos casos en que los departamen tos de producción no tengan datos suficientes, recoger los cálculos - sobre tiempos durante las reuniones en las que participen todos los - responsables y técnicos de cuantos sectores intervienen, además, natu ralmente, de las personas encargadas de estudiar la aplicación del -- PERT.

## B) ELABORACION

La lista de actividades, que se lleva asociada al conocimiento - de la estructura del proyecto, permite confeccionar la red.

(Cuando una industria comienza a aplicar el PERT, se aconseja - hacer una primera red, basándose, si es posible, en una construcción- semejante que ya se haya realizado y de la que se dispongan de los da tos definitivos.

Esto es muy útil tanto para habituarse al análisis PERT como pa- ra el registro estadístico de los datos de tiempo.

Después se da una denominación a los nudos, distinguiéndolos por ejemplo, mediante una numeración creciente, y se llevan ~~anejos~~ a cada actividad, los números atribuidos a los nudos de partida y de terminación que la delimitan.

Los datos perforados: nudos de partidas, nudos límites, tiempo- (a, n, b), y las eventuales denominaciones alfabéticas, definen com- pletamente la actividad. Toda actividad está representada por una fi- cha.

Todo el retículo estará representado por un paquete de fichas, - una de ellas podrá llevar el nombre del proyecto, otra la fecha final que se desea y las otras los datos eventuales útiles para fines parti- culares.

La forma de salida difiere ligeramente en los distintos progra- mas PERT.

En el listado de resultados para cada actividad suele aparecer:

- a) en el camino crítico. La máquina coloca asteriscos en aque- - llas actividades que considera pertenecientes al camino crí- tico.
- b) definición de actividades. Aparece el nombre de cada activi- dad.
- c) nudos. La máquina imprime para cada actividad el nudo ini- cial y el nudo final.
- d) tiempo medio. El calculado para cada actividad.
- e) varianza.
- f) Los tiempos de comienzo más próximos y más lejanos a la fe- cha origen para que la duración de esta actividad no reper- cuta en la duración total del proyecto.

- g) los tiempos de terminación más próximos y más lejanos a la fecha origen, para que la duración de esa actividad no repercuta en la duración total del proyecto.
- h) fecha programada.
- i) tiempo libre total. Es el tiempo que puede retrasarse el comienzo de la tarea, sin que repercuta en la duración total del proyecto.
- j) tiempo libre relativo. Tiempo que puede retrasarse el comienzo de la tarea, sin que repercuta en los tiempos libres totales de las demás tareas.

Estos resultados permiten individualizar el camino crítico formado por las actividades cuyas duraciones puede ser conveniente reducir y poner de manifiesto, tareas con tiempo libre de las cuales es posible sacar los recursos excedentes en beneficio de las actividades críticas.

Se perfecciona sucesivamente, sustituyendo las fichas correspondientes a las actividades de las que se han podido variar los cálculos de duración, debido a los cambios efectuados en los recursos a ellas destinadas y repitiendo el cálculo.

Cuando se considera que se ha llegado a un grado satisfactorio en la distribución de los recursos disponibles, y que no sería necesario recurrir a un aumento de estos, todo estará dispuesto para comenzar la ejecución del proyecto.

En esta fase se realizan cálculos periódicos PERT (por ejemplo, cada semana) para controlar cómo van avanzando los trabajos.

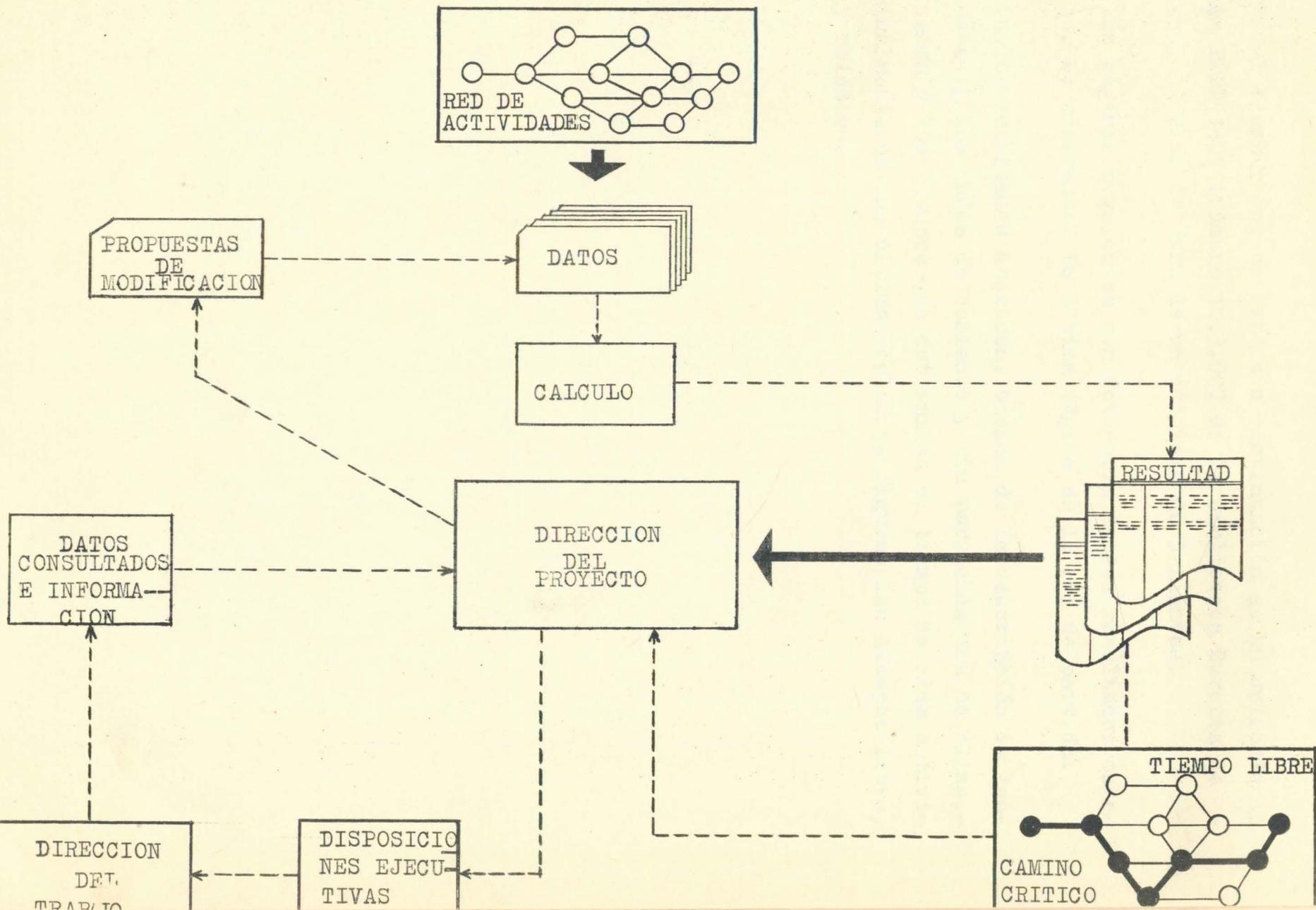
Solamente se harán cálculos extraordinarios en el caso de que se produzcan hechos que se salgan de las normas (desperfectos, accidentes, huelgas, etc.).

Con los cálculos periódicos, queda un control del desarrollo de las actividades, se comprueba si éstas se han terminado en los tiempos previstos. En caso contrario, se modifican las fichas correspondientes perforando la ficha efectiva, dada por el balance final, en lugar de la duración atribuída en la fase preliminar.

(se ponen: duración final = a = n = b).

Es oportuno controlar también si las actividades progresan conforme a los cálculos y si las fechas de aquellas que han de comenzarse son compatibles con la situación real.

Todos estos ciclos de aplicación del método y cálculo PERT están sintetizados en la figura 25.



En el ejemplo que se expone a continuación se ha aplicado el Programa PERT 1401 (número 10.3.007 de la Biblioteca Europea de - Programas) al plan de obra de un edificio de 5 plantas.

Las páginas siguientes son fotocopia de los resultados obtenidos por el ordenador. La última página es la red de partida.

En los resultados aparecen, además de la descripción de las actividades y los nudos de comienzo y fin para cada una de ellas, - la varianza y los tiempos que determinan el tiempo de cada actividad. Finalmente en las últimas columnas figuran los tiempos libre, total y relativo.

PLANIFICACION DE LA CONSTRUCCION DE UN EDIFICIO

CC ACTIVIDAD	-NUDOS-		TIEM MED.	VARIANZA	COMIENZO		TERMINACION		FECHA PREVIS TA.	TIEMP TOTAL	LIBRE RELAT
	I	J			LIM INF	LIM SUP	LIM INF	LIM SUP			
++ GESTIONES Y PERMISOS	001	002	5	1.00			5	5			
EXPLANACION	002	003	2	.11	5	6	7	8			1
ACOPIO MATERIALES	002	004	2	.03	5	6	7	8			1
++ INSTALACIONES 1	002	005	3	.25	5	5	8	8			
VIRTUAL	003	005		.00	7	8	7	8			1
VIRTUAL	004	005		.00	7	8	7	8			1
++ EXCAVACION 1 FASE	005	006	8	.25	8	8	16	16			
INSTALACIONES 2	005	007	4	.11	8	11	12	15			3
++ CIMENTACION 1 FASE	006	008	7	.69	16	16	23	23			
EXCAVACION 2 FASE	006	009	8	.25	16	31	24	39			15
VIRTUAL	008	009		.00	23	39	23	39			16
CIMENTACION 2 FASE	009	010	7	.69	24	39	31	46	45		15
ACO MAD HIE Y FORJ FA 1.1	007	011	2	.00	12	15	14	17			3
++ VIRTUAL	008	012		.00	23	23	23	23			
PREPARACION MADERA	011	012	6	.44	14	17	20	23			3
PREPARACION HIERRO FA 1.1	011	013	8	.11	14	24	22	32			10
++ ENCOFRADO 1 FASE 1.1	012	013	9	.69	23	23	32	32			
ACO CEMEN Y ARID FAS 1.1	011	014	3	1.00	14	37	17	40			23
++ COLOCACION HIERRO FA 1.1	013	014	8	.25	32	32	40	40			
VIRTUAL	010	015		.00	31	46	31	46			15
ENCOFRADO 2 FASE 1.1.	013	015	9	.69	32	37	41	46			5
VIRTUAL	014	015		.00	40	46	40	46			6
HORMIGONADO FASE 1.1	015	016	4	.25	41	65	45	69			24
ACO MAD HIE Y FORJ FA 1.2	011	017	2	.00	14	38	16	40			24
++ VIRTUAL	014	017		.00	40	40	40	40			
VIRTUAL	015	018		.00	41	46	41	46			5
++ PREPARACION MADERA	017	018	6	.44	40	40	46	46			
PREPARAC HIERRO FAS 1.2	017	019	8	.11	40	47	48	55			7
++ ENCOFRADO 1 FASE 1.2	018	019	9	.69	46	46	55	55			
ACOP CEM Y ARID FAS 1.2	017	020	3	1.00	40	60	43	63			20
++ COLOCACION HIERRO FAS 1.2	019	020	8	.25	55	55	63	63			
VIRTUAL	016	021		.00	45	69	45	69			24
ENCOFRADO FASE 1.2	019	021	9	.69	55	60	64	69			5
VIRTUAL	020	021		.00	63	69	63	69			6

CC	ACTIVIDAD	-NUDOS-		TIEM MED.	VARIANZA	COMIENZO		TERMINACION		FECHA PREVIS TA.	TIEM TOTAL	LIBRE RELAT
		I	J			LIM INF	LIM SUP	LIM INF	LIM SUP			
	VIRTUAL	021	024		.00	64	69	64	69		5	5
++	PREPARACION MADERA	022	024	6	.44	63	63	69	69			
	PREPARACION HIERRO FA 2.1	022	025	8	.11	63	70	71	78		7	7
	ENCOFRADO 1 FASE 2.1	024	025	9	.69	69	69	78	78			
	VIRTUAL	023	026		.00	68	92	68	92		24	19
	ENCOFRADO 2 FASE 2.1	025	026	9	.69	78	83	87	92		5	
	ACOP CEMEN Y ARID FAS 2.1	022	027	3	1.00	63	83	66	86		20	20
++	COLOCACION HIERRO FAS 2.1	025	027	8	.25	78	78	86	86			
	ACO MAD HIE Y FORJ FA 2.2	022	028	2	.00	63	84	65	86		21	21
++	VIRTUAL	027	028		.00	86	86	86	86			
	VIRTUAL	026	029		.00	87	92	87	92		5	5
++	PREPARACION MADERA	028	029	6	.44	86	86	92	92			
	FRAGUADO FASE 1.1	016	030	28	.00	45	82	73	110		37	18
	HORMIGONADO FASE 2.1	026	030	4	.25	57	106	91	110		19	
	PREPARAC HIERRO FAS 2.2	028	031	8	.11	66	93	94	101		7	7
++	ENCOFRADO 1 FASE 2.2	029	031	9	.69	92	92	101	101			
	ACOP CEMEN Y ARID FAS 2.2	028	032	3	1.00	86	107	89	110		21	20
	COLOCACION HIERRO FAS 2.2	031	032	8	.25	101	102	109	110		1	
	VIRTUAL	030	033		.00	91	110	91	110		19	19
	ENCOFRADO 2 FASE 2.2	031	033	9	.69	101	101	110	110			
	VIRTUAL	032	033		.00	109	110	109	110		1	1
	FRAGUADO FASE 1.2	023	034	28	.00	68	101	96	129		33	18
	HORMIGONADO FASE 2.2	033	034	4	.25	110	125	114	129	125	15	
++	RECUP MAD FAS 1.1 PREPAR	033	035	1	.00	110	110	111	111			
	ACOP HIERRO Y FORJ FA 3.1	028	036	2	.00	86	110	88	112		24	21
	VIRTUAL	032	036		.00	109	112	109	112		3	
++	ENCOFRADO 1 FASE 3.1	035	037	9	.69	111	111	120	120			
	PREPARAC HIERRO FAS 3.1	036	037	8	.11	109	112	117	120		3	3
	ACOP CEMEN Y ARID FAS 3.1	036	038	3	1.00	109	126	112	129		17	16
	COLOCACION HIERRO FAS 3.1	037	038	8	.25	120	121	128	129		1	
	VIRTUAL	034	039		.00	114	129	114	129		15	15
++	ENCOFRADO 2 FASE 3.1	037	039	9	.69	120	120	129	129			
	VIRTUAL	038	039		.00	128	129	128	129		1	1
	FRAGUADO FASE 2.1	030	040	28	.00	91	120	119	148		29	14
	HORMIGONADO FASE 3.1	039	040	4	.25	129	144	133	148		15	

CC	ACTIVIDAD	-NUDOS-		TIEM MED.	VARIANZA	COMIENZO		TERMINACION		FECHA PREVIS TA.	TIEM LIBRE	
		I	J			LIM INF	LIM SUP	LIM INF	LIM SUP		TOTAL	RELAT
	ACOP HIERRO Y FORJ FA 3.2	036	043	2	.00	109	129	111	131		20	17
	VIRTUAL	038	043		.00	128	131	128	131		3	
++	ENCOFRADO 1 FASE 3.2	042	044	9	.69	130	130	139	139			
	PREPARAC HIERRO FAS 3.2	043	044	8	.11	128	131	136	139		3	3
	ACOP CEMENT Y ARID FA 3.2	043	045	3	1.00	128	145	131	148		17	16
	CCLOCACION HIERRO FAS 3.2	044	045	8	.25	139	140	147	148		1	
	VIRTUAL	040	046		.00	133	148	133	148		15	15
	VIRTUAL	041	046		.00	132	148	132	148		16	16
++	ENCOFRADO 2 FASE 3.2	044	046	9	.69	139	139	148	148			
	VIRTUAL	045	046		.00	147	148	147	148		1	1
	TABIQUES BAJO	046	047	8	.11	148	166	156	174		18	
	SERVICIOS BAJO	047	048	9	.00	156	175	165	184		19	
	HORMIGONADO FASE 3.2	046	049	4	.25	148	163	152	167	160	15	
++	RECUP MAD F 2.1 PREPAR	046	050	1	.00	148	148	149	149			
	ACOP HIERRO Y FORJ FA 4.1	043	051	2	.00	128	148	130	150		20	17
	VIRTUAL	045	051		.00	147	150	147	150		3	
++	ENCOFRADO 1 FASE 4.1	050	052	9	.69	149	149	158	158			
	PREPARAC HIERRO FAS 4.1	051	052	8	.11	147	150	155	158		3	3
	ENFOCADO BAJO	047	053	10	.25	156	174	166	184		18	
	VIRTUAL	048	053		.00	165	184	165	184		19	1
	ACOP CEMEN ARID FAS 4.1	051	054	3	1.00	147	164	150	167		17	16
	COLOCAC HIERRO FAS 4.1	052	054	8	.25	158	159	166	167		1	
	FRAGUADO FASE 2.2	034	055	28	.00	114	139	142	167		25	25
	VIRTUAL	049	055		.00	152	167	152	167		15	15
++	ENCOFRADO 2 FASE 4.1	052	055	9	.69	158	158	167	167			
	VIRTUAL	054	055		.00	166	167	166	167		1	1
	FRAGUADO FASE 3.1	040	056	28	.00	133	158	161	186		25	10
	HORMIGONADO FASE 4.1	055	056	4	.25	167	182	171	186		15	
	ACOPIO MATERIAL 1 VARIOS	055	057	3	.44	167	183	170	186		16	
++	RECUP MADE FAS 2.2 PREPA	055	058	1	.00	167	167	168	168			
	ACOP HIERRO FOR FA 4.2	051	059	2	.00	147	167	149	169		20	17
	VIRTUAL	054	059		.00	166	169	166	169		3	

	-NUDOS-		TIEM MED	VARIANZA	COMIENZO		TERMINACION		FECHA PREVIS TA.	TIEM LIBRE	
	I	J			LIM INF	LIM SUP	LIM INF	LIM SUP		TOTAL	RELAT
VIRTUAL	061	062		.00	185	188	185	188		3	
VIRTUAL	056	063		.00	171	186	171	186		15	15
VIRTUAL	057	063		.00	170	186	170	186		16	16
++ ENCOFRADO 2 FASE 4.2	060	063	9	.69	177	177	186	186			
VIRTUAL	061	063		.00	185	186	185	186		1	1
CARPINTERIA BAJO	046	064	16	.25	148	179	164	195		31	22
ENLUCIDOS TERMINADO BAJO	053	064	11	.11	166	184	177	195		18	9
VIRTUAL	063	064		.00	186	195	186	195		9	
TABIQUES 1	064	065	8	.11	186	195	194	203		9	
FRAGUADO FASE 3.2	049	066	28	.00	152	177	180	205		25	10
HORMIGONADO FASE 4.2	063	066	4	.25	186	201	190	205	195	15	
++ RECUP MAD FAS 3.1 PREPAR	063	067	1	.00	186	186	187	187			
PREPARAC HIERRO FAS 5.1	062	068	8	.11	185	188	193	196		3	3
++ ENCOFRADO 1 FASE 5.1	067	068	9	.69	187	187	196	196			
SERVICIOS 1	065	069	9	.00	194	204	203	213		10	
ENFCSCADO 1	065	070	10	.25	194	203	204	213		9	
VIRTUAL	069	070		.00	203	213	203	213		10	1
SOLADO BAJO	064	071	4	.03	186	220	190	224		34	
ACOP CEMEN ARIDOS FA 5.1	062	072	3	1.00	185	202	188	205		17	16
COLOCAC HIERRO FA 5.1	068	072	8	.25	196	197	204	205		1	
VIRTUAL	066	073		.00	190	205	190	205		15	15
++ ENCOFRADO 2 FASE 5.1	068	073	9	.69	196	196	205	205			
VIRTUAL	072	073		.00	204	205	204	205		1	1
HORMIGONADO FASE 5.1	073	074	4	.25	205	238	209	242		33	
FRAGUADO FASE 4.1	056	075	28	.00	171	214	199	242		43	9
ACOP MATER ALBAÑILER 2	073	075	3	.44	205	239	208	242		34	
++ RECUP MAD FA 3.2 PREPAR	073	076	1	.00	205	205	206	206			
ACOP HIERRO FORJAR FA 5.2	062	077	2	.00	185	205	187	207		20	17
VIRTUAL	072	077		.00	204	207	204	207		3	
++ ENCOFRADO 1 FASE 5.2	076	078	9	.69	206	206	215	215			
PREPARAC HIERRO FAS 5.2	077	078	8	.11	204	207	212	215		3	3
ACOP CEMEN ARIDOS FA 5.2	077	079	3	1.00	204	221	207	224		17	16
COLOCAC HIERRO FAS 5.2	078	079	8	.25	215	216	223	224		1	
++ ENCOFRADO 2 FASE 5.2	078	080	9	.69	215	215	224	224			

	-NUDOS-		TIEM MED.	VARIANZA	COMIENZO		TERMINACION		FECHA PREVIS TA.	TIEM TOTAL	LIBRE RELAT.
	I	J			LIM INF	LIM SUP	LIM INF	LIM SUP			
	VIRTUAL	071			081		.00	190			
++ VIRTUAL	080	081		.00	224	224	224	224			
++ TABIQUES 2	081	082	8	.11	224	224	232	232			
VIRTUAL	074	083		.00	209	242	209	242		33	32
VIRTUAL	075	083		.00	208	242	208	242		34	33
SERVICIOS 2	082	083	9	.00	232	233	241	242		1	
++ ENFOSCADO 2	082	084	10	.25	232	232	242	242			
VIRTUAL	083	084		.00	241	242	241	242		1	1
FRAGUADO FASE 4.2	066	085	28	.00	190	225	218	253		35	10
HORMIGONADO FASE 5.2	080	085	4	.25	224	249	228	253	230	25	
RECUP MADE FA 4.1 PREPAR	080	086	1	.00	224	269	225	270		45	
ACO HIERRO FORJ CUBIER 1	077	087	2	.00	204	269	206	271		65	17
VIRTUAL	079	087		.00	223	271	223	271		48	
ENCOFRADO 1 CUBIERTA 1	086	088	9	.69	225	270	234	279		45	
PREPARAC HIERRO CUBI 1	087	088	8	.11	223	271	231	279		48	3
ACOP CEMEN ARID CUBIER 1	087	089	3	1.00	223	285	226	288		62	16
COLOCAC HIERRO CUBIER 1	088	089	8	.25	234	280	242	288		46	
ACO HIERRO FORJA CUBIE 2	087	090	2	.00	223	288	225	290		65	17
VIRTUAL	089	090		.00	242	290	242	290		48	
VIRTUAL	085	091		.00	228	288	228	288		60	15
ENCOFRADO 2 CUBIERTA 1	088	091	9	.69	234	279	243	288		45	
VIRTUAL	089	091		.00	242	288	242	288		46	1
HORMIGONADO CUBIERTA 1	091	092	4	.25	243	302	247	306		59	
ACO MATER ALBAÑILERIA 3	091	093	3	.44	243	304	246	307		61	
SOLADO 1	081	094	4	.03	224	249	228	253		25	
CARPINTERIA 2	081	095	16	.25	224	237	240	253		13	13
++ ENLUCIDOS Y TERMINADO 2	084	095	11	.11	242	242	253	253			
VIRTUAL	094	095		.00	228	253	228	253		25	25
FRAGUADO FASE 5	085	096	28	.00	228	253	256	281		25	
++ TABIQUES 3	095	097	8	.11	253	253	261	261			
RECUP MADE FAS 4.2 PREPA	091	098	1	.00	243	288	244	289		45	
PREPARAC HIERRO CUBI 2	090	099	8	.11	242	290	250	298		48	3
ENCOFRADO 1 CUBIERTA 2	098	099	9	.69	244	289	253	298		45	
ACO CEMEN ARID CUBIERT 2	090	100	3	1.00	242	304	245	307		62	16
COLOCA HIERR CUBIERTA 2	099	100	8	.25	253	299	261	307		46	
VIRTUAL	092	101	1	.00	247	306	248	307		59	14

PLANIFICACION DE LA CONSTRUCCION DE

OFICIO 006

	-NUDOS-			TIEM MED.	VARIANZA	COMIENZO		TERMI LIM INF	FECHA PREVIS TA,	TIEMPO TOTAL	LIBRE RELAT.
	LIM SUP	LIM INF	LIM SUP			LIM INF					
ENCOFRADO 2 CUBIERTA 2	099	101	9	.69	253	298	262	307		45	
VIRTUAL	100	101		.00	261	307	261	307		46	1
ACOP MATERIALES 4	095	102	3	.44	253	279	256	282		26	
SERVICIOS 3	097	103	9	.00	261	262	270	271		1	
++ ENFOSCADO 3	097	104	10	.25	261	261	271	271			
VIRTUAL	103	104		.00	270	271	270	271		1	1
SOLADO 2	095	105	4	.03	253	278	257	282		25	
RECUPERACION MADERA FA 5	096	106	1	.00	256	281	257	282		25	
HORMIGONADO CUBIERTA 2	101	107	4	.25	262	307	266	311	300	45	
CARPINTERIA 3	095	108	16	.25	253	266	269	282		13	13
VIRTUAL	102	108		.00	256	282	256	282		26	26
++ ENLUCIDO TERMINADO 3	104	108	11	.11	271	271	282	282			
VIRTUAL	105	108		.00	257	282	257	282		25	25
VIRTUAL	106	108		.00	257	282	257	282		25	25
VIRTUAL	106	109		.00	257	339	257	339		82	37
FRAGUADO CUBIERTA	107	109	28	.00	266	311	294	339		45	
DESMONTAJE HORMIGONADO	107	110	3	.03	266	345	269	348		79	
++ TABIQUES 4	108	111	8	.11	282	282	290	290			
ACOPIO MATERIALES 5	108	112	3	.44	282	308	285	311		26	
SERVICIOS 4	111	113	9	.00	290	291	299	300		1	
++ ENFOSCADO 4	111	114	10	.25	290	290	300	300			
VIRTUAL	113	114		.00	299	300	299	300		1	1
SOLADO 3	108	115	4	.03	282	307	286	311		25	
RECUP MADERA CUBIERTA	109	116	1	.00	294	339	295	340		45	
CARPINTERIA 4	108	117	16	.25	282	295	298	311		13	13
VIRTUAL	112	117		.00	285	311	285	311		26	26
++ ENLUCIDO Y TERMINADO 4	114	117	11	.11	300	300	311	311			
VIRTUAL	115	117		.00	286	311	286	311		25	25
++ TABIQUES 5	117	118	8	.11	311	311	319	319			
SERVICIOS 5	118	119	9	.00	319	320	328	329		1	
++ ENFOSCADO 5	118	120	10	.25	319	319	329	329			
VIRTUAL	119	120		.00	328	329	328	329		1	1
SOLADO 4	117	121	4	.03	311	336	315	40		25	
ACOP MATERIALES TERRAZA	117	122	3	.44	311	315	314	8		4	

	-NUDOS-	TIEM MED.	VARIANZA	COMIENZO		TERMI LIM INF	ACION LIM SUP	FECHA PREVIS TA.	TIEMPO TOTAL	LIBRE RELAT.
				LIM INF	LIM SUP					
CARPINTERIA 5	117	123	16	.025	311	324	327		13	13
++ ENLUCIDOS TERMINADO 5	120	123	11	.11	329	329	340	340		
VIRTUAL	121	123		.00	315	340	315	340	25	25
VIRTUAL	122	123		.00	314	340	314	340	26	26
PINTURA	122	124	30	2.76	314	318	344	348	4	
VIRTUAL	110	125		.00	269	348	269	348	79	75
SOLADO 5	123	125	4	.03	340	344	344	348	4	
++ CONST IMPERME TERRAZA	123	126	8	1.00	340	340	348	348		
VIRTUAL	124	126		.00	344	348	344	348	4	4
VIRTUAL	125	126		.00	344	348	344	348	4	4
++ LIMPIEZA Y REPASOS	126	127	10	.44	348	348	358	358	365	

La utilización de la columna VARIANZA, que aparece en la fotocopia de los resultados obtenidos por el ordenador, se lleva a cabo -- de la siguiente forma:

Se toman las actividades correspondientes a la senda crítica, -- se suman sus correspondientes varianzas y se extrae la raíz cuadrada de tal suma obteniendo así la desviación típica. En el ejemplo vamos a utilizar sólo las tareas críticas 1-2, 2-5, 5-6, 6-8, 8-12 y 12-13 cuyas varianzas suman 2,88.

De aquí 
$$\sigma = \sqrt{\sum \sigma_i^2} = \sqrt{2,88} = 1,69$$

La suma de tiempos medios correspondientes a estas tareas son:

$$5 + 3 + 8 + 7 + 0 + 9 = 32$$

Si la fecha prevista para terminar el "Encofrado Fase 1.1" fue se el día 30 después de comenzar la construcción, se puede ahora -- calcular, con la ayuda de la tabla adjunta, la probabilidad de cumplir lo previsto.

$$Z = \frac{(\text{Fecha prevista}) - (\text{Fecha programada})}{(\text{Desviación típica})} = \frac{30 - 32}{1,69} = - 1,18$$

En la tabla, a - 1,18 corresponde un valor de 0,1190 o solamente 11,9 % de probabilidad de acabar en 30 días hasta el nudo 13.

Si lo previsto, antes de hacer el cálculo, hubiera sido 34 -- días,

$$\frac{34 - 32}{1,69} = 1,18$$

que le corresponde en la tabla el valor 0,8810 o lo que es lo mismo: se tiene una alta probabilidad (88,10 %) de alcanzar la fecha prevista.

Esta misma operación puede hacerse para la totalidad del diagrama de flechas y para cualquiera de sus partes.

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7703	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9278	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9430	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9619	.9625	.9633
1.8	.9641	.9648	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9700	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9762	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9874	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3	.9987	.9990	.9993	.9995	.9997	.9998	.9998	.9999	.9999	1.0000

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-3	.0013	.0010	.0007	.0005	.0003	.0002	.0002	.0001	.0001	.0000
-2.9	.0019	.0018	.0017	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
-2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
-2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
-2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
-2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
-2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
-2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
-2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0126	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
-2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
-2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
-1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0238	.0233
-1.8	.0359	.0352	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0300	.0294
-1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
-1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
-1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0570	.0559
-1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0722	.0708	.0694	.0681
-1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
-1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
-1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
-1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
-.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
-.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
-.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2297	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
-.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
-.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
-.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
-.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
-.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
-.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
-.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4769	.4721	.4681	.4641

36821