

## ANEXO 1

### Presentación de un caso práctico

#### CARACTERÍSTICAS DEL PERT DE LA CENTRAL NUCLEAR DE VANDELLÓS

##### Origen de los Datos

Puesto que la misión de HIFRENSA es la de control y no la de ejecución de la mayoría de los trabajos, los datos han tenido que recogerse del GC a través de SOCIA.

En aquellos casos en que ha sido necesario, se han tomado datos procedentes del proyecto de PERT para la construcción de la Central francesa SL 2.

A fin de definir claramente el alcance de cada una de las actividades, se ha confeccionado un ficha por actividad (*figura 7.A.1.1.1*). Estas fichas dan, además de los datos necesarios al PERT, otros datos suplementarios. La identificación de la actividad se hace de acuerdo con la nomenclatura y posición en el grafo correspondiente. Se tiene en cuenta el espacio de que se dispone para la ficha de paso por ordenador. Se prevén modificaciones y revisiones sucesivas. Se irán complementando a medida que avance la construcción de la Central y se obtenga mayor información de las actividades próximas a empezar.

#### CRITERIOS DE CONFECCIÓN DEL GRAFO

Teniendo en cuenta la complejidad del Proyecto, que exige el paso por ordenador, se han adoptado los siguientes criterios para la confección del grafo.

- El grafo total se ha descompuesto en subgrafos numerados 02, 03, .... La notación 00 y 01 se ha reservado para las etapas interfase de conexión entre dos subgrafos. Cada subgrafo contiene un número de etapas inferior a cien, numeradas secuencialmente de 00 a 99 dentro del subgrafo.
- Las etapas del grafo y subgrafos son de dos tipos:
  - Etapas de subgrafo
  - Etapas interfase de conexión entre dos subgrafos

##### NOTA DE LOS AUTORES:

El texto de este ANEXO apareció en el N° 2 de la Revista de HIFRENSA en 1968. Esta fecha puede ayudar a comprender algunos aspectos instrumentales netamente superados hoy, que poseen un carácter testimonial de un pasado no tan lejano. En los números sucesivos de la revista apareció una sección destinada a dar cuenta de la situación del Proyecto desde el punto de vista de su planificación. El informe final, de 1972, constituye el texto del ANEXO 2.

Las etapas se designan mediante un número de cuatro cifras. Las dos primeras son del subgrafo a que pertenecen (o 00 o 01 si se trata de etapas interfaze), las otras dos corresponden al número de orden dentro del subgrafo.

- Las etapas interfaze unen, en general, a los grafos que conectan, mediante actividades virtuales. Este principio se conserva estrictamente en las ligaduras que convergen hacia la etapa interfaze.
- Se ha reducido al mínimo indispensable las actividades virtuales dentro de un subgrafo. Puesto que el programa ordenador calcula las fechas correspondientes al principio y fin de las actividades, no es necesario singularizar dichos puntos en forma concreta.
- El grafo se ha dibujado considerando un sentido general de transcurso del tiempo de izquierda a derecha. Las etapas se representan mediante cuadrados, las actividades reales mediante líneas continuas de trazo grueso y las virtuales mediante líneas continuas finas con dos trazos inclinados atravesándolas. Cuando el lado de una etapa ha sido insuficiente para que de él saliesen o entrasen todas las actividades correspondientes, se ha prolongado con una línea fina.
- Las conexiones, es decir, las etapas interfaze se han situado en las partes superior e inferior del dibujo. En la superior las etapas entrantes y en la inferior las salientes.
- Cada actividad real va acompañada en el dibujo por su designación y su duración. La designación se escribe encima y la duración, en meses, debajo. Por necesidades del ordenador la designación tiene como máximo treinta y cinco signos (letras, números, espacios).
- Las etapas se dividen en cuatro partes. En el rectángulo superior se anota el número de la etapa. En los dos rectángulos centrales la fecha mínima y la máxima de comienzo respectivamente (sólo se podrán llenar después del paso por ordenador). En el rectángulo inferior se anotará la fecha real en que se ha llegado a cada una de las etapas.
- Las etapas interfaze se han dispuesto de modo que permitan indicar su designación o naturaleza y los subgrafos que conecta.

Como ejemplo, en la *figura 7.A.1.1.2* (mirar en la página 200) se reproduce una versión simplificada del grafo provisional correspondiente a la toma y evacuación del agua y estación de bombeo.

Para la confección de los subgrafos se ha partido del principio de dibujarlos con los datos de que se dispusiese e irlos mejorando sucesivamente.

En el momento actual se dispone de los subgrafos siguientes:

- 02 Trabajos preliminares
- 03 Pórtico de manutención pesada
- 04 Inicio construcción del cajón e introducción de las piezas pesadas
- 05 Fin construcción del cajón después de introducir las piezas pesadas, y DRG
- 06 BCI
- 07 DPM y barras de control
- 08 Equipo del edificio del reactor
- 09 Turbosoplantes, ventilación provisional y ventilación en parada
- 10 Circuitos de CO<sub>2</sub>
- 11 IPE
- 12 Piscina, célula MEC y equipos
- 13 Circuitos de agua y vapor
- 14 Toma de agua y estación de bombeo
- 15 Edificio de Auxiliares Eléctricos
- 16 Central Auxiliar
- 17 Control. Mando. Medidas
- 18 Electrotecnia
- 19 Cambiador de parada

Los primeros se han establecido con todo el detalle requerido, mientras que los demás, aunque son suficientes para obtener estimaciones globales del tiempo de ejecución, serán completados a medida que el Proyecto avance y sean necesarias precisiones más sutiles.

No se ha tenido en cuenta por el momento el subgrafo correspondiente a edificios auxiliares porque, en principio, no influyen en la marcha general del proyecto. Se planificarán aparte, más adelante.

En cuanto a los ensayos generales, como no están totalmente definidos, se han tomado márgenes suficientes para que puedan añadirse en su día. Se recogerán en el subgrafo 20.

1	4	5	8	48	NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	80	9	DURACION	12	FECHA	RESPONSABLE
Tipo de actividad:											
DESCRIPCIÓN											
Empresa:						Nacionalidad					
FECHA DE REVISIÓN		FECHA MÍNIMA				FECHA MÁXIMA					
		COMIENZO		FINAL		COMIENZO		FINAL			
Fecha real de comienzo											
Duración real											
Fecha real de terminación											
CONDICIONES NECESARIAS PARA REALIZAR LA OPERACIÓN											
MATERIALES		MANO DE OBRA		MAQUINARIA		LOCALIZACIÓN		OTRAS			
LIGADURAS TECNOLÓGICAS											
SIGUIENTES		PRECEDENTES		OBSERVACIONES							
OBSERVACIONES											

Fig. 7.A.1.1.1 Ficha de análisis

## PROGRAMA ORDENADOR

Una vez dibujado el grafo se pueden obtener manualmente las fechas mínima y máxima de comienzo de una etapa, y mediante un cálculo posterior, ya indicado, hallar las fechas mínima y máxima de cada actividad, así como los márgenes disponibles. Sin embargo, al aumentar el tamaño de los grafos, el tiempo necesario es importante, existiendo gran probabilidad de que se produzcan errores con el siguiente peligro de retraso de la información.

Por todo ello se ha preferido utilizar el ordenador. Para cada actividad se ha perforado una ficha del modo siguiente:

Columnas 1 a 4:  $i$  o etapa precedente

Columnas 5 a 8:  $j$  o etapa siguiente

Columnas 9 a 12: duración, en décimas de mes

Columnas 13 a 20: coste (cero en nuestro caso puesto que es un factor que no se considera)

Columnas 21 a 45: en blanco

Columnas 46 a 80: nombre de la actividad

En la *figura 7.A.1.1.3* se da un ejemplo de ficha perforada. El ordenador proporciona los siguientes resultados:

- Fecha mínima y máxima de comienzo de cada actividad
- Fecha mínima y máxima de terminación de cada actividad
- Margen libre
- Margen total
- Actividades críticas

Los resultados pueden salir ordenados por cada uno de los conceptos anteriores, y por  $i$  o por  $j$ .

En nuestro caso se han retenido:

- Ordenación por  $j$
- Ordenación por fecha máxima de comienzo
- Ordenación por margen total

\* Posteriormente la duración se midió en días.

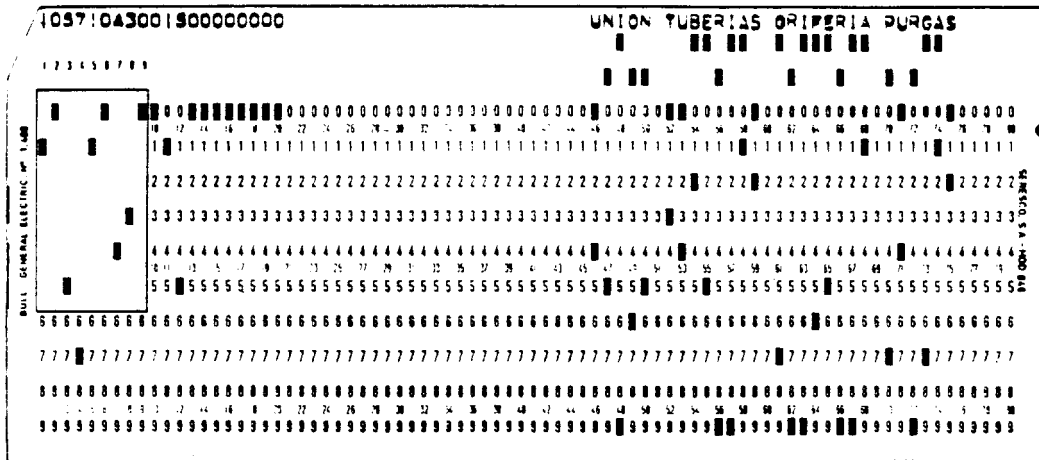


Fig. 7.A. 1.1.3 Ficha perforada

En la Tabla de la figura 7.A. 1.1.4 se reproduce una página de resultados ordenados según j.

Las actividades críticas van marcadas con cuatro asteriscos.

El programa impone que el valor del mayor número indicativo de etapa sumado al doble del número de actividades no debe superar 6100, imposición que se ha tenido en cuenta al numerar las etapas.

**PRESENTACION DE RESULTADOS**

Con el criterio adoptado de ir ampliando continuamente los grafos, los resultados obtenidos correspondientes a actividades a realizar dentro del plazo de un año a partir de la fecha de paso por el ordenador, poseen todo el detalle y precisión requeridos. Las actividades de realización más lejana, puesto que corresponden a grafos más sintéticos, reciben unos resultados indicativos, que podrán modificarse a medida que se precisen las opciones constructivas a adoptar. Por todo ello, en lugar de dibujar un gantt que abarque toda la construcción, se irán dibujando gantts semestrales que se renovarán cada tres meses.

02/29/68

COMPATABLES/400 CPM PROGRAM  
HISPANO FRANCESA DE ENERGIA NUCLEAR S.A. (HIFRENSA)  
CONSTRUCCIÓN DE LA CENTRAL NUCLEAR DE VANDELLÓS  
PROGRAMA INICIAL  
2 DE ABRIL DE 1968

PAGE 13

CRIT	I	J	DESCRIPCIÓN	DUR.	COST	EARLIEST		LATEST		FLOATS	
						START	FINIS	START	FINISH	FREE	TOTAL
						H					
****	475	480	Tratamiento superf. externa y montaj.	14	.00	210	224	251	265	37	41
	476	480	Montaje y regulación apoyos falda	10	.00	238	248	255	265	13	17
	477	480	Montaje apoyos cambiadores en cajón	5	.00	238	243	260	265	18	22
	479	480	Virtual	0	.00	261	261	265	265	0	4
	38	480	Virtual	0	.00	259	259	265	265	2	6
	88	480	Virtual	0	.00	259	259	265	265	2	6
	138	480	Virtual	0	.00	261	261	265	265	0	4
	94	480	Virtual	0	.00	172	172	265	265	89	93
	480	481	Introduc. y ajuste falda faldita	2	.00	261	263	265	267	0	4
	479	482	Montaje pasos hermáticos	18	.00	261	279	269	267	0	8
	481	483	Virtual	0	.00	263	263	269	269	0	8
	1	483	Fabric. y aprov. trompetas	60	.00	0	60	209	269	203	209
	444	484	Virtual	0	.00	178	178	200	200	22	22
****	1	484	Pedido y llegada cambiadores	200	.00	0	200	0	200	0	0
	479	485	Virtual	0	.00	261	261	278	270	9	9
	483	485	Almacenado trompetas	1	.00	263	264	269	270	6	6
****	484	485	Fin entrega y control cambiadores	70	.00	200	270	200	270	0	0
****	485	486	Colocación cambiadores	3	.00	270	273	270	273	0	0
	410	487	Conexión torres a bulbos	40	.00	279	319	287	327	0	8
	481	488	Virtual	0	.00	263	263	517	517	10	254
	486	488	Virtual	0	.00	273	273	517	517	0	244
	2	488	Pedido y llegada deflectores DRG	100	.00	0	100	417	517	173	417
	487	489	Virtual	0	.00	319	319	527	527	0	208
	488	489	Montaje deflectores	10	.00	273	283	517	527	36	244
	481	489	Unión falda hermeticidad a membrana	5	.00	263	268	522	527	51	259
	481	490	Virtual	0	.00	263	263	267	267	0	4
	1	490	Fabricación apoyos SS	55	.00	0	55	212	267	208	212
	1	491	Aprovisionamiento SS	180	.00	0	180	9	189	0	9
	435	491	Virtual	0	.00	169	169	189	189	11	20
	491	492	Ensamblaje y tratamiento térmico	70	.00	180	250	189	259	0	9
	492	493	Tratamiento superficie 1ª parte	6	.00	250	256	259	265	0	9
	492	494	Virtual	0	.00	250	250	260	260	0	18
	1	494	Fabric. y aprov. corona periférica	140	.00	0	140	120	260	110	120
	493	495	Virtual	0	.00	256	256	267	267	1	11
	494	495	Presentación corona perif. a SS	7	.00	250	257	260	267	0	18
	495	496	Desmontaje remontaje corona perif.	5	.00	257	262	267	272	6	10
	490	496	Soldadura apoyo SS y falda	5	.00	263	268	267	272	0	4
	1	496	Entrega y prefabric. junta estanca	74	.00	0	74	198	272	194	198
	496	497	Ensamblaje junta hermeticidad	1	.00	268	269	272	273	4	4
****	486	497	Virtual	0	.00	273	273	273	273	0	0
	1	498	Almacén de uranio	70	.00	0	70	143	213	0	143
	498	499	Virtual	0	.00	70	70	213	213	0	143
****	1	499	Pedido y llegada grafito SS	70	.00	0	70	143	213	0	143
	134	500	Virtual	0	.00	352	352	352	352	0	0
	533	500	Virtual	0	.00	345	345	352	352	7	7

Fig. 7.A.1.1.4 Página de resultados obtenidos del ordenador

## REVISIONES MENSUALES

Mensualmente se procede a un nuevo paso por ordenador para introducir cambios que se hayan podido producir por alguno de los tres conceptos siguientes:

- Cambios en la lógica del proyecto
- Ampliaciones en algunos grafos
- Información procedente de las realizaciones obra y fábrica

Los dos primeros casos se reducen sencillamente a cambiar unas fichas perforadas por otras.

Vamos a detallar más el tercer caso.

Normalmente los tiempos previstos en el programa para la ejecución de las actividades no se cumplen estrictamente en obra, ni en fábrica, bien porque han surgido imprevistos, bien porque las estimaciones son optimistas o pesimistas.

Por todo ello se debe recibir una información continua de obra y de fábrica que permita realizar las puestas al día necesarias.

Para facilitar la comunicación de esta información se ha confeccionado una ficha reproducida en la *figura 7.A.1.1.5*.

La identificación de cada actividad se hace, como siempre, por  $i, j$  y el nombre de la misma.

El ordenador posee un sistema de gestión de su programa PERT, un Monitor, que permite introducir las fechas reales de las etapas y actividades en las listas sobre las que realiza los cálculos.

## ESTADO ACTUAL DE LOS TRABAJOS DE PROGRAMACION

Una vez que HIFRENSA hubo tomado la decisión de seguir la ejecución del Proyecto mediante un PERT, se procedió del modo siguiente:

- Se desarrolló un cursillo sobre métodos de ordenación para todo el personal técnico de la empresa a fin de obtener un vocabulario común y unos conocimientos que permitieran mayor facilidad en el curso posterior de los trabajos.
- Se procedió a un acopio de datos a través de SOCIA y de EDF, procedentes de los



Constructores de Vandellós los primeros y de la construcción de SL-1 y SL-2 los segundos.

- Se definieron los criterios de tipo de representación, división en subgrafos y programa ordenador, vistos anteriormente.
- Se dibujó un primer grafo que se fue mejorando en sucesivas versiones hasta obtener uno que se consideró bueno para el primer paso por ordenador. Este paso se realizó a finales del mes de febrero.
- Con los resultados de este primer paso por máquina se procedió a un análisis profundo de las precedencias que imponían los plazos, a fin de introducir, si ello era posible, los cambios lógicos que pudiesen llevar a una duración total del Proyecto. Por otra parte se introdujeron los últimos cambios constructivos relativos al montaje del BTI *in situ* y no en taller de prefabricación.
- A primeros de abril se realizó el nuevo paso por ordenador del que se obtuvieron los resultados definitivos del programa inicial y del programa modificado por el BTI tal como se ha visto anteriormente.
- A partir de estos resultados se podrán empezar estudios conjuntamente con los Constructores a fin de adoptar opciones constructivas que acorten los plazos, y tomar todas aquellas medidas que aseguren la realización del Proyecto en las mejores condiciones posibles.

i		j		HIFRENSA	
(nombre de la actividad)					
EMPRESA:		Fecha comienzo		OBSERVACIONES:	
INCIDENCIAS:		Fecha terminada			
		Estado de ejecución o % de obra en %			

Fig. A.7.1.1.5 Ficha de obra

ETAPA	Fecha PERT mes a partir de $J_1$	Fecha contractual mes a partir de $J_1$
Fin de construcción del BTI	13'6	14
Principio introducción piezas pesadas	26'1	25
Principio apilamiento	32'3	31
Fin de pretensado	36'8	35
Fin de construcción	43'5	42
Principio de subida de potencia	52'7	50
J <sub>1</sub> = 28 de junio de 1967, fecha inicial		

Figura A.7.1.1.6

## RESULTADOS OBTENIDOS

El programa que ha sido tratado en el ordenador consta de 2050 actividades, distribuidas del modo siguiente:

Subgrafo	02	.....	111	actividades
Subgrafo	03	.....	137	actividades
Subgrafo	04	.....	215	actividades
Subgrafo	05	.....	136	actividades
Subgrafo	06	.....	98	actividades
Subgrafo	07	.....	95	actividades
Subgrafo	08	.....	56	actividades
Subgrafo	09	.....	177	actividades
Subgrafo	10	.....	112	actividades
Subgrafo	11	.....	198	actividades
Subgrafo	12	.....	67	actividades
Subgrafo	13	.....	80	actividades
Subgrafo	14	.....	91	actividades
Subgrafo	15	.....	81	actividades
Subgrafo	16	.....	148	actividades
Subgrafo	17	.....	111	actividades
Subgrafo	18	.....	101	actividades
Subgrafo	19	.....	33	actividades
Auxiliares		.....	5	actividades

Se puede observar que mientras el número de etapas de cada subgrafo no puede superar a 100 para facilitar la numeración, el número de actividades, no sujeto a tal limitación, supera ampliamente esta cifra en algunos casos.

El tiempo empleado por el ordenador para la lectura de datos, cálculos e impresión de los resultados es del orden de quince minutos.

Para la duración de los ensayos se han supuesto tiempos similares a los de SL-1. Lo mismo se ha hecho para la carga de combustible. Estas circunstancias dan un cierto carácter de provisionalidad a la predicción de las fechas posteriores al fin de la construcción. El fin de la construcción se sitúa en el mes  $J_1 + 43'5$ , en vez del mes  $J_1 + 42$  al que correspondería según calendario contractual normal.

El inicio de la subida de potencia se sitúa, según los resultados, en el mes  $J_1 + 52'7$  lo cual permite suponer que se habrá llegado al 60% de potencia en el mes  $J_1 + 58'7$  que coincide con finales de mayo de 1972.

En la tabla de la *figura 7.A.1.1.6* se recogen las fechas de algunas etapas importantes, comparadas con las fechas del calendario contractual normal.

De estos datos puede concluirse que las desviaciones entre fechas del PERT y calendario contractual normal son de una magnitud tal que con variantes constructivas adecuadas se podrían alcanzar las etapas en las fechas convenientes, análogamente a lo que ocurre con la construcción del BTI, donde una variación constructiva permite la recuperación de un retraso.

El camino crítico arranca con la actividad, pedido y llegada cambiadores, y continúa por la introducción de elementos que se colocan en el cajón después de los cambiadores, montaje del corsé y del apilamiento, pantalla térmica superior, cambiador de parada (si se adopta), fin de pretensado del cajón, colocación de las turbosoplantes, ensayos, limpieza, primera carga y subida en potencia.

Cualquier adelanto en la actividad, pedido y llegada cambiadores, no reduciría en más de 10 días la duración total del Proyecto por cuanto se dan actividades precedentes con margen total de 10 días.

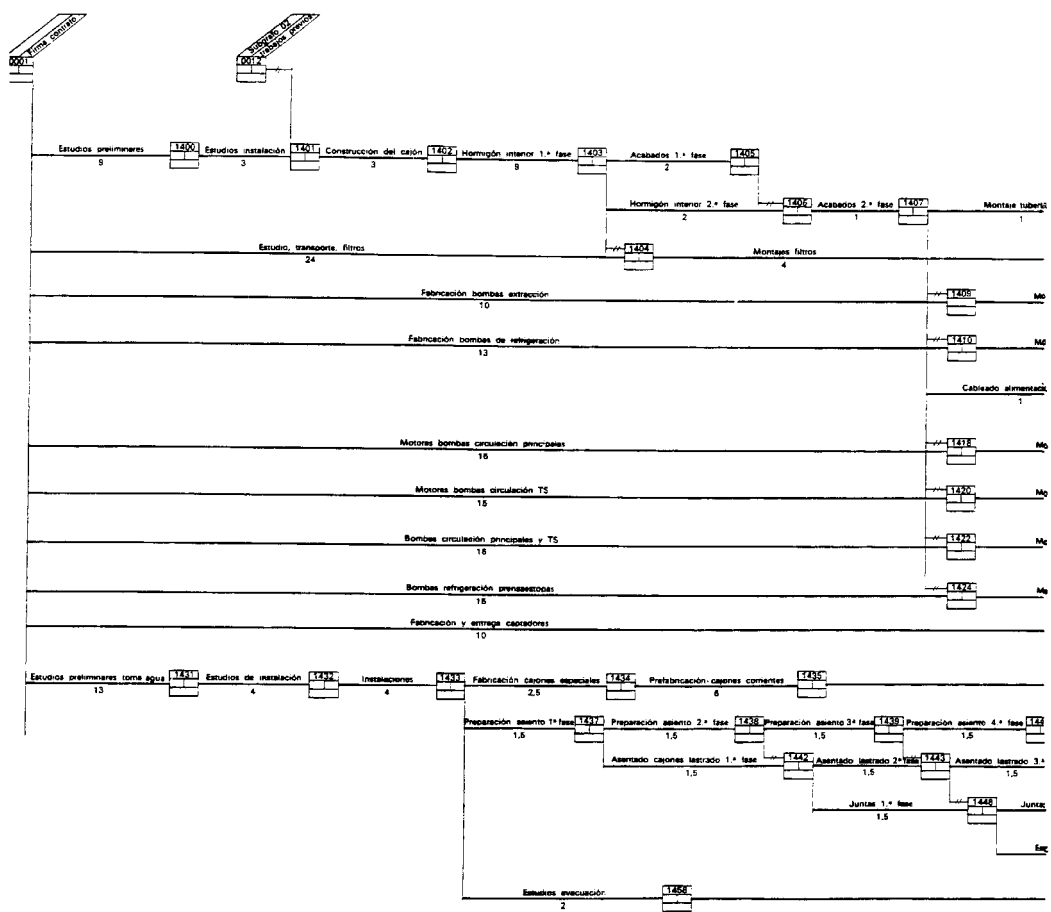
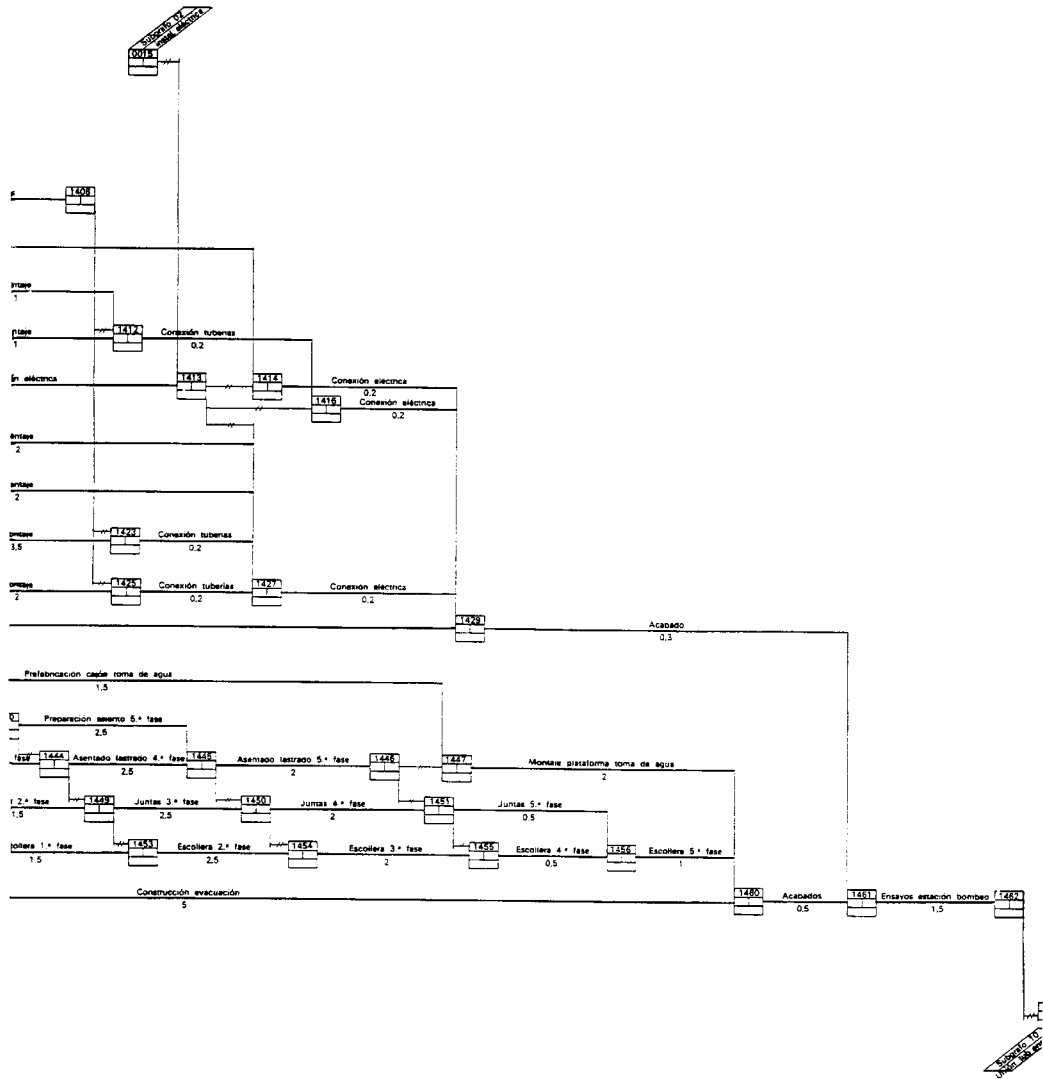


Fig. 7.A.1.1.2 Toma y evacuación de agua y estación de bombeo



## ANEXO 2

### Conclusión de un caso práctico

HIFRENSA adoptó la resolución de seguir el avance de la construcción de la Central Nuclear de Vandellós y efectuar las previsiones de su puesta en funcionamiento mediante un sistema PERT en septiembre de 1967. A partir de esta fecha se constituyó un equipo de 2 ingenieros a tiempo parcial que en ciertas etapas fue reforzado por 1 ingeniero más.

En una publicación de Abril 1968 (véase **ANEXO 1**) se describió el fundamento del método seguido y los primeros resultados alcanzados. Se indicaba entonces que la etapa fundamental respecto a la cual se efectuaban las previsiones era "el inicio de la subida en potencia", pues el plazo necesario en dicha subida para alcanzar el 90% de la potencia era conocido muy imperfectamente por no estar avalado por una experiencia concreta. Las mejoras introducidas en el combustible han permitido reducir los 13 meses previstos.

Las desviaciones señaladas en la construcción y ensayos respecto a las previsiones primitivas causaron cierta sensación y discusiones, aunque posteriormente se aceptaron, con lo que fue posible estudiar la forma de hacerles frente. *En sucesivas previsiones actualizadas, la marcha de la construcción y ensayos y la causa de las desviaciones que se iban produciendo.* En la figura 7.A.1.2.1 se puede observar la evolución de la estimación de la fecha de "inicio de subida en potencia" a lo largo del período de la intervención.

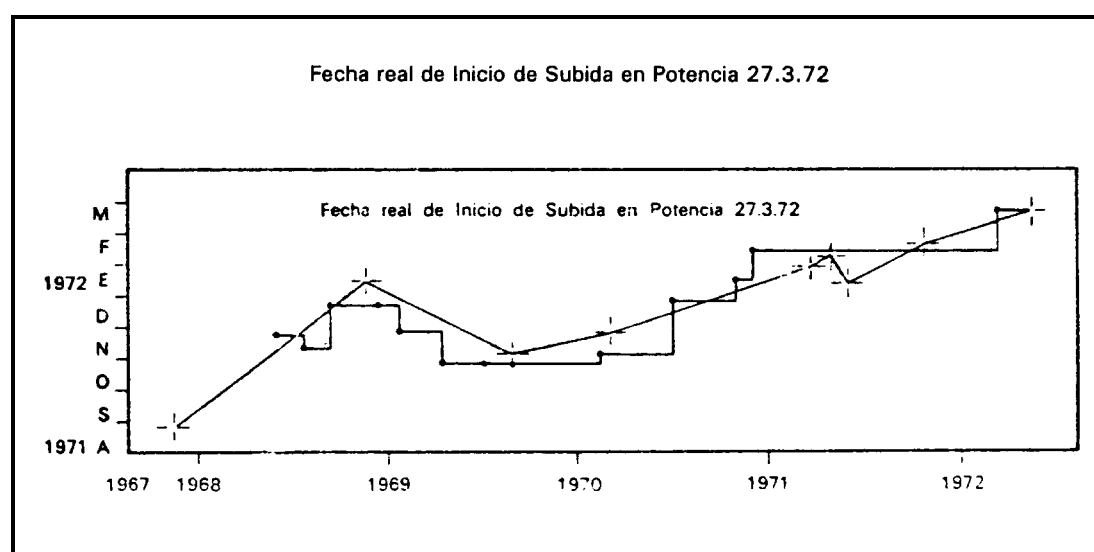


Fig. A.7.1.2.1 Evolución de las estimaciones a lo largo del tiempo . Fecha real de inicio de Subida en Potencia 27.3.72

La utilización del sistema PERT ha proporcionado muchos beneficios algunos de los cuales difíciles de cifrar por ser inmateriales. Entre ellos cabe citar:

- 1.- Sensibilización de todo el personal implicado en la construcción en las técnicas PERT, proporcionando un lenguaje común.
- 2.- Colaboración estrecha entre los equipos de programación de HIFRENSA y de los constructores.
- 3.- Adopción de un sistema idóneo para la transmisión de la información relativa a los plazos, tanto documentalmente como en Reuniones de Obra. Un retraso o un adelanto son conceptos relativos y ligados a un programa previo, por consiguiente al poner este hecho de manifiesto se obtuvo una concreción necesaria del lenguaje.
- 4.- Detección de la posible repercusión de las incidencias permitiendo adoptar criterios en cuanto a su consideración y concretar esfuerzos en las que son verdaderamente importantes.
- 5.- Determinación y evaluación de las medidas correctivas viendo su incidencia en los plazos. Cabe citar:

*BTI (Bloque Tubular Inferior)*

En el programa inicial de construcción de la C.N.V., el camino crítico pasaba por los siguientes trabajos:

- Fundaciones y montaje de la estructura de manutención
- Colocación del *BTI*
- Construcción del cajón

Por diversas causas se retrasó dos meses y medio el comienzo de la construcción de las fundaciones. Ello obligó a realizar un estudio de las soluciones encaminadas a recuperar dicho retraso.

Finalmente se optó por montar el *BTI* "in situ", en paralelo con el montaje de la estructura lo que permitió recuperar el retraso inicial.

*S.S.*

El día 15 de julio de 1968 se anunció un retraso de 3'8 meses. En noviembre de 1968 se tomó la decisión de reducirlo a 2 meses. Para ello se tomaron las siguientes medidas:

- Esfuerzo complementario para colocar la VS (virola de soplantes) el 23 de enero de 1969, con los túneles de soplantes y ventilación adosados.
- Adelanto de un mes en la fecha de puesta a disposición de la cavidad interna del cajón.
- Adelanto de un mes en la fecha de llegada de los cambiadores de calor principales.
- Reducción del tiempo de prefabricación de la *S.S.* (superficie soporte).

El 28 de febrero de 1969 el estado de las obras permitió estimar un retraso acumulado de 2 meses.

*E.B.*

Debido a las dificultades técnicas en la hincada de la Estación de Bombeo y en la construcción de la toma de agua de mar, HIFRENSA realizó esfuerzos para reducir sus efectos inmediatos. Para ello se propuso y se aceptó la instalación de una toma de agua de mar provisional que suministraba directamente a los grupos auxiliares el agua de refrigeración necesaria para el inicio de las pruebas.

6.- Comunicación a la Dirección de previsiones encaminadas a orientar la política de financiación.

La explotación de un sistema PERT exige una fase previa de análisis y construcción de los grafos correspondientes que posteriormente son tratados en ordenador. Debido a las incidencias, variaciones y nueva información estos grafos están sometidos a continuas modificaciones.

Además de las modificaciones "normales", debido al hecho de disponer de mucha información nueva, la etapa de análisis *fue repetida durante cuatro años de la aplicación tres veces*, construyéndose grafos nuevos cada vez. Una alteración importante la constituyó la substitución de los plazos iniciales, medidos en meses, por plazos medidos en días, lo que permitió obtener en el ordenador las fechas según el calendario normal.

El papel del Equipo de Programación durante la intervención no ha sido totalmente agraciado. La información se ha resistido a veces a llegar, debiendo buscarse en su lugar de origen, con lo que se ha adoptado una actitud de control. Por otra parte, los anuncios hechos se han referido siempre a dificultades y puntos peligrosos, considerando los logros como normales. Esta era, de todas formas, la función que la Dirección de HIFRENSA había asignado al Equipo.

Para juzgar la rentabilidad de la aplicación podemos comparar su coste, formado por utilización del ordenador, parte alícuota del personal, material y documentación, desplazamientos, etc, con la inversión total. Estimamos que el coste es del orden del 0'027% de la inversión, muy inferior a los porcentajes habitualmente citados en la bibliografía. En cuanto al resultado obtenido podemos establecer una comparación con la obtención de 1 hora de funcionamiento antes de lo que normalmente se hubiera producido, lo que sobre un horizonte de 20 años presupone alcanzar ahora unos ingresos que de otra forma se obtendrían dentro de dichos años. En estas condiciones estimamos que el coste de la inversión es comparable a un adelanto de 15 horas en el funcionamiento de la Central.

Si dicho resultado se ha alcanzado, juzgarlo entra dentro del dominio de los futuribles, la intervención ha sido rentable. Creemos que así ha sido.



PROGRAMACIÓN

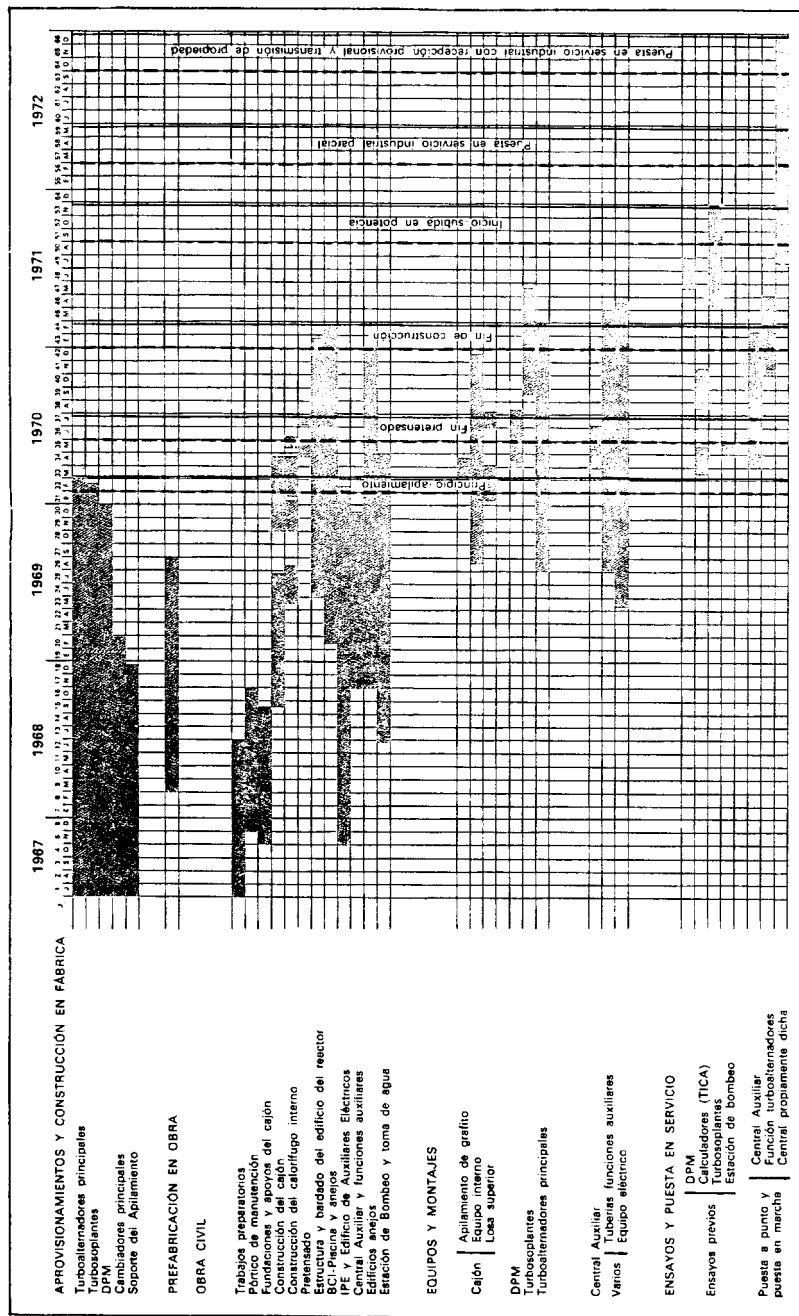


Fig. A.7.1.2.2

## **ANEXO 3**

### **SI NOÉ CONSTRUYERA HOY SU BARCA**

La Biblia, en su libro del Génesis, nos cuenta la notable historia de un hombre llamado Noé. Noé era sencillo, sin complicaciones, y era hombre de buena fe, cualidad que en aquel tiempo era extremadamente rara. Tanto es así que sus vecinos le tenían por un tipo extraño.

Dios pidió a Noé que realizara un trabajo fuera de lo corriente, la construcción de un barco de gigantescas dimensiones, precisamente en el corazón de un país tan seco. El Señor indicó a Noé las características del barco y el plazo para su ejecución. Parece razonable que Noé tuviera determinadas reservas mentales sobre este grandioso proyecto. Este sentimiento, indudablemente, se acrecentaba por el hecho de que Noé no estaba instruido en la construcción naval y carecía, ciertamente, de toda experiencia en este tipo de trabajo.

Siendo como era un hombre sencillo y decidido, puso en seguida manos a la obra. Pueden ustedes imaginarse su sorpresa cuando el Señor le ordenó llenar los tres pisos del arca con animales, pájaros y escarabajos de todas las especies (de dos en dos, la mayor parte de las veces) hasta que todas las criaturas de la tierra estuvieran debidamente representadas. Entró, pues, Noé en el arca, y con él sus hijos (Sem, Cam y Jafet) y su mujer, y las mujeres de sus hijos, mientras el Señor hacía que las aguas del diluvio vinieran sobre la tierra.

Aunque no se dan muchos detalles, sabemos lo que ocurrió con Noé y la construcción de su arca: "Noé hizo conforme a cuanto Dios le había mandado. Así lo hizo".

Supongamos ahora que Noé no hubiera venido al mundo hasta el siglo XX. En 1969 Noé es un próspero hombre de negocios. Es un tipo un poco raro. Parece una persona de bastante buena fe, cosa que en estos días es una cualidad poco corriente.

Supongamos que a nuestro moderno Noé le encargará Dios construir un barco de grandes dimensiones y llenarlo de animales de toda clase, de dos en dos. El Señor le da las características y el plazo para construir su trabajo. He aquí el informe semanal que el Señor podría leer:

#### **INFORME NÚMERO 1**

Se ha contratado a un ingeniero naval. Opina que el diseño original de la embarcación es básicamente bueno, pero que carece de estética. Así las cosas, el ingeniero está estudiando ciertas modificaciones.

Se ha constituido un equipo, y el proyecto entero está siendo objeto de un PERT (*Program Evaluation and Review Technique*), implantándose el método del camino crítico. Se ha formado también un equipo de ingenieros que estudian determinados aspectos del proyecto, y que trata de maximizar el aprovechamiento del espacio interior.

**INFORME NÚMERO 2**

Se ha adquirido un ordenador que controlará la planificación y la marcha de los trabajos. Puesto que el ordenador va a recibir también datos de carácter técnico, el Comité Conjunto de Ingeniería y Management ha escogido al Fortran como lenguaje hombre-máquina.

**INFORME NÚMERO 3**

Se están llevando a cabo estudios estadísticos comparativos entre la madera de gopher y otras maderas, en lo que se refiere a disponibilidades, precios y características técnicas. Aunque la madera de gopher tiene muchas ventajas y puede encontrarse en los alrededores, el Comité Directivo ha decidido que la madera de balsa es más barata y proporciona una flotabilidad óptima. El plazo para su importación desde las junglas sudamericanas es crítico, pero se cuenta ya con un compromiso en firme por parte de un vendedor brasileño.

**INFORME NÚMERO 4**

Han surgido problemas que han retrasado el comienzo de las obras. Los ingenieros han descubierto que la brea indicada para calafatear en las primitivas especificaciones no sirve para la madera de balsa. Están investigando otros materiales, al tiempo que reconsideran la posibilidad de utilizar madera de gopher. Mientras tanto, la primera partida de madera de balsa ha llegado con una semana de retraso. Pero, aun en el peor de los casos, el envío se completará dentro del plazo imprescindible para poder llevar a cabo la construcción.

**INFORME NÚMERO 5**

El comienzo de los trabajos ha sufrido un nuevo retraso. Los ingenieros recomendaron, finalmente, la madera de balsa, y que se calafateara con una resina especial. Sin embargo, más tarde se ha descubierto que al fabricante de esta resina se le ha retirado la licencia, por no cumplir las normas de seguridad. Los dos inspectores del Gobierno, personados en la obra, han insistido en que todos los suministradores deben figurar en la lista de vendedores autorizados. En vista de ello, el Comité Directivo Conjunto ha decidido utilizar madera de gopher, ya que tanto esta madera como la brea necesaria para las juntas pueden obtenerse en el país.

**INFORME NÚMERO 6**

Informes elaborados con la ayuda del ordenador indican que la fase de congregación de animales debe empezar inmediatamente, y ya debe estar mediada la fase de ejecución del Proyecto Arca. En realidad, la construcción se ha iniciado después de un breve retraso, mientras se realizaban determinadas modificaciones en el ordenador para adaptarlo al Fortran. Se ha ordenado la confección, en horas extraordinarias, de listas para actualizar la revisión revisada de la lista. Se ha constituido el Comité Conjunto para Congregación de Animales.

## INFORME NÚMERO 7

Como contestación a la pregunta del Señor referente a la congregación de elefantes, jirafas y canguros, se ha enviado el siguiente memorándum:

A: Dios.

DE: Padre Noé.

OBJETO: Congregación de elefantes, jirafas y canguros.

Una investigación sobre la situación de los procedimientos de congregación de animales ha dado como resultado que la reunión de elefantes y jirafas no es crítica, puesto que no se encuentra en el camino crítico. En cambio, esto sí que ocurre con la congregación de canguros, por lo que esta actividad empezará una vez que se haya completado el lote de osos perezosos. Se hacen denodados esfuerzos para un rápido agrupamiento de los canguros.

Copia a: Comité Australiano de Agrupación de Animales.

PADRE NOÉ, Director del Proyecto.

La Sociedad Protectora de Animales está entorpeciendo el trabajo de los encargados de reunir a los animales. Sus representantes insisten en que sería una crueldad encerrarlos en los pequeños departamentos previstos en el arca.

## INFORME NÚMERO 8

La construcción se encuentra en fase de actividad plena, y las cosas marchan bien. El Comité Directivo Conjunto ha decidido modificar el diseño del arquitecto, que quería convertir los tres pisos sin barandilla en dos pisos con barandilla de estilo francés.

El arquitecto había calculado mal la superficie requerida por cada animal. Habrá que introducir modificaciones, que darán lugar a un pequeño retraso, pero que apaciguarán a la Sociedad Protectora de Animales. Sus representantes han dejado ya de torpedear el proyecto.

Han llegado expertos de la Institución Smithsonian y de la Sociedad Audubon para ayudar a la catalogación de los animales. En el momento de redactar este informe el problema más acuciante es la presencia de los dos representantes del gobierno que insisten en inspeccionar todos los materiales utilizados.

## INFORME NÚMERO 9

La insuficiente capacidad de almacenaje de animales ha venido entorpeciendo los trabajos. Esta dificultad surgió como consecuencia de la llegada de setecientos canguros. Parece que el Comité australiano cometió algún error en la expedición de licencias.

En todo caso, se ha salvado el mayor obstáculo. Los dos inspectores del Gobierno han caído ahora en la cuenta de que estaban trabajando sobre un proyecto equivocado. A partir de este momento han dado su aprobación al Proyecto Arca.

### INFORME NÚMERO 10

La construcción sigue adelante. Sin embargo, ha sido preciso detener la congregación de animales. El Departamento de personal se ha negado a contratar a ningún congregador más en tanto no se redacte el reglamento de trabajo para cada tipo de congregación.

Tanto Padre Noé como sus hijos han sido objeto de reconocimientos físicos y mentales para determinar su aptitud.

### INFORME NÚMERO 11

Padre Noé y el Comité Conjunto han celebrado una serie de reuniones. Noé ha pedido a Dios una prórroga para la total terminación del proyecto. La construcción está a punto de concluir pero el asunto de la congregación de animales no acaba de solucionarse. El jefe de la operación ha sido despedido. Al ritmo actual, y basándose en informes obtenidos del ordenador, los expertos de la Institución Smithsonian son de la opinión de que se necesitarán tres semanas más. Por todos los medios se intenta reducirlas a dos solamente.

### INFORME NÚMERO 12

Como consecuencia de un interdicto promovido por un brasileño por incumplimiento de contrato de suministro de cinco millones de *board feet*

<sup>1</sup> de madera de balsa, los trabajos quedaron suspendidos durante dos días. Padre Noé ha sido rechazado como miembro de la tripulación del arca. Se estima que su edad excedería del límite fijado como máximo al terminar la misión. Para sustituirle se ha elegido a uno de los consultores smithsonianos. Se trata de un hombre conocedor de las costumbres alimenticias de los animales, que posee un diploma de experto en cuestiones agronómicas y que es hijo del suministrador de la madera de gopher.

La construcción está terminada en un ochenta y cinco por ciento. Han concluido los trabajos de congregación de animales, a excepción de elefantes y jirafas, de quienes se habían olvidado los encargados.

### INFORME NÚMERO 13

Se ha recibido la nota siguiente:

A: Padre Noé.

DE: Dios.

OBJETO: Solicitud de prórroga para el Proyecto Arca.

Desgraciadamente, el Proyecto Arca se encuentra en el camino crítico del Proyecto Diluvio.  
PROPUESTA DENEGADA.

<sup>1</sup> 1 board foot = 2'360 centímetros cúbicos.

## ANEXO 4

### EL PROGRAMA PERT004

Como ejemplo de un paquete de programas capaz de tratar problemas de tamaño industrial vamos a describir el denominado PERT004 desarrollado por el equipo de PRODÚCTICA de la ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE BARCELONA. Dicho paquete funciona en un IBM-PC, XT, AT o compatible. Al lanzar el programa aparece en pantalla:

E.T.S.I.I.B. - U.P.C.  
TECNICAS CUANTITATIVAS DE GESTION

\*\*\*PERT004\*\*\*

Pulsa ENTER para continuar

Una vez se pasa a la pantalla siguiente se encuentra el primer menú que tiene la forma:

PERT004

MENU 0: INICIAL

- 1- ENTRADA POR TECLADO
- 2- LECTURA DE UNA BASE
- 3- CONSULTA A LOS DATOS
- 4- MODIFICACION DATOS
- 5- CALCULO CAMINO CRITICO
- 6- ESCRITURA EN PANTALLA DE LOS RESULTADOS
- 7- IMPRESION DE DATOS Y RESULTADOS
- 8- ESCRITURA DE LOS DATOS EN UNA BASE
- 9- TERMINAR

Pulsa la tecla de la función que deseas .....

Este menú permite dirigirse hacia las funciones principales del paquete, que resultan autoexplicativas a partir de los textos anteriores. La entrada de los datos iniciales debe

realizarse por teclado, si bien una vez entrados los primeros pueden guardarse en un disquete y completarse más tarde recuperándolos primero mediante la función 2 y procediendo a su modificación, en este caso ampliación, mediante la función 4. La función 3 permite consultar por pantalla los datos del proyecto en curso definidos hasta el momento y la función 4 modificarlos (y corregir errores introducidos anteriormente). La función 5 realiza el cálculo del camino crítico y de las fechas mínimas y máximas, que pueden consultarse por pantalla mediante la función 6 e imprimirse mediante la 7. La función 8 permite escribir en un disquete los datos relativos a un proyecto, y si ya se ha realizado el cálculo del camino crítico, además, los resultados (lo que permite conectar con el paquete MANPW001). La función 8 permite salir del programa.

### Función 1

Al pulsar la tecla 1, el paquete solicita el nombre que se va a dar al nuevo proyecto y aparece en pantalla:

<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 200px; text-align: center; padding: 5px;">PERT004</td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">ENTRADA DE DATOS POR TECLADO</p> <p>ENTRA EL NOMBRE DEL PROYECTO .....</p>		PERT004	
	PERT004		

Una vez entrado el nombre (por ejemplo PREP.OBRA) solicita que se definan las diferentes actividades de la forma siguiente:

<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 200px; text-align: center; padding: 5px;">PERT004</td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">ENTRADA DE DATOS DEL PROYECTO: PREP. OBRA</p> <p>CODIGO ACTIVIDAD ..... * PARA TERMINAR .....</p> <p>DENOMINACION DE LA ACTIVIDAD ..... DURACION .....</p> <p>RECURSOS A ..... RECURSOS B ..... RECURSOS C .....</p> <p>COSTE INICIAL ..... COSTE FINAL ..... COSTE CONT. ....</p> <p>ENTRADA DE LAS ACTIV. PRECEDENTES .... * PARA TERMINAR</p> <p>?..... ? ..... ? .....</p>		PERT004	
	PERT004		

El código actividad puede tener hasta cuatro posiciones (alfabéticas y/o numéricas). La duración debe ser un número entero, que genéricamente se considera medido en días. Asociadas a cada actividad se pueden indicar seis parámetros, tres de recursos y tres de costes.

Los recursos se expresarán en unidades (números enteros) e indican qué cantidad de cada

uno de tres recursos genéricos quedan inmovilizados durante toda la realización de la actividad, es decir, si se define que una actividad, que dura 10 días, necesita 2 unidades del recurso A durante cada uno de los 10 días, dicha actividad ocupa 2 unidades de dicho recurso, que libera cuando termina. Una vez establecido un calendario de realización del Proyecto podrá determinarse cuántas unidades de cada recurso quedan inmovilizadas cada día por todas las actividades en curso de realización dicho día.

Los costes se miden en unidades monetarias (los dos primeros) y en unidades monetarias por día el tercero. El primero es un coste asociado al inicio de la actividad, el segundo está asociado a la terminación de la actividad, mientras que el tercero es un coste que se devenga cada uno de los días de realización. La situación de los costes respecto a las fechas de inicio y de fin de la actividad permitirá, una vez calculado un calendario, establecer los pagos correspondientes a un día concreto y el valor acumulado a lo largo de la realización del Proyecto.

Una vez entrados todos los datos, el ordenador pide confirmación, que de darse introduce los mismos en la base de datos, y en caso contrario borra la entrada y pide de nuevo que le definamos una actividad. Cuando se desea dar fin a la introducción de actividades bastará teclear en lugar de un código un asterisco (\*).

A continuación se solicitan las actividades precedentes (inmediatas), siendo posible introducir hasta un máximo de 10. Una restricción adicional es la de que el número máximo de siguientes de una actividad tampoco puede superar la cantidad de 10. En caso de acercarnos a dicho límite, el ordenador muestra un aviso.

Por ejemplo, en el caso del proyecto PREPARACIÓN DE LA OBRA, la actividad *r* se entrará:

<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="width: 100px; text-align: center; padding: 5px;">PERT004</td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table>							PERT004	
	PERT004							
ENTRADA DE DATOS DEL PROYECTO: PREP. OBRA								
CODIGO ACTIVIDAD .....			* PARA TERMINAR <b>R</b>					
DENOMINACION DE LA ACTIVIDAD <b>Conexión tuberías</b> DURACION <b>2</b>								
RECURSOS A	<b>2</b>	RECURSOS B	<b>2</b>	RECURSOS C	<b>0</b>			
COSTE INICIAL	<b>0</b>	COSTE FINAL	<b>0</b>	COSTE CONT.	<b>0</b>			
ENTRADA DE LAS ACTIVIDADES PRECEDENTES .....				* PARA TERMINAR				
? <b>P</b>		? <b>Q</b>		? *				
PULSA ENTER PARA CONFIRMAR .....				* PARA BORRAR <ENTER>				



Para que el grafo del Proyecto quede correctamente construido es preciso que todas las actividades que se hayan mencionado entre las precedentes se definan. En caso contrario quedarán "actividades no definidas" apareciendo los pertinentes avisos tanto al salir del módulo de introducción de actividades como al intentar determinar el camino crítico.

### Función 2

Si en el menú inicial pedimos la función 2 aparecerá en pantalla:

<table border="1"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="text-align: center;">PERT004</td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>		PERT004	
	PERT004		
ENTRA EL NOMBRE DEL PROYECTO .....			

Una vez comunicado el nombre del Proyecto, el ordenador nos preguntará si los datos se encuentran en el dispositivo A, en caso negativo deberemos indicar en qué dispositivo se encuentra, y a continuación nos solicita el código de cuatro posiciones que nos permite guardar en el mismo disquete datos referentes a diferentes Proyectos:

CUAL ES EL CODIGO DEL FICHERO - ENTRA + PARA VER LOS EXISTENTES
---

En caso de que no recordemos el código, mediante el signo (+) podremos obtener la lista de los ficheros de datos de Proyectos existentes en el disquete, tras lo cual, volveremos a la pregunta sobre el código. Si el Proyecto tiene en los datos del disquete un nombre diferente del que hemos indicado, el ordenador lo señalará preguntando si vuelve atrás (a solicitar de nuevo el nombre) o bien continúa asignando a los datos el nuevo nombre (el que hemos indicado).

Leídos los datos del disquete se vuelve al Menú principal.

### Función 3

La función 3, de consulta a las claves, pregunta el siguiente menú:

<table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="text-align: center; padding: 5px;">PERT004</td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>		PERT004	
	PERT004		
<b>MENU 3.0: CONSULTA DE LOS DATOS</b>			
<ul style="list-style-type: none"><li>1- LISTADO DE LAS CLAVES</li><li>2- LISTADO DE LAS CLAVES NO DEFINIDAS</li><li>3- UNA CLAVE PARTICULAR</li><li>4- VOLVER AL MENU ANTERIOR</li></ul>			
Pulsa la tecla de la función deseada .....			

La primera subfunción nos presenta en pantalla todas las claves, con la integridad de los parámetros definidos para la misma sobre tres líneas. La segunda subfunción sólo escribe las claves no definidas, o bien, la indicación de que todas están definidas. La tercera permite obtener en pantalla la información relativa a una clave concreta indicada a través de su número de orden (número de aparición en la entrada de datos, bien como actividad que se define, bien como precedente) o a través de su código. La información relativa a una clave es más completa que la contenida en el listado, especialmente después de calcular el camino crítico.

#### **Función 4**

La función 4 permite modificar los datos de nuestra base. Presenta inicialmente el menú:

<table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="text-align: center; padding: 5px;">PERT004</td><td style="width: 20px; height: 20px;"></td></tr></table>		PERT004	
	PERT004		
<b>MENU 4.0: MODIFICACION DATOS</b>			
<ul style="list-style-type: none"><li>1- MODIFICACION DE LOS DATOS GENERALES</li><li>2- MODIFICACION DE LOS PARAMETROS DE LAS ACTIVIDADES</li><li>3- ADICION ACTIVIDADES</li><li>4- SUPRESION ACTIVIDADES</li><li>5- MODIFICACION PRECEDENCIAS</li><li>6- VOLVER AL MENU ANTERIOR</li></ul>			
Pulsa la tecla de la función deseada .....			

La primera subfunción permite, en la versión considerada del paquete, modificar únicamente el nombre del Proyecto. La segunda pregunta el código de la actividad en la que deseamos modificar los parámetros y nos permite cambiar todas las informaciones relativas a la misma excepto el código y las precedencias. En cada caso presenta el valor de la información en curso y mediante <enter> se mantiene, y escribiendo un nuevo valor se modifica.

La tercera subfunción permite añadir nuevas actividades al Proyecto, presentando el formato idéntico al descrito para la entrada de actividades mediante teclado. La cuarta suprime una actividad cuyo código se comunica al ordenador, después de mostrar la información relativa a la misma y pedir confirmación. Esta supresión hace desaparecer la actividad como precedente y como siguiente (inmediatas) en los casos que lo fuera, lo que puede dejar el grafo del Proyecto desconectado.

La cuarta subfunción permite modificar las precedencias, después de pedir el código de la actividad cuyas precedentes quieren modificarse, muestra las actividades precedentes vigentes y pide las nuevas precedentes. En este caso hay que reescribir todas las precedentes en la nueva situación, incluso aquéllas que siguen siéndolo.

### **Función 5**

La función 5 determina el camino crítico, apareciendo durante el cálculo sobrepuesto al menú inicial en forma intermitente, el mensaje:

\*\*\*ESTOY CALCULANDO\*\*\*

Una vez hecho el cálculo, cada vez que aparezca el menú inicial en la línea de la función 5 aparecerá:

5- CALCULO DEL CAMINO CRITICO \*\*\*CALCULADO\*\*\*

### **Función 6**

La función 6 corresponde a la presentación en pantalla de los resultados obtenidos; inicialmente presenta el siguiente menú:

	PERT004	
--	---------	--

MENU 6.0: RESULTADOS POR PANTALLA

- 1- FECHAS ORDENADAS POR NUMERO DE ACTIVIDAD
- 2- FECHAS ORDENADAS POR MARGEN
- 3- FECHAS ORDENADAS POR NIVEL
- 4- DIAGRAMA DE GANTT
- 5- DIAGRAMA DE GANTT ORDENADO POR NIVEL
- 6- CURVAS DE CARGA Y CALENDARIO DE PAGOS
- 7- VOLVER AL MENU ANTERIOR

Pulsa la tecla de la función que deseas .....

Las tres primeras subfunciones presentan un listado de las actividades en el que se indica: código, designación, duración, fecha mínima de comienzo, fecha máxima de comienzo, margen total y una indicación (\*\*CRIT\*\*) si es crítica. En el primer caso, las actividades están ordenadas por el número que han recibido al ser introducidas en el proyecto; en el segundo por el margen creciente, y en el tercero según la función ordinal que resulta de ir las numerando de forma que cada actividad tenga un número mayor que sus precedentes. En la parte inferior de la pantalla aparece en los tres casos la duración total (mínima) del Proyecto.

Las subfunciones cuatro y cinco presentan un diagrama de Gantt, siempre que quepa horizontalmente en pantalla (duración del Proyecto de 70 días como máximo). En dicho diagrama, cada día corresponde a una columna de la pantalla, y cada fila a una actividad. Se sitúan las actividades comenzando por la fecha más temprana (mínima) y su realización aparece mediante tantos asteriscos (\*) como correspondan a la duración de la actividad. El margen se indica mediante puntos (.). Los días se han numerado de acuerdo al instante de inicio del mismo, es decir, el día 1 del Proyecto se corresponde a la etiqueta 0.

La subfunción 6 escribe día a día la cantidad de recursos de cada tipo (A, B y C) consumidos por las actividades en curso, en el supuesto de que todas ellas empiecen en la fecha más temprana, el coste correspondiente al día (asociado a las actividades que comienzan, acaban o están en curso) y el coste acumulado a lo largo de todos los días de desarrollo del Proyecto. Como valores resumen se indica para cada recurso el máximo de utilización en un día, y la utilización media a lo largo de la duración del Proyecto.

### Función 7

La función 7 corresponde a la impresión tanto de datos como de resultados (y, por consiguiente, reúne aspectos ya tratados en pantalla por las funciones 3 y 6). El menú que se presenta es:

PERT004
MENU 7.0: IMPRESION
1- IMPRESION DATOS ACTIVIDADES
2- IMPRESION ACTIVIDADES NO DEFINIDAS
3- IMPRESION FECHAS RESULTADOS, ORDEN NUMERO ACTIVIDAD
4- IMPRESION FECHAS RESULTADOS, ORDEN MARGEN CRECIENTE
5- IMPRESION DIAGRAMA DE GANTT
6- IMPRESION CURVAS DE CARGA Y CALENDARIO DE PAGOS
7- VOLVER AL MENU ANTERIOR
Pulsa la tecla de la función que deseas .....

Previamente a cualquier impresión se pregunta si la impresora está disponible.

En la subfunción 5 se imprime el diagrama de Gantt independientemente de la duración del Proyecto, mediante bandas de 70 días de longitud, como máximo, cada una.

Se incluyen los listados correspondientes al Proyecto PREPARACIÓN DE OBRA.

### Función 8

La función 8 permite guardar los datos y los resultados (si se han calculado) en un disquete. Esta función es en todo semejante a la función 2, con la adición de que permite conservar el código de cuatro posiciones que tenían unos datos previamente recuperados del disquete.

En la mayoría de los puntos en que el ordenador solicita una información del operador, la introducción de un asterisco (\*) permite volver al paso anterior.

## **Conclusión**

Como puede observarse por la descripción del Proyecto que se introduce en la base de datos, el sistema de representación utilizado se asemeja más al ROY que al PERT. En su versión compilada permite un máximo de 100 actividades por Proyecto.

## **NOTA DE LOS AUTORES**

El programa PERT006 del que se hace mención en el cuerpo del capítulo es una nueva versión del PERT004, aquí descrito. Las modificaciones consisten esencialmente en mejoras en la presentación de resultados y de las pantallas de consulta, manteniéndose la lógica interna del programa. La introducción de las mismas a MANPW001 (que se describe en el **ANEXO 5**) dio lugar a MANPW006. Puede encontrarse una descripción crítica de programas existentes en el mercado utilizables en PC en PC MAGAZINE (abril de 1991) y en BINARY (octubre de 1992)

PERT004
---------

\*\* PROYECTO: PREP. OBRA \*\*      FECHA: 07-24-1987      HORA: 13:07:04

ACTIVIDADES

Nº	Código	Descripción	Duración	Recurso			Coste			Act. sig.	Act. prec.
				A	B	C	in.	fin.	cont.		
1	A	Despejar_emplazam	3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	B	
2	B	Medicion y replan	2	2.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	C	A
3	C	Explanación	2	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D E F G H	B
4	D	Prep.acom.electr.	6	2.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q	C
5	E	Exc.cond.electr.	1	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	I	C
6	F	Excav.desagues	10	2.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	J	C
7	G	Cim.depos.agua	4	1.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	K	C
8	H	Perfor.pozo	15	1.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	L	C
9	I	Inst.cond.electr.	5	2.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	M	E
10	J	Inst.tub.desague	5	1.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	M	F
11	K	Constr.dep.agua	10	3.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	N	G
12	L	Instal.bomba	2	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	P	H
13	M	Inst.estac.transf	3	2.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q	I J
14	N	Inst.tub.-valv.de	10	2.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	R	K
15	P	Inst.conduc.subte	8	1.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	R	L
16	Q	Conex.red general	5	1.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00		D M
17	R	Conexión tuberías	2	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00		N P

PERT004
---------

\*\* PROYECTO: PREP. OBRA \*\*      FECHA: 07-24-1987      HORA: 13:09:29

#### RESULTADOS POR MARGEN CRECIENTE

Num.	Actividad	Denominación	Dur.	Fecha mínima	Fecha máxima	Margen total	
1	A	Despejar_emplazam.	3	0	0	0	**CRIT**
2	B	Medicion y replant.	2	3	3	0	**CRIT**
3	C	Explanación	2	5	5	0	**CRIT**
8	H	Perfor.pozo	6	7	23	16	
12	L	Instal.bomba	1	7	20	13	
15	P	Inst.conduc.subter.	10	7	11	4	
17	R	Conexion tuberías	4	7	8	1	
7	G	Cim.depos.agua	15	7	7	0	**CRIT**
11	K	Constr.dep.agua	5	8	21	13	
14	N	Inst.tub.-valv.dep.	5	17	21	4	
6	F	Excav.desagues	10	11	12	1	
10	J	Inst.tub.desague	2	22	22	0	**CRIT**
13	M	Inst.estac.transfo.	3	22	26	4	
16	Q	Conex.red general	10	21	22	1	
5	E	Exc.cond.electr.	8	24	24	0	**CRIT**
9	I	Inst.cond.electr.	5	25	29	4	
4	D	Prep.acom.electr.	2	32	32	0	**CRIT**

\*\*\*\*\* DURACIÓN DEL PROYECTO: 34 \*\*\*\*\*



PERT004
---------

\*\* PROYECTO: PREP. OBRA \*\*      FECHA: 07-24-1987      HORA: 13:08:46

RESULTADOS POR NÚMERO DE ACTIVIDAD

Num.	Actividad	Denominación	Dur.	Fecha mínima	Fecha máxima	Margen total	
1	A	Despejar_emplazam.	3	0	0	0	**CRIT**
2	B	Medición y replan.	2	3	3	0	**CRIT**
3	C	Explanación	2	5	5	0	**CRIT**
4	D	Prep.acom.electr.	15	7	7	0	**CRIT**
5	E	Exc.cond.electr.	2	22	22	0	**CRIT**
6	F	Excav.desagues	8	24	24	0	**CRIT**
7	G	Cim.depos.agua	2	32	32	0	**CRIT**
8	H	Perfor.pozo	4	7	8	1	
9	I	Inst.cond.electr.	10	11	12	1	
10	J	Inst.tub.desague	10	21	22	1	
11	K	Constr.dep.agua	10	7	11	4	
12	L	Instal.bomba	5	17	21	4	
13	M	Inst.estac.transf.	3	22	26	4	
14	N	Inst.tub.-valv.de.	5	25	29	4	
15	P	Inst.conduc.subte.	1	7	20	13	
16	Q	Conex.red general	5	8	21	13	
17	R	Conexión tuberías	6	7	23	16	

\*\*\*\*\* DURACIÓN DEL PROYECTO: 34 \*\*\*\*\*

PERT004

\*\* PROYECTO: PREP. OBRA \*\*    FECHA: 07-24-1987    HORA: 13:11:15

DIAGRAMA DE GANTT

BANDA No.: 1

00  
000000000001111111112222222222333333333344444444445555555555666  
012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012

A	***
B	**
C	**
D	*****
E	*
F	*****
G	****
H	*****
I	*****
J	*****
K	*****
L	**
M	***
N	*****
P	*****
Q	*****
R	**

PERT004
---------

\*\* PROYECTO: PREP. OBRA \*\*      FECHA: 07-24-1987      HORA: 13:11:57

CURVAS DE CARGA Y CALENDARIO DE PAGOS

PERÍODO	RECURSO A	RECURSO B	RECURSO C	PAGO	PAGO ACUM
1	1	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0
4	2	3	0	0	0
5	2	3	0	0	0
6	4	0	0	0	0
7	4	0	0	0	0
8	7	14	0	0	0
9	8	17	0	0	0
10	8	17	0	0	0
11	8	17	0	0	0
12	10	21	0	0	0
13	10	21	0	0	0
14	6	13	0	0	0
15	6	13	0	0	0
16	6	13	0	0	0
17	6	13	0	0	0
18	5	16	0	0	0
19	5	16	0	0	0
20	5	16	0	0	0
21	5	16	0	0	0
22	4	13	0	0	0
23	5	13	0	0	0
24	5	13	0	0	0
25	5	19	0	0	0
26	4	15	0	0	0
27	4	15	0	0	0
28	4	15	0	0	0
29	4	15	0	0	0
30	4	15	0	0	0
31	3	11	0	0	0
32	1	7	0	0	0
33	2	2	0	0	0
34	2	2	0	0	0

## ANEXO 5

### EL PROGRAMA MANPW001

El paquete MANPW001 permite equilibrar los recursos en un Proyecto a partir de los resultados de PERT004.

Llamando el programa aparece la pantalla:

<p>E.T.S.I.I.B. - U.P.C. TECNICAS CUANTITATIVAS DE GESTION</p> <p>***MANPW001***</p>
--

Pulsa ENTER para continuar

y a continuación, el primer menú:

<p>MANPOWER-SCH</p>
---------------------

MENU INICIAL

- 1- LEER LOS DATOS DE UN DISKETTE
- 2- ENTRAR LOS LIMITES DE LOS RECURSOS
- 3- CALCULAR UN CALENDARIO COMPATIBLE
- 4- PRESENTAR LOS RESULTADOS POR PANTALLA
- 5- IMPRIMIR LOS RESULTADOS
- 6- GUARDAR LOS RESULTADOS EN UN DISKETTE
- 7- TERMINAR

Pulsa la tecla de la función deseada .....

**Función 1**

Es análoga a la función 2 del paquete PERT004.

**Función 2**

Aparecen las siguientes peticiones de entrada de información:

<table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">MANPOWER-SCH</td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">LIMITES DE LOS RECURSOS</p> <p>LIMITE RECURSO A .....</p> <p>LIMITE RECURSO B .....</p> <p>LIMITE RECURSO C .....</p> <p>¿ACEPTAS INTERRUMPIR LAS TAREAS? .....</p>		MANPOWER-SCH	
	MANPOWER-SCH		

A las tres primeras solicitudes debe contestarse con un número entero positivo o nulo, y a la cuarta con "S" o "N". Los límites de los recursos se consideran como el máximo de recursos que pueden inmovilizar, a la vez, las actividades en curso. Si no se acepta interrumpir actividades ya lanzadas, a la cuarta pregunta debe contestarse con un *no*, si se acepta y se contesta *sí*, las actividades podrán ser interrumpidas, pero sólo una vez.

Un ejemplo de cumplimentación de las solicitudes anteriores es:

<table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">MANPOWER-SCH</td> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">LIMITES DE LOS RECURSOS</p> <p>LIMITE RECURSO A    7</p> <p>LIMITE RECURSO B   16</p> <p>LIMITE RECURSO C    0</p> <p>¿ACEPTAS INTERRUMPIR TAREAS? N</p>		MANPOWER-SCH	
	MANPOWER-SCH		

### Función 3

El ordenador preguntará inicialmente si solicitamos que nos muestre los cálculos intermedios; en cualquier caso, nos muestra la duración del Proyecto que considera y la iteración en curso. En el caso del Proyecto PREPARACIÓN DE OBRA aparecerán las siguientes indicaciones (con límite de los recursos A 7, B 16 y no aceptando interrumpir actividades):

```

QUIERES LAS LISTAS INTERMEDIAS? N

LA DURACION DEL PROYECTO ES:      34      **ITERACION No: 1**
**** RETRASO - NUEVA DURACION:    35      **ITERACION No: 2**
**** RETRASO - NUEVA DURACION:    36      **ITERACION No: 3**
**** RETRASO - NUEVA DURACION:    37      **ITERACION No: 4**

CALENDARIO COMPATIBLE CALCULADO
EL PROYECTO SE RETRASA: 3 UNIDADES Y POR TANTO DURA 37

```

A partir de este momento, en el menú inicial y en la línea de la función 3 aparecerá el mensaje:

```

** CALCULADO **

```

### Función 4

El menú que se presentará será el siguiente:

```

      |-----|
      | MANPOWER-SCH |
      |-----|

MENU 4.0: RESULTADOS POR PANTALLA

1- FECHAS DE CALENDARIO COMPATIBLE
2- DIAGRAMA DE GANTT
3- CURVA DE CARGA
4- VOLVER AL MENU ANTERIOR

Pulsa la tecla de la función deseada .....

```

Se adjunta una reproducción de los resultados correspondientes al Proyecto PREPARACIÓN DE OBRA con limitación del recuso a A 7 unidades y del B a 16 en dos hipótesis con interrupción de actividades y sin interrupción. En el primer caso, el Proyecto dura 37 días y 38 en el segundo.

MANPW001
----------

\*\*\* PROYECTO: PREP. OBRA \*\*\*      FECHA: 07-24-1987      HORA: 12:50:17

CALENDARIO COMPATIBLE

NÚM.	ACTIVIDAD	DURACIÓN	INTER. SI/NO	FECHA INICIO	FECHA INTER.	FECHA REANUD.	FECHA FINAL
1	A	3	NO	0	-	-	3
2	B	2	NO	3	-	-	5
3	C	2	NO	5	-	-	7
4	D	6	NO	7	-	-	13
5	E	1	NO	7	-	-	8
6	F	10	NO	7	-	-	17
7	G	4	NO	7	-	-	11
8	H	15	NO	7	-	-	22
9	I	5	SI	11	15	22	23
10	J	5	NO	17	-	-	22
11	K	10	NO	15	-	-	25
12	L	2	NO	22	-	-	24
13	M	3	NO	23	-	-	26
14	N	10	NO	25	-	-	35
15	P	8	NO	26	-	-	34
16	Q	5	NO	26	-	-	31
17	R	2	NO	35	-	-	37

\*\*\*\* DURACIÓN PROYECTO: 37 \*\*\*\*

\*\*\*\* LIMITE REC.A: 7    REC.B: 16    REC C: 0 \*\*\*\*

NÚMERO DE BANDAS: 1

BANDA No.: 1

	MANPW001	
--	----------	--

\*\*\* PROYECTO: PREP.OBRA \*\*\*

FECHA: 07-24-1987

HORA: 12:56:20

DIAGRAMA DE GANTT

BANDA No.: 1

```

0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
000000000011111111112222222222333333333344444444445555555555
012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789
  
```

A	***	
B	**	
C	**	
D	*****	
E	*	
F	*****	
G	****	
H	*****	
I	****	*
J	*****	
K	*****	
L		**
M		***
N		*****
P		*****
Q		*****
R		**

LA BANDA No.: 1 SE HA TERMINADO  
NO HAY MÁS BANDAS



MANPW001
----------

\*\*\* PROYECTO: PREP. OBRA \*\*\*    FECHA: 07-24-1987    HORA: 13:01:35

CALENDARIO COMPATIBLE

NÚM.	ACTIVIDAD	DURACIÓN	INTER. SI/NO	FECHA INICIO	FECHA INTER.	FECHA REANUD.	FECHA FINAL
1	A	3	NO	0	-	-	3
2	B	2	NO	3	-	-	5
3	C	2	NO	5	-	-	7
4	D	6	NO	7	-	-	13
5	E	1	NO	7	-	-	8
6	F	10	NO	7	-	-	17
7	G	4	NO	7	-	-	11
8	H	15	NO	7	-	-	22
9	I	5	NO	11	-	-	16
10	J	5	NO	17	-	-	22
11	K	10	NO	16	-	-	26
12	L	2	NO	22	-	-	24
13	M	3	NO	22	-	-	25
14	N	10	NO	26	-	-	36
15	P	8	NO	25	-	-	33
16	Q	5	NO	26	-	-	31
17	R	2	NO	36	-	-	38

\*\*\*\* DURACIÓN PROYECTO: 38 \*\*\*\*

\*\*\*\* LIMITE REC.A: 7    REC.B: 16    REC C: 0 \*\*\*\*

NÚMERO DE BANDAS: 1

BANDA No.: 1

MANPW001

\*\*\* PROYECTO: PREP.OBRA \*\*\*    FECHA: 07-24-1987    HORA: 13:02:34

DIAGRAMA DE GANTT

BANDA No.: 1

```
0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
000000000011111111112222222222333333333344444444445555555555
012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789
```

```
A     ***
B     **
C     **
D     *****
E     *
F     *********
G     ****
H     ****
I     *****
J     *****
K     ****
L     **
M     **
N     *****
P     *****
Q     *****
R     **
```

LA BANDA No.: 1 SE HA TERMINADO  
NO HAY MÁS BANDAS

## ANEXO 6

### ALISADO DE CURVAS DE CARGA. MÉTODO DE BURGESS Y KILLEBREW

Supongamos un Proyecto cuya planificación se desarrolla de 0 a T, y un recurso crítico del mismo cuya utilización se desea que sea lo más parecida a un perfil ideal. Llamaremos:

$G(\theta)$  al perfil ideal de utilización del recurso,  $0 \leq \theta \leq T$

$g(\theta)$  a la utilización real, de acuerdo con la planificación de dicho recurso,  $0 \leq \theta \leq T$

$$g(\theta) = \sum g_i(\theta)$$

donde

$g_i(\theta)$  es el consumo del recurso por la actividad  $i$  en el instante  $\theta$ , función de su fecha de comienzo.

Una forma de medir la *distancia* entre la utilización real y el perfil ideal consiste en definir un *índice de discrepancia*, por ejemplo el índice cuadrático:

$$IQ = \int_0^T [G(\theta) - g(\theta)]^2 \cdot d\theta$$

que cuanto más cercano a 0 sea, indicará mayor coincidencia entre G y g. En muchos casos  $G(\theta)$  será constante independiente de  $\theta$  e igual al consumo medio por unidad de tiempo del recurso:

$$G(\theta) = G = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T g(\theta) \cdot d\theta$$

de donde:

$$IQ = \int_0^T [g(\theta)]^2 \cdot d\theta - T \cdot (G)^2$$

y para minimizar IQ bastará minimizar el primer término.

Un procedimiento heurístico para alisar la curva de carga (que es en definitiva lo que lograremos minimizando la integral) es el de Burgess y Killebrew que consiste en desplazar sistemáticamente las actividades dentro de su margen reduciendo progresivamente IQ, hasta llegar a una posición en la que ningún desplazamiento produce mejora alguna.

Una descripción informal del algoritmo sería la siguiente:

- 1) Se parte de una situación inicial; por ejemplo, con todas las actividades empezando en su fecha mínima, se determinan los márgenes y la curva de carga  $g(\theta)$ ,
- 2) se intenta desplazar *hacia la derecha* cada una de las actividades; si el desplazamiento mejora IQ, se deja la actividad desplazada y se recalculan los márgenes; esta fase termina cuando ningún desplazamiento a la derecha mejora IQ,
- 3) se intenta desplazar *hacia la izquierda* cada una de las actividades; si el desplazamiento mejora IQ, se deja la actividad desplazada y se recalculan los márgenes; esta fase termina cuando ningún desplazamiento a la izquierda mejora IQ,
- 4) se repiten sistemáticamente 2) y 3) hasta que en una fase no se produce mejora de IQ.

La aplicación concreta del algoritmo exige precisar algunos aspectos:

- a) Orden en que se realizan los desplazamientos, que se traduce en el orden en que se consideran las actividades. Conviene que los desplazamientos, si se producen, sean tales que vayan liberando márgenes para su posible utilización en los desplazamientos de otras actividades. En el desplazamiento hacia la derecha una regla posible es ordenar las actividades por fecha de terminación decreciente y en caso de empate por margen (total) creciente. Es evidente que las actividades críticas, con margen 0, no pueden desplazarse y por consiguiente no es preciso tenerlas en cuenta. También es obvio que el margen total es el valor máximo del desplazamiento potencial, pero que en cada situación el desplazamiento potencial disponible va modificándose a medida que se producen los desplazamientos reales, lo que permite utilizar una ordenación dinámica de las actividades. En el desplazamiento hacia la izquierda la regla equivalente sería ordenar las actividades por fecha creciente de comienzo, y en caso de empate por margen total.
- b) La magnitud de los desplazamientos, donde confluyen dos aspectos: la mejora de IQ y la liberación de márgenes. Una regla posible es desplazar las actividades lo máximo que se pueda siempre que IQ no empeore, y una alternativa es desplazar hasta la mejora máxima de IQ y en caso de empate decidir por el desplazamiento mayor.

Hemos aplicado el procedimiento al Proyecto PREPARACIÓN DE OBRA considerando solamente el recurso PERSONAL CUALIFICADO. Hemos partido de la situación de la *figura 7.A.1.6.1* con todas las actividades comenzando en su fecha mínima, con un valor del minuendo de IQ de 917. Los desplazamientos sucesivos han sido:

retrasar n, 1 día (mejora 4)  
 retrasar q, 4 días (mejora 4)  
 retrasar m, 4 días (sin variación)  
 retrasar j, 4 días (mejora 8)  
 retrasar k, 1 día (mejora 30)  
 retrasar f, 4 días (mejora 28)  
 retrasar i, 13 días (mejora 16)  
 retrasar 3, 3 días de los 13 posibles (sin variación)

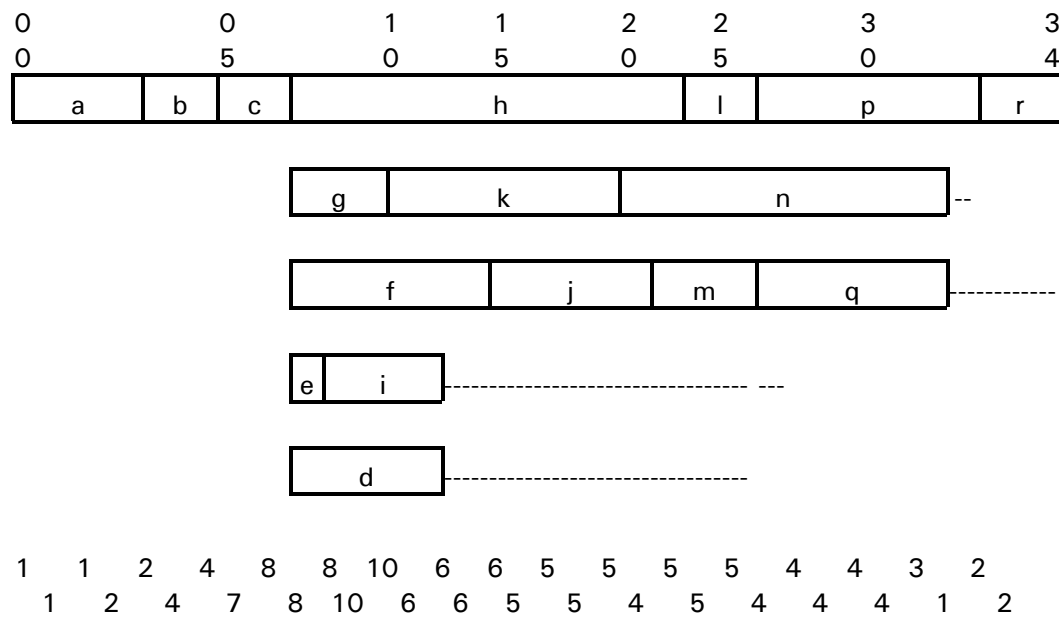


Fig. 7.A.1.6.1

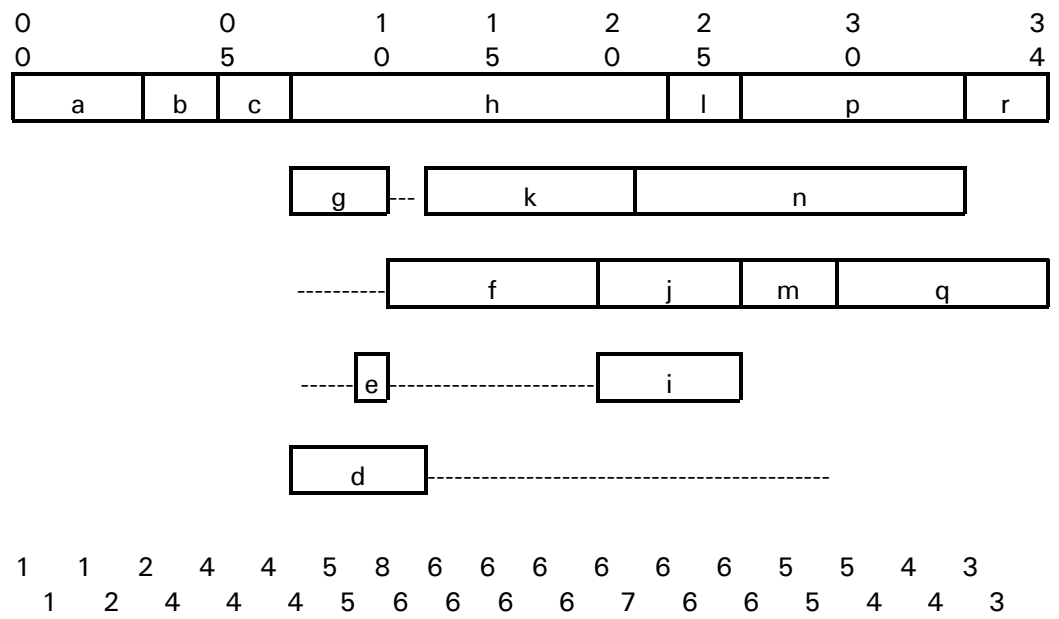


Fig. 7.A.1.6.2

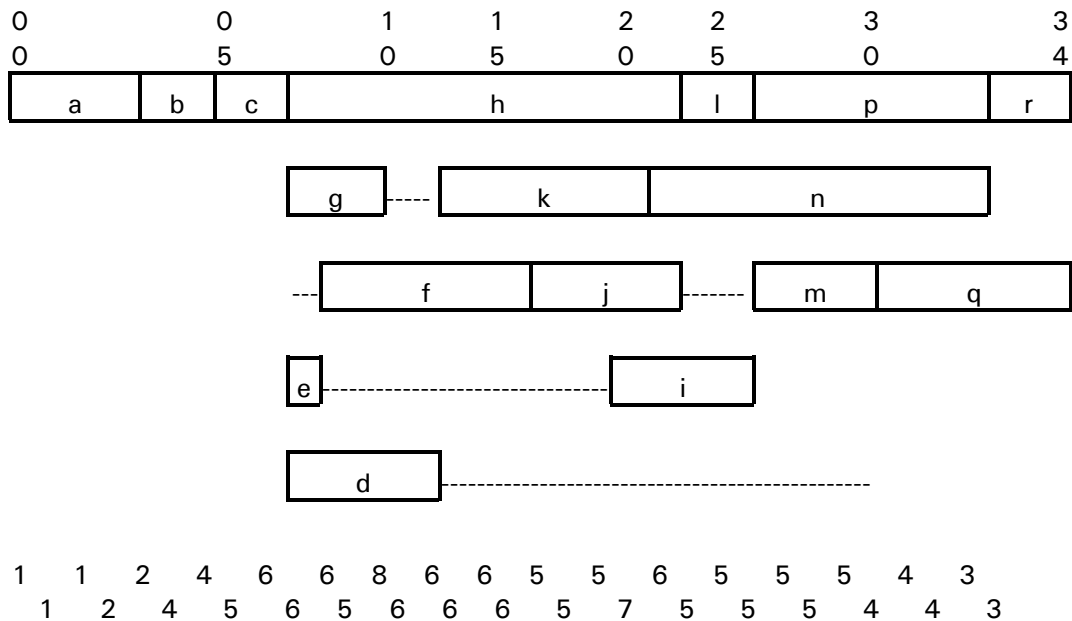


Fig. 7.A.1.6.3

Con ello hemos obtenido la situación de la *figura 7.A.1.6.2*, con valor de 827 para el minuendo de IQ, sobre la que procedemos a los desplazamientos a la derecha:

adelantar e,            3 días (sin variación)  
 adelantar f,            3 días de los 4 posibles (sin variación)  
 adelantar j,            3 días (mejora 6)

Hemos obtenido la situación de la *figura 7.A.1.6.3*, en la cual el valor del minuendo de IQ es 821, y que no puede mejorarse mediante desplazamientos a la izquierda. Por consiguiente:

$$IQ = 821 - 34 \cdot (4/56)^2 = 114/38$$

donde 34 es la duración y 4'56 el valor de G (utilización media del recurso).

Es obvio que en los desplazamientos de una actividad sólo se alteran las cargas en dos segmentos del eje de tiempos ( $t_1, t_2$ ) y ( $t_3, t_4$ ). Sea  $t$  el instante de comienzo de la actividad antes de su desplazamiento,  $d$  su duración,  $w$  su consumo del recurso,  $L$  el valor del desplazamiento (positivo o negativo) y  $g(\theta)$  la curva de carga antes del desplazamiento:

	$L > 0$	$L < 0$
$t_1$	$t$	$\max \{ t, t + L + d \}$
$t_2$	$\min \{ t + d, t + L \}$	$t + d$
$t_3$	$\max \{ t + d, t + L \}$	$t + L$
$t_4$	$t + L + d$	$\min \{ t, t + L + d \}$

La situación antes del desplazamiento daba un valor:

$$\int_{t_1}^{t_2} [g(\theta)]^2 \cdot d\theta + \int_{t_3}^{t_4} [g(\theta)]^2 \cdot d\theta$$

y después

$$\int_{t_1}^{t_2} [g(\theta) - w]^2 \cdot d\theta + \int_{t_3}^{t_4} [g(\theta) + w]^2 \cdot d\theta$$

Por tanto la diferencia  $\delta$  será:

$$2 \cdot \int_{t_3}^{t_4} [g(\theta) - w] \cdot d\theta + \int_{t_3}^{t_4} w \cdot [2 \cdot g(\theta) + w] \cdot d\theta = 2 \cdot w \cdot \left[ \int_{t_1}^{t_2} g(\theta) \cdot d\theta - \int_{t_3}^{t_4} g(\theta) \cdot d\theta - w \cdot \right.$$

ya que  $t_2 - t_1 = t_4 - t_3$ ; si  $\delta > 0$  el desplazamiento mejora IQ, si  $\delta = 0$  el desplazamiento no altera IQ.

En algunos casos puede aceptarse que una utilización más regular de los recursos puede compensar algún retraso en el Proyecto. Si el valor elegido de T es superior a la duración mínima del Proyecto no existirán actividades con margen total 0, todas serán desplazables; pero el algoritmo aplicable es esencialmente idéntico.

La adaptación a la consideración de  $G(\theta)$  dependiente de  $\theta$  es muy simple. Una manera de utilizar los procedimientos y las fórmulas anteriores consiste en trabajar con  $\gamma(\theta) = G(\theta) - g(\theta)$  en lugar de  $g(\theta)$ . Más complejo será tener en cuenta en las actividades un perfil variable de utilización de recursos  $w(\theta, t)$  pues los cálculos se complicarán.

Finalmente, si se desea tener en cuenta más de un recurso habrá que establecer un índice apropiado en el que la importancia relativa de los recursos se tenga en cuenta a través de unos pesos.

## ANEXO 7

### 7.A.1.7.1 Extensión del método PERT: GERT

Una de las extensiones propuestas al método PERT consiste en considerar diversas modalidades para alcanzar las etapas del Proyecto, definiendo vértices de diferentes tipos. En efecto, los vértices o nudos de un grafo PERT gozan de dos cualidades muy características (que hemos reseñado):

- \* Respecto a las actividades que confluyen en ellos son vértices "Y", es decir, sólo se alcanzan o realizan si "todas" las actividades confluyentes se han realizado. Una generalización posible es la de considerar vértices de tipo "O", es decir, realizados si por lo menos una de las actividades confluyentes se realiza. Caben otras ampliaciones.
- \* Respecto a las actividades que emergen de ellos, los vértices son deterministas, es decir, "todas" las actividades que siguen a un vértice deben realizarse. Una generalización posible es la de considerar vértices probabilistas, en los que las actividades emergentes están agrupadas en clases, cada una de ellas asociada a una probabilidad. Una vez alcanzado el vértice se realiza una sola clase de actividades, siendo la distribución entre clases conforme a la probabilidad antes señalada.

Con una estructura del tipo apuntado es posible representar Proyectos con actividades de duraciones o resultados inciertos, y posibilidades de repetición, o bien actividades cuya realización efectiva u omisión dependa de los resultados obtenidos por otras, como los ensayos y trabajos de reajuste presentes en los Proyectos Industriales.

La representación permite un primer análisis del proyecto, pero para alcanzar conclusiones habitualmente será necesario manipular el modelo en un ordenador o PC, dado que los procedimientos hábiles serán cercanos a la simulación. La estructura del programa informático disponible será determinante del tipo de enfoque y representación adoptado, dado que no existe unicidad al respecto.

Un primer esquema propuesto por Elmaghraby incluía los tipos de vértices lógicos descritos en la *figura 7.A.1.7.1*, en la que se distinguen la parte izquierda o "entrada" del vértice y la parte derecha o "salida" del mismo.

Como ejemplo de utilización de este esquema podemos considerar un taller que produce equipo electromecánico, caracterizado por la siguiente secuencia de operaciones tabulada en la *figura 7.A.1.7.2* y representada en la *figura 7.A.1.7.3*. Después de una serie de operaciones, las unidades pasan a una estación donde se realiza una inspección. Como resultado de la misma, las unidades pasan a una sección de test o a la operación de ajuste. Las unidades en la sección de test son aceptadas y enviadas a la operación de ajuste o rechazadas y enviadas a la sección de reparación. Desde la sección de reparación las unidades vuelven a la sección de test. Después del ajuste, las unidades son embaladas y entregadas al stock de productos acabados.



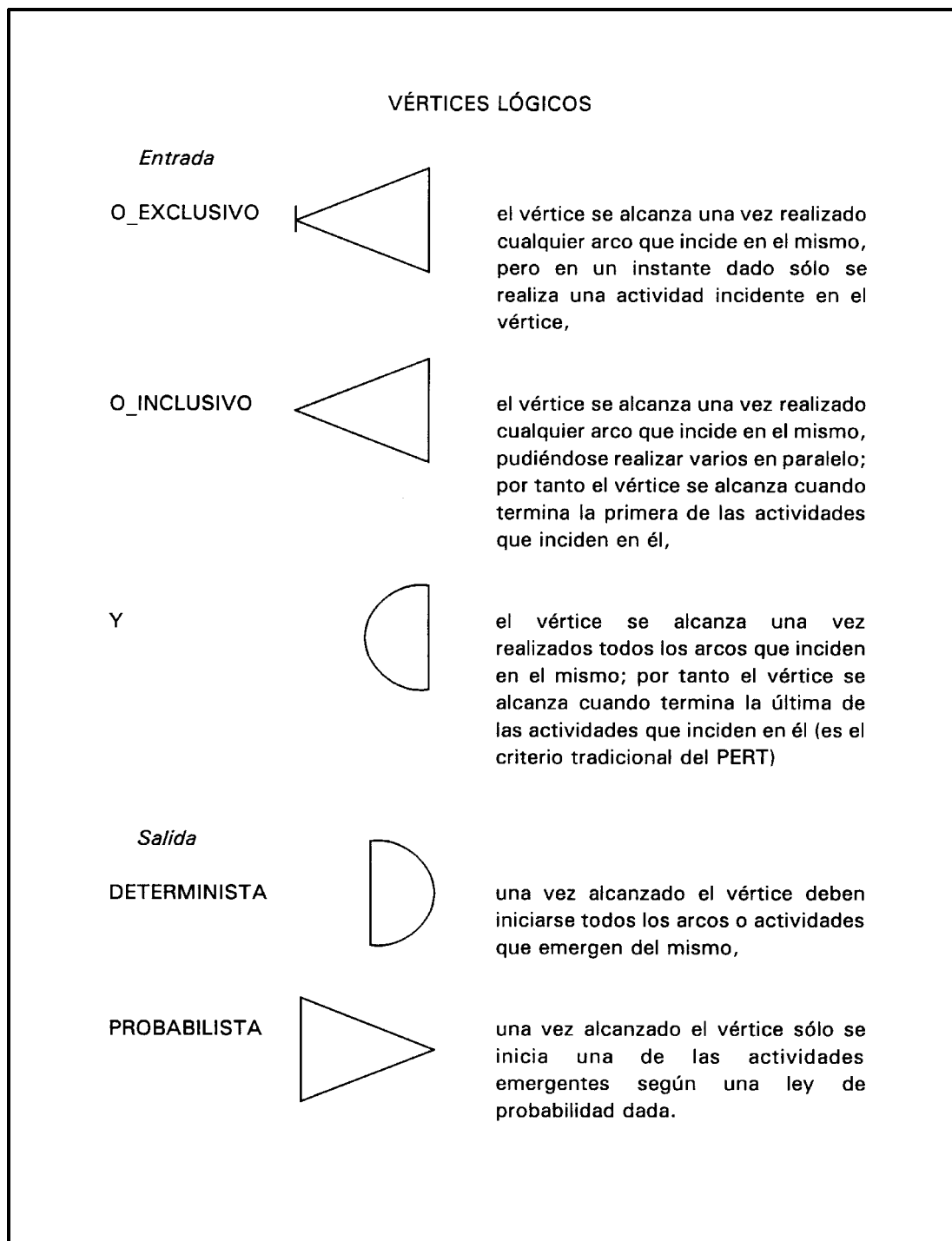


Figura 7.A.1.7.1 Vértices lógicos según Elmaghraby

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PARÁMETRO
a	Fabricación	Tiempo de producción
b	Inspección	Tiempo de inspección
c	Paso de inspección a test	Tiempo de tránsito; probabilidad de no superar la inspección
d	Paso de inspección a ajuste	Tiempo de tránsito; probabilidad de superar la inspección
e	Test	Duración del test
f	Paso de test a reparación	Tiempo de tránsito; probabilidad de no superar el test
g	Paso de test a ajuste	Tiempo de tránsito; probabilidad de superar el test
h	Reparación	Duración de reparación
i	Ajuste	Duración del ajuste
j	Embalaje	Tiempo de embalaje

Fig. 7.A.1.7.2 Actividades del Proyecto "Fabricación de equipo electromecánico"

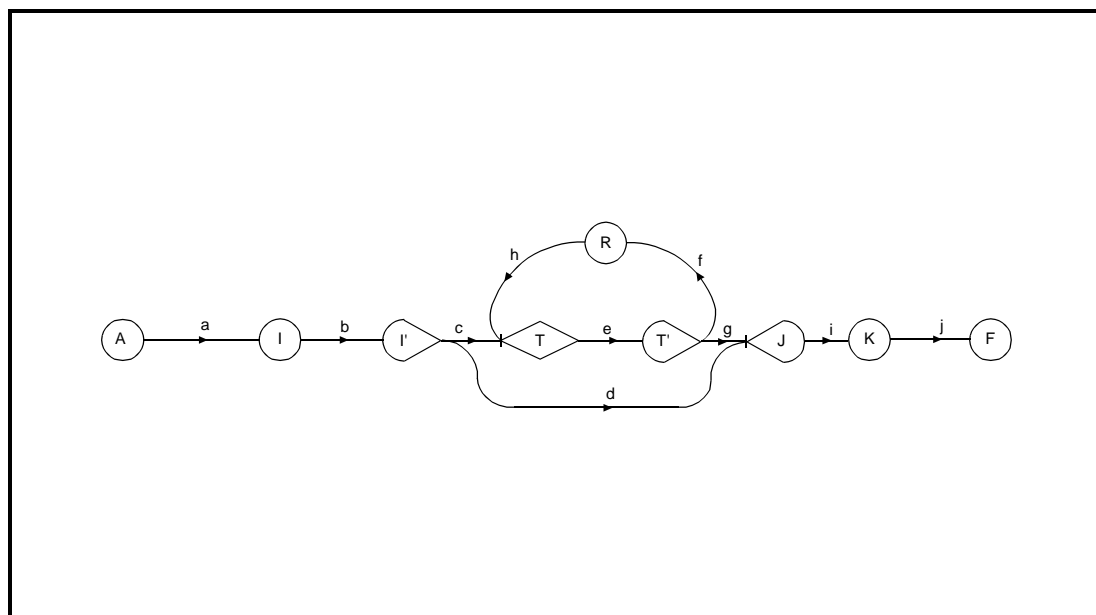


Fig. 7.A.1.7.3 Grafo GERT del Proyecto "Fabricación de equipo electromecánico"

Supongamos los siguientes valores numéricos:

Actividad	Duración	Acontecimiento	Probabilidad
a	25	Superar la inspección	0'5
b	3	No superar la inspección	0'5
c	2	Superar el test	0'8
d	3	No superar el test	0'2
e	3		
f	3		
g	2		
h	10		
i	1		
j	1		

Algunas unidades (la mitad) precisarán sólo 33 unidades de tiempo para seguir el proceso; otras (el 40%), 37 y el resto 56 unidades de tiempo o más. Utilizando los resultados de la teoría de flujos en grafos podemos determinar que el tiempo medio total para el proceso es 37. En caso de que las duraciones fuesen aleatorias con ley de probabilidad conocida, la misma teoría nos permitiría determinar los momentos de la distribución de probabilidad del tiempo total.

## 7.2 Bibliografía

- [1] COMPANYS, R; COROMINAS, A. *Rentabilidad y Planificación de Proyectos industriales*. Marcombo, 1968.
- [2] CLELAND, D. I; KOCAOGLU, D. F. *Engineering Management*. McGraw-Hill, 1981.
- [3] CHIVDCHENKO, I. *Gestion des Grands Projets*. Cepadues-Edition, 1974.
- [4] DEAN, B. V. (Ed.). *Project Management: Methods and Studies*. North Holland, 1985.
- [5] MODER, J. J; PHILLIPS C. R. *Project Management with CPM and PERT*. Van Nostrand Reinhold, 1964.
- [6] MODER, J. J; PHILLIPS C. R. DAVIS E. W. *Project management with CPM/PERT and precedence diagramming*. Van Nostrand Reinhold, 1983.
- [7] PORÉ, P. *Planning moderne et emploi de l'ordinateur*. Dunod, 1970.
- [8] REISS, G. J. *Project management demystified: today's tools and techniques*. F & FN Spon, 1992.
- [9] WHITEHOUSE, G. E. *System analysis and design using network techniques*. Prentice-Hall, 1973.

### Comentarios

[2] y [3] tratan extensamente de la organización de proyectos, siendo muy interesante apreciar que, a pesar de los campos profesionales diferentes de los autores, existe una gran coincidencia de criterios, [8] es una visión más moderna aunque más particular del tema. [6] es la reedición de un texto clásico, [5]. Este fenómeno se repite con frecuencia en este tema, muchas obras de la época dorada del PERT (los años 60), han resistido los años de oscuridad y siguen reeditándose, incorporando las ediciones necesarias para su actualización.

El texto [9] es muy particular pues se centra en grafos de flujo y GERT; a pesar de los años, sirve para una primera introducción en el tema.