

Capítulo 7 Gestión de proyectos

7.1 Conceptos

7.1.1 Introducción

El objeto del presente capítulo es analizar aspectos relacionados con la gestión, planificación, programación, seguimiento y control de proyectos. Propiamente puede considerarse que un proyecto singular es un tipo especial (y extremo) de sistema productivo, por lo que la problemática de su gestión puede encuadrarse perfectamente dentro de la temática correspondiente al **VOLUMEN II**. No obstante, las especiales características que ofrecen los proyectos y el hecho de que, tanto el diseño como la construcción de sistemas productivos son en sí mismos proyectos singulares, nos han aconsejado incluir aquí este tema.

La estructura del capítulo es la siguiente: en primer lugar describimos el ciclo de vida de un proyecto industrial; se analizan a continuación los problemas que implica su gestión, insistiendo sobre la organización matricial y las funciones y cualidades del jefe de proyecto.

Seguidamente pasamos a describir detalladamente los procedimientos de planificación de proyectos mediante la utilización de representaciones basadas en grafos. Junto con las técnicas más simples se incluyen otras que permiten tener en cuenta restricciones de recursos.

En último lugar estudiamos algunos procedimientos prácticos relacionados tanto con la fase de planificación inicial como con las de seguimiento, revisión de la planificación y control. Se incluyen unos anexos sobre temas y casos especiales.

7.1.1.1 Importancia de la planificación de proyectos industriales

* El diseño, construcción, ensayos, puesta en marcha y cesión de un proyecto industrial constituyen una secuencia de actividades que se extiende sobre un largo período de

tiempo (en ocasiones del orden de varios años), y que representan frecuentemente una importante dedicación de capitales, recursos inmateriales y personal. Por consiguiente, el seguimiento de dichas actividades mediante un procedimiento adecuado de planificación y control puede proporcionar no sólo reducciones de tiempo (tanto directa como indirectamente, solucionando situaciones que producirían retrasos antes de que se produzcan), sino que dichas reducciones son fácilmente objetivables a través de unos valores económicos que justifican los recursos destinados a dicha planificación.

- * En la construcción de un proyecto industrial intervienen habitualmente varias empresas que desarrollan trabajos muy diferentes entre sí pero que precisan una estrecha coordinación para alcanzar los objetivos parciales y globales; dicha coordinación se inicia a través de un lenguaje común y una clara visión de cuáles son los objetivos y las responsabilidades de cada uno; dichos objetivos y responsabilidades son no solamente técnicos y económicos, sino temporales, y se hallan imbricados entre sí. Cada trabajo tendrá normalmente su propia programación, pero todas ellas deben combinarse y entrar en el marco de la programación global.
- * La multiplicidad de tecnologías, empresas y tareas dificulta la obtención de una visión global que, sin embargo, es la que debe adoptar el jefe de proyecto. La planificación permite alcanzar esta visión de conjunto.

7.1.2 Organización de un proyecto

En los párrafos siguientes analizaremos el *ciclo-de-vida* de un proyecto industrial y discutiremos sus fases; a continuación discutiremos la estructura organizativa necesaria para el desarrollo del proyecto, así como sus condicionantes. Es interesante comprobar que diferentes autores, pertenecientes a campos de actuación distintos y por tanto con experiencias en proyectos muy diversos (construcción, aeronáutica, informática, nuevos productos, etc.), tienen una visión muy concordante sobre cuáles son las fases del *ciclo-de-vida* de un proyecto, lo que nos sugiere que la exposición que sigue, con las adaptaciones aconsejadas por el tipo de proyecto, número y posición de los actores que intervienen en él y la nomenclatura utilizada en el área tecnológica dominante, es de amplia validez.

7.1.2.1 Ciclo de vida de un proyecto industrial

Un proyecto industrial puede analizarse a la luz de su ciclo de vida; de hecho dicho ciclo de vida tanto puede asociarse al proyecto como al sistema que se pretende realizar a través del proyecto, sistema que va concretándose hasta alcanzar la realidad plena al finalizar el proyecto. Un nuevo producto puede necesitar 5 años o más de diseño, desarrollo y pruebas hasta que pueda venderse a los clientes. Una central nuclear precisa de ocho a diez años de estudios, diseños, construcción, montaje, puesta a punto, ensayos, etc., hasta que

pueda suministrar electricidad a la red. La informatización integral de la gestión de un sistema productivo puede exigir entre dos y cuatro años, dependiendo de la situación de partida y de la ambición del objetivo deseado, durante los cuales deberán desarrollarse estudios, análisis, diseños organizativos, adquisición de equipos, instalaciones, programación, puesta a punto, formación de usuarios, pruebas, etc. antes de que el sistema alcance la plenitud de funcionamiento, aunque, posiblemente, a lo largo de dicho tiempo se habrán ido alcanzando resultados parciales útiles (si el proyecto ha sido bien concebido). Otros proyectos se desarrollarán sobre otras escalas temporales. En cualquier caso todo proyecto y todo sistema tienen unas fases naturales de desarrollo, y son dichas fases las que queremos poner de manifiesto aquí.

Los sistemas considerados en este contexto serán una colección o combinación de elementos tanto abstractos como concretos, destinados a una misión común, junto con las personas, recursos y organización necesarios para su realización y operación. En consecuencia, el ciclo de vida que vamos a describir a continuación puede aplicarse a diferentes situaciones que se encuentran en la realidad industrial:

- Desarrollo de un nuevo producto
- Automatización de una línea de producción
- Construcción de una nueva planta de producción
- Traslado de un departamento (de producción, estudio, u otro) de una ubicación a otra
- Reorganización de la empresa o de una parte de ella
- Realización de un reajuste cuantitativo y/o cualitativo de la plantilla
- Realización de un estudio de reducción de costes
- Informatización de la gestión de producción
- etc.

Las fases del ciclo de vida son las cinco que se refieren a continuación (*fig. 7.2.1*):

1. FASE DE DEFINICIÓN
 - 1.1. ESTUDIO DE OBJETIVOS
 - 1.2. ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS (FACTIBILIDAD)
2. FASE DE CONCEPCIÓN
 - 2.1. CONCEPCIÓN GENERAL
 - 2.2. CONCEPCIÓN DETALLADA
3. FASE DE CONSTRUCCIÓN
4. FASE DE PUESTA EN MARCHA
5. FASE DE CESIÓN

Fig. 7.1.2.1 Fases del ciclo de vida de un proyecto

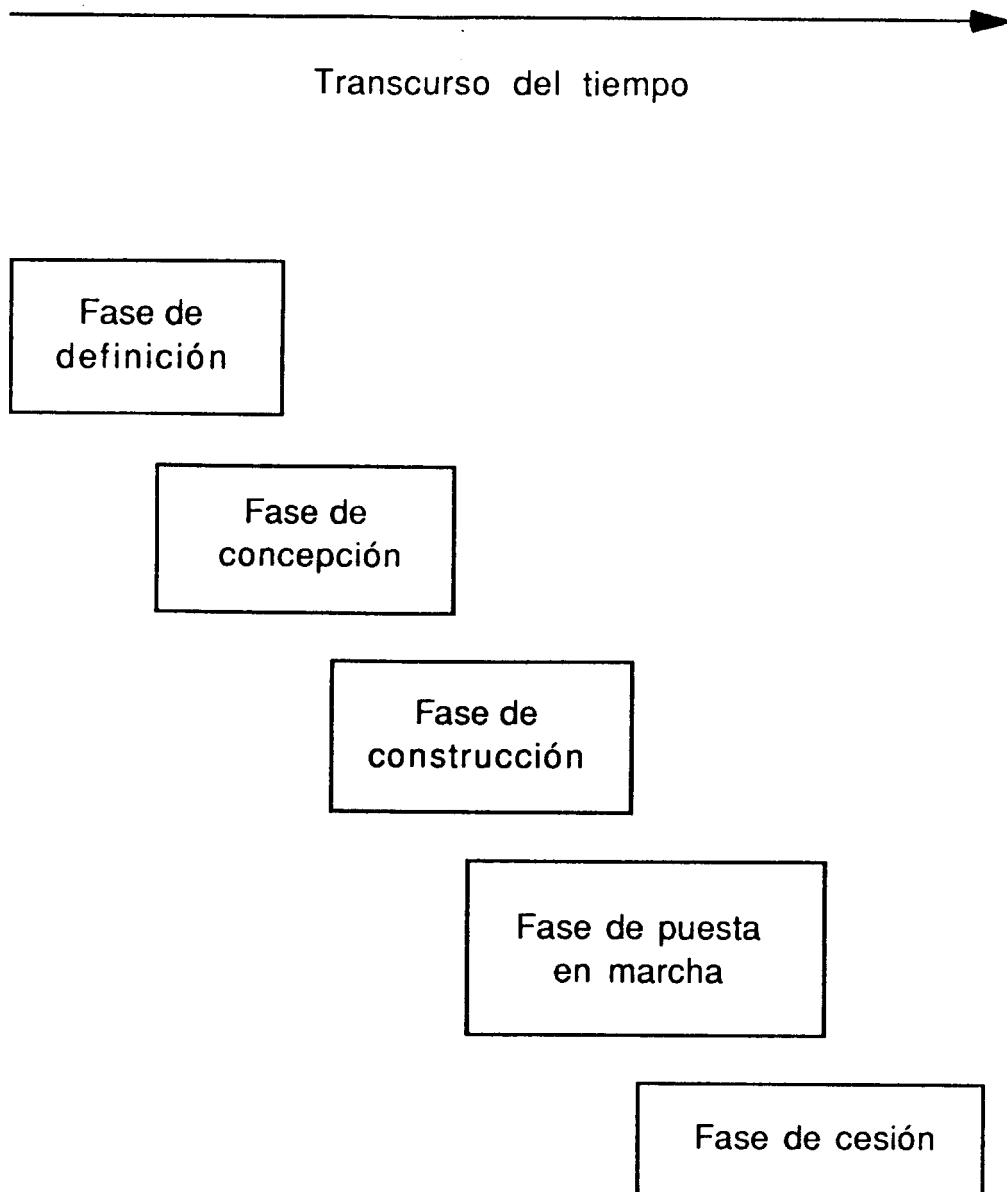


Fig. 7.1.2.2 Fases del ciclo de vida de un proyecto. Estas fases pueden solaparse parcialmente en el tiempo, aunque la representación de esta figura no pretende indicar duraciones

Al final de cada fase y subfase se suele redactar un informe con los resultados obtenidos. Dicho informe o partes del mismo se difunden a fines de información a los niveles de la organización adecuados, y en algunos casos los aspectos fundamentales deben recibir una aprobación formal. A partir de los resultados reflejados en el informe (y de otra información menos formalizada) normalmente se adoptan decisiones, esencialmente centradas en si se prolonga el proyecto con la fase siguiente, en qué modalidad y con qué equipo.

7.1.2.2 Fase de definición

El germen de la idea del sistema a construir a través del proyecto industrial puede provenir de diferentes fuentes: resultar a partir de otro desarrollo, de problemas existentes en la organización, o de la observación de oportunidades existentes. La fase de definición es aquella en la que la idea se concreta y se realizan los estudios y evaluaciones preliminares. Durante la fase de definición se analiza el entorno, se preparan previsiones, se evalúan objetivos y alternativas, y se realiza un primer examen de la *misión, objetivos, coste y programa* del desarrollo del sistema. Es también en esta fase cuando se determinan la estrategia de base, la organización y las necesidades de recursos para llevar adelante el proyecto. El propósito fundamental de la fase de definición es llegar al estudio de factibilidad, que permitirá posteriormente una evaluación más detallada, si como consecuencia del mismo se decide seguir adelante.

Si la fase de definición se enfoca adecuadamente permitirá eliminar aquellos proyectos que no tienen posibilidad de supervivencia. La tasa de mortalidad de los proyectos potenciales durante la fase de definición es alta: debe ser así, puesto que los estudios realizados durante esta fase deben identificar aquellos proyectos que poseen un elevado riesgo y son técnica, económicamente o en relación al entorno irrealizables y, en cualquier caso, es mejor matar un proyecto cuando es de papel que cuando es de acero y hormigón.

7.1.2.2.1 Estudio de objetivos

Constituye la definición inicial de qué se desea obtener con el proyecto, y por tanto el documento final resultante es una plasmación razonada y coherente de los deseos del "cliente" al respecto. No debe ser de larga duración ni elevado costo, pero es fundamental para que el resto de fases, si tienen lugar, estén orientadas en el sentido que maximiza la probabilidad de éxito. La incógnita que desea aclararse es qué debe realizar el sistema una vez construido o para qué debe servir, no cómo lo hará ni cómo se llegará a realizarlo, aunque la separación de estos aspectos no sea demasiado fácil en general, ni nuestra educación nos prepare especialmente para ello. Al final de la fase debe estimarse si la definición es lo suficientemente interesante como para proseguir investigando el tema.

Aunque parezca absurdo que alguien se embarque en un proyecto complicado sin tener claros los objetivos, la experiencia nos muestra que esta situación acontece algunas veces. Todavía es más frecuente que el "cliente" no dé a conocer sus verdaderos objetivos a aquéllos a quién encarga de llevar el proyecto adelante, lo que suele conducir a problemas de diversas clases durante el desarrollo del mismo. Finalmente también ocurre a veces que los responsables del proyecto se forman una idea equivocada del objetivo del proyecto, más cercana a sus propios intereses, áreas de conocimiento o líneas de trabajo que a los del "cliente".

Siempre hemos creído, y la evidencia aporta verosimilitud a esta presunción, que el estudio de objetivos es una etapa crucial en todo proyecto, de la cual depende en gran proporción la obtención de resultados satisfactorios.

7.1.2.2.2 Estudio de requerimientos

En esta subfase se intenta responder al resto de preguntas. El estudio de requerimientos, que también se conoce como estudio de factibilidad, se plantea de la forma : "Existe una idea, pero, ¿es realizable?"

Pueden existir:

- Imposibilidades técnicas de obtención de un sistema que responda a los objetivos propuestos
- Carencias en los medios disponibles para el desarrollo de dicho sistema
- Equilibrio poco satisfactorio entre los costes estimados y los rendimientos previsibles

Se deberán desarrollar trabajos de análisis sobre:

- Misión, objetivos y sub-objetivos del proyecto
- Diseño técnico preliminar del sistema
- Comparación de las alternativas, teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes (estudio coste-eficacia)
- Selección de las alternativas más interesantes (sería cómodo que sólo sobreviviera una, pero a esta altura del ciclo de vida es verosímil que no pueda decidirse entre todas las alternativas y variantes sin una exploración más profunda, que se encuentra en la fase posterior)
- Tipo de tecnologías a utilizar en el proyecto
- Aspectos indefinidos, trabajos de investigación a emprender y técnicas de punta a utilizar

- Costo lo más aproximado posible hasta llegar a la obtención del sistema operativo, eventualmente con margen de aproximación
- Estudio de rentabilidad
- Recursos necesarios para desarrollar el proyecto: humanos, organizativos, informáticos, especialidades escasas, locales, soporte administrativo, etc.
- Calendario previsible con los plazos de obtención de objetivos y subobjetivos más probables

Como resultado se obtendrán unas respuestas que se reflejarán en un informe, donde se emite una opinión sobre el interés del proyecto y sobre su rentabilidad y posibilidades, estimando el esfuerzo que requiere (coste, mano de obra, medios) y estableciendo, para el caso favorable, las modalidades para el análisis más profundo de la fase siguiente. La decisión adoptada al final de esta fase se refiere a si el proyecto industrial se cancela por completo, o bien se prolonga con la fase siguiente.

Una situación intermedia, no inusual y muy utilizada para diferir la toma de decisión definitiva, consiste en acordar revisar esta fase partiendo de una definición inicial (objetivos) algo distinta. Si el proyecto se cancela en esta fase la inversión realizada, y que debe darse por perdida, es reducida y concentrada en papel (y horas de trabajo); una cancelación en una fase más avanzada, cuando lo invertido sea mucho mayor, y tal vez algunos de los elementos del sistema se hayan materializado (y debemos buscarles otro destino) tendrá peores consecuencias (y será más difícil de decidir).

7.1.2.3 Fase de concepción

Una vez el sistema ha sobrevivido a la fase de definición, el análisis del sistema pasa a la fase de concepción, cuyo propósito es determinar, lo antes posible y con la mayor precisión posible, las especificaciones, el coste, programa, prestación y necesidades de recursos y si todos los elementos, bloques de tareas y sub-sistemas encajarán juntos económica y técnicamente.

La fase de definición dice simplemente en mayor detalle qué es lo que deseamos hacer, en qué consiste, cuándo queremos hacerlo, cómo realizarlo y a qué coste. La fase presente permite a la organización concebir y definir el sistema antes de que éste empiece a materializarse en su entorno. Dicho sencillamente, la fase de concepción permite mirar alrededor y decidir qué es realmente lo que se necesita antes de que se comprometan recursos para la construcción y puesta en marcha. Si la idea ha sobrevivido a la fase de definición, se ha obtenido una aprobación condicional para realizar un mayor estudio y desarrollo. La fase de concepción proporciona la oportunidad de revisar y confirmar la decisión de continuar el desarrollo del proyecto, crear un prototipo y pasar a la construcción y puesta en marcha.

Las decisiones tomadas durante la fase de concepción pueden incluir incluso la cancelación de un trabajo ulterior en el sistema y la orientación de los recursos de la organización en otra dirección. Las finalidades y actividades de esta fase se han resumido en la *figura 7.1.2.6 (ii)*.

ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA CONCEPCIÓN GENERAL (1)

Definición técnica	
Misión	precisarla - mantenerla.
Objetivos - subobjetivos	Concretarlos - Establecer jerarquía - Preservarlos
Actuación regular	Funcionamiento normal (detallado) del sistema
Actuación degradada	Funcionamiento (detallado) del sistema en caso de incidente o avería
Actuación inicial	Funcionamiento (detallado) del sistema durante la puesta en marcha
Prestaciones	Resultados obtenidos en los diversos modos de funcionamiento del sistema
Descripción	Exhaustividad en la descomposición del sistema en niveles y del proyecto en actividades (técnicas, organizativas, administrativas, otras)
Tecnologías	Precisar las incógnitas y el riesgo-Aceptar cambios necesarios
Calidad/fiabilidad	Estudio de conjunto y de detalle-Especificaciones
Ensayos	Definición precisa de las pruebas parciales y de conjunto previas para dar de alta elementos, subsistemas y el sistema completo

ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA CONCEPCIÓN GENERAL (2)

Definición de los medios	
Financieros	Costes - Presupuesto - Plan financiación
Mano de obra	Diferentes tipos - Equipo de gestión y dirección del proyecto - Limitaciones en especialidades poco frecuentes
Materiales	Previsión disponibilidad de medios: alquiler, construcción, compra
Definición del calendario	
Exigencias externas	Puntos fijos obligados - "Interfaces"
Duración actividad	Deterministas - Aleatorias - Optimistas
Restricciones	Potenciales - Acumulativas - Incompatibilidades (disyuntivas)
Organización del proyecto	
Organización	Estructura tipo "proyecto" - Convencer - Decidir
Plantilla	Disponibilidad de los recursos humanos necesarios para la gestión del proyecto
Soporte	Disponibilidad de los recursos de soporte del proyecto
Contratos	Descomposición en unidades - Tipo de contrato
Sistema de información	Circuitos adaptados al proyecto-Cuadro de mando
Relación información/decisión	Formalización líneas de autoridad/responsabilidad

Fig. 7.1.2.3 Lista de aspectos a considerar en la concepción general

7.1.2.3.1 Concepción general

Puesto que el proyecto se considera realizable, hay que definirlo desde el punto de vista técnico y realizar un estudio detallado de cada una de las soluciones posibles, que todavía estén en consideración, con ensayos, maquetas, etc. si es necesario, a fin de elegir la solución a adoptar, o por lo menos restringir el abanico de posibilidades. El documento final presenta una proposición completa y coherente, con las características técnicas principales, calendario, estimación de coste (más precisos que en la fase anterior), recursos necesarios, plan financiero probable, y recomendaciones para la fase siguiente. Puede adoptarse la decisión de abandonar el proyecto o seguir.

7.1.2.3.2 Concepción detallada

Se realiza la descomposición del proyecto en subproyectos o macroactividades, realizando el análisis de las mismas, a fin de poder proceder a su asignación a los entes que las van a realizar (en su caso se deberán preparar las modalidades de contratación). Se establece la organización básica de la realización: especificaciones técnicas, coste, calendario, formas de gestión y control, ensayos previos a la recepción, etc.

Durante esta sub-fase puede concretarse el "Organigrama técnico" del proyecto (*Work Breakdown Structure - WBS*), establecido en primera aproximación seguramente antes. Un organigrama técnico es la descomposición funcional de las tareas del proyecto, una lista de las tareas organizada en forma jerárquica o de árbol. El trabajo puede subdividirse en tantos niveles como sea necesario para alcanzar el tamaño de tareas deseado. El nivel más bajo de la división debe ser lo suficientemente fino como para permitir visibilidad y control adecuados sin crear un volumen tal de tareas que sea inmanejable administrativamente. Los pasos básicos para establecer un organigrama técnico (*fig. 7.1.2.4*) son:

- 1.- El nivel superior del árbol representativo del organigrama técnico (OT) es el nivel 0. Elegir una frase breve para describir la misión a realizar por el proyecto. Esto corresponde a la casilla 0.0, que se sitúa en la raíz del árbol OT.
- 2.- Subdividir el conjunto de tareas que presupone la casilla 0.0 en agrupaciones o subsistemas correspondientes a la división funcional más importante. Asignar una frase corta, concisa y descriptiva a cada subsistema. Estos subsistemas constituyen el nivel 1 y a cada uno de ellos se le asigna una casilla con un identificador (1.0, 2.0, 3.0, etc.). La reunión de todos los subsistemas *debe describir completamente* el trabajo a realizar para alcanzar la casilla "padre" del sistema 0.0.

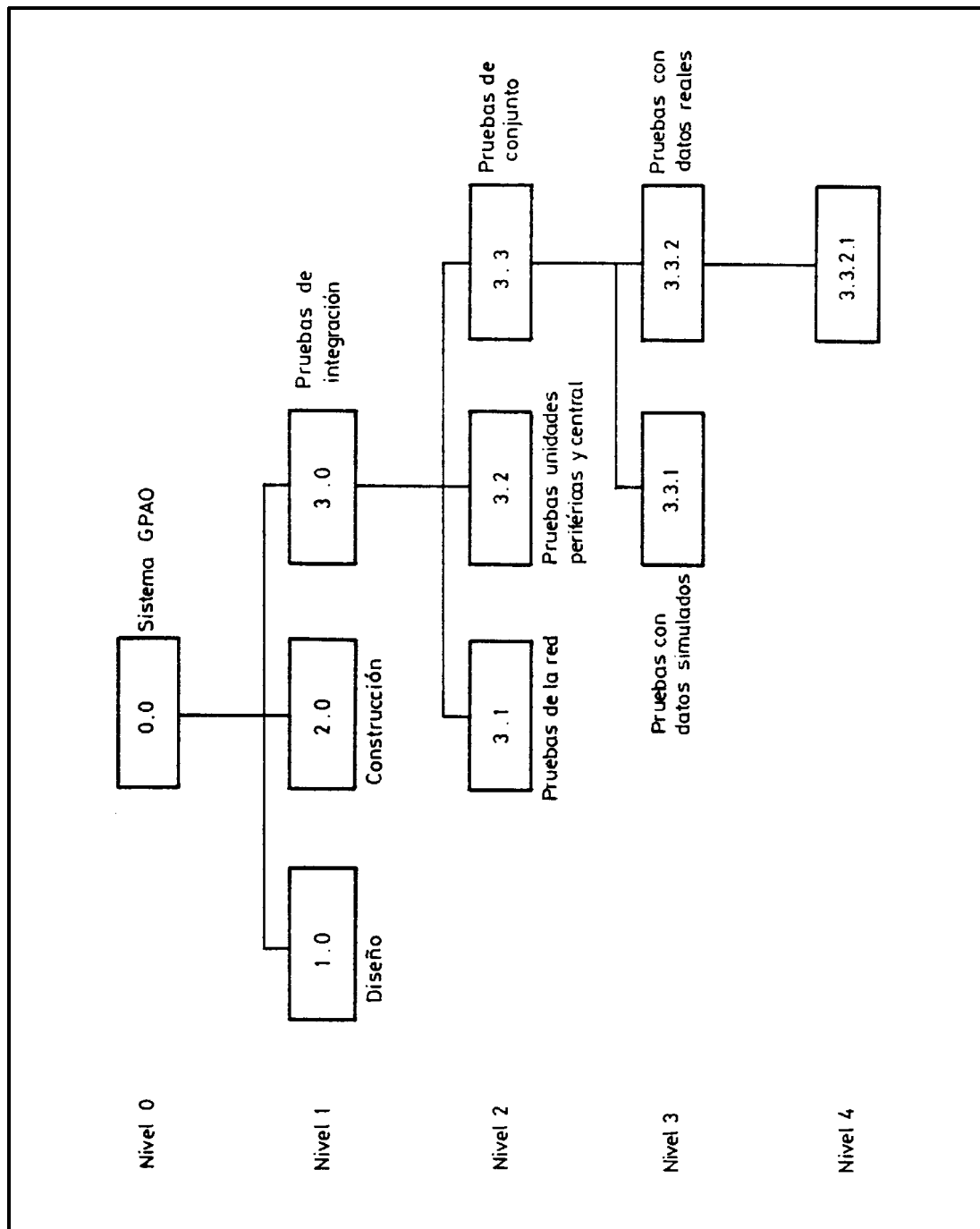


Fig. 7.1.2.4 Organigrama técnico de un proyecto. El OT representa la descomposición jerárquica de las actividades que comprende el proyecto, y constituye la base de referencia para las informaciones relativas a costes, plazos, recursos y aspectos técnicos.

- 3.- Subdividir cada uno de estos subsistemas en grupos que describan completamente el trabajo a realizar en la casilla padre. Asignar a cada uno de estos grupos un identificador OT único. Los grupos del subsistema 1.0 se convierten en 1.1, 1.2 y así sucesivamente. Los grupos del subsistema 2.0 son 2.1, 2.2, 2.3 y así sucesivamente para todos los identificadores del nivel 1. Los grupos determinan el nivel 2.
- 4.- El proceso de subdividir las casillas de un nivel dado continúa hacia el nivel más bajo que el gestor desea poner de manifiesto.
- 5.- El próximo paso es el de crear el diccionario del OT, que consiste en la definición oficial del trabajo a realizar en el proyecto. Para cada casilla del árbol, se escribe una descripción precisa, completa y actualizada de su naturaleza y propósito. Para aquellas casillas que están definidas en otros documentos del proyecto (tales como especificaciones de productos) el diccionario puede dar simplemente la referencia de los mismos. Un punto esencial es el de que o bien el diccionario contiene la definición precisa y actualizada del trabajo a realizar o da la referencia del lugar en el que se puede encontrar dicha definición. El diccionario de OT *debe constituir* la autoridad máxima dentro del proyecto en lo que se refiere al trabajo que debe realizarse dentro del mismo.

Existen dos reglas importantes al subdividir las casillas: primero subdividir a lo largo de líneas funcionales, no subdividir de acuerdo a las líneas de la estructura organizativa empresarial como resultaría al asignar 1.0 a producción, 2.0 a comercial, etc. Si se realiza la descomposición siguiendo la organización de la empresa se destruye uno de los objetivos principales del OT (y muy probablemente de la constitución del proyecto) que es la de poner de manifiesto las interdependencias entre diferentes departamentos en muchas actividades, en las que sus esfuerzos deben estar interrelacionados. Dividir el trabajo en los niveles más altos siguiendo la organización no refleja las dependencias y obligaciones de unos departamentos con otros.

La segunda regla es no subdividir el contenido del proyecto en demasiados niveles. Veinte niveles son demasiados para una gestión efectiva, de cuatro a seis parece un número adecuado de niveles en un gran proyecto. En algunos casos pueden usarse dos conjuntos superpuestos de cinco niveles; en un gran proyecto, con gran número de subcontratistas importantes, el primero se utiliza para definir las líneas principales, responsabilidades y contratos; el segundo se utiliza tal como hemos descrito, para definir el trabajo hasta el nivel contrato.

7.1.2.4 Fase de construcción

Terminada la fase de concepción y decidida la realización definitiva del sistema, el proyecto pasa a la fase de construcción. En esta fase, la más larga y costosa en la mayoría

UTILIZACIÓN DEL ORGANIGRAMA TÉCNICO

Distribución de responsabilidades Los bloques correspondientes a los últimos niveles del OT se asignan a responsables únicos.

La correspondencia entre el OT y el organigrama de la empresa constituye la matriz de autoridades y dependencias.

El OT constituye un modelo de referencia al que deben estar asociadas todas las informaciones (costes, plazos, técnicas, etc.) del proyecto.

Sistemas de información Los elementos del OT son los elementos simples de gestión y de los soportes de información. Los niveles permiten establecer resúmenes y síntesis de informaciones

Contabilidad En general existen dos necesidades:

- El funcionamiento propio de la empresa.
- La gestión del proyecto.

Cada gasto elemental se informa:

- la contabilidad de la empresa,
- al proyecto, gracias al código.

Programa Los sub-grafos PERT se identifican con los bloques del OT

El OT conecta los sub-grafos

El OT permite identificar las "interfaces" y las etapas básicas.

Fig. 7.1.2.5 Elementos de base para la utilización del organigrama técnico en diferentes funciones

de los casos, debe hacerse real lo que se ha definido anteriormente, acopiando y controlando los elementos del sistema, constituyendo y controlando el mismo sistema con la utilización de las especificaciones desarrolladas en las fases precedentes. No es una fase de estudio sino de gestión, planificación, seguimiento y control. El proceso de construcción incluye cosas tales como la fabricación o adquisición de "hardware", establecimiento de líneas de autoridad y responsabilidad, redacción de manuales de procedimientos, construcción de instalaciones y la finalización de la documentación de soporte.

Durante el proceso de construcción las lagunas o errores de análisis cometidos en las dos fases anteriores se muestran a la luz: aparecen sobrecostes, los plazos se alargan o las prestaciones no alcanzan las deseadas. Las deficiencias en las prestaciones pueden corregirse mediante la utilización de modificaciones razonadas, siempre que se gestionen adecuadamente. Tales cambios repercuten, sin embargo, en el coste y la duración del proyecto y conducen al consumo de recursos adicionales.

7.1.2.5 Fase de puesta en marcha

La función fundamental del responsable del proyecto o sistema durante la fase de puesta en marcha es proporcionar el soporte de recursos preciso para alcanzar los objetivos del sistema. Llegar a esta fase significa que se ha juzgado que el sistema es factible técnica y económicamente, y que se va a utilizar para alcanzar los objetivos deseados. En esta fase la función de gestión del proyecto cambia ligeramente, los aspectos planificación y organización ceden en importancia y aumenta la del aspecto control de las prestaciones del sistema de acuerdo con las líneas preestablecidas de actuación. Durante esta fase el proyecto puede perder su identidad para integrarse en el contexto de la organización.

Si el sistema en cuestión es un nuevo producto, la fase de puesta en marcha inicia la introducción y venta del producto en el mercado. Las finalidades y actividades de la fase de puesta en marcha se han recogido en la *figura 7.1.2.6 (iv)*.

7.1.2.6 Fase de cesión

En la fase de cesión la organización del proyecto abandona el asunto que se inició con la fase de definición, bien porque el sistema se ha integrado en la estructura organizativa regular, porque el producto se ha entregado al cliente que lo solicitó, porque el proyecto ha terminado en un fracaso y debe cancelarse. Incluso en este último caso pueden obtenerse lecciones importantes para no repetir los mismos errores en el futuro (si es que se tiene la oportunidad de volverse a encontrar en una situación semejante). Una evaluación de la gestión de los proyectos que fracasan, que no llegan a los resultados especificados, es importantísima, pero tal vez lo sea más la evaluación de la gestión de los proyectos que triunfan, aunque dicha evaluación se produzca menos frecuentemente, pues los equipos triunfadores suelen ser destinados rápidamente a un nuevo proyecto. La *figura 7.1.2.6 (v)* muestra las finalidades y actividades de la fase de cesión.

FASE DE DEFINICIÓN

1. Determinar las necesidades o deficiencias potenciales de la organización, y/o las oportunidades del entorno.
2. Establecer líneas de actuación que proporcionen una forma posible de paliar las necesidades o deficiencias potenciales, y/o de cubrir las oportunidades.
3. Determinar la posibilidad y practicabilidad técnica, económica y en relación al entorno del proyecto propuesto.
4. Determinar la compatibilidad del proyecto propuesto con la finalidad básica de la organización.
5. Examinar vías alternativas de realizar la misión del proyecto.
6. Proporcionar respuestas iniciales a las preguntas:
 - (a) ¿Qué costará el proyecto?
 - (b) ¿Cuánto se tardará en obtener resultados (totales y parciales)?
 - (c) ¿Cómo funcionará el sistema construido?
 - (d) ¿Cómo se integrará a los sistemas existentes?
 - (e) ¿Cómo se puede construir el sistema?
7. Identificar los recursos, especialmente los humanos, necesarios para soportar el proyecto.
8. Seleccionar diseños iniciales que satisfagan los objetivos.
9. Determinar las "interfaces" del sistema.
10. Establecer un enfoque organizativo del equipo que deberá desarrollar el proyecto, definiendo las responsabilidades.
11. Tomar la decisión de continuar o no continuar el desarrollo del proyecto.

Fig. 7.1.2.6 (i) Fines y actividades de la fase de definición

FASE DE CONCEPCIÓN

1. Identificación precisa de los recursos, especialmente los humanos, precisos para el desarrollo del proyecto.
2. Preparación de las especificaciones, especialmente las relativas a los requerimientos finales de las prestaciones del sistema.
3. Preparación de los planes detallados necesarios para la realización del sistema.
4. Determinación de estimaciones realistas relativas al coste, calendario y prestaciones.
5. Determinación de aquellas áreas del sistema en las que el riesgo y la incertidumbre son más importantes, y delineación de planes para exploración más intensa de esas áreas, con el fin de reducir dicha incertidumbre.
6. Determinación de los subsistemas y recursos de soporte necesarios.
7. Determinación de "interfaces" intersistemas e intrasistemas.
8. Identificación y preparación inicial de la documentación precisa para soportar el sistema, tales como normativas, procedimientos, manuales del usuario, descripciones de tareas, presupuestos y documentos financieros, estadillos, memorandos, etc.
9. Establecer la compatibilidad entre el sistema con el propósito básico futuro de la organización.
10. Diseño de prototipos, simulación.

Fig. 7.1.2.6 (ii) Fines y actividades de la fase de concepción

FASE DE CONSTRUCCIÓN

1. Actualizar los planes detallados concebidos y definidos durante las fases precedentes y realizar pruebas sobre el terreno donde sea factible.
2. Identificar y gestionar los recursos requeridos para facilitar el proceso de construcción tales como existencias, aprovisionamientos, fondos de maniobra, trabajos, etc.
3. Verificar las especificaciones de construcción del sistema.
4. Diseño detallado de los componentes.
5. Inicio de la fabricación, construcción e instalación.
6. Preparación final y distribución de los documentos sobre normativas y procedimientos.
7. Realización de las pruebas finales para determinar la idoneidad del sistema para realizar aquello que se ha previsto que haga.
8. Desarrollar manuales técnicos y documentación asociada para describir cómo está previsto que funcione el sistema.
9. Desarrollo de planes de soporte del sistema durante su fase de puesta en marcha.

Fig. 7.1.2.6 (iii) Fines y actividades de la fase de construcción

FASE DE PUESTA EN MARCHA

1. Realización de los ensayos y pruebas finales del sistema.
2. Utilización del sistema para los fines previstos por el usuario o cliente.
3. Integración real del producto o servicio resultado del sistema en el sistema organizativo.
4. Evaluación de las prestaciones suficientes del sistema, en los aspectos técnico, económico y social, para alcanzar las condiciones operativas reales.
5. Proporcionar a los planificadores de la organización, ligados con el desarrollo de nuevos sistemas y proyectos, la información de realimentación.
6. Evaluación de la adecuación de los sistemas de soporte.

Fig. 7.1.2.6 (iv) Fines y actividades de la fase de puesta en marcha

FASE DE CESIÓN

1. Liquidación del aspecto proyecto.
2. Desarrollo de planes transfiriendo la responsabilidad a la organización de soporte.
3. Transmisión de los recursos a otros sistemas, incluyendo la transferencia de tecnología.
4. Desarrollo de "lecciones aprendidas del sistema" para su inclusión en la base de datos cualitativa-cuantitativa para cubrir:
 - (a) Mantenimiento de imagen frente al cliente.
 - (b) Problemas mayores acaecidos y su solución.
 - (c) Avances tecnológicos.
 - (d) Avances relativos al conocimiento de los objetivos estratégicos.
 - (e) Técnicas de gestión nuevas o mejoradas.
 - (f) Recomendaciones para investigación y desarrollos futuros.
 - (g) Recomendaciones para la gestión de proyectos futuros.
 - (h) Otras experiencias valiosas obtenidas durante la realización del sistema.

Fig. 7.1.2.6 (v) Finalidades y actividades de la fase de cesión

7.1.2.7 Orden y duración de las fases

En ciertas ocasiones es posible sortear la marcha secuencial de las fases, esencialmente solapando en parte la 2 y la 3, después de haber realizado la descomposición en subproyectos, o bien superponiendo la 1 y la 2, si las ha realizado la misma persona o el mismo equipo. El prescindir por completo de una fase y de la formalización de las conclusiones implica, entre otras cosas, la imposibilidad de controlar adecuadamente el proyecto, puesto que los responsables del mismo pueden tener una visión muy difusa de los objetivos que se supone que deben perseguir y las eventuales desviaciones no serán contrastables con nada objetivo. En los grandes proyectos se supone que la primera fase más la concepción general representan solamente el 3% del coste total, mientras que las dos primeras no superan el 10%. La *figura 7.1.2.7* indica la duración relativa de las diferentes fases.

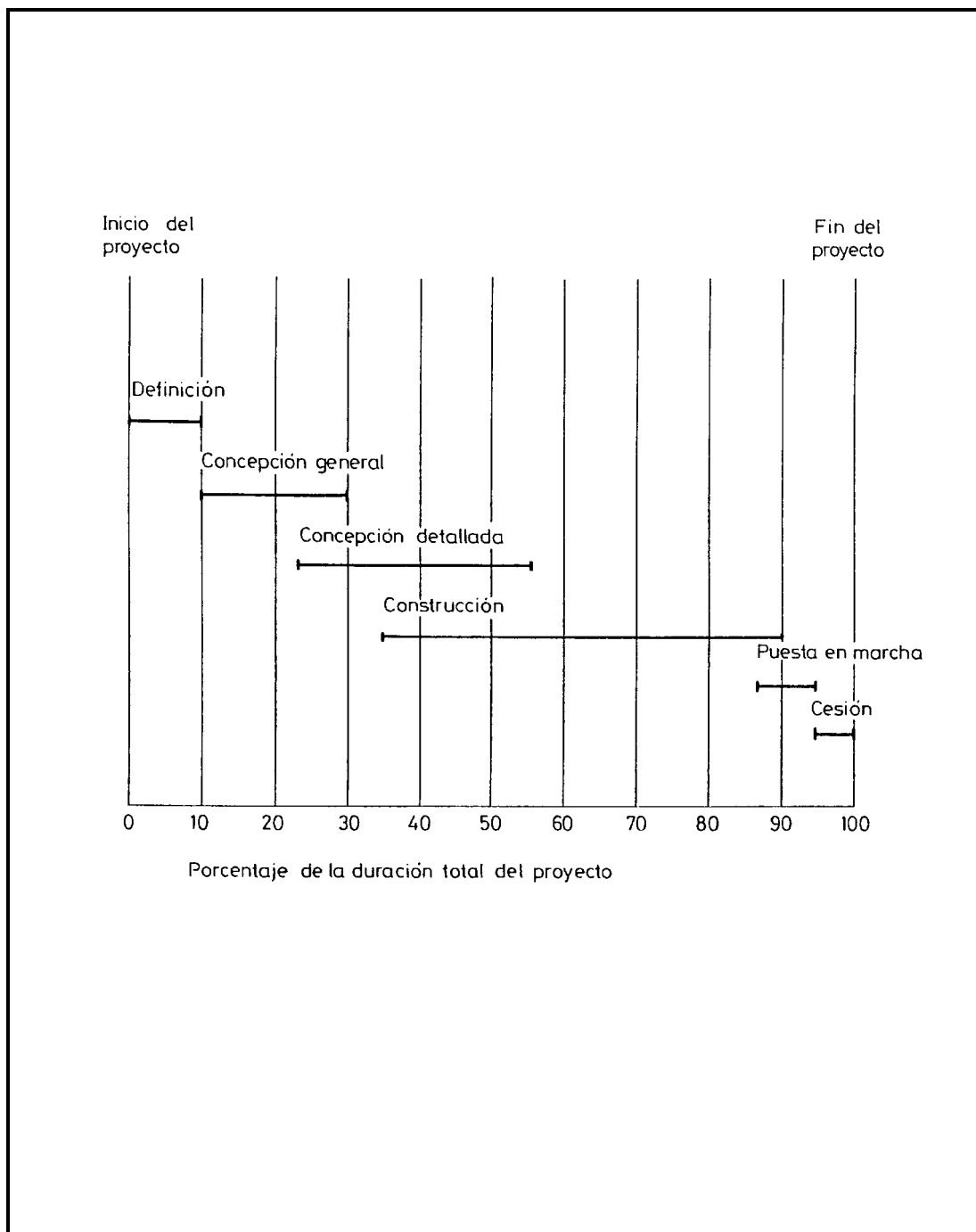


Fig. 7.1.2.7 Porcentaje de la duración total del proyecto. Duración relativa de las fases de un proyecto. El tipo de proyecto influye decisivamente en la duración de las distintas fases. La figura se basa en proyectos relativos a la construcción de sistemas de gestión.

7.1.2.8 Estimaciones

La especial naturaleza de la gestión de proyectos precisa predicciones o estimaciones de las duraciones, costes y recursos requeridos por los futuros trabajos. El proceso de estimación es el proceso de realizar predicciones o previsiones de acontecimientos predefinidos y/o incidentes; en dicho proceso se utiliza habitualmente información objetiva y subjetiva. A continuación citamos varios factores que deben tenerse en cuenta durante el proceso de estimación:

- 1) *Importancia de la estimación*: Toda estimación exige un esfuerzo, cuya cuantía determina directamente la precisión y fiabilidad de la misma, es decir, con el parecido que esperamos tenga el valor real respecto al estimado. Por tanto es adecuado que la cantidad de esfuerzo se relacione con las repercusiones que la falta de precisión entrañaría. Esto se relaciona con las típicas preguntas "¿Qué pasaría si?". Si una estimación tiene poco efecto en los resultados del proyecto, debe destinarse poco esfuerzo y tiempo en la elaboración de la estimación. Si un pequeño cambio en la estimación puede conducir a grandes variaciones en la fecha de terminación del proyecto y/o en su presupuesto, la fiabilidad se convierte en un factor importante.
- 2) *Grado de detalle*: El grado de detalle de una estimación refleja la precisión y fiabilidad esperada de este valor. El grado de detalle se define en términos del número de niveles existentes en la descomposición de la estructura del proyecto. Si una descomposición más fina puede conducir a una estimación más precisa, este hecho deberá tenerse en cuenta en la descomposición.
- 3) *Conocimiento preciso del objeto de la estimación*: Cuanto más concretamente esté definida la tarea u objeto respecto al cual se hacen las estimaciones mayor es la probabilidad de obtener estimaciones fiables.
- 4) *Competencia y conocimiento del proceso estimado*: Las personas responsables de las tareas deben participar en la estimación. Su conocimiento y experiencia del trabajo y su competencia y conocimiento del proceso de estimación quedarán reflejados en la fiabilidad de la estimación de duraciones, costes y recursos.
- 5) *Unidades comunes*: Todas las estimaciones deben darse en unidades comunes. Esto simplifica la planificación, la evaluación y la agregación. Si las cargas de trabajo están en horas-hombre, todas deben estar en horas-hombre. Si las duraciones figuran en plazos calendario laboral, todas deben ser así. Si las estimaciones de costes se realizan en pesetas corrientes, las demás deben utilizar la misma unidad.
- 6) *Precisión*: Una estimación generalmente tiene asociado un intervalo de variación. Es necesaria la coherencia entre dichos intervalos para poder proceder posteriormente a las agregaciones que exige la obtención de estimaciones a nivel proyecto.

- 7) *Hipótesis*: Todas las hipótesis y supuestos que el estimador ha tenido en cuenta deben explicitarse específicamente. Por ejemplo, los supuestos relativos a la inflación,... No es necesario agregar que los supuestos adoptados en diferentes estimaciones deben ser coherentes.

Para mejorar la fiabilidad de las estimaciones se puede recurrir a diferentes procedimientos, de acuerdo con la estructura del proyecto:

- 1) *Desarrollar más niveles de descomposición de la estructura (OT)*: Esto implica que las tareas se definirán en mayor detalle. Una tarea de duración más corta y con menor consumo de recursos puede ser más fácil de estimar que una actividad que se compone de varias operaciones menores. Un grado de detalle adecuado en la descomposición corresponde a la obtención de bloques de trabajo independientes. Entonces el error en una estimación no afecta a otras estimaciones ni al error agregado. Esto permite una rápida replanificación durante la ejecución del proyecto.
- 2) *Utilizar datos históricos relevantes*: Más datos e información producen en general mejores estimaciones. Es prudente tener en cuenta el balance entre coste de colecta de datos respecto al beneficio incremental de la fiabilidad de la estimación. A partir de cierto momento destinar más esfuerzo a la obtención de datos no queda compensado por su repercusión en la estimación.
- 3) *Estimación por fases*: Es más fácil predecir el coste, duración y recursos requeridos en el próximo período que dentro de varios períodos. Por ello es prudente descomponer el proyecto en fases temporales (aunque sea implícitamente) y desarrollar previsiones muy precisas para la primera fase, menos para la segunda, etc. Cuando cada fase se acerca, la estimación podrá revisarse y actualizarse.
- 4) *Utilización de varias técnicas de estimación*: La importancia y descripción de la estimación indica la cantidad de esfuerzo a asignar a la estimación. Utilizar varias técnicas de estimación puede ser caro, sobre todo cuando se producen diferencias significativas en las estimaciones, ya que se deberá proceder a revisiones. Entre las técnicas que pueden considerarse tenemos las siguientes:
 - a) Estimación por analogía
 - b) Utilización de ratios propios
 - c) Utilización de estándares
 - d) Utilización de técnicas estadísticas
 - e) Utilización de curvas de aprendizaje
 - f) Simulación

No cabe en el objeto del presente capítulo describir dichas técnicas que el lector podrá encontrar descritas en el **capítulo 2 del volumen II** de este texto y en gran cantidad de libros y artículos.

- 5) *Utilizar un proceso iterativo de dos etapas*: Es más sencillo evaluar la estimación sin tener en cuenta las restricciones del entorno en la primera etapa. La segunda etapa consistirá en revisar la primera estimación superponiendo los factores de entorno: limitaciones de recursos, disponibilidad de tecnología y apoyo gestional, coexistencia con otros proyectos (con los que comparte recursos), etc.

7.1.3 Principios de la gestión de proyectos

Las empresas se estructuran, como es razonable, de una forma orientada a facilitar la circulación de informaciones/instrucciones relacionadas con la actividad regular de la misma, y por consiguiente la organización resultante suele ser poco efectiva para realizar otro tipo de actividades, habituales pero con un cierto sello de singularidad como los programas de mejora y los proyectos. Estas actividades se caracterizan por la combinación de recursos, humanos y materiales, agrupados con el fin de alcanzar un determinado propósito de la organización dentro de un plazo limitado.

Los proyectos singulares de gran envergadura se han dado con relativa frecuencia a lo largo de la historia de la humanidad: las pirámides de Egipto, la catedrales, los canales de Suez y de Panamá, etc., aunque actualmente, en muchos casos debido al impulso de los gobiernos y de las grandes empresas, puedan ser relativamente más numerosos. Por otra parte todas las empresas y entidades del tamaño que sean en algún momento de su vida se ven abocadas a desarrollar proyectos de diversa dimensión. La reflexión sobre la forma más adecuada de llevar a cabo la gestión de proyectos ha sido impuesta por algunos fracasos estruendosos, existiendo en el momento actual un cuerpo de doctrina. Los principios de la gestión de proyectos, algunos ya conocidos desde tiempos remotos, se practican en una amplia variedad de entornos industriales y no industriales, debiendo muchísimo el desarrollo de la estructura conceptual a la industria aeroespacial y a la de construcción en las que los proyectos son un aspecto fundamental.

Muy frecuentemente la estructura orgánica para la gestión de un proyecto ha tomado la forma de la constitución de un grupo o equipo de trabajo dentro de la organización; tales grupos facilitan la orientación de los recursos hacia un proyecto determinado. La reflexión sobre el tipo de relaciones existentes entre la estructura organizativa regular y la generada dentro del grupo ha llevado a establecer nuevos conceptos sobre las dependencias y autoridades, hasta sentar las bases de una nueva forma de organización: la *organización matricial*.

7.1.3.1 La organización de tipo funcional

La forma más extendida de estructura organizativa en la industria es la de tipo funcional, en la que las personas y los recursos que desempeñan una función similar se integran en una entidad (dirección, división, departamento o sección) en la organización. En la *figura 7.1.3.1* aparece una estructura funcional. El director general es responsable del establecimiento de los objetivos de la organización, tales como volumen de ventas, tasa de beneficio, tasa de crecimiento, etc. Dichos objetivos se traducen en metas específicas que deben alcanzar los distintos departamentos. El departamento comercial traduce los objetivos en términos de cantidades y precios para los diferentes mercados, el departamento de proyectos desarrolla diseños para soportar los objetivos, el departamento de producción se responsabiliza de la fabricación de los productos que ha diseñado el departamento de proyectos en las cantidades y en los plazos señalados por el departamento comercial.

La organización de tipo funcional se utiliza habitualmente cuando se elaboran productos normalizados; en dichas organizaciones el contacto con los clientes se establece casi exclusivamente a través de ventas y comercial. La coordinación entre departamentos funcionales se realiza a través de los responsables de los departamentos y bajo la orientación del director general. La organización funcional se comporta adecuadamente en situaciones estables, ya que no se adapta fácilmente a los cambios ni a la reflexión sobre el largo plazo.

Una de las mayores dificultades que se presenta en una organización de este tipo es la relativa a la realización de actividades no específicas o transversales; por ejemplo gestión de personal, compra de materiales o contabilidad. Estas actividades son precisas habitualmente en más de un departamento, y no siempre es posible reunir todas ellas en un sólo órgano centralizado. Por ello se desarrollan varias secciones que efectúan actividades similares, bajo la dependencia directa de jefes distintos (y generalmente preocupados por funciones distintas). La coherencia entre las actividades se alcanza entonces estableciendo un órgano centralizado, sin autoridad jerárquica sobre los descentralizados, pero con el encargo de coordinar procedimientos, métodos, etc. La potestad del ente centralizado sobre los periféricos se conoce en algunas ocasiones como *autoridad funcional* para distinguirla de la *jerárquica* de los jefes directos. No es nuestra intención entrar aquí en una discusión sobre la problemática de la situación, sobre la que en todo caso volveremos al hablar de organización matricial.

En otras circunstancias, el director general de la empresa se hace "ayudar" en su labor de coordinación por equipos, a veces muy numerosos, de especialistas que le respaldan en la toma de sus decisiones mediante la realización de análisis y estudios. Este "estado mayor" no suele tener sobre el papel ninguna autoridad sobre la línea jerárquica, salvo que sea por delegación, pero en la práctica puede acumular mucho poder, sobre todo si actúa como canal de transmisión de información.

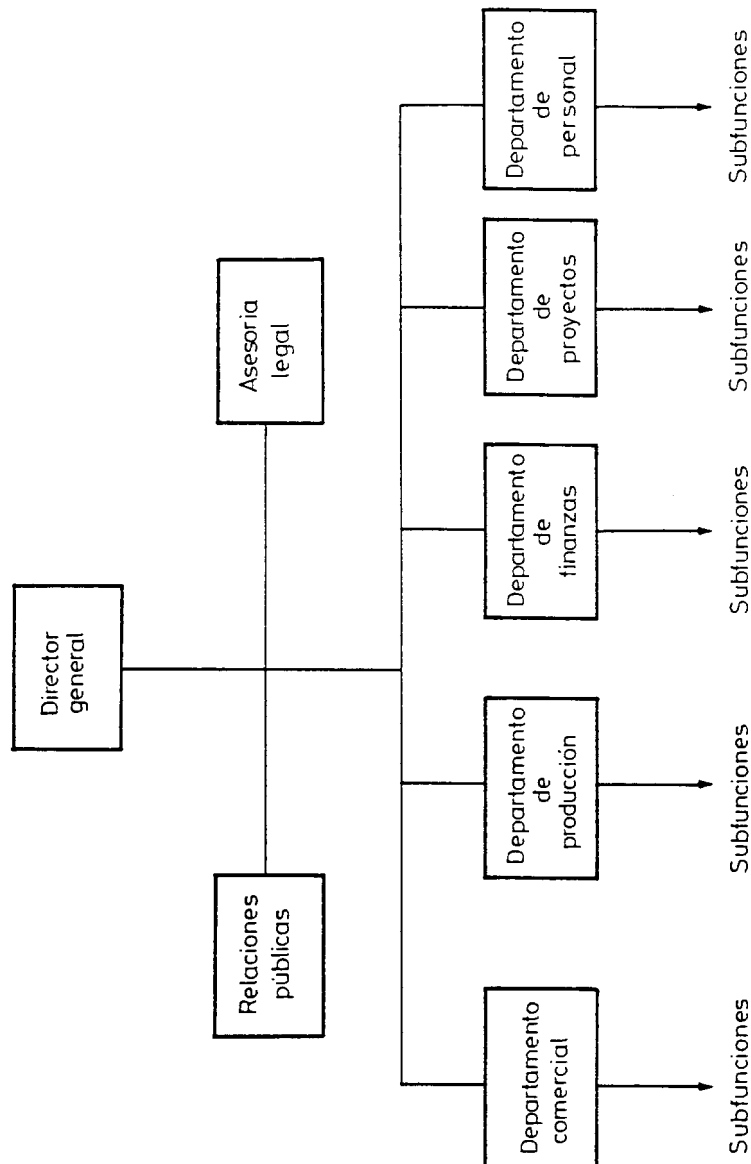


Fig. 7.1.3.1 Organización funcional tipo. El director general, ayudado en su caso por un estado mayor, cuida de la coordinación y resolución de conflictos entre las funciones, además de la fijación de los objetivos corporativos y determinación de las estrategias básicas. Cada departamento es, dentro de su campo de competencia, autónomo. Algunas funciones transversales: personal, contabilidad, organización, informática, etc. intentarán (a veces con poco éxito) establecer procedimientos unificados

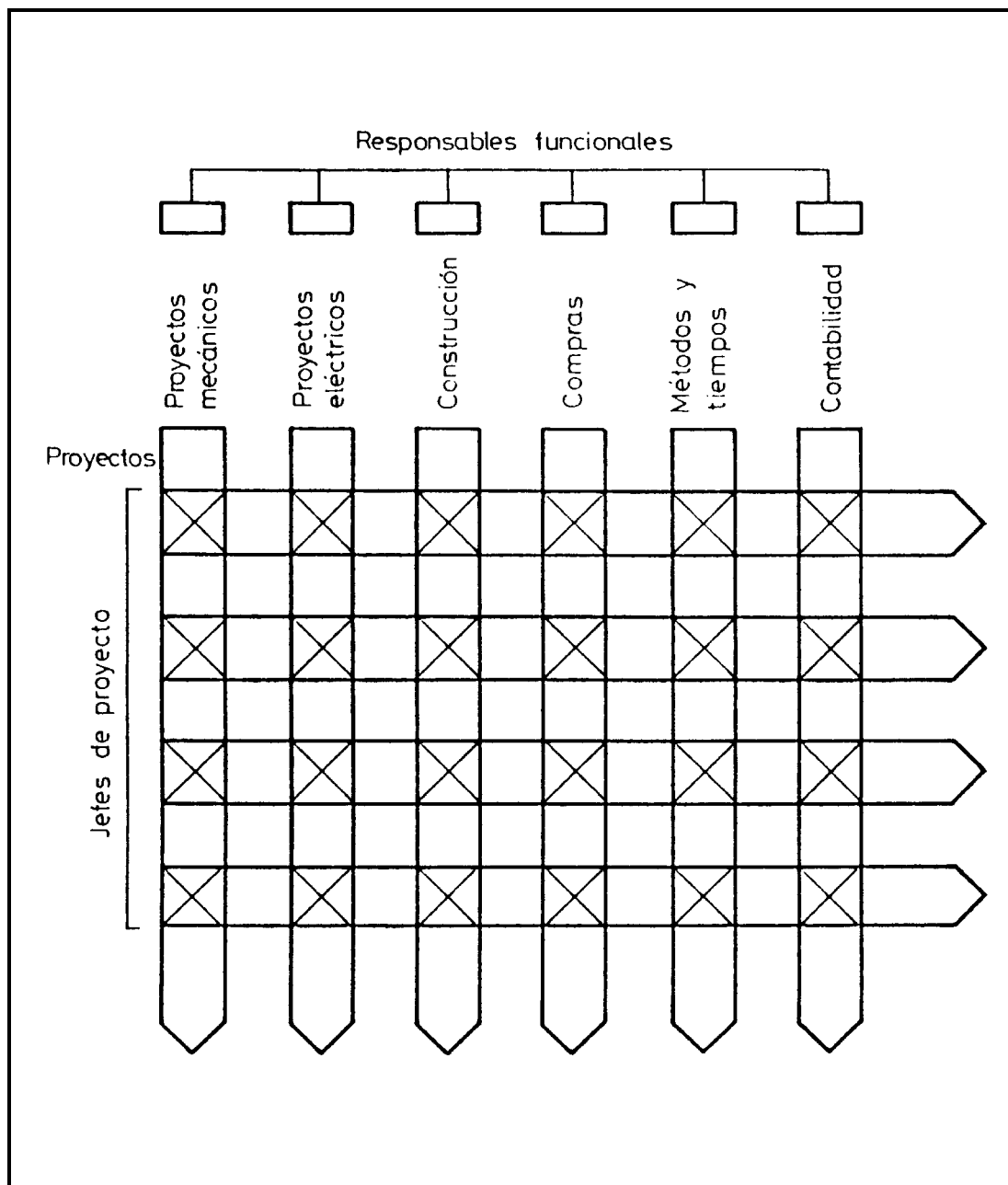


Fig. 7.1.3.2 Estructura matricial. Los diferentes proyectos, gestionados por jefes de proyecto, utilizan los recursos que dependen jerárquicamente de responsables funcionales. En su forma más avanzada cada empleado tiene dos jefes: el responsable funcional y el jefe del proyecto en el que está encuadrado. Compaginar ambos tipos de autoridad no es sencillo, salvo que la "cultura" de la empresa esté habituada a este tipo de organización

Consideremos ahora el problema que se presenta al director general cuando desea diseñar, desarrollar e introducir un nuevo producto complejo, especialmente uno que sea sofisticado, precise alta competencia técnica de punta y sea crítico para la empresa. Obtener tal producto exige destinar a ello cuantiosos recursos, especialmente un número substancial de personas, a fin de garantizar el éxito y la eficiencia. Debe establecerse una forma organizativa construida alrededor del producto que va a diseñarse y desarrollarse, a fin de que los recursos de la organización se integren eficazmente para este fin, sin que se abandone la fabricación de los productos actuales. Una solución que ha tenido éxito en muchos tipos de empresa ha sido la de constituir un proyecto, nombrar un jefe de proyecto, y construir una organización centrada alrededor del diseño y desarrollo del producto futuro. La estructura organizativa resultante es divergente respecto a la organización funcional, es del tipo matricial.

7.1.3.2 Organización matricial

La gestión de un proyecto exige una disposición organizativa que consta de un equipo del proyecto superpuesto a la estructura vertical existente en la organización. Esto puede ilustrarse mediante la *figura 7.1.3.2*, que corresponde al diseño de una planta industrial. En esta figura el personal asignado al equipo de diseño proviene de las diferentes líneas funcionales basadas en las técnicas que implica el proyecto. La intersección entre la estructura vertical y el equipo de diseño conduce a un punto donde confluyen los esfuerzos comunes de las especialidades y del proyecto. La gestión del proyecto se realiza a través de una persona, el jefe de proyecto, quien focaliza todos los intereses específicos de éste.

El jefe de proyecto es un gestor en el pleno sentido de la palabra; es responsable de la planificación, organización, motivación, dirección y control de los recursos de la organización aplicados al proyecto. Dentro de este esquema trabaja con grupos especializados y sus responsables, los jefes funcionales.

Una característica de la organización matricial es que cada persona tiene dos jefes: un jefe de proyecto y un jefe funcional. Esto parece romper todos los esquemas y principios tradicionales, empezando por el de la unidad de mando, según el cual sólo se puede recibir órdenes de un superior. Tal vez más grave es otra consecuencia, la destrucción de la igualdad entre autoridad y responsabilidad. Visto en términos de la organización matricial este principio debe recibir un significado especial; el jefe funcional comparte su autoridad con el jefe de proyecto. El jefe de proyecto es responsable de la realización del proyecto en plazo, dentro de presupuesto y conforme a los objetivos y especificaciones. El jefe funcional tiene la responsabilidad de proporcionar los recursos especializados para soportar el proyecto; el jefe funcional también tiende a conservar la administración del personal asignado a su departamento aunque trabajen para el proyecto.

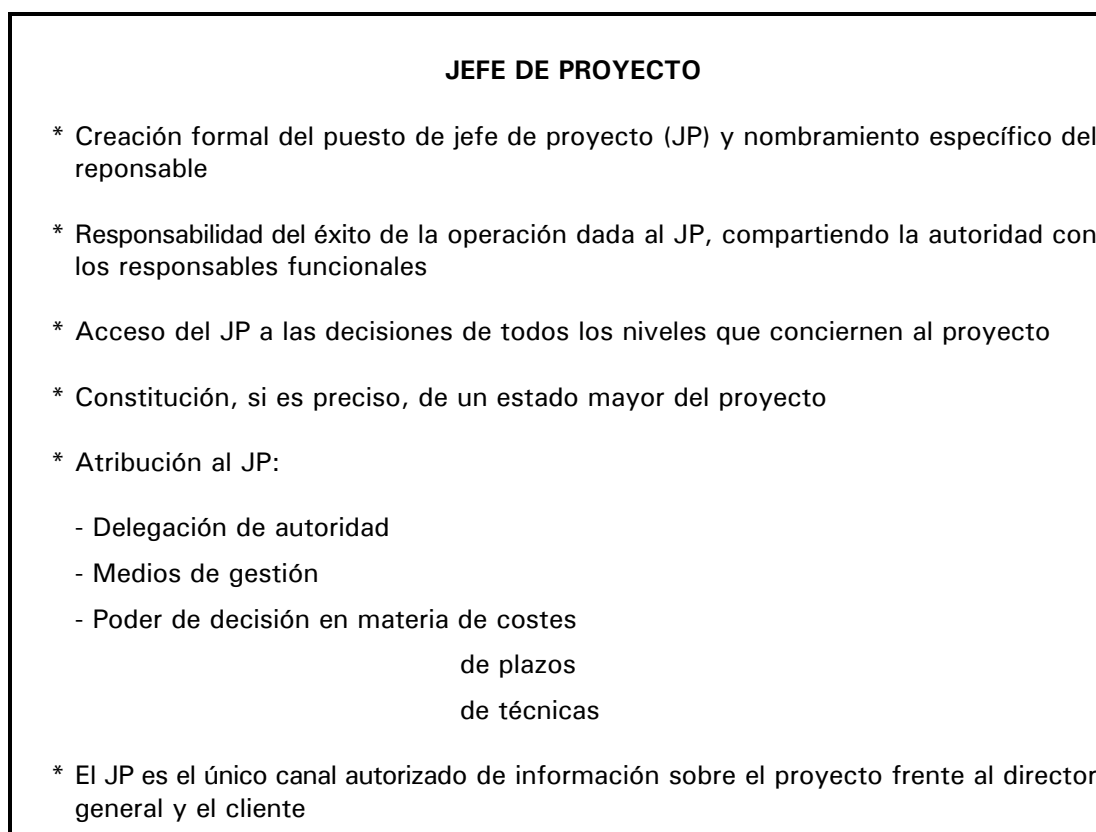


Fig. 7.1.3.3 Para compaginar la estructura organizativa existente y la realización del proyecto se establece una estructura específica

7.1.3.3 Funciones y cualidades del jefe de proyecto

Normalmente el jefe de proyecto se ve responsabilizado de llevar a término unas funciones y unas actividades para las cuales no dispone directamente de medios propios para hacerlas (su estado mayor suele ser muy reducido) ni autoridad jerárquica bien establecida para obtenerlos de los departamentos de la línea. Por ello sus cualidades de prestigio personal, poder de persuasión y negociación, organización y liderazgo son fundamentales.

Las funciones del JP son:

- Planificación del proyecto
- Dirección del proyecto
- Conexión con clientes y suministradores
- Control del programa
- Modificación del programa
- Información sobre el proyecto

JEFE DE PROYECTO	JEFE FUNCIONAL
1. ¿QUÉ debe hacerse en el proyecto para alcanzar los objetivos?	1. ¿CÓMO se integrarán las funciones en el proyecto?
2. ¿CON QUÉ calidad se ha desarrollado el trabajo en el proyecto?	2. ¿QUIÉN será responsable de la asignación de profesionales en el proyecto?
3. ¿CUÁNDO debe hacerse el trabajo?	3. ¿DÓNDE debe hacerse el trabajo?
4. ¿POR QUÉ debe hacerse el trabajo?	4. ¿CUÁNTOS fondos están disponibles para el trabajo asignado?
5. ¿CUÁNTOS fondos están disponibles para el proyecto?	5. ¿CON QUÉ calidad se ha realizado el trabajo funcional?

Fig. 7.1.3.4 Posición complementaria del jefe de proyecto y el jefe funcional en la organización matricial

Las cualidades necesarias para un buen jefe de proyecto son:

- a) *Dominio gestional*: El jefe de proyecto debe ser experto en las habilidades, técnicas y metodologías de su profesión, tales como contabilidad, redes PERT, previsiones, conducción de grupos, planificación, negociación de contratos, etc.
- b) *Dominio técnico*: El jefe de proyecto debe dominar como mínimo el vocabulario y los elementos básicos principales del proyecto y de las tecnologías implicadas. Cuando se inicia un nuevo proyecto un buen jefe de proyecto estudia el entorno en el que debe implantarse el sistema y su funcionamiento regular.
- c) *Orientación hacia la calidad y satisfacción del cliente*: No sólo hay que dar al cliente lo que necesita, sino hacer que sea consciente de que lo recibe. Para que la satisfacción perdure el sistema debe tener buena calidad.
- d) *Habilidad para determinar el propósito y la misión de un proyecto*: Para obtener un resultado satisfactorio en un proyecto es preciso construir el sistema que resuelve el problema existente. En ocasiones la formulación de dicho problema, o del sistema deseado, no corresponde a la necesidad real. Un buen jefe de proyecto es capaz de establecer la definición correcta del mismo, y de hacer que esta definición sea reconocida por todos como tal.

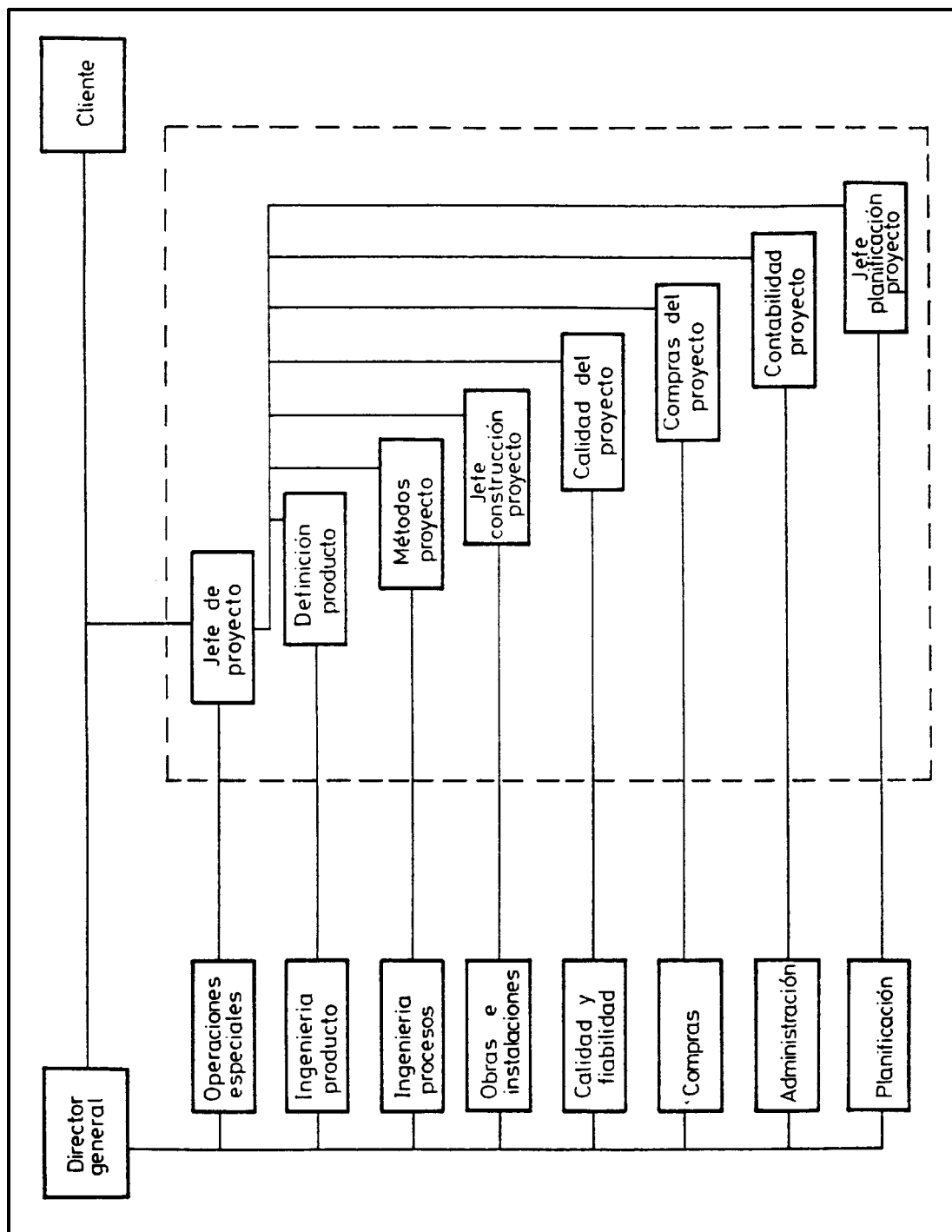


Fig. 7.1.3.5 Estructura matricial para la conducción de un proyecto. Se ha puesto de manifiesto la doble dependencia de los empleados

- e) *Habilidad en mantener una visión general mientras se concentra en los detalles:* Es una habilidad fundamental, ya que permite establecer planes, programas y prioridades, y realizar eficazmente la toma de decisiones y la resolución de problemas. El proyecto sólo tiene razón de ser en conjunto, y los aspectos particulares deben estar subordinados al conjunto, pero la consciencia de este hecho a lo largo de toda la duración del proyecto es difícil.
- f) *Habilidad de ver las partes en términos del todo:* El jefe de proyecto debe ser capaz de ver las relaciones e interdependencias entre las diferentes partes de un proyecto. Debe poder comprender cómo afectarán los cambios en un aspecto del proyecto a los demás aspectos.
- g) *Habilidad en la utilización eficaz de los recursos:* Los recursos siempre son limitados, cuando no escasos. Por tanto hay que obtener lo más posible de ellos.
- h) *Habilidad para crear un equipo fuerte y unido:* Determinar las funciones adecuadas, seleccionar el personal idóneo, darles recursos, motivarlos para que trabajen lo mejor posible, y conservarlos haciendo que su labor les resulte gratificante e interesante son cualidades de un buen jefe de proyecto.
- i) *Habilidad en la comunicación y la relación interpersonal:* El jefe de proyecto debe ser un buen negociador. Necesita habilidad para tratar no sólo al cliente y al director general, sino a los miembros del equipo del proyecto (cosa no necesariamente simple, dada la tensión que existe en todo proyecto), a los jefes funcionales, subcontratistas, suministradores, etc.
- j) *Orientación hacia la acción:* Algunos jefes de proyecto dilatan el proceso de toma de decisiones, mediante discusiones y estudios, lo que crea ineficiencia y deteriora la moral del grupo.
- k) *Habilidad en delegar responsabilidad y autoridad:* Un buen jefe de proyecto sabe cómo dirigir su atención a un número relativamente reducido de indicadores de rendimiento; con ellos puede dirigir el proyecto, detectar problemas potenciales a tiempo, seleccionar los miembros del equipo más adecuados y darles la autoridad y los recursos para que adopten las medidas correctoras.
- l) *Habilidad en mantener al equipo del proyecto concentrado en la misión del mismo:* Muchas veces una parte considerable del tiempo del equipo se pierde resolviendo aspectos que no son relevantes para el proyecto. Causas habituales para esta pérdida de tiempo son:
- Formación inadecuada y falta de comprensión respecto al proyecto y a su función en el proyecto.
 - Utilización inadecuada del personal, generalmente por promocionar personal técnico

muy competente a puestos de gestión simplemente debido a que representa un escalón en su carrera.

- Falta de compromiso y de deseo de realizar la tarea. Puede ser debido a baja moral o a miedo frente a las incógnitas existentes en el proyecto.

Un buen jefe de proyecto se asegura de que cada miembro del equipo recibe la formación adecuada y comprende la misión del proyecto y sus responsabilidades y deberes en él; elige las personas para los puestos en base de la calificación, habilidad y voluntad; se preocupa de la motivación constante del personal.

- m) *Habilidad de captar lo complejo y transformarlo en simple*: La habilidad de captar la esencia de los problemas y aspectos complejos, poder describirlos sencillamente y transmitirlos a los miembros del equipo del proyecto.
- n) *Unicidad de propósito*: Los buenos jefes de proyecto raramente se pierden en los detalles. Tienen siempre una visión clara de a dónde van y cómo van. Transmiten esta convicción a todos los miembros del equipo del proyecto.
- o) *Estabilidad, flexibilidad y adaptabilidad*: Estabilidad para mantener la perspectiva y dirección durante el cambio rápido; flexibilidad para satisfacer demandas en conflicto y adaptabilidad a las nuevas tecnologías, fuerzas sociales, circunstancias económicas.
- p) *Honesto, fiable, responsable, trabajador*: Un buen jefe de proyecto posee estas cualidades.
- q) *Buena salud*: La presión extrema y la carga de trabajo que corresponden a un jefe de proyecto aconsejan que físicamente esté dotado para soportarlos.

7.1.3.4 Influencia de la estructura gestional del proyecto en la obtención del éxito

En un reciente artículo (LAESON, E. W & GOBELI, D. H.- *Significance of Project Management Structure on Development Success, IEEE Transactions on Engineering Management*. Vol. 36, No. 2, May 1989) se describen los resultados de una encuesta destinada a analizar el impacto en el éxito de los proyectos de la estructura dada a la gestión del mismo. Para ello consideran varios aspectos de lo que puede denominarse *éxito*:

- Cumplimiento del calendario
- Cumplimiento del presupuesto
- Obtención del resultado técnico
- Global

y cinco tipos de estructura:

Estructura funcional: consistente en no dotar al proyecto de ninguna estructura especial, dejando a las líneas funcionales la realización a su criterio de las actividades ligadas con el proyecto ("que cada uno cumpla con su deber").

Estructura equipo de proyecto: consistente en designar un grupo de trabajo encargado de desarrollar el proyecto *dotándole de todos los recursos necesarios*, y por tanto sin necesidad de recurrir a la línea funcional.

Estructura matricial: consistente en crear un núcleo de equipo responsable del proyecto pero sin todos los recursos y por tanto con la necesidad de recabarlos de la línea funcional cuando los precisa; según el grado de independencia de dicho equipo los autores distinguen la *matriz funcional*, la *matriz equilibrada* y la *matriz proyecto*; estas tres estructuras se sitúan y por este orden entre las dos anteriores, que son casos límite.

Para tener en cuenta que otros aspectos pueden tener, además de la estructura, impacto en el éxito los autores definen 5 *factores contextuales*:

- Complejidad del proyecto
- Novedad
- Prioridad
- Adecuación de recursos
- Definición de objetivos

Se obtuvieron 547 respuestas (el 64% de la población encuestada) de personas que habían estado involucradas recientemente en proyectos en Estados Unidos y el Canadá, el 30% de los encuestados eran jefes de proyecto o directores de grupos de proyectos en su empresa. Las conclusiones obtenidas, cuya significación fue analizada estadísticamente fueron:

- de los factores contextuales el único con impacto significativo en el éxito del proyecto era claridad en la definición de objetivos,
- la estructura funcional era claramente inferior a las demás respecto a todos los criterios de éxito, y en menor escala también la matriz funcional,
- los otros tres tipos de estructura habían proporcionado resultados equivalentes, siendo la matriz equilibrada superior en cuanto al control de costes (obtención de un coste real más parecido al presupuestado) y la matriz proyecto y el equipo de proyecto superiores en cuanto al control del plazo,
- en conjunto la matriz proyecto parecía ser la mejor organización, salvo cuando el factor determinante era el plazo en cuyo caso podían obtenerse mejores resultados con el equipo de proyecto.

7.1.4 Programación y control de proyectos mediante grafos

7.1.4.1 Introducción e historia

En los apartados que siguen vamos a describir los fundamentos de los procedimientos de planificación, programación y control de proyectos basados en su representación mediante grafos.

La herramienta gráfica tradicionalmente utilizada en la programación de proyectos es el diagrama de Gantt, todavía hoy elemento indispensable para la transmisión de información en dicho campo. Sin embargo una de las deficiencias básicas de dicho diagrama estriba en que en aquellos proyectos de larga duración y sometidos a incidencias y modificaciones el diagrama de Gantt, construido en cierto momento, deja rápidamente de ajustarse a la realidad hasta tal punto que pierde su utilidad. Se precisa la confección de un nuevo diagrama actualizado, y su construcción exige casi tanto trabajo como costó el diagrama inicial.

Un intento de aprovechar una parte importante de los esfuerzos ya realizados en las sucesivas actualizaciones consiste en considerar una estructura del proyecto con mayor persistencia a lo largo de su desarrollo que las duraciones o las fechas de realización. Esta estructura del proyecto puede modelizarse mediante la utilización de diagramas orientados o grafos. Si además se confía la manipulación de los datos a un sistema informático, con facilidades de consulta, recuperación y actualización o modificación, es posible disponer de la representación actualizada del proyecto con un mínimo de esfuerzo a lo largo de toda la vida del mismo, y realizar la programación y reprogramaciones necesarias, obteniendo los documentos o gráficos necesarios para la comunicación entre todos los estamentos afectados a partir de listados de ordenador, o incluso utilizar como tales documentos y gráficos directamente obtenidos en la impresora conectada al ordenador.

La utilización de grafos en la representación de proyectos, y su almacenamiento y manipulación mediante soportes informáticos fue iniciada en 1957 por J.E. Kelly (de la Univac Division de Remington Rand) y M.R. Walter, que crearon para la Dupont De Nemours el C.P.P.S. (*Critical Path Planning and Scheduling*) denominado posteriormente CPM (*Critical Path Method*). Utilizado para la programación y control de una factoría química en Louisville, Kentucky y de un coste de 10 millones de dólares, no mostró ventaja respecto a los procedimientos tradicionales en la programación inicial, pero sí en su aptitud para integrar las diferentes modificaciones e incidencias.

Paralelamente en 1958 la Naval Special Projects Office, junto con personal de Lockheed Missile Systems Division y de la firma de asesores Booz-Allen & Hamilton, intentando paliar en lo posible la tendencia de los proyectos estatales a durar y costar mucho más de lo previsto inicialmente, pusieron a punto una metodología denominada PERT (*Program*

evaluation research task o *Program evaluation and review technique*) que se utilizó en el control del Proyecto Polaris en el que intervenían 11.000 proveedores y agencias. Se atribuye al uso del PERT la reducción en cerca de dos años de la duración del proyecto. Aunque la visión sobre los proyectos no era la misma en ambos casos relatados, los dos procedimientos poseen algunos aspectos formales similares en cuanto a la utilización de los grafos en la representación de los proyectos; al parecer el equipo que diseñó el PERT tuvo acceso a los documentos iniciales relativos al CPM. Mientras CPM realizó prolongaciones hacia la consideración de flujos en grafos (ver más abajo la referencia al MCX), el PERT se caracterizó por sus consideraciones probabilísticas.

En las mismas fechas un equipo de trabajo constituido por técnicos de los Chantiers de l'Atlantique, la Société d'Economie et Mathématiques Appliquées y la Compagnie des Machines Bull estudió un problema de equilibrado de curvas de carga de las diferentes especialidades que intervienen en las operaciones de armamento de un buque, para su obtención automática en un ordenador. Dichos trabajos dieron origen posteriormente al método de los potenciales o de ROY.

En España estos métodos llegaron hacia 1962 y causaron un gran impacto gracias a su sencillez conceptual, impacto que gradualmente fue reduciéndose al comprobarse que su implementación exigía esfuerzos, recursos y disciplina, cosas que no siempre se estaba dispuesto a aportar. Este mismo comportamiento pudo observarse internacionalmente, tras el entusiasmo inicial, bastante promovido por los miles de millones de dólares que el gobierno de los Estados Unidos, su impulsor, prodigaba a través de los contratos del departamento de defensa. Se multiplicaron los cursos, seminarios, congresos, artículos, libros, manuales, etc. pero a continuación surgió la desilusión, la "panacea" no curaba todos los males (especialmente los que eran internos, organizativos y estructurales de las empresas). Muchos abandonaron el procedimiento, si es que alguna vez lo habían adoptado más que periféricamente, pero otros siguieron utilizando procedimientos de la familia, tal vez sin los alardes de los primeros tiempos, especialmente en la industria de la construcción. Durante este tiempo se introdujeron muchas variantes (que en ocasiones sólo tenían de nuevo el soporte informático) generalmente con nombres tan sonoros como efímeros. Entre ellos PEP (la versión del ejército del aire de los Estados Unidos), LESS (la versión IBM), IMPACT, NASA PERT, PLANET, SKED, SPERT, PERT II, III y IV, etc. En la *figura 7.1.4.7* se ha representado una genealogía de los diferentes procedimientos.

La primera variante del PERT que intentó hacer frente a las críticas relativas a que éste sólo tenía en cuenta el tiempo fue el PERT/COST. El PERT/COST pretendía asociar el coste a las actividades lo que conducía a tener una estructura del mismo adaptada a la estructura del proyecto (definida por el organigrama tecnológico), con lo que podían determinarse las causas de las desviaciones de coste más eficazmente. Sin embargo las empresas siguieron utilizando los procedimientos contables tradicionales, con lo que la doble contabilidad creaba más problemas de los que resolvía, y en consecuencia el PERT/COST fue abandonado. Hoy en día sólo se cita como referencia histórica.

En algunas ocasiones se confunde el PERT/COST con otro procedimiento que considera los costes: el MCX (*Minimum Cost Expediting*). Este procedimiento, que pertenece a la línea de desarrollo del CPM, supone la existencia de una relación estrecha y conocida entre el coste directo de una actividad y su duración. Ello permite determinar diferentes duraciones posibles del proyecto, cada una asociada a un coste total mínimo para lograrla, debiendo el responsable del proyecto decidir cuál de las soluciones halladas satisface de la mejor manera posible sus objetivos.

Los intentos más ambiciosos de introducir el tratamiento de la incertidumbre en los esquemas PERT son el GERT (*Graphical Evaluation and Review Technique*) y el VERT (*Venture Evaluation and Review Technique*), que pretenden analizar proyectos en los que la incertidumbre se refiere no sólo a las duraciones de las actividades sino también a la misma forma del grafo. A estos procedimientos debemos relacionar también DCPM (*Decision CPM*) con cierto parentesco con las redes y árboles de decisión.

En la línea del CPM, aunque a causa del contraste con el método ROY, encontramos el PDM (*Precedence Diagramming Method*) que sitúa las actividades en los vértices (*activity-on-node*) y añade a las tradicionales relaciones "fin-con-principio" otras tres "principio-con-principio", "fin-con-fin" y "principio-con-fin", que pueden compararse con las ligaduras negativas ya establecidas en el método ROY. El PDM es mucho más delicado de utilización que cualquiera de los métodos originales.

Desde 1960, inicio de la utilización extendida de los procedimientos, se intentó introducir la consideración de las limitaciones de recursos además de las precedencias entre actividades. Se intentaron métodos analíticos y otros heurísticos, con predominio de estos últimos. Algunos de los procedimientos más difundidos fueron ROC 8000, ROC 8001, PUFFS, ASTRA, ALTAI y RAMPS.

Uno de los desarrollos más recientes es el CPM/MRP (1980), que intenta combinar las posibilidades de CPM con la estructura de componentes y sus necesidades propias del MRP (*Material Requirements Planning*).

Hemos leído en una obra reciente que en la época de desencanto sobre el método PERT y análogos, cuando los industriales de la construcción ingleses habían llegado a la conclusión de que no tenían ninguna utilidad, se produjo el famoso atraco al tren de Glasgow donde una nutrida banda de delincuentes pararon un tren y en un tiempo récord trasladaron los billetes usados de curso legal que éste transportaba para su destrucción a camiones y desaparecieron. Cuando la policía localizó la guarida donde habían preparado el atraco los delincuentes descubrió numerosos grafos mediante los cuales los organizadores habían establecido el cuidadoso programa que les había conducido al éxito en su propósito. El "cerebro" del atraco sí creía en dichos métodos.

Actualmente asistimos a un renacimiento del interés en los procedimientos formalizados de planificación de proyectos posiblemente alimentado por dos factores, la crisis industrial

que exige la máxima eficiencia en todas las actividades y por tanto en el desarrollo de los proyectos, y la disponibilidad de ordenadores personales que permiten una actuación interactiva del planificador con el procedimiento formalizado.

7.1.4.2 Características de los métodos de programación y control de proyectos

Utilizaremos ampliamente en lo que sigue una formalización establecida originalmente por B. ROY.

Característica 1: *El objetivo es el estudio y/o el control de la realización de un "proyecto"*

Los métodos que vamos a analizar en lo que sigue tienen por objeto establecer el programa de realización de un "proyecto" y ayudar a su seguimiento y actualización. En general consideramos que un "proyecto", como ya se ha indicado en el **capítulo 1**, es una actividad singular (lo cual no significa forzosamente "anormal") en contraposición a las actividades regulares que gozan relativamente de cierta continuidad. Atribuimos a la palabra proyecto un significado muy amplio, aunque para que sea objeto de las preocupaciones que vamos a desarrollar debe poseer un cierto grado de complejidad. Según las circunstancias se tratará de:

- La construcción de un gran conjunto (avión, navío, nave espacial, autopista, central nuclear, etc.)
- Una intervención temporal (revisión y entretenimiento preventivo de un navío o maquinaria, modificación de una instalación, etc.)
- La realización de un trabajo concreto con condicionantes temporales (estudio de organización, aplicación informática, diseño y lanzamiento productivo y comercial de un nuevo producto, etc.)

y más excepcionalmente, bien por escaparse de la singularidad, bien por poseer una estructura que exige procedimientos específicos de tratamiento:

- Un empleo de tiempo (distribución de locales, profesores y alumnos en una facultad, distribución de aviones y tripulaciones entre diversas rutas, organización de los trabajos administrativos en un banco, etc.).
- La ejecución de un bloque de actividades (realización simultánea de las actividades de reparación y puesta a punto de maquinaria de una empresa dedicada a la importación y venta de equipo pesado, ejecución de la cartera de pedidos en una empresa siderúrgica, etc.).

Nuestro enfoque se centrará en los aspectos de planificación del proyecto, y no en los aspectos tecnológicos, que supondremos resueltos, o bien tratados aparte.

Característica 2: *La realización del proyecto puede descomponerse en la ejecución de un conjunto de actividades o tareas*

El proyecto (o su realización) se descompone en la ejecución de un conjunto de actividades, también llamadas tareas. Las actividades juegan el papel de operaciones elementales, y son las entidades que se programarán y controlarán. Por tanto el grado de finura en la descomposición del proyecto en actividades lo marcarán los objetivos de la planificación y control. Dicha descomposición exige, en general, el uso de conocimientos de la (o las) tecnología(s) propia(s) del proyecto, así como de las técnicas de modelización y planificación, lo que implica una interacción activa entre el programador y los responsables técnicos.

El número de actividades puede oscilar, según los casos, entre algunas decenas y varios millares. Naturalmente, en cada caso los medios precisos para manipularlos deberán ser distintos. El número de tareas dependerá de la duración del proyecto, de su complejidad y del grado de control deseado.

Las actividades están asociadas a un conjunto de características que podemos agrupar en tres categorías:

- Características de identificación:

- Código
- Designación
- Tipo
- Ejecutor
- Etc.

- Características temporales:

- Duración o plazo de realización.
- Fechas previstas de inicio y fin (una vez planificadas, si se actualiza la planificación estas fechas deberán asociarse a la de la última actualización).
- Fechas reales de inicio y fin (una vez realizadas).
- Etc.

- Características de requerimientos de recursos para su ejecución; los recursos son los distintos medios materiales necesarios para la ejecución de la actividad susceptibles de ser medidos en unidades físicas, y por tanto de estar sometidos a limitaciones y a un coste:
 - Las características de este tipo pueden poseer carácter cualitativo (modalidad o forma de ejecutar la actividad) y cuantitativo (nivel o cantidad del recurso requerido). Normalmente existe una relación entre estas características y las temporales (la duración suele ser función del nivel de recursos utilizados).

Existen relaciones entre unas actividades y otras, lo que podríamos considerar como una característica o propiedad más de las actividades, pero que, dada su trascendencia para la planificación y el control, trataremos más adecuadamente en forma monográfica en lo que sigue.

Característica 3: *La ejecución de las tareas está sometida a un conjunto de limitaciones o "ligaduras" que condicionan los valores correspondientes de sus características*

La ejecución de las actividades no puede realizarse, en general, en un orden y de una forma cualquiera, sino que debe satisfacer a un conjunto de restricciones o condicionantes, que denominaremos "ligaduras" que formalizan las exigencias impuestas por:

- La tecnología (una actividad no puede comenzar hasta que otras hayan terminado o llegado a cierto grado de realización).
- La mano de obra (la plantilla de cierta especialidad es limitada, por lo que no pueden realizarse simultáneamente muchas actividades que precisen de dicha especialidad).
- El equipo (una máquina no puede, en general, realizar dos actividades distintas que la precisen).
- Los aprovisionamientos (hasta la recepción de los materiales no pueden realizarse actividades que los precisen).
- Las ventas o aspectos comerciales o contractuales (ciertas actividades deben haberse realizado antes de una fecha determinada para cumplir los plazos, no incurrir en penalizaciones, o poder atender cierto tipo de solicitud).
- La climatología (ciertos trabajos exteriores no pueden realizarse en determinadas épocas de calor o frío).
- Etc.

7.1.4.3 Clasificación

Los condicionantes o ligaduras a que hemos aludido en el apartado anterior son de naturaleza diversa, lo que nos puede llevar a clasificarlas y como consecuencia a clasificar las situaciones que deseamos programar y controlar y los métodos adecuados a cada una de ellas. Distinguiremos tres tipos de ligaduras: las potenciales, las acumulativas y las disyuntivas.

7.1.4.3.1 Ligaduras potenciales

Las ligaduras potenciales son aquéllas que delimitan la posición en el tiempo de las actividades, bien en forma absoluta (respecto al calendario), bien en forma relativa, respecto a otras actividades. Responderían a sentencias del tipo siguiente:

S_1 "No podemos empezar a fabricar hasta el 15 de mayo"

S_2 "El prototipo debe estar listo antes del 1 de marzo"

S_3 "Las pruebas podrán empezar cuando esté listo el prototipo"

S_4 "El condicionado final debe realizarse antes de que pasen dos horas de la salida del tratamiento térmico"

Generalmente marcan (directa o indirectamente) cotas mínimas (o más tempranas) a la fecha en que puede empezar la actividad, p.ej. la actividad i no puede comenzar hasta que haya terminado (o haya llegado al $x\%$ de realización) la actividad h (S_3), o bien la actividad i no puede comenzar antes del 15 de mayo (S_1).

Las llamaremos respectivamente:

- ligaduras de sucesión mínima (S_3)
- ligaduras de localización temporal mínima (S_1)

Puesto que estas últimas ligaduras en general siempre pueden reducirse a las anteriores, si se conoce una relación del proyecto con el calendario real, que en general existe, pues está definido cuando el mismo puede iniciarse, ambos tipos reciben normalmente el mismo tratamiento.

Resulta claro que un tratamiento lógico parecido es aplicable a las cotas máximas (normalmente referidas a la fecha de terminación de las actividades, pero que fácilmente, conocida la duración, pueden referirse a la fecha de comienzo), p.ej. la actividad i debe terminar antes del 1 de marzo (S_2), o bien entre la terminación de i y el comienzo de j debe transcurrir como máximo 2 horas (S_4). No obstante para poder utilizar este tipo de ligaduras explícitamente precisamos, lo que no es tan corriente, que el paquete informático utilizado

lo permita (tanto en el aspecto introducción de datos como en el de tratamiento posterior). Por ello es habitual considerarlas implícitamente o mediante retoques de la solución obtenida en el ordenador realizados "a posteriori". Los nombres que reciben estas ligaduras son:

- ligaduras de localización temporal máxima (S_2)
- ligaduras de sucesión máxima (S_4)

FORMALIZACIÓN DE LAS LIGADURAS POTENCIALES

t_i = fecha (instante) de comienzo de la actividad i

t_j = fecha (instante) de comienzo de la actividad j

LOCALIZACIÓN TEMPORAL MÍNIMA

$$t_j \geq f$$

LOCALIZACIÓN TEMPORAL MÁXIMA

$$t_i \leq F$$

SUCESIÓN MÍNIMA

$$t_j \geq t_i + a$$

SUCESIÓN MÁXIMA

$$t_j \leq t_i + b$$

f = fecha a partir de la cual puede comenzar i

F = fecha antes de la cual debe comenzar i

a = plazo mínimo que debe transcurrir entre el comienzo de i y el de j (suele ser la duración de i o una función de la misma)

b = plazo máximo que puede transcurrir entre el comienzo de i y el de j (suele ser

Fig. 7.1.4.2 Formalización de las ligaduras potenciales

7.1.4.3.2 Ligaduras acumulativas

Las ligaduras acumulativas son producidas por la limitación de los recursos disponibles (especialmente la mano de obra). Se formulan estableciendo que la suma de los recursos de cierto tipo consumidos por todas las actividades que se realizan simultáneamente no debe superar un cierto valor (constante o variable en el tiempo) que es la disponibilidad de dicho tipo de recursos.

FORMALIZACIÓN DE LAS LIGADURAS ACUMULATIVAS

$G_k(\theta)$ = cantidad disponible del recurso k en el instante θ .

$g_{i,k}(\theta)$ = cantidad consumida del recurso k por la actividad i en el instante θ (función del instante de comienzo de i y del perfil de consumo del recurso durante la realización).

$$\sum_i g_{i,k}(\theta) \leq G_k(\theta)$$

Fig. 7.1.4.3 Formalización de las ligaduras acumulativas

Sin embargo, concentrándonos en el recurso mano de obra, existe cierta flexibilidad en su limitación. Existen diversos procedimientos para salvar una punta en la curva de carga: horas extraordinarias, obreros eventuales, mayor número de turnos de trabajo, utilización de una especialidad distinta pero afín, subcontratación, etc. Todos estos matices son difícilmente abordables en una formalización analítica, pero tratables a través de pruebas sucesivas mediante procedimientos sencillos.

7.1.4.3.3 Ligaduras disyuntivas

Las ligaduras disyuntivas están asociadas generalmente al equipo e instalaciones, y traducen el hecho de que una máquina sólo puede estar dedicada una actividad; entre dos actividades existe una ligadura disyuntiva si no pueden realizarse simultáneamente. En el fondo parece que las ligaduras disyuntivas son un caso particular de las acumulativas, sin embargo las peculiaridades impuestas por el origen de cada una de ellas, y por tanto la mayor flexibilidad de las acumulativas frente a la rigidez de las disyuntivas, lleva a tratamientos diferenciados, lo que aconseja su distinción.

FORMALIZACIÓN DE LAS LIGADURAS DISYUNTIVAS

$$t_j \geq t_i + d_i \quad \text{"o bien"} \quad t_i \geq t_j + d_j$$

d_i = duración de la actividad i

d_j = duración de la actividad j

Fig. 7.1.4.4 Formalización de las ligaduras disyuntivas

La formalización de las ligaduras disyuntivas lleva a establecer una disyunción, es decir, un *o* exclusivo, (de aquí el nombre) entre dos ligaduras potenciales. Si el orden de realización de las actividades está establecido por consideraciones ajenas a la disyunción, entonces desaparece la ambigüedad, y aparece únicamente una de las ligaduras potenciales.

Las ligaduras disyuntivas suelen conducir a problemas de tipo combinatorio, en ocasiones muy duros de tratar específicamente.

7.1.4.3.4 Aspectos prácticos

En todos los proyectos existen condicionantes que podrían llevar a formular ligaduras de los tres tipos; sin embargo, dadas las dificultades que presenta el tratamiento de las ligaduras acumulativas y disyuntivas, si ello es posible se reduce la problemática a la consideración únicamente de las potenciales modelizando el proyecto sólo con ellas (y, tal como se ha dicho, reducidas a las de sucesión mínima).

- Para obviar las ligaduras acumulativas se realiza una asignación "a priori" de recursos a las actividades, de acuerdo con las costumbres y la intuición, con lo que queda definida su duración, se calcula a continuación el programa correspondiente y el consumo de recursos asociado a lo largo del tiempo, y se corrige la asignación si los resultados no son los deseados;
- Para obviar las ligaduras disyuntivas se elige un orden razonable de las actividades entre las que existe disyunción, con lo que se transforman en potenciales; si los resultados no parecen aceptables siempre se podrá ensayar lo que ocurriría si en algunas de ellas se adopta la solución inversa;

En algunos casos puede observarse que las "reglas" utilizadas en la ordenación de las actividades, presentadas como ligaduras tecnológicas o potenciales, no tienen otro objeto que soslayar una problemática incómoda.

7.1.4.4 Naturaleza de los programas

Un programa está compuesto de la información necesaria para la realización del proyecto, por tanto constará de dos partes interrelacionadas:

- Un calendario de realización de las actividades, fechas previstas de comienzo y fin de cada una.
- Una asignación de recursos y equipos a las actividades.

Ambas partes deben ser coherentes entre sí. Un programa que satisfaga las ligaduras será un programa factible o realizable. Sólo nos interesan aquellos programas que sean factibles, lo que en la práctica se traduce tanto en un análisis de los programas a la luz de las ligaduras, como en una reconsideración de las ligaduras que lleve a incluir en el modelo del proyecto todas las existentes, añadiendo las olvidadas (tal vez por evidentes) inicialmente, como a la eliminación de las redundantes o de aquéllas que obedezcan a consideraciones particulares sin una razón sólida anclada en la realidad que las imponga. Así, tras la comprobación de la compatibilidad de las ligaduras (basta para ello que exista algún programa factible) aparecen aquéllas que condicionan estrechamente la realización del proyecto, las que poseen un alto grado de "criticidad".

Salvo casos muy especiales existirán muchos programas factibles, aunque no tendrán todos ellos el mismo aprecio por parte de los responsables del proyecto. Un criterio de eficiencia permitirá clasificar los programas posibles de acuerdo a su "bondad"; algunos criterios habituales son:

- Duración total del proyecto, o de alguna de sus fases.
- Coste total del proyecto, o alguno de los componentes del coste.
- Homogeneidad en la utilización de los recursos.
- Seguridad de realización.
- Etc.

Normalmente nos interesa el "mejor" programa, el programa óptimo, pero en algunas circunstancias no dispondremos de ningún procedimiento práctico que permita hallarlo (en tiempo o con coste razonables) por lo que deberemos contentarnos con un procedimiento heurístico que nos conduzca a un programa "satisfactorio". La dificultad en determinar un programa óptimo procede, además de los aspectos ligados al cálculo, del hecho de que el objetivo perseguido raramente se podrá formalizar en base a un único criterio. En la mente

de los responsables existen directrices que les permiten juzgar qué es "mejor" y qué es "peor" según diversas líneas, pero establecer ponderaciones cuantitativas entre diversos criterios no suele ser fácil, y la no agrupación de todos los criterios en uno solo impide establecer en forma objetiva cuál es el programa que aventaja a todos los demás.

7.1.4.5 Tratamiento de los problemas de programación

Los problemas potenciales (es decir, relativos a los proyectos en los que sólo se consideran las ligaduras potenciales, y por tanto los únicos criterios adecuados están ligados a la duración del proyecto) disponen de una amplia batería de procedimientos para su tratamiento, métodos PERT, CPM, ROY, etc. con sus aspectos de cálculo y manipulación de la información ampliamente resueltos en ordenador (de diferentes tamaños), con lo que se puede obtener el programa óptimo.

Si añadimos al problema el tratamiento de la limitación de los recursos con ligaduras acumulativas, pero excluimos la asignación de recursos a las actividades de las variables, efectuándola "a priori" y por tanto disponiendo de unas duraciones de éstas definidas, si el objetivo buscado es minimizar la duración total del proyecto, además de los procedimientos anteriores debemos recurrir a algún tipo de procedimiento heurístico, de los cuales la familia *Manpower-scheduling* es la más difundida. Si el objetivo buscado es el de la utilización homogénea de los recursos, a pesar del carácter menos concreto del mismo podemos utilizar asimismo algunos procedimientos heurísticos, como el de Burgess-Killebrew.

Si las limitaciones de recursos conducen a ligaduras disyuntivas poco importantes en número se podrán emplear procedimientos de enumeración, heurísticos o variantes de los procedimientos *branch-and-bound*, superpuestos a los procedimientos de tratamiento de ligaduras potenciales. Si las ligaduras disyuntivas son tan importantes que caracterizan el problema, éste adquirirá un carácter plenamente combinatorio y sale de nuestro ámbito al exigir tratamientos de tipo específico.

Si la asignación de recursos a las actividades es una de las incógnitas del problema, que deseamos o debemos tratar explícitamente, la situación es mucho menos definida, ya que los procedimientos heurísticos, los únicos posibles, dependen grandemente de la estructura del problema considerado.

7.1.4.5.1 Seguimiento y control

En un proyecto cuya duración sea apreciable (de nueve meses a varios años) y más si es relativamente inédito (nuevo procedimiento, investigación, pocos ejemplares, equipo humano no experimentado en casos análogos, etc.) es ilusorio pensar:

- a) Que de inicio se disponga de un conocimiento tan profundo sobre todas las actividades a realizar que pueda obtenerse un calendario de realización de cada una de ellas con todo detalle.
- b) Que no se van a producir incidencias a lo largo del tiempo que produzcan separación entre la realidad y el programa inicialmente establecido.

Por dicha causa el proceso de programación no queda terminado una vez se ha establecido el programa inicial y eventualmente se ha publicado, sino que tiene una permanencia a lo largo de toda la realización del proyecto en la que se van incorporando, en las sucesivas actualizaciones, los acontecimientos producidos, las nuevas estimaciones sobre los acontecimientos futuros (más fiables por ser más próximas) y las modificaciones debidas a las decisiones que se van adoptando para impedir repercusiones indeseables de dichas incidencias.

Como en toda actividad planificadora, es más importante el proceso de programación y actualización en sí, con su detección de problemas futuros y toma de decisiones para evitarlos, que el pretendido resultado del proceso, el programa, que al ser una entidad viva, nunca es cómodamente reflejable en un documento satisfactorio.

7.1.5 Problemas potenciales

7.1.5.1 Ejemplo introductorio

Se llama problemas potenciales a aquellos problemas de planificación de proyectos en los que las ligaduras son únicamente potenciales, es decir, o bien que con ellas se obtiene ya una representación suficiente de los condicionantes del problema, o bien que los condicionantes de otro tipo se tratan independientemente "a priori" o incluso "a posteriori". Iniciaremos la exposición con un ejemplo muy simplificado relativo a los trabajos preliminares de la construcción de una nave industrial. La *figura 7.1.5.1* presenta los datos iniciales del problema (tomado del texto de O'BRIEN, J.J).

En la columna nº 1 se indica un código que designa a cada una de las actividades en que se ha descompuesto el proyecto, que en este caso son 17. Sólo precisamos una posición para distinguir entre actividades, por lo que hemos recurrido a las letras del alfabeto. En casos más complejos podremos precisar de más posiciones, y si nuestros medios informáticos lo permiten, adoptaremos combinaciones de letras y números que posean un carácter ligeramente mnemotécnico. Todos los códigos deben ser diferentes. Más adelante volveremos a hablar de ello.

En la columna nº 2 aparece la descripción de la actividad, que permite comprender de qué

se trata, aunque para todos los fines útiles utilizaremos el código que es más compacto (y en algunos casos menos ambiguo, si hay varias actividades cuya descripción sea muy parecida o idéntica).

PROYECTO: PREPARACIÓN DE OBRA					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
a	Despejar el emplazamiento	3	-	1	0
b	Medición y replanteo	2	a	2	3
c	Movimiento de tierras: explanación	2	b	4	0
d	Preparación de la acometida eléctrica exterior	6	c	2	4
e	Excav. para la colocación de cond. eléctricas	1	c	1	1
f	Excavación de desagües	10	c	2	4
g	Cimientos del depósito de agua	4	c	1	3
h	Perforación del pozo	15	c	1	2
i	Instalación de conducciones eléctricas	5	e	2	4
j	Instalación de tuberías de desagües	5	f	1	7
k	Construcción del depósito de agua	10	g	3	7
l	Instalación de la bomba	2	h	1	1
m	Instalación de la estación transformadora	3	i,j	2	8
n	Instalación de tuberías y válvulas del depósito	10	k	2	4
p	Instalación de conducciones subterráneas	8	l	1	7
q	Conexión a la red general	5	d,m	1	4
r	Conexión de tuberías	2	n,p	2	2
(1) CÓDIGO ; (2) DESCRIPCIÓN ; (3) DURACIÓN (días) ; (4) ACTIVIDADES PRECEDENTES INMEDIATAS (5) NECESIDAD DE PERSONAL CALIFICADO ; (6) ID. NO CALIFICADO					

Fig. 7.1.5.1 Listado de actividades, precedencias y recursos del proyecto: PREPARACIÓN DE OBRA

En la columna nº 3 aparece la duración de cada actividad en días laborables. Por consiguiente, la forma de realizar la actividad está implícitamente definida por el responsable que nos ha comunicado su duración.

La columna nº 4 indica las actividades que preceden a una actividad dada. Sólo se han recogido las precedencias inmediatas. Puesto que c precede a g , y a su vez b precede a c , también b es una actividad precedente de g , pero este hecho es una consecuencia y no es preciso reflejarlo en la columna 4. Si lo hiciéramos así, sería una información redundante y, dado que en la mayoría de los casos los paquetes informáticos no efectuarán una comprobación previa (para eliminar las redundancias) arrastraríamos en el proceso una información inútil que tendería a hacerlo más largo y costoso. Se entiende que las precedencias corresponden a una ligadura de sucesión mínima, en la que el plazo es la duración de la actividad anterior. De acuerdo a ello, las ligaduras corresponden a que " c no puede empezar antes de que termine b , y g no puede empezar antes de que termine c ".

Las columnas 5 y 6 indican los recursos necesarios para ejecutar cada actividad; la primera corresponde a personal calificado y la segunda a personal no calificado.

En un problema potencial el objetivo es la obtención del calendario de realización de las actividades que conduce a la terminación del proyecto lo antes posible, y para ello se determinan dos cotas de las fechas en que pueden empezar y terminar cada una de las actividades; dichas cotas se denominan fecha mínima (o más temprana) y fecha máxima (o más tardía).

- Fecha mínima de comienzo de una actividad es la primera fecha en que se pueden cumplir todos los condicionantes que limitan el comienzo de la actividad. Por tanto la actividad no puede, en ninguna circunstancia, empezar antes (si las duraciones indicadas son correctas).
- Fecha máxima de comienzo de una actividad es la fecha límite para que la actividad cumpla los condicionantes de las actividades que la siguen sin retrasar la duración mínima del proyecto.

Estas fechas suelen medirse en tiempo relativo, asignando arbitrariamente al comienzo del proyecto la fecha cero. Sería posible medirlas en tiempo absoluto asignando una fecha concreta del calendario al inicio del proyecto. Dado que el juego de los días laborables y días de calendario es de manejo simple pero delicado, es más prudente determinar las fechas, como se ha dicho, en tiempo relativo y disponer de una correspondencia entre las fechas relativas y absolutas, habida cuenta de los días festivos (sábados, domingos, festivos especiales, etc.). Generalmente esta correspondencia la efectúa automáticamente el sistema informático.

En las actividades en las que la fecha mínima y máxima no coinciden existe un cierto margen para su realización, cuando ambas fechas coinciden el margen es nulo y la actividad es crítica. Un retraso, una pérdida de tiempo en una actividad crítica representa un retraso en el proyecto; en una actividad no crítica, mientras se mantenga dicho retraso dentro de los límites del margen, no.

Se llama camino crítico el formado por actividades críticas. Dadas nuestras definiciones todo proyecto tiene un camino crítico por lo menos, que define su duración mínima, pero puede tener varios.

La determinación y seguimiento de las actividades críticas y subcríticas permitirá el control del proyecto (se entiende por actividad subcrítica la que tiene margen reducido).

7.1.5.2 Representación gráfica

Con los datos de la *figura 7.1.5.1* podemos realizar los cálculos oportunos para la determinación de la duración del proyecto y las fechas mínimas y máximas de comienzo de cada actividad; sin embargo es útil recurrir inicialmente para ello a representaciones gráficas que nos ayudarán a visualizar la realización del proyecto y la problemática inherente a su programación. En las figuras adjuntas se han incluido diferentes representaciones gráficas del proyecto anterior, en las que se ha tenido en cuenta la estructura del mismo, reflejada en las precedencias entre actividades, y en algunas de ellas utilizaremos el útil concepto de grafo.

7.1.5.2.1 Diagrama de Gantt

En la *figura 7.1.5.2* se ha representado la ejecución del proyecto mediante el clásico diagrama de barras o de Gantt. El eje horizontal corresponde a una escala de tiempo (días laborables). Cada actividad se ha representado mediante una línea (o rectángulo) horizontal cuya longitud se corresponde a su duración. Cada rectángulo representa la ejecución prevista, en este caso de la actividad, por lo que el extremo de la izquierda se ha situado en la fecha de inicio prevista y el de la derecha en la fecha de terminación prevista. En la construcción del diagrama de Gantt hemos tenido en cuenta dos aspectos:

- El cumplimiento de las precedencias: ninguna actividad comienza antes de que se hayan terminado todas sus precedentes.
- La eliminación de tiempos muertos: la situación de las actividades en el tiempo es tal que no impide el comienzo de una actividad siguiente en la menor fecha posible.

La duración prevista del proyecto es de 34 días laborables.

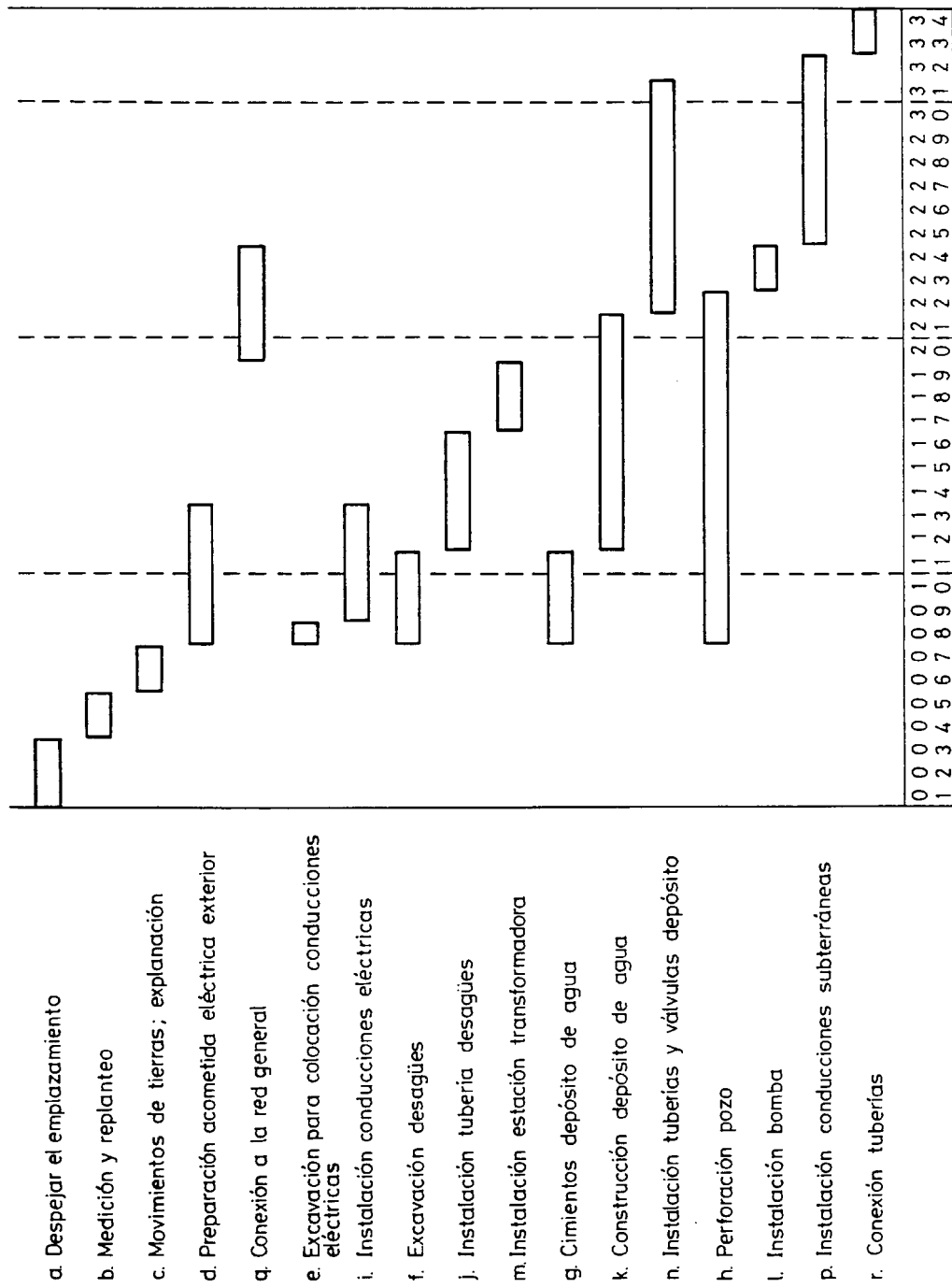


Fig. 7.1.5.2 Diagrama de Gantt del proyecto PREPARACIÓN DE OBRA

A medida que vaya transcurriendo el tiempo indicaremos de alguna forma las actividades o partes de las actividades realizadas, y mientras las desviaciones sean pequeñas, podremos apreciar de esta forma la marcha del proyecto, y aquellos puntos, que por corresponder a retrasos exigen una atención mayor y la adopción de medidas correctoras. Si las desviaciones son muy importantes será preciso construir un nuevo diagrama de Gantt, teniendo en cuenta las circunstancias acaecidas, pues el diagrama original habrá perdido toda semejanza con la realidad.

El diagrama de Gantt es un instrumento muy útil para transmitir información sobre el programa vigente en un momento dado, y es utilizado ampliamente con este fin. Con un papel grande cuadriculado, lápiz y goma puede realizarse (y se realiza) la programación y reprogramación en muchos casos. La objeción que podemos hacerle es que dicho diagrama indica la situación prevista en el tiempo de las actividades, pero no las interrelaciones existentes entre las mismas, por lo que a partir de él es difícil deducir las consecuencias sobre el resto de actividades una incidencia que se produce en una de ellas.

7.1.5.2.2 Diagrama CMV

El diagrama CMV (que puede asimilarse a lo que llaman algunos "PERT temporizado") pretende indicar las ligaduras (potenciales de sucesión mínima) existentes entre las actividades, cubriendo la laguna antes apuntada. En él (*fig. 7.1.5.3*) las actividades se representan mediante una flecha (en nuestro caso mediante una línea horizontal que empieza en un cuadrado y termina en un triángulo); las líneas de trazos corresponden a las ligaduras.

En la *figura 7.1.5.3* hemos prescindido de la escala de tiempos, por lo que la situación de las actividades no indica las fechas previstas de realización. Se ha hecho así para poner de manifiesto en una forma más patente la representación de las precedencias. Una vez determinadas dichas fechas puede utilizarse la representación más compacta de la *figura 7.1.5.4* en la que a la vez figuran las precedencias y la escala temporal. En este caso hemos tenido que recurrir a líneas de trazos verticales para indicar las precedencias, a las que se suman algunas horizontales. Para que la figura resulte más asequible se ha partido de la ordenación de las actividades en orden creciente de su fecha de comienzo, lo que ha permitido una limpieza de trazos no alcanzable en todos los casos. No hay que insistir en el hecho de que un proyecto en el que sólo tenemos 17 actividades permite muchas cosas que resultan imposibles cuando existen un centenar o más.

De la observación de la figura se deduce que el camino crítico está formado por las actividades:

a - b - c - h - l - p - r

que son las que definen su duración de 34 días laborables.

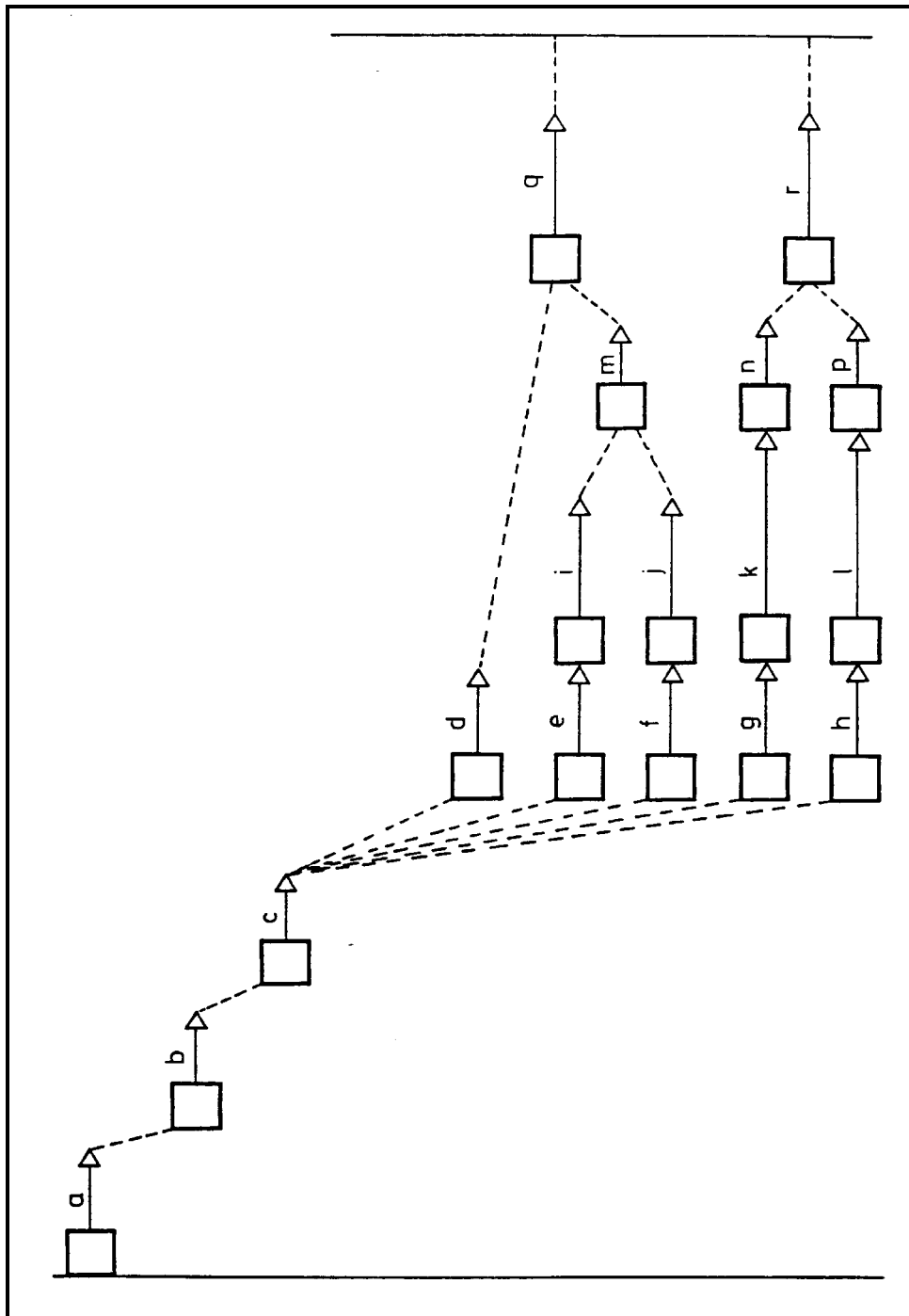


Fig. 7.1.5.3 Diagrama CMV del proyecto PREPARACIÓN DE OBRA. No se han situado las actividades según una escala temporal

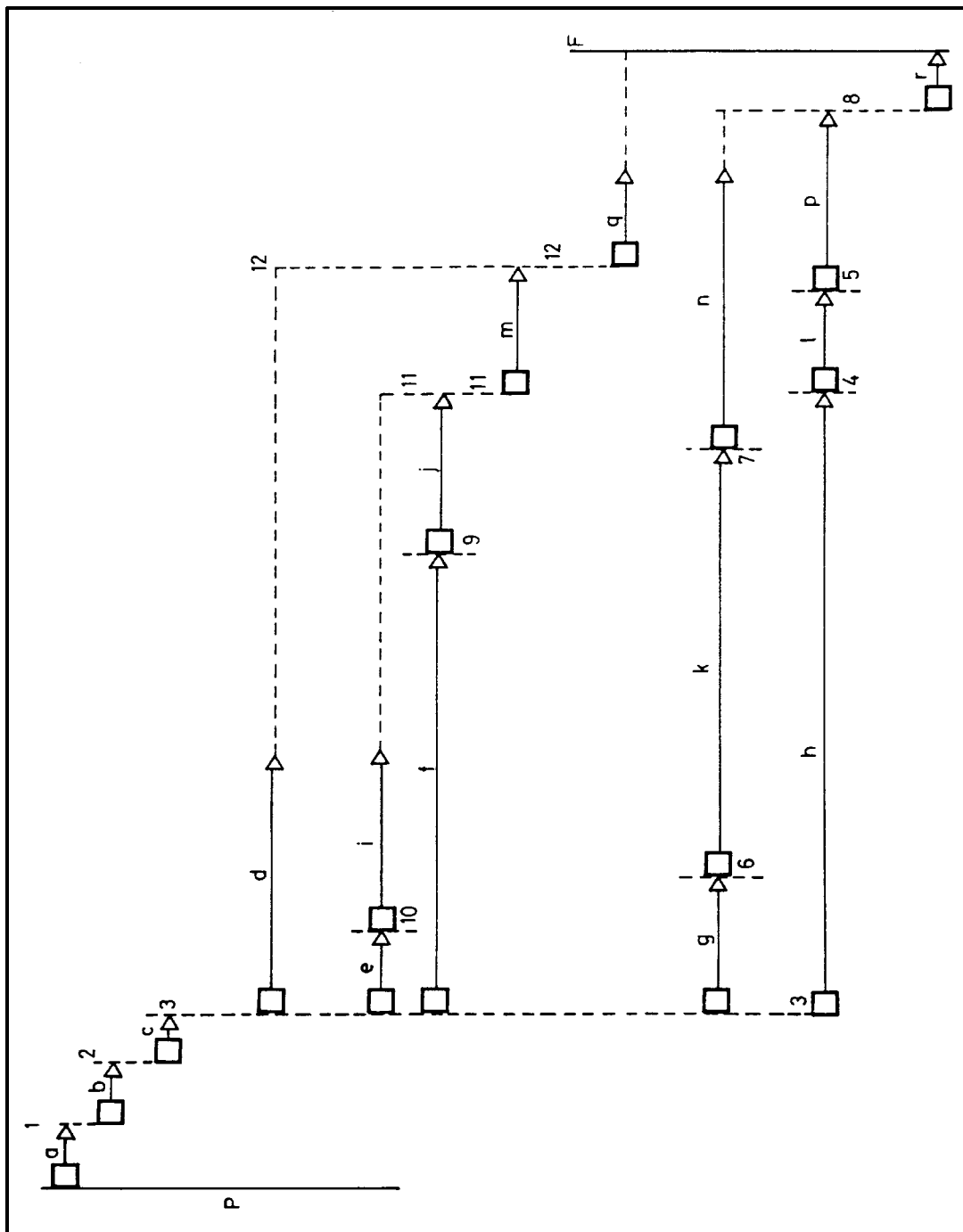


Fig. 7.1.5.4 Diagrama CMV del proyecto PREPARACIÓN DE OBRA utilizando una escala temporal en la disposición de las actividades

El diagrama CMV no pretende otra cosa que servir de puente entre el diagrama de Gantt y las dos representaciones que siguen, ya que en general posee una estructura demasiado rica y se prefieren procedimientos más simples.

7.1.5.2.3 Diagrama ROY

El diagrama ROY toma su nombre de Bernard ROY que participó, como antes se ha hecho mención, en uno de los trabajos pioneros, y que después utilizó dicha representación en un procedimiento que denominó MPM (Método de los Potenciales Metra), siglas que también utilizó para la representación.

Hemos preferido dar a este tipo de representación el nombre de uno de los autores, aunque no el único, que lo ha propuesto y difundido por cuanto también el diagrama PERT (que se describe a continuación) y la metodología a que conduce podría, con toda justicia, merecer la denominación de "método de los potenciales".

El diagrama ROY, como el diagrama PERT, únicamente pretenden representar la estructura de precedencias del proyecto, y no la situación en el tiempo de las actividades, por tanto no presupone ninguna idea, en principio, de escala temporal en el dibujo. Se apoya en el concepto de grafo o red, utilizado ampliamente en muchos campos.

En el diagrama ROY (*fig. 7.1.5.5*) las actividades están representadas por un vértice o nudo del grafo (los cuadrados de la figura), que temporalmente coincide esencialmente por su instante de inicio. Dos vértices del diagrama no corresponden a ninguna actividad, el primero y el último, que se asocian al comienzo y al final del proyecto. Los vértices están unidos por líneas orientadas o arcos que son la expresión de las ligaduras potenciales de precedencia. Cuando entre dos vértices i, j (representantes de las actividades i, j) existe un arco al que está asociado el valor α positivo o nulo (arco de "longitud" α) entendemos que entre la fecha de comienzo de la actividad i y la de comienzo de la actividad j debe pasar como mínimo el tiempo α (*fig. 7.1.5.6*).

$$t_j - t_i \geq \alpha$$

El esquema ROY permite también arcos de longitud negativa. Si entre j e i existe un arco de longitud negativa $-\beta$ (*fig. 7.1.5.7*) siguiendo la misma regla anterior deberíamos deducir que:

$$t_i - t_j \geq -\beta$$

lo que puede parecer un poco raro, pero cambiando de signo ambos miembros obtenemos:

$$t_j - t_i \leq \beta$$

cuyo significado constituye la formalización de una ligadura de sucesión máxima.

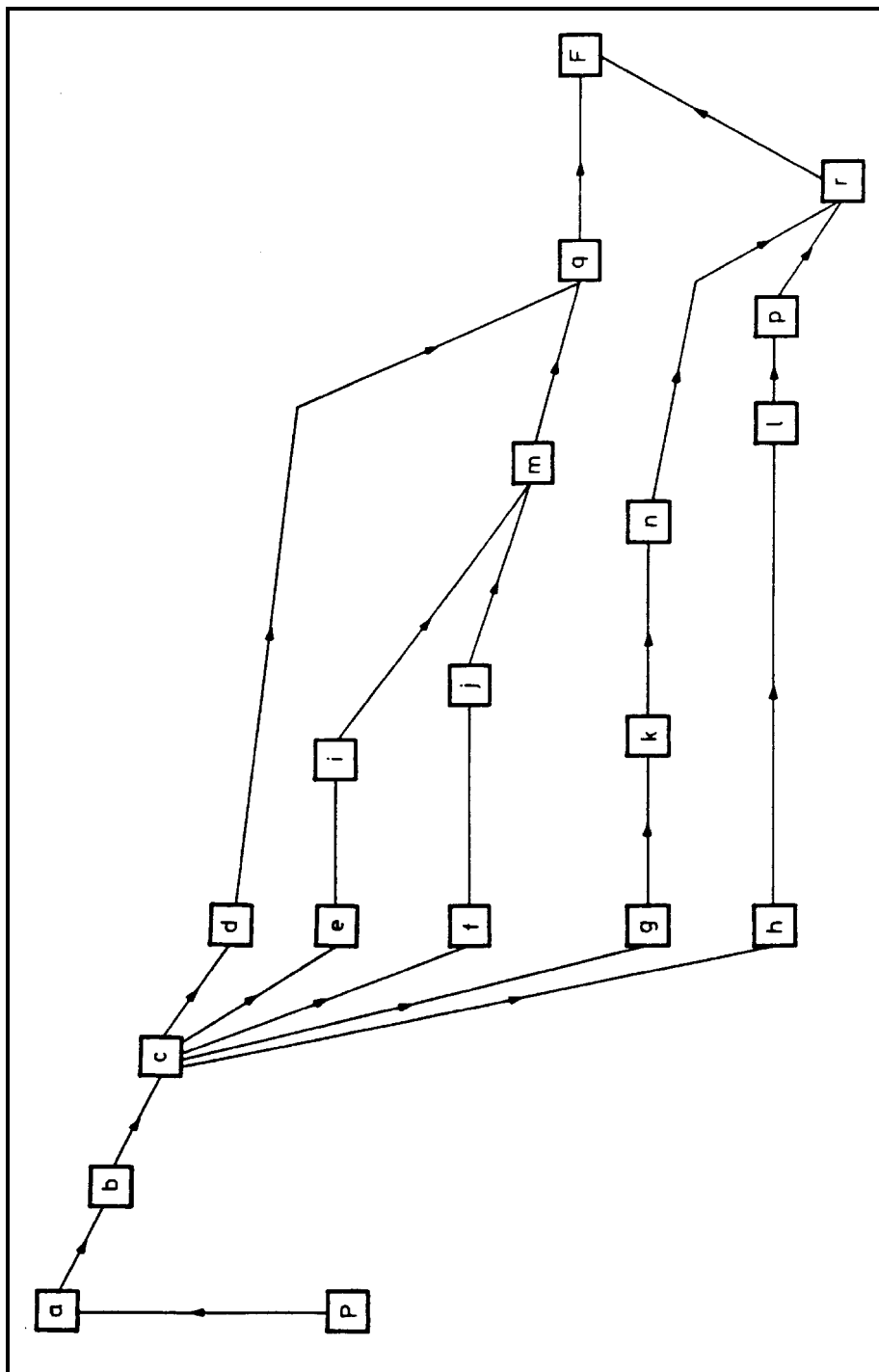


Fig. 7.1.5.5 Diagrama ROY del proyecto PREPARACIÓN DE OBRA

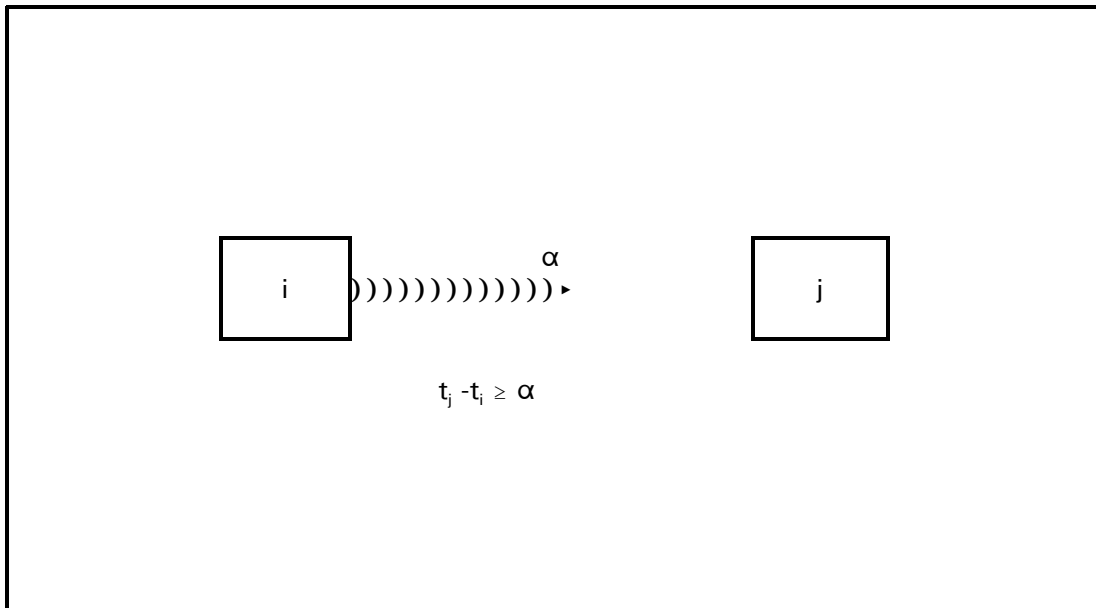


Fig. 7.1.5.6 Representación en el sistema ROY de una ligadura de sucesión mínima

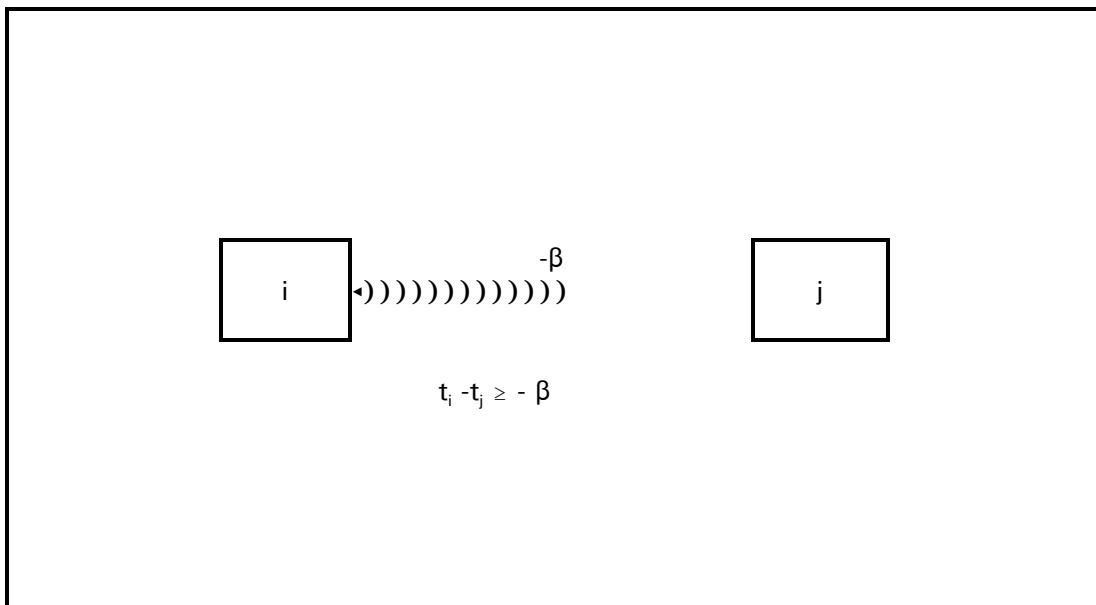


Fig. 7.1.5.7 Representación en el sistema ROY de una ligadura de sucesión máxima

La inclusión de ligaduras negativas permite, y prácticamente exige, la introducción de circuitos en el grafo (secuencias de arcos cerradas sobre sí mismas siguiendo el sentido de las flechas), por lo que sólo seremos capaces de encontrar las fechas máximas y mínimas si se cumplen unas condiciones generales de coherencia (no imponemos que una actividad tiene que empezar, p.ej., después del instante 10 y antes del 8 como en la *figura 7.1.5.8*). Esta condición se resume en que la suma de los valores de los arcos que forman un circuito (valor del circuito) no debe ser positiva.

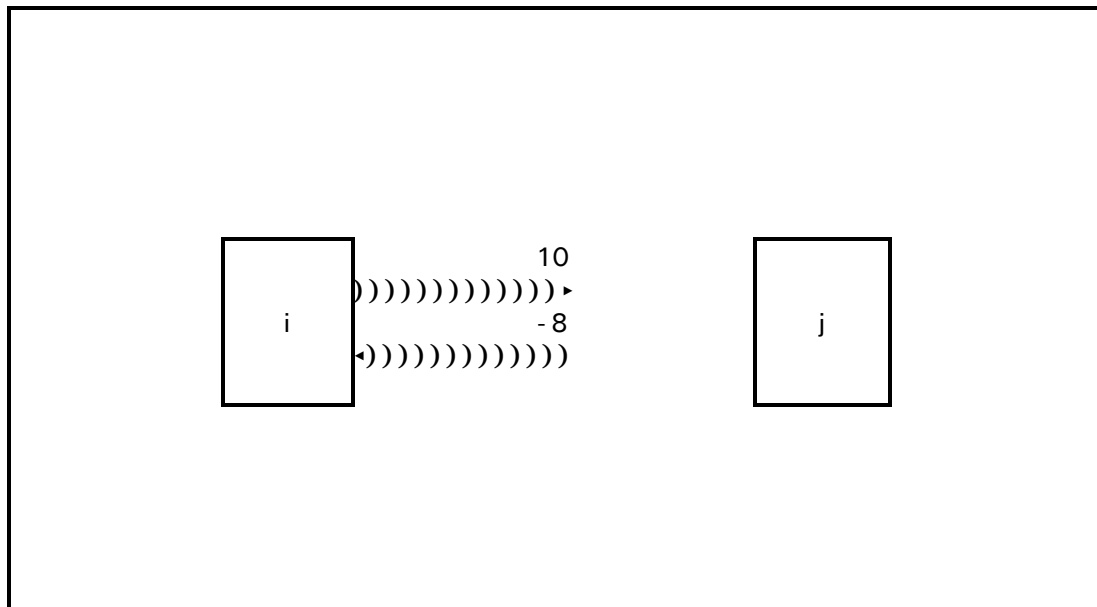


Fig. 7.1.5.8 Situación imposible, ambas ligaduras son incoherentes. El circuito formado por ambos arcos tiene un valor positivo (+2)

7.1.5.2.4 Diagrama PERT

En esta representación (que probablemente seríamos más justos históricamente denominando representación CPM) las actividades, siguiendo la idea contenida en el diagrama de barras o de GANTT, se representan mediante los arcos del grafo (los cuales tienen una "longitud" igual a duración de la actividad, y por tanto siempre positiva, excepto en el caso de las actividades ficticias o virtuales en que es nula). Los vértices representan las etapas o estados privilegiados de realización del proyecto o de sus partes en el tiempo; una etapa (llamada en ocasiones también acontecimiento) marca la terminación de las actividades que "van" hacia ella y el comienzo de las que "salen" de ella. Mediante las incidencias de las actividades en las etapas reflejamos las ligaduras potenciales. El grafo PERT de nuestro proyecto está representado en la *figura 7.1.5.9*.

Podemos obtener el grafo PERT a partir del diagrama CMV marcando como etapa los puntos del diagrama que señalan el final y/o el comienzo de una o varias actividades (de hecho en la *figura 7.1.5.4* estos puntos, que corresponden en su mayoría a las líneas de trazos verticales, han sido señalados mediante un número, que es el que se ha asociado a las etapas de la *figura 7.1.5.9*).

En un grafo PERT diremos que se ha "alcanzado" o "realizado" una etapa cuando hayan terminado todas las actividades que inciden en ella; en el momento en que una etapa ha sido realizada pueden empezar las actividades que emergen de ella. Por consiguiente el tipo de ligaduras potenciales que admite directamente la estructura del grafo PERT es del tipo "la actividad j no puede empezar hasta que no haya terminado la actividad i " (con ciertos condicionantes que detallaremos más adelante). No admite ligaduras potenciales de sucesión máxima. Si precediendo i a j , puede existir cierto solape entre ambas actividades (no es estrictamente preciso que i haya terminado para empezar j , pero sí que haya llegado a cierto grado de realización) para representarlo nos veremos obligados a acudir a ciertos recursos (dividir la actividad i en dos, introducir actividades virtuales, etc) que en cierta manera constituyen una deformación de nuestra forma de ver el proyecto para adaptarlo a la manera en que lo representamos (no hay, sin embargo, motivo grave de alarma, la mayoría de los proyectos aceptan sin mayor inconveniente esta forma de mirarlos).

Para completar el panorama conviene señalar que los dos vértices insólitos del grafo ROY, los que no corresponden a actividades, son de hecho dos etapas en el sentido del grafo PERT, y que aparecen también en éste, la etapa de inicio del proyecto y la de final del mismo.

7.1.5.2.5 Actividades virtuales en la representación PERT

Como hemos indicado repetidamente, las actividades virtuales son arcos que unen dos etapas de un grafo PERT que no corresponden a ninguna operación, tarea o trabajo real, sino que es preciso introducirlas para respetar algunas ligaduras potenciales del proyecto que no pueden representarse de otra forma. En general dichas actividades tienen duración cero, y las dibujaremos mediante líneas de trazos en lugar de líneas continuas. Otras actividades de duración no nula que precisaremos introducir en el grafo PERT merecen también el apelativo de virtuales o ficticias pero generalmente las podremos hacer corresponder a un hecho físico (respeto de un plazo, por ejemplo) y por tanto no suelen recibir dicha apelación.

Para ver la necesidad de dichas actividades virtuales consideremos el siguiente caso:

- La actividad c puede empezar cuando han terminado las actividades a y b .
- La actividad d puede empezar cuando ha terminado únicamente b .

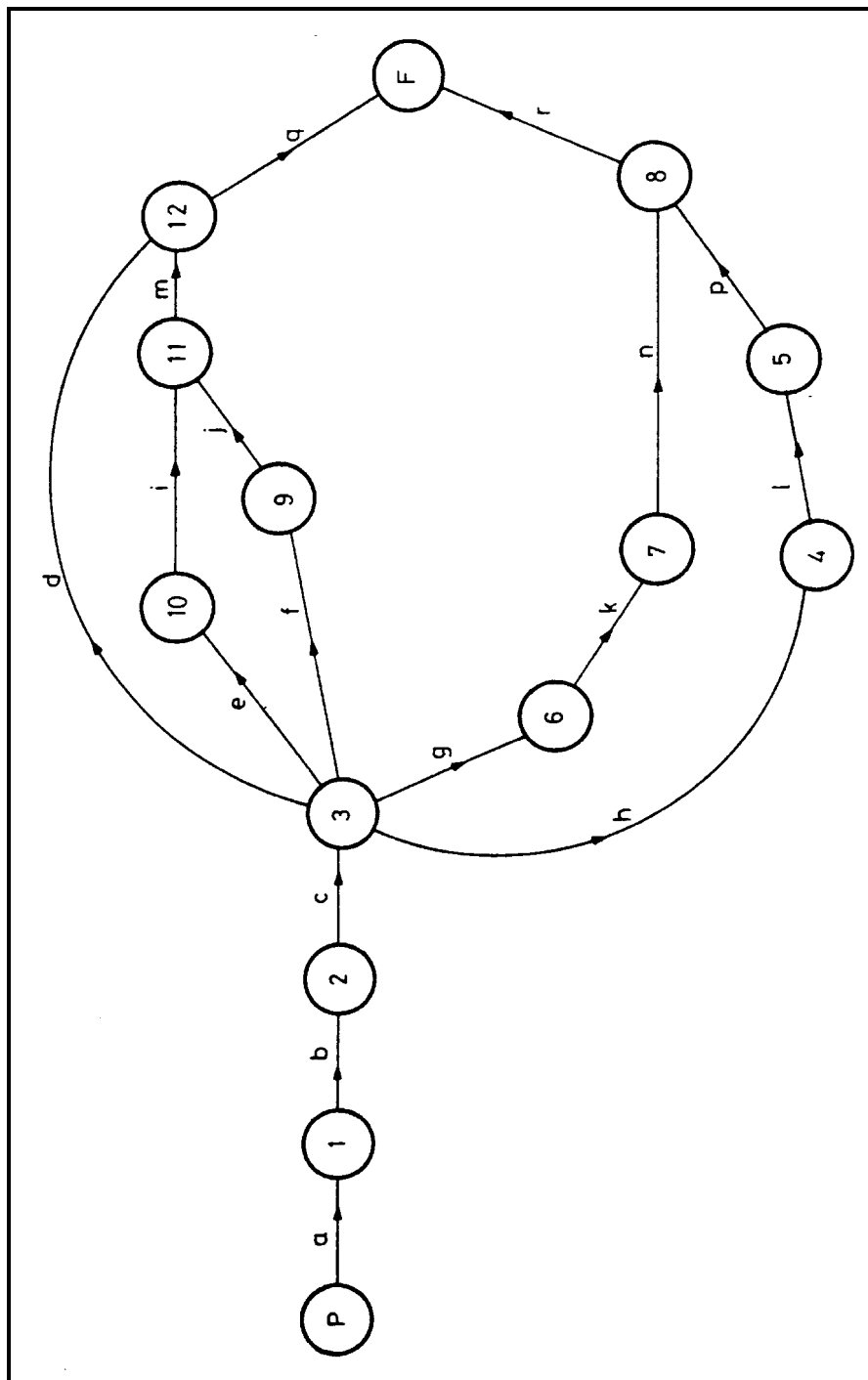


Fig. 7.1.5.9 Diagrama PERT del proyecto PREPARACIÓN DE OBRA

La representación ROY no ofrece mayores dificultades y puede consultarse en la *figura 7.1.5.10*. Sin embargo en el caso de la representación PERT no podemos considerar una sola etapa, como en la *figura 7.1.5.11*, ya que entonces condicionamos el comienzo de *c* a que *b* haya terminado, lo cual "a priori" es demasiado condicionante, y no coincide con lo indicado. En su lugar debemos utilizar la representación de la *figura 7.1.5.12*, en la que aparecen dos etapas (el final de *b* y el final conjunto de *a* y *b*) unidas mediante una actividad virtual (de la primera etapa a la segunda). Podemos comprobar fácilmente en dicha representación que se respetan los condicionantes marcados.

Otro caso puede ser el siguiente:

- La actividad *g* puede empezar cuando haya terminado la actividad *e*.
- La actividad *h* puede empezar cuando haya terminado *f* y se haya realizado la mitad de la actividad *e* (por tanto el final de *e* puede solaparse con el inicio de *h*).

Tampoco ofrece mayores dificultades la representación Roy (*fig. 7.1.5.13*), pero para reflejar esta situación en la representación PERT deberemos:

- Dividir la actividad *e* en dos partes, e_1 y e_2 , con una etapa que marque el final de e_1 (por tanto la realización de la mitad de *e*).
- Unir la etapa intermedia con el inicio de *h* mediante una actividad virtual.

Queda en este caso un aspecto irresoluble en la representación (*fig. 7.1.5.14*) si las dos mitades en las que hemos descompuesto *e* deben realizarse sin solución de continuidad, pues este hecho correspondería a una ligadura de sucesión máxima que no es admitida en la representación PERT.

La *figura 7.1.5.15* corresponde a la representación PERT de dos actividades *i* y *j* que pueden realizarse casi simultáneamente, con un cierto deslizamiento de *j* en el tiempo.

Otra causa que puede conducir a la utilización de actividades virtuales es la existencia de dos actividades diferentes entre las mismas dos etapas (*fig. 7.1.5.16*). Los primeros paquetes informáticos identificaban las actividades *exclusivamente* por las etapas que unían, y por tanto esta situación creaba una ambigüedad insuperable. Por ello debía recurrirse a la representación de la *figura 7.1.5.17*. Puesto que se trata esencialmente de un problema informático, la utilización de *7.1.5.16* o *7.1.5.17* es función esencialmente del paquete disponible, dejando al lado lo insólito de la situación (ya que parece obvio que la actividad de mayor duración dominará a efectos de las fechas y márgenes a la de menor) que puede tener interés real si los resultados de la planificación se emplean para difusión de la información y control.

Consideremos un nuevo ejemplo, esta vez más irreal que el anterior pero que debido a la riqueza de comentarios que permite hemos venido utilizando durante más de 25 años; sus

datos figuran en la tabla de la *figura 7.1.5.18*. Se trata de la fabricación y envasado de un líquido determinado (por ejemplo el café-licor) que destinamos a atender la demanda que se presente durante las próximas fiestas de Moros y Cristianos de cierta localidad. Se trata de un proyecto singular por cuanto cuando hayamos obtenido un lote del producto interrumpiremos su fabricación.

Las dos ligaduras especiales de este proyecto son las siguientes:

- La actividad i no puede empezar antes de transcurridos dos días a partir del comienzo del proyecto (debido a plazos de entrega de los ingredientes del líquido).
- La actividad l puede solaparse parcialmente con la k , basta el 40% de los envases llenos y cerrados (2 días de trabajo) para poder disponer de un volumen suficiente de envases a los que se les puede pegar la etiqueta.

La representación ROY del proyecto puede consultarse en la *figura 7.1.5.19*, y no presenta ninguna peculiaridad digna de reseñarse; en cambio la representación PERT de la *figura 7.1.5.20* exige tener en cuenta:

- La introducción de la actividad ficticia i_0 antes de i , que refleja el plazo de entrega de los ingredientes, y tiene por tanto la duración de dos días.
- La descomposición de k en dos actividades, k_1 de duración 2 días y k_2 de duración 3, a fin de indicar la precedencia relativa a l mediante una actividad virtual.

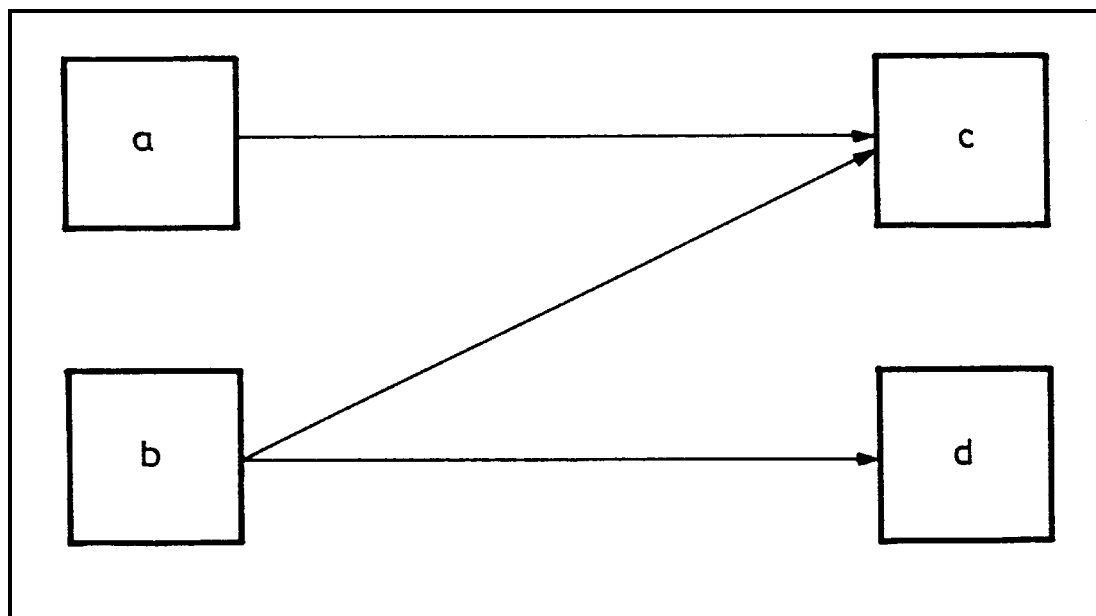


Fig. 7.1.5.10 Las actividades "a" y "b" preceden a "c", únicamente "b" precede a "d" (Representación ROY)

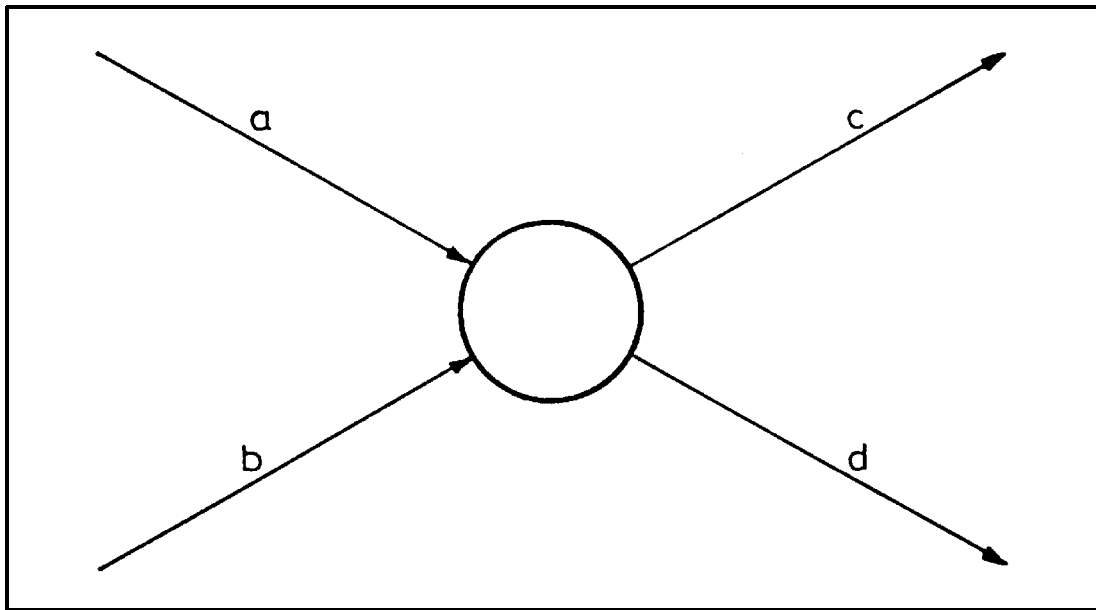


Fig. 7.1.5.11 Representación PERT errónea de la situación de la figura 7.1.5.10. Tal como se ha dibujado "a" y "b" preceden a "d"

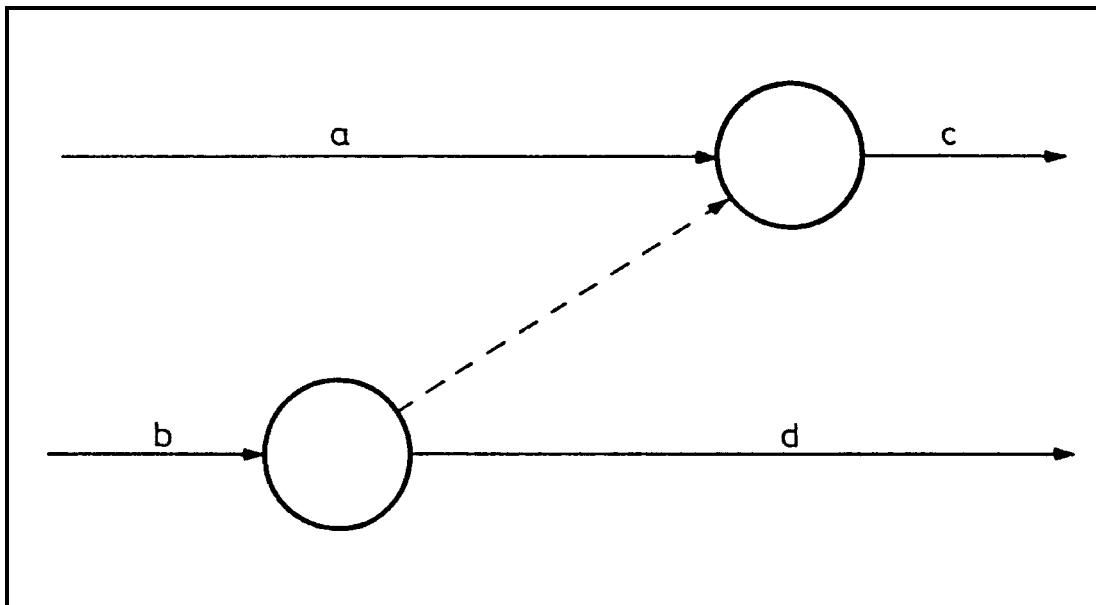


Fig. 7.1.5.12 Representación PERT equivalente a la situación de la figura 7.1.5.10. Ha sido necesario añadir una actividad virtual para tener en cuenta la doble procedencia de "c"

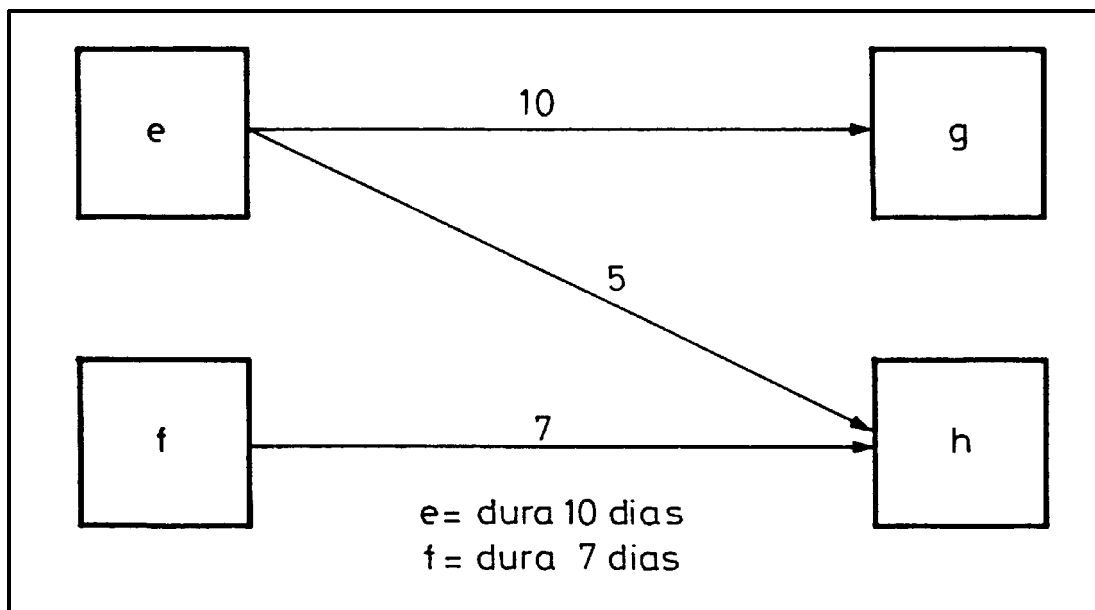


Fig 7.1.5.13 Representación ROY. La actividad "h" puede comenzar cuando se ha realizado el 50% de "e" (y se ha terminado "f")

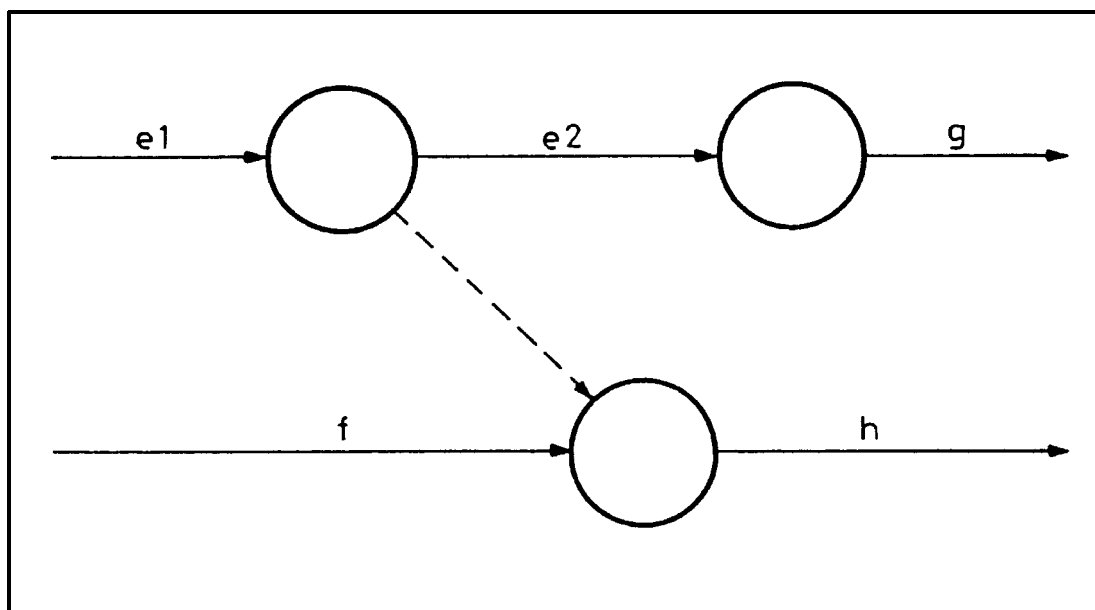


Fig. 7.1.5.14 Representación PERT de la situación de la figura 7.1.5.13. Ha sido necesario partir "e" en sus dos mitades (no es posible introducir la condición que "e₁" y "e₂" se realicen sin interrupción)

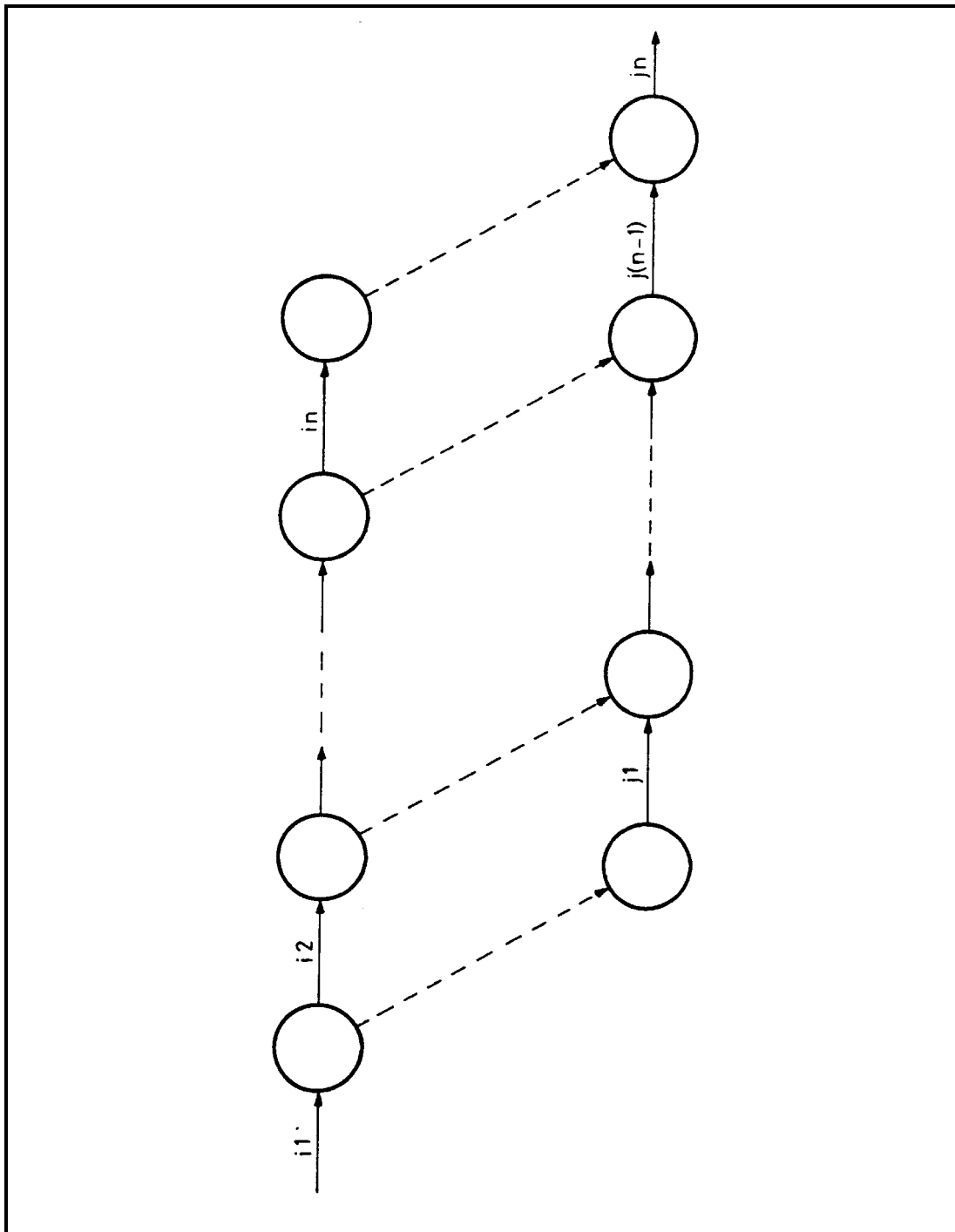


Fig. 7.1.5.15 Representación PERT. Las actividades "i" y "j" pueden realizarse solapadamente con cierto adelanto de "i" sobre "j"

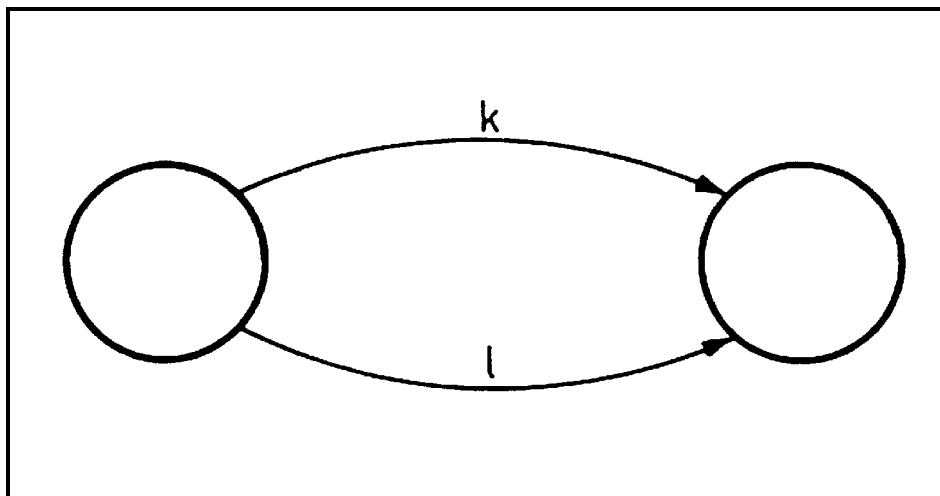


Fig. 7.1.5.16 Representación PERT. Las actividades "i" y "j" se realizan en paralelo. La figura es correcta lógicamente, pero pueden existir dificultades al intentar comunicar directamente esta situación a un paquete informático de planificación de proyectos basado en la representación PERT

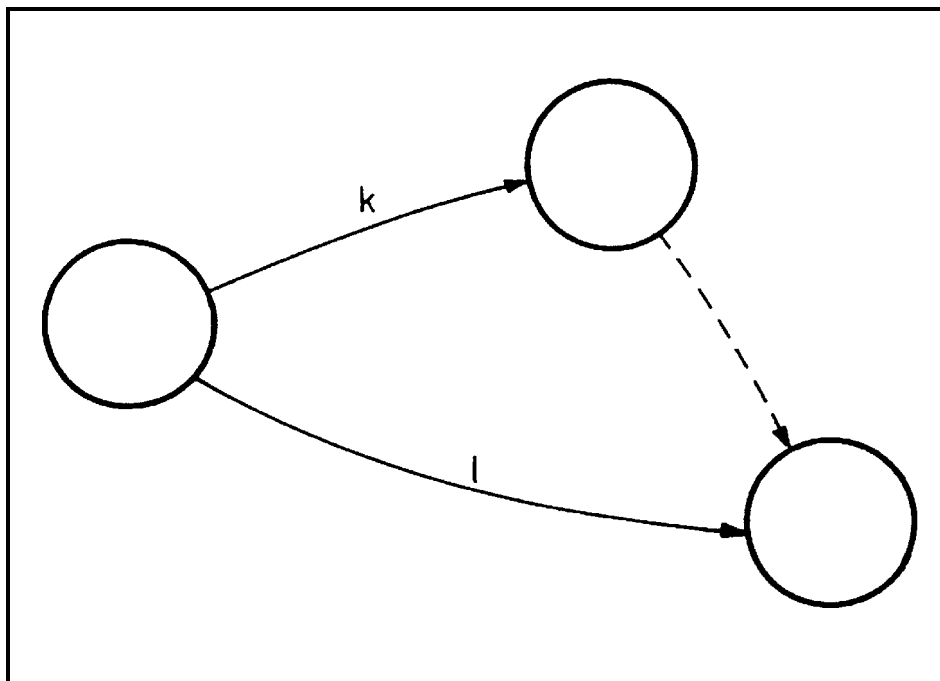


Fig. 7.1.5.17 Representación PERT alternativa de la situación de la figura 7.1.5.16

PROYECTO: FABRICACIÓN Y ENVASADO DE UN LÍQUIDO					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
a	Estudios previos	3	-	1	0
b	Diseño del envase	4	a	1	0
c	Diseño de la etiqueta	5	b	1	0
d	Elección de la imprenta	2	a	1	0
e	Diseño del sistema de cierre	1	b	1	0
f	Fabricación del envase	20	b	0	1
g	Impresión de la etiqueta	20	c,d	0	0
h	Fabricación del sistema de cierre	4	e	0	1
i	Fabricación del líquido	25	-(2)	0	1
j	Esterilización de los envases	2	f	0	1
k	Llenado y cierre	5	h,i,j	0	1
l	Pegado de la etiqueta	4	g,k(2)	0	1

(1) CÓDIGO ; (2) DESCRIPCIÓN ; (3) DURACIÓN (días) ;

(4) ACTIVIDADES PRECEDENTES INMEDIATAS

(5) NECESIDAD DE PERSONAL CALIFICADO ; (6) ID. NO CALIFICADO

Fig. 7.1.5.18 Lista de actividades, precedencias y recursos del proyecto: FABRICACIÓN Y ENVASADO DE UN LÍQUIDO

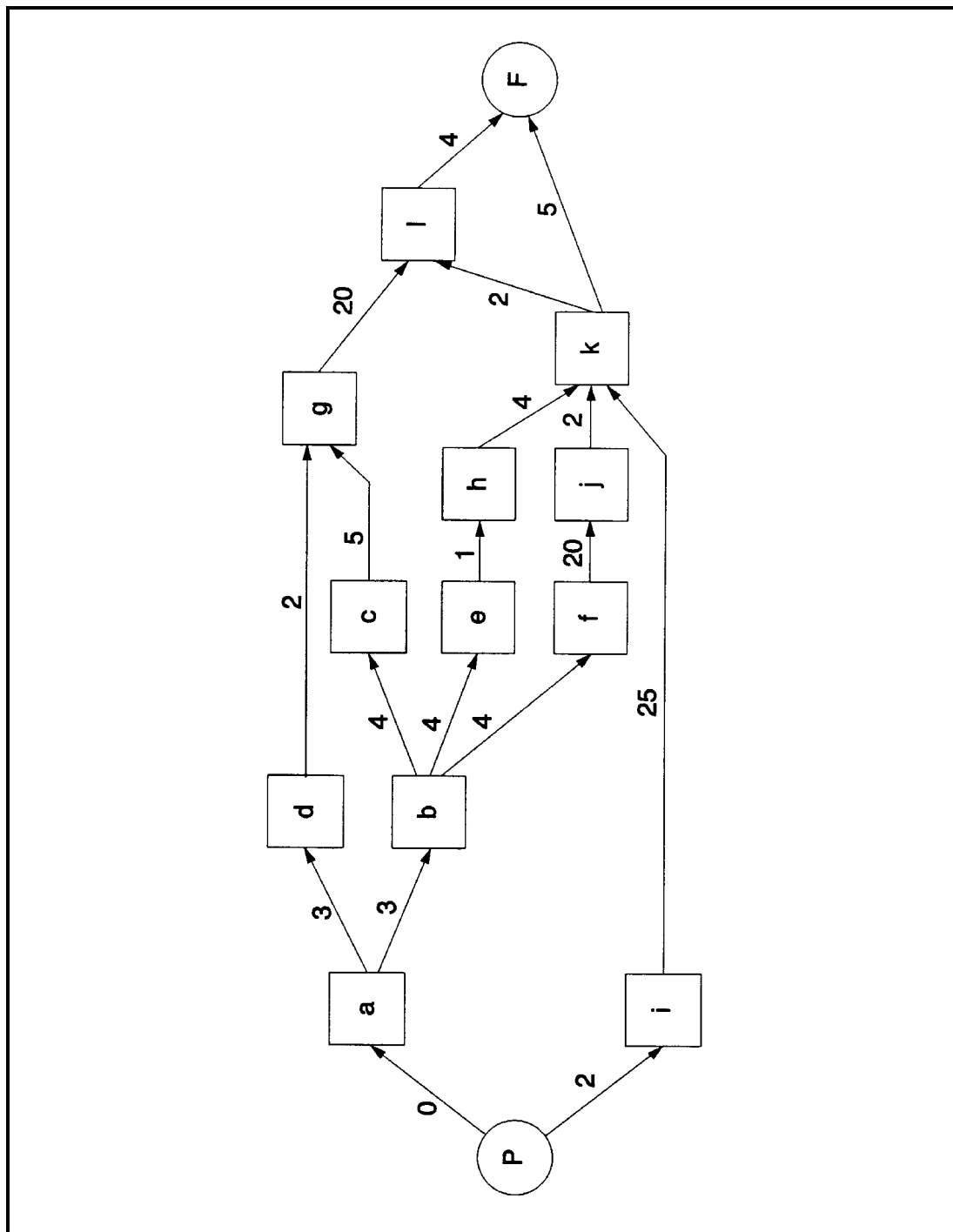


Fig. 7.1.5.19 Representación ROY del proyecto FABRICACIÓN Y ENVASADO DE UN LÍQUIDO

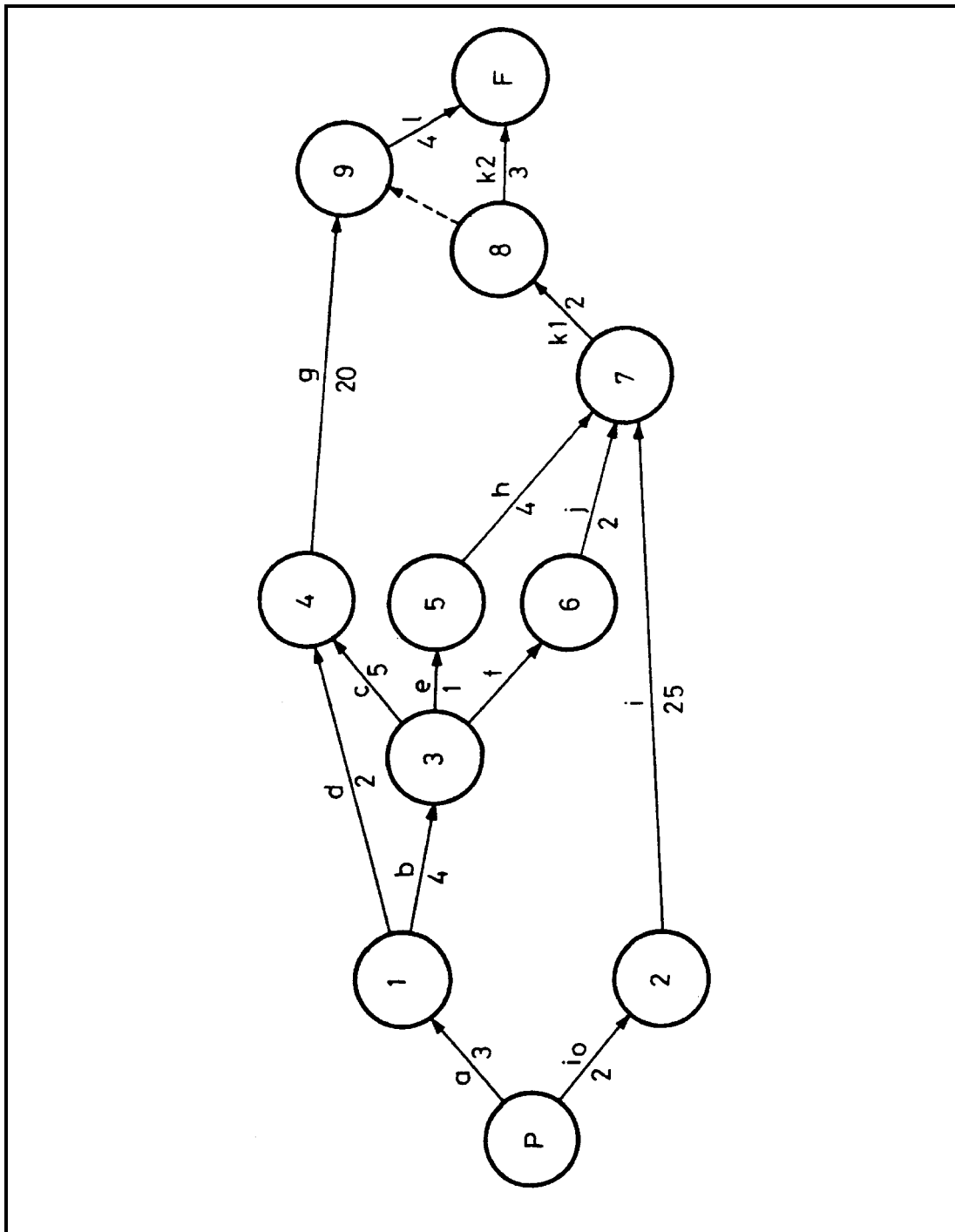


Fig. 7.1.5.20 Representación PERT del proyecto FABRICACIÓN Y ENVASADO DE UN LÍQUIDO