



MODELOS DE RED PARA PROGRAMACION DE PROYECTOS

- Parte 1. - Fase de Planificación
- Parte 2. - Fase Preliminar de Programacion
- Parte 3. - Fase Avanzada de Programacion
- Parte 4. - Preparación de un Modelo de Red
- Parte 5. - Preparación de los Datos del Computador
- Parte 6. - Elección de un Plan

=====

MODELOS DE RED PARA PROGRAMACION DE PROYECTOS

Parte 1. - Fase de Planificación

Contrariamente a lo que sucede en el procedimiento y manejo de un proyecto corriente, el Método de Senda Critica separa el proceso de planificación del proceso de programación. La planificación consiste en el informe de las actividades que pueden tener lugar en un proyecto y el orden en que estas actividades han de desarrollarse; en la programación se incluye alternativamente la producción del proyecto y el coste de tiempo, teniendo en cuenta el plan propuesto y los recursos mínimos necesarios.

ANALISIS DEL PROYECTO

La planificación CPM empieza con el analisis del proyecto y la definición de sus tareas, operaciones, deberes, elementos de trabajo y actividades.

En el analisis del proyecto es necesario definir bien los elementos de trabajo y expresarlos en términos de actividades, antes de empezar la actividad sucesiva. En este artículo le daremos el nombre de "actividad" a cualquier operación, tarea, elemento de trabajo, deberes, etc por ser parte integral del proyecto. En algunos casos esto puede conducir a la división de grandes elementos de trabajo en actividades detalladas más pequeñas. En otros, puede - que haya que combinar una serie de elementos de trabajo en una actividad mucho más amplia. El grado de detalle del analisis - el

grado de identificación, depende en gran parte del objeto del plan y de la habilidad del planificador para identificar las actividades individuales.

DIAGRAMAS DE FLECHAS

Para facilitar el proceso de planificación y para ofrecer un aspecto visual del plan, cada actividad se describirá diagramáticamente mediante una flecha. Uniendo la cabeza y la base de la flecha se puede ver gráficamente la relación lógica precedente entre las actividades proyectadas.

Examinemos un proyecto cuyo análisis ha tenido como resultado la definición de seis actividades: A, B, C, D, E, y F. Supongamos además las siguientes relaciones anteriores entre estas actividades:

1. A y B pueden comenzarse simultáneamente en cualquier tiempo entre el de planificación y el tiempo en que el proyecto ha de ser comenzado.

2. Las actividades C y D no pueden dar comienzo hasta que A haya terminado.

3. La actividad E puede comenzar cuando haya terminado B y C.

4. D y E han de ser terminadas antes de empezar F.

En el análisis no se ha especificado la duración de estas actividades. Por lo tanto, la longitud de las flechas que se emplean en el diagrama para representar estas actividades, no corresponde a ningún espacio de tiempo determinado. Solo tiene significado la posición relativa de las flechas. Así pues, el proyecto de seis actividades para el que se ha definido la relación

anterior, puede demostrarse graficamente como en la Fig. 1. Este diagrama se llama diagrama de flechas, red precedente o proyecto de red.

Los puntos del diagrama donde se une la actividad de las flechas identifican en el proyecto a los sucesos. El suceso terminal de la red identifica que se ha acabado todo el proyecto, el termino del proyecto o el fin de un suceso. En el diagrama el primer suceso es el suceso de partida, el suceso actual o el proyecto de origen.

El nudo o punto de unión de la base de F, identifica simultaneamente los siguientes sucesos: Terminación de la actividad D; terminación de E; comienzo de F. Por lo general, cada una de las flechas de actividad está asociada por lo menos con dos sucesos: el comienzo de la actividad (situada en la base de la flecha correspondiente), y la terminación de la actividad (situada en la cabeza de la flecha). Cuando se unen las flechas y forman una ilación unida para demostrar las relaciones precedentes, la terminación de los sucesos de una o más actividades, pasa por delante de los sucesos de partida de una o más actividades.

En las aplicaciones prácticas, las actividades del proyecto se definen al mismo tiempo que se trazan las correspondientes flechas. Encima de las flechas se coloca directamente unas descripciones alfabéticas para que el observador pueda tener una rápida impresión visual del proyecto - de lo que se trata y lo que contiene. En el ejemplo dado en la Fig. 1, A podría representar el trabajo de terminación de un plan funcional; B el trabajo industrial planeado; C la construcción y comprobación de un modelo breadboard; y E la revisión y consolidación del plan, etc, etc.

IMPRESIONADO

RESTRICCIONES EN LA ENTREGA

La clase de actividades consideradas hasta ahora, son en cierto sentido "internas" al proyecto. Existe otra clase que son "externas" al proyecto durante la planificación. Esta clase, que casi siempre representan a las actividades de tipo de entrega, ejerce sobre el plan una influencia de restricción. Las llamadas "restricciones en la entrega" tienen una gran importancia en el desarrollo de los modelos de proyecto de red. Ejemplos de restricciones en la entrega pueden ser debidos a dificultades en: recepción de materiales de difícil adquisición, recepción de decisiones directivas importantes, disponibilidad de fondos, disponibilidad de condiciones atmosféricas adecuadas.

Si la entrega ha de ir precedida de la terminación de una serie de actividades corrientes del proyecto (como sería el caso si se desarrollara una gestión específica como parte del proyecto), se maneja la entrega como si fuera una actividad corriente y se incluye en el diagrama de flecha. No obstante, en los casos en que la entrega es verdaderamente externa al proyecto, (por ejemplo, cuando en la fase de planificación se sabe ya la naturaleza de la entrega) habrá de tenerse un cuidado especial con esta restricción.

Examinemos como un ejemplo de restricciones en la entrega, el proyecto presentado en la Fig. 1. Supongamos que G representa un requisito previo para el comienzo de la actividad D. El comienzo de la actividad D depende ahora de la terminación de A y de G, mientras que el comienzo de C sigue dependiendo únicamente de la terminación de A. La restricción en la entrega de G -

puede estar representada por una flecha entre el proyecto de origen y el suceso de partida de D, Fig. 2a (Es evidente la razón por la que se deja que el suceso de partida de una restricción en la entrega coincida con el proyecto de origen). Las relaciones precedentes de la Fig. 2a no describen, sin embargo, correctamente la situación actual. El diagrama tal como está, define las siguientes relaciones entre las actividades A, G, C, y D:

1. Antes de que C pueda empezar, A y G han de estar terminadas.

2. Antes de que D pueda comenzar, A y G han de estar terminadas.

Solo el segundo enunciado es correcto, el primer enunciado incluye incorrectamente la entrega G como requisito previo para el comienzo de C.

Situaciones análogas ocurren frecuentemente y no solo en conexión con las restricciones en la entrega, lo que dá lugar al concepto llamado "Dummy". El Dummy, que se muestra mediante una flecha de actividad de líneas entrecortadas, se emplea para mantener la correcta relación precedente entre las actividades no conectadas por el trabajo actual. Los recursos arbitrarios necesarios pueden asociarse con las actividades "dummy". Por regla general, los dolares y los valores de tiempo asociados a "dummy" son cero.

En el ejemplo, la relación precedente correcta se puede conservar introduciendo una actividad artificial o "dummy" entre la terminación del suceso A y el suceso de partida D. La actividad D puede entonces desarrollarse sin obstáculo alguno con la relación de C hasta las actividades anteriores y la restricción en la entrega G puede terminar en el suceso de partida de D, Fig. 2b.

En el diagrama, es evidente que el comienzo de D. depende directamente de la terminación de G. y, a través del " dummy" en la terminación de A.

Otra clase distinta de restricción es la llamada restricción " Milestone" o (restricción de terminación) se discutirá más adelante.

SISTEMA DE NUMERACION

En el examen anterior, las actividades se han indicado mediante letras o palabras descriptivas. También se pueden emplear otras descripciones; por ejemplo números claves, números cómputos, o números de identificación. Sin embargo, en cuestiones de cálculo ninguno de estos son completamente satisfactorios. Para adaptar el procedimiento matemático del plan y los recursos necesarios para su utilización, se necesita un sistema único de referencia en la estructura del diagrama de flecha.

Este sistema de referencia consiste en numerar los nudos o puntos de unión en el diagrama, Fig. 2b. A cada uno de los sucesos se le asigna diferentes números, así por ejemplo, partiendo de 0 en el proyecto de origen, el número asignado a la base de una flecha de actividad es siempre menor que el número asignado a la cabeza de la flecha. Los números por encima de 0 deben de emplearse consecutivamente. Así pues las actividades proyectadas deben indicarse mediante dos números: la actividad A se convierte en actividad (1,2), la B. es (1,3), la C. es (2,3), etc.

La numeración de los sucesos no es difícil, incluso en los grandes diagramas de flecha. Pero cuando se añaden otros o se dividen o borran los existentes, las actividades de un diagrama numerado se necesita generalmente que se vuelva a numerar totalmente. Dado que un diagrama de flecha es, y siempre ha de ser el modelo dinámico de un proyecto, los cambios en su estructura tienen que ocurrir frecuentemente. Para evitar el tener que volver a numerar con frecuencia, algunos programas de computadores, como el programa de la General Electric GE 225/CPM, creado para calcular los proyectos de planificación y las características de programación, lleva consigo unos signos automáticos para poder numerar de nuevo. Cuando se emplea este programa, los sucesos se pueden señalar de un modo diferente, seleccionando números al azar.

Además de los cambios, se pueden presentar dos casos especiales de numeración. En el primer caso, una actividad V. es requisito previo para comenzar más de una actividad subsiguiente, digamos las actividades X, Y, y Z. Estas a su vez constituyen colectivamente un requisito previo para comenzar una actividad, digamos W, Fig 3. La asignación de números a los sucesos como se demuestra en la Fig. 3a, no es la única identificación de X, Y, y Z ya que se pueden referir todos ellos como actividad (2,3).

La dificultad se resuelve una vez más mediante la introducción de "dummies". Como se demuestra en el diagrama de la Fig.3b, correctamente trazado y numerado, los "dummies" se pueden introducir bien delante o detrás de la actividad en cuestión.

El segundo caso especial de numeración se haya también ilustrado en la Fig. 3.b. Los sucesos 0,1,2,5 y 6 no pueden tener otros números si se va a seguir este sistema de numeración. Sin embargo, existe una elección en la asignación de los números 3 y 4. Por ejemplo el 3 se puede emplear para designar el suceso de partida de la actividad Z. como en la Fig. 3b, o para designar la terminación del suceso de la actividad Y. En este último caso, 4 se convierte automáticamente en el número del suceso de partida de la actividad Z. Dá igual que se escoja una u otra de estas dos alternativas, siempre que se siga el convenio básico de asignar el número más bajo a la base, y el más alto a la cabeza de una actividad de flecha.

La regla general, por lo menos en la versión inicial, es trazar un modelo de proyecto de red de la situación ideal, dando por hecho que se dispone de una cantidad de recursos ilimitados. Esto limita las desviaciones, no solo en el trabajo más - deseable , sino también en esas partes específicas del proyecto donde las desviaciones están indicadas mediante unas características calculadas. Las limitaciones que impone el estado actual de este arte, pueden vencerse ~~examinando~~ ~~estudia~~ seriamente en la fase de planificación, los recursos o las facilidades de restricción.

Un sencillo ejemplo podrá ilustrar el estudio en este arte de limitación, durante el proceso de un diagrama de flecha. Examinemos parte de un sistema de proyecto relacionado con el - calculo de unas características constantes. Supongamos que se ne-

cesitan tres constantes diferentes antes de que se pueda seleccionar un sistema de configuración. Como se ignoran las limitaciones en el número de personas con ese arte suficiente, el diagrama de flecha es como se demuestra en la Fig. 4; es decir que consta de tres actividades concurrentes.

En lo que concierne a precedencia lógica, la Fig. 4 es correcta. Pero si no se dispone más que de un solo sistema analizador, puede que sea más conveniente exponer estas tres actividades en series, y como de hecho en este ejemplo solo la actividad (13,14) depende de la terminación de las tres actividades calculadas, sería imposible englobar estas actividades en una que se podría definir como "Sistema de Configuración Especificado". Más adelante se verá como y cuando es más conveniente exponer estas tres actividades como una sola y en qué condiciones debe emplearse la configuración de la Fig. 4 a pesar de las limitaciones de habilidad.

Aunque se incorporen en el diagrama de flecha algunas limitaciones de recursos, en este aspecto el tiempo no se debe tener nunca en consideración. Solo cuando se ha logrado un acuerdo y el diagrama de flecha describe correctamente la relación - mejor y más lógica entre las actividades proyectadas, es cuando hay que asociar el tiempo con el plan. El examen de tiempo forma parte de la fase de programación. Para completar la fase CPM de planificación es suficiente aplicar debidamente los bloques de construcción que hemos discutido hasta ahora: 1. Actividades bien definidas, incluidas las entregas representadas mediante flechas en las cuales ni la longitud, ni la dirección tienen un significa-

do especial, teniéndolo unicamente la posición relativa.

2. "Dummies". 3. Sucesos numerados.

El diagrama es la representación gráfica de las relaciones precedentes, identificadas o definidas, entre las actividades proyectadas y constituye el plan básico, lógico e inicialmente el mejor, cuando se utiliza el proyecto.

La Parte 2. de esta serie tratará de la fase preliminar de programación.

MODELOS DE RED PARA PROGRAMACION DE PROYECTOS

Parte 2. - Fase Preliminar de Programación

Una vez terminada la fase de planificación de un proyecto de modelo de red, se puede comenzar el trabajo convirtiendo el plan en un programa de trabajo. En este artículo discutiremos algunos de los conceptos relacionados con la fase de programación y demostraremos el modo de usarlos debidamente en las primeras etapas de la programación de un modelo de red.

Un modelo de red básico debe convertirse en un ~~horario~~ *plan de tiempo* programado y ha de emplearse como guía al utilizar un proyecto. Al mismo tiempo habrá que determinar sus efectos apoyándose en dos recursos muy valiosos para la compañía; tiempo y dinero. La lógica de un plan puede ser fundamental pero los requisitos de inversión o la falta de tiempo pueden estar en desacuerdo con los recursos disponibles, o con los objetivos del proyecto. Por lo tanto, en la fase de programación CPM habrá que emplear un gran número de tablas de coste de tiempo basándose en el plan establecido.

RELACIONES INVERSION - DURACION

Cada una de las actividades del diagrama de flecha requiere cierto tiempo para su terminación - es ésta la "duración" de la actividad - . Por regla general cada actividad tiene un espacio de duración posible. A medida que la "duración" se va acortando, aumenta la inversión directa en la terminación de la actividad.

El límite más bajo dentro del espacio de duración posible de ciertas actividades, es lo se se llama "duración crash", que se

define como el tiempo mínimo que se requiere para la terminación de una actividad. El nivel de recursos mínimo, necesario para acabar la actividad dentro de la "duración crash" se llama "inversión crash". La "inversión crash" es la inversión directa más alta que hay que considerar en una actividad. El disponer de recursos adicionales no afecta la "duración crash". Solamente si se altera la calidad o contenido del trabajo de una actividad, es cuando es posible hacer bajar la "duración crash". Pero en ese caso, la definición tiene que haber cambiado y haberse creado una situación completamente nueva.

La inversión directa más baja suficiente para terminar una actividad, define en parte los límites superiores en el espacio de duración de la actividad. En general la experiencia ha establecido el método de inversión más bajo - posible para terminar cualquier actividad. Este se llama "inversión normal". En la mayoría de los casos se puede disponer de un espacio amplio de duración, en el cual la inversión directa continua siendo invariable en el nivel de inversión normal. Por "duración normal" se define la duración mínima de la actividad en este nivel de inversión más bajo. Con este concepto se eliminan los obstáculos indeseables en los exámenes de planificación.

En los muchos casos donde la actividad implica un trabajo creativo, el cálculo de duración normal se facilita mediante el examen de un espacio de duraciones posibles, desde una estimación optimista a una estimación pesimista de la inversión normal seleccionada. En PERT se han usado muy ampliamente y con éxito tres estimaciones. La duración optimista a, o la duración pesimista b, se consideran pueden ocurrir una vez entre cien. La tercera estimación

Se llama la duración "most-likely" (más probable).

Como ejemplo del empleo de las tres estimaciones de tiempo supongamos que una de las actividades del plan se define como "Modelo Matemático Establecido de Contorno" para una nueva pista aérea. El ingeniero responsable de este trabajo puede que recuerde algún estudio referente a pistas que, en caso de poder aplicarlo, le permitirá realizar con optimismo la actividad en ocho semanas. Por otro lado, este paso puede que no dé los resultados deseados y que sea preciso un desarrollo original más completo que requiera una duración pesimista de 30 semanas. Sin embargo, lo más probable será que en las ocho primeras semanas el ingeniero haya hecho un gran avance, adaptando parte del estudio básico y puesto en marcha parte del desarrollo original, lo que le permitirá terminar el modelo matemático aproximadamente en unas 10 semanas.

Las tres estimaciones se pueden considerar de muchas maneras. Siguiendo la práctica PERT, una "duración esperada", D_e , se define:

$$D_e = \frac{1}{6} (a + 4m + b)$$

Así por ejemplo, la duración esperada para establecer el modelo matemático de contorno sería:

$$D_e = \frac{1}{6} (8 + 4 \cdot 10 + 30) = 13 \text{ semanas.}$$

El valor de D_e se emplea en este caso como duración normal. Como es lógico se puede emplear un método similar para la duración crash. Sin embargo, en la mayoría de los casos prácticos la duración crash es casi una suposición y un solo valor parece ser más

apropiado.

Entre el límite crash más bajo y el límite normal más alto de duración de las actividades, puede existir un espacio continuado de otras duraciones posibles que requieran todas ellas diferentes recursos directos de inversión. La relación más corriente entre duración de una actividad e inversión de la actividad se demuestra en la Fig. 5. Puesto que a los límites normales y crash se llega únicamente a través de unas estimaciones que generalmente solo son aproximadas, la experiencia ha demostrado que la curvatura de esta relación puede aproximarse con bastante exactitud con una o varias líneas rectas. Un computador debidamente programado, aceptará una u otra aproximación.

Para que sea posible comparar ~~las duraciones~~ las actividades, las duraciones se deben expresar con unidades corrientes, por ejemplo, días, semanas o sencillamente periodos. De igual modo es necesario reducir los niveles recurso-inversión a un común denominador; por ejemplo, el coste directo en dólares.

En la Fig. 5 se demuestra únicamente la relación general entre el coste de la actividad y la duración de la actividad. Un sencillo ejemplo nos demostrará la naturaleza del examen cuyo fin es establecer la relación tiempo-coste de la actividad.

ANALISIS TIPICO DE UNA ACTIVIDAD

Examinemos la actividad de escribir a máquina un informe. Supongamos que para ello se necesitan el trabajo de una persona durante 40 horas y que se dispone en el acto de una mecanógrafa, la Srta. A. y de una máquina. Tengamos en cuenta que la cantidad de trabajo - en este caso 40 horas - podría hacerse empleando el pro-

dedimiento de estimación de tres veces de tiempo ya descrito. Supongamos también que en caso necesario se puede destinar a este trabajo dos mecanografías más, las Srtas. B. y C. igualmente capacitadas que la Srta. A. y que se pueden alquilar un número ilimitado de máquinas de escribir.

El sueldo por hora de las Srtas. A, B, y C es de \$2 con un aumento de un 10% en el segundo turno y otro 10% más en el tercer turno. Las mecanografías no pueden tener turnos de más de ocho horas. La empresa está ya trabajando sobre una base de tres turnos, eliminando las cargas adicionales tales como supervisión masculina en el segundo y tercer turno. El coste del alquiler de las máquinas es de \$5 las 24 horas, incluido la entrega y recogida.

Examinemos ahora el número de días y la inversión directa en dólares. Existen varias alternativas. Disponiendo de una, dos, tres o más máquinas se le puede asignar a la Srta. A, a las Srtas. A y B o a las Srtas. A, B, y C, varias combinaciones de trabajo en los turnos primero, segundo o tercero. El análisis de la una, dos o tres máquinas disponibles se demuestra en el Cuadro 1. Es evidente que disponer de más de tres máquinas teniendo solo tres mecanografías sería aumentar el coste innecesariamente.

En el cuadro 1. no se hayan expuestas todas las combinaciones posibles. Se han incluido únicamente las menos costosas en cada uno de los periodos de duración y cierto número determinado de máquinas disponibles. Los resultados del análisis se demuestran en la Fig. 6. En todo el espacio de posibles duraciones, el medio más económico de realizar la actividad es empleando únicamente la máquina inmediata disponible. En la Fig. 6 estas combinaciones están conectadas y forman, como si digéramos, una curva actividad-lineal,

coste-tiempo.

Las posibles combinaciones duración-coste que sugierenn los segmentos de la línea entre los puntos de días 2, 3, 4 y 5 sepueden conseguir, aunque no se han de practicar necesariamente. Por ejemplo, una duración completa arbitraria - y decididamente no practica - de 3.481 días necesitará que la Srta. A. trabaje en 3.481 primeros turnos (F.S.), y que la Srta B. trabaje en 1.519 segundos turnos, con un coste directo de \$55.70 en la Srta. A. (3.481, 8 horas de turno a \$2 la hora) y \$26.73 en la Srta. B. El coste total de los 3.481 días de duración será \$82.43. Este punto se indica en la línea de segmento entre los puntos de días 3 y 4. Aunque impracticable, esto demuestra que se puede dar el caso de una continuidad entre los puntos normal y crash.

En este ejemplo no existe ningún intervalo en la línea de segmentos que conecta los puntos de días 3 y 5. No obstante, un punto entre estos dos; - el punto de cuatro días - es una combinación duración-coste que se puede practicar y conseguir. Por lo tanto, es lógico suponer que existe continuidad entre los puntos normal y crash o entre partes de esta escala (a menos que se sepa con certeza que no pueden existir ciertas combinaciones duración-coste) mientras no se utilicen más que números enteros de valores en las unidades de tiempo seleccionadas - días en este ejemplo.

El espacio de puntos por encima del punto normal un obstáculo indeseable en la actividad. Esto puede deberse a alguna insuficiencia en la información dada a las mecanógrafas. Estos obstáculos no se cuenta con ellos al hacer el plan y en circunstancias normales no deben tenerse en cuenta. Solo hay que tener en consideración la porción de curva entre los puntos normal y de crash. La acumulación

y desarrollo de todos los datos del Cuadro 1. es tarea mucho más ardua. Proceder similarmente en todas las actividades de un proyecto sería extremadamente difícil.

En este ejemplo, como en la mayoría de las situaciones actuales, una línea recta desde el punto normal al punto crash aproxima bastante la forma actual de la relación duración-inversión. Por lo tanto, es suficiente en cada actividad con calcular solamente estos puntos. Se puede simplificar aún más la tarea de recopilación de datos. Como se demostrará más adelante, la información tiempo-coste se necesita solo en un 20% de las actividades proyectadas.

En este caso la duración normal y el coste se pueden averiguar fácilmente ya que se sabe que para ello se necesitan 40 horas de trabajo humano. Del mismo modo se puede determinar fácilmente la duración crash, puesto que cada mecanografa hace solo ocho horas de trabajo humano en un periodo cualquiera de las 24 horas, se puede conseguir un máximo de 24 horas de trabajo humano en un periodo cualquiera de las 24 horas. Por lo tanto para realizar 40 horas de trabajo humano se necesitarán por lo menos dos periodos de 24 horas; o sea por lo menos dos días del calendario - o dos días proyectados.

Ahora queda solo por averiguar el modo menos costoso para realizar el trabajo en dos días. En este caso basta con considerar tres alternativas: el empleo de una, dos o tres máquinas de escribir.

El ejemplo anterior es muy sencillo y ayuda a encontrar la fórmula para determinar los cálculos normal y crash. La fórmula se basa en las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es la inversión más pequeña que se necesita para terminar una actividad?

2. En el nivel de inversión ¿cuál es la duración más corta posible? (Si se considera oportuno, antes de dar la respuesta se deberán comparar las estimaciones optimistas, pesimistas y most-likely (más probable).

3. Sin tener en cuenta el coste ¿cuál es la duración más corta que se puede concebir para una actividad?

4. Cuando es necesaria esta duración ¿cuál es el nivel de inversión más bajo posible?

Para contestar estas cuatro preguntas se necesita mucha experiencia, amplios recursos y un buen criterio. A veces fuerzan a la persona que planea a conseguir soluciones crash muy por encima de cualquier emergencia actual.

CASOS ESPECIALES DE DURACION-INVERSION

Hasta ahora y en general solo hemos discutido la relación duración-inversión. Existen cuatro casos especiales que debemos mencionar: Relaciones horizontales duración-inversión, casos no-continuos, actividades dummy e inclinaciones artificiales.

Relaciones Horizontales: A veces se ha dicho que algunas actividades se pueden acelerar sin que aumente su coste. Esto sucede generalmente cuando el personal que va a realizar dicha actividad está dispuesto a trabajar horas extraordinarias sin cobrar más. Pero si se tiene en cuenta la definición de punto normal, la aceleración es imposible sin aumento de coste. Por ejemplo: Suponiendo que al nivel de inversión más bajo posible se calcula una actividad de ingeniería en 4 semanas basando la semana en 5 días laborables de ocho horas. Esto se

podría acelerar y reducir la actividad a tres semanas haciendo que el personal trabaje por las tardes y los fines de semana. A un promedio de 10.7 horas por persona y por día, tres semanas sería la duración normal calculada, siempre y cuando el ingeniero director pudiera y quisiera que el día tuviera 10.7 laborables.

También es posible otra aceleración más sin aumento de coste haciendo los planes a base de días trabajo cada vez más largos. Eventualmente se logra acortar el punto de retribución (rendimiento) La importancia, sin embargo, está en lo que la dirección quiera y pueda planear. En cualquier nivel de inversión, especialmente en el nivel normal, la duración práctica más corta es la que hay que tener en consideración.

Igualmente las discusiones sobre si la disminución en el coste disminuye a la par que lo hace la duración, solo indica que el nivel de inversión normal no se definió con exactitud en un principio como el nivel de inversión más bajo al cuál se podía terminar la actividad.

Casos No-Continuos

Estos casos ocurren solamente cuando existen los puntos normales y de crash - en otras palabras, cuando una actividad no tiene una relación tiempo-coste continuada.

Pongamos por ejemplo el envío de una mercancía a ultramar. El envío se puede hacer por flete marítimo o aéreo. El primero sería normal y el segundo sería crash. Existen solo estas dos posibilidades porque el enviar una parte por avión y el resto por barco no aceleraría en modo alguno la actividad, ya que el "Envío de Mercancías" es incompleto si falta por llegar parte del envío.

En algunos casos ~~para haber más se~~ se pueden dar más de

dos alternativas discretas duración-inversión. Volviendo al ejemplo del informe mecanografiado, en la Fig. 6 supongamos que las unidades son horas. Los puntos de días 2,3,4 y 5 se convierten entonces en puntos de 48,72,96 y 120 horas. Suponiendo existe continuidad entre estos puntos, pero trabajando con los valores enteros de las unidades de tiempo, el resultado puede ser una relación impracticable de tiempo-coste. Por lo tanto la especificación de los cuatro puntos distintos debe hacerse como se demuestra en la Fig. 7. La relación tiempo-coste de no-continuidad constituye la base del Coste/PERT que en breve desarrollará el "Management System s Corporation" así como otras organizaciones para el Proyecto Oficial de la Oficina Naval.

Ocurren también combinaciones de casos continuos y no-continuos, Estos los discutiremos más adelante, ahora lo único posible es una sola combinación duración-inversión. Esto sucede cuando una actividad no se puede acelerar y el diagrama de la Fig. 5 se convierte entonces en un solo punto en donde la duración normal iguala a la duración crash y el coste normal iguala al coste crash.

Actividades Dummy

El proceso de la actividad dummy es sencillo. Puesto que esta actividad artificial no requiere necesariamente ningún género de recursos, la duración normal y la inversión normal, así como la duración crash y la inversión crash, son todas cero.

Inclinación Artificial: En CPM la inclinación se refiere a la relación entre aumento de inversión y disminución de la duración' en otras palabras, la inclinación (o curva) de la aproximación hacia la línea recta desde el punto normal al punto crash. Cuando se acelera una actividad es conveniente, debido a razones tales como dificultades para conseguir los fondos necesarios para dicha aceleración, o una gran incertidumbre al hacer los cálculos de coste - que la aceleración de una actividad determinada parezca más costosa de lo que en realidad es. Esto se puede hacer especificando la inclinación de modo distinto a como es en realidad, - pero si se decide una duración menor a la duración normal - calculando entonces el coste sobre la base de la relación correcta duración-inversión. Esto se demuestra en la Fig. 8 . Como se verá más adelante, las inclinaciones artificiales se emplean también cuando por algún motivo se desea unos efectos similares.

La Parte 3. tratará de la fase avanzada de programación.

MODELOS DE RED PARA PROGRAMACION DE PROYECTOS

Parte 3.- Fase avanzada de Programación

Las etapas finales de la fase de programación, determinan los puntos críticos en la programación del proyecto. Una vez que se han decidido todas las programaciones posibles y escogido las más convenientes, el proyecto está ya dispuesto y listo para llevarse a cabo.

c

Después de haber calculado la relación tiempo-coste de todas las actividades del proyecto, estos cálculos han de enlazarse con la representación del diagrama de flecha del proyecto. El resultado será una serie de alternativas en las tablas de tiempo-proyecto utilización. Cada tabla ha de detallar claramente todas las características tiempo-coste de las actividades y han de garantizar un mínimo total de inversión directa en el proyecto.

Como es evidente, la planificación total de duración del proyecto no puede ser menor de la que resulte después de haber realizado todas las actividades en sus duraciones crash. Igualmente, la inversión mínima planeada en el proyecto dará el resultado deseado si todas las actividades están programadas para duraciones normales. El primer caso se llama "duración del proyecto all-crash", la segunda, "duración del proyecto all-normal". Entre estos dos límites existe en el proyecto un número infinito de combinaciones duración-directa, pero solo algunas se pueden utilizar con una inversión directa mínima. El problema está, por lo tanto, en identificar aquellas actividades del proyecto que pueden influir en la duración del mismo y especificar en todas las duraciones alguna combinación de duración de la actividad para la cual la inversión total requerida en el proyecto sea mínima.

En el ejemplo de la figura 9 se demuestra como se puede hacer esto manualmente. Los datos de la actividad se exponen en el cuadro 2. Las actividades se identifican tanto alfabéticamente como numéricamente. La inclinación de coste representa la inversión adicional que se requiere cada semana en que se le da curso a una actividad cualquiera. La entrega, $G(0,4)$ se considera no añade ningún coste al proyecto cuando ésta se efectúa dentro de una duración normal. Si la entrega se acelera, el coste se eleva a \$50.

Programación de la Senda Crítica.

Si en el diagrama se asocia una duración con cada una de las flechas de la actividad, el resultado será siempre una o varias secuencias de flechas dirigidas y conectadas desde el principio al final del proyecto, en las cuales la suma de duraciones dará un número más elevado que en ninguna otra senda directa del diagrama. El número mayor que se obtenga de este modo, será la duración que se necesite para la terminación del proyecto correspondiente a esa serie especial de duraciones de la actividad.

Estas sendas que controlan la duración del proyecto, se llaman "sendas críticas" y las actividades de una senda crítica se llaman "actividades críticas". Se puede dar el caso de alguna demora en la duración calculada al realizar una actividad crítica, y evidentemente, también se demorará la terminación del proyecto. De igual modo, si se desea acelerar, habrá que acelerar primero las actividades de la senda crítica. El acelerar las actividades no críticas, tiene como resultado una inversión mayor, sin afectar la duración del proyecto. Para obtener programas alternos con disminución en la duración del proyecto y unos requisitos de inversión al más bajo coste posible, se debe acelerar sucesivamente la combinación a más bajo-coste de las actividades críticas. Por lo tanto será necesario seguir el curso de las mismas y saber como y cuando cambian las sendas críticas. Asociaremos

como ejemplo la duración normal del cuadro 2 con la fig. 9a, cuyo resultado es la red que se expone en la fig. b. En este ejemplo las siguientes programaciones son posibles:

Programación 0: Las siguientes sumas de duración corresponden a cada una de las cuatro sendas de la red:

Senda 1:

L.T. (0,1): 0 + A (1,2): 8 + C(2,3): 6 + E(3,5): 5 + F(5,6): 14 = 33 semanas.

Senda 2:

L.T.(0,1): 0 + A (1,2): 8 + (2,4): 0 + D (4,5): 9 + F (5,6): 14 = 31 semanas

Senda 3:

L.T. (0,1): 0 + B (1,3): 8 + E(3,5): 5 + F (5,6): 14 = 27 semanas.

Senda 4:

G(0,4): 4 + D (4,5): 9 + F (5,6): 14 = 27 semanas.

La suma mayor, 33 semanas, corresponde a la senda 1. Por lo tanto, la senda 1 es la senda crítica en esta serie de duraciones y las actividades de la senda 1 son actividades críticas. Las características de las actividades se resumen en el cuadro 3. Puesto que todas las actividades del cuadro 3 están consideradas de duración normal, el cuadro representa el programa all-normal.

Programa 1: Examinemos ahora una aceleración preliminar o alternativa crach. La aceleración se puede conseguir comprimiendo una de las actividades críticas. Según el cuadro 2, el menor aumento en el coste del proyecto se obtiene comprimiendo la actividad C(2,3), la cual tiene una inclinación en el coste de \$400 por semana y una duración actual (programa all-normal) de seis semanas. Si a la actividad C(2,3), se le

quitan dos semanas, la duración del proyecto se convierte en $33 - 2 = 31$ semanas.

Con esta duración la Senda 2 también es crítica. Consecuentemente, y aunque la actividad C se pueda efectuar en un espacio tan corto como tres semanas, la aceleración de esta actividad en más de dos semanas, requerirá simultáneamente que se aceleren las actividades de la Senda 2 - en este caso D (4,5) y / o el dummy (2,4). En otras palabras, la Senda 2 se debe acelerar una semana en total si la aceleración de una tercera semana de la actividad a bajo-coste C va a afectar a la totalidad del proyecto. Puesto que el dummy no se puede acelerar, la semana de la Senda 2 habrá que sacarla de la actividad D a un coste adicional de \$300. El coste total de aceleración de la última de las tres semanas es por lo tanto $\$400 + \$300 = \$700$. Esta inversión es más alta que la requerida en una semana de compresión de la actividad A (1,2), común a las Sendas 1 y 2. En A, la inversión adicional sería solo \$600 a la semana.

Por lo tanto es mejor especificar que la primera compresión en la duración del proyecto se puede obtener acelerando en dos semanas la actividad C (2,3). La duración del proyecto sería de 31 semanas con la red y las características asociadas a la actividad que se demuestra en la Fig. 10a y el Cuadro 4. El signo - en la columna "change" (cambio) del Cuadro 4 indica que la actividad correspondiente, C(2,3) se comprimió y no siguió la duración programada en el cuadro precedente.

Programa 2: En esta segunda alternativa, la actividad o combinación de actividades menos costosa de acelerar, es la actividad A (1,2), con un coste de \$600 por semana. Otras posibilidades pueden ser: C (2,3) + D (4,5) a \$700 por semana, y E (3,5) + D (4,5) a \$1200 por semana.

Según el Cuadro 2, A (1,2) se puede comprimir y reducir a seis semanas, pero una compresión de más de cuatro semanas podría obstaculizar el estado crítico de la actividad B (1,3). Estas consideraciones nos llevan a los datos del Cuadro 5 y a la red de la Fig. 10b.

Programa 3: Antes de decidir un tercer programa acelerado, es necesario que consideremos cierto número de posibilidades:

A(1,2) + B(1,3) a \$1400 por semana + G(0,4) a \$50
 A(1,2) + E(3,5) a \$1500 por semana + G(0,4) a \$50
 D(4,5) + E(3,5) a \$1200 por semana
 B(1,3) + C(2,3) + D(4,5) a \$1500 por semana

Como se ve, el grado menos costoso en la aceleración de un proyecto se puede obtener escogiendo la tercera posibilidad, o sea, comprimiendo las actividades D y E. De acuerdo con el Cuadro 2, la aceleración de D - y por lo tanto la combinación de D y E - queda limitada a dos semanas, con una duración total proyectada de 25 semanas se puede conseguir con un aumento total de \$2400 por encima del Programa 2. Aunque este razonamiento está claro y parece correcto, no lleva a la inversión mínima directa de las 25 semanas de duración proyectadas.

Consideremos la segunda de las posibilidades precedentes la compresión de las actividades A + E + G. La aceleración de dos

semanas de las tres actividades, supondría un coste de \$3050, pero al mismo tiempo acortaría la actividad C(2,3) en dos semanas, con un ahorro de \$800. Así pues la inversión adicional neta requerida para las 25 semanas de duración del proyecto se convierte por lo tanto en $\$3050 - \$800 = \$2250$, o sea \$150 menos que en el primer intento. Esta operación en el desarrollo alternativo de los programas coste-mínimo, da una idea de las complejidades que pueden surgir. En las actuales redes proyectadas, mucho mayores que este sencillo ejemplo, es materialmente imposible comparar las alternativas como hemos venido haciendo hasta ahora. Para ello se necesita un método computarizado.

En la Fig. 10c, se demuestra el diagrama de flecha de la tercera posibilidad de aceleración del proyecto. Notese que por ser no continua, la entrega G ya no es crítica. En el Cuadro 6, se dan las características de la actividad.

Programa 4: Puesto que la actividad A(1,2) está ahora en el punto crash máximo, las únicas posibilidades que quedan para la aceleración sucesiva del proyecto son: D (4,5) + E (3,5) a \$1200 por semana, y D(4,5) + C (2,3) + B (1,3) a 1500\$ por semana. La primera de estas posibilidades es menos costosa y es la que resulta en la red proyectada de la Fig. 10d. y las características de la actividad como las del Cuadro 7.

Aunque todas las actividades del proyecto no se aceleran totalmente, no existe sin embargo ninguna combinación de actividades que en caso de acelerarse compriman aún más la duración del proyecto. Así pues, se alcanza la duración mínima proyectada (23 semanas) y se determina la inversión mínima requerida (\$22,950). Si to-

das las actividades del proyecto se hubieran programado en sus puntos crash, la duración del proyecto sería también de 23 semanas, pero el coste sería el valor all-crash de \$27,350. La diferencia supone un ahorro de un 17%.

Las alternativas de coste-menor identificadas como Programas 0,1, 2, 3 y 4 se demuestran en la Fig. 11. Puesto que se han adoptado variaciones lineales para todas las inversiones de las actividades, el coste del proyecto variará linealmente en los cinco programas. Si se desea una interpolación, bastará con confrontar la columna "change" del programa duración-menor más próximo y allí se encontrará la combinación de actividades que se considere ha de sufrir algún cambio en ese determinado intervalo. La interpolación lineal de las características de esta actividad, dará como resultado el programa adecuado.

SELECCION DE UN PROGRAMA

La selección de un programa determinado entre muchas alternativas depende en gran parte de los objetivos del proyecto. Cuando el tiempo es el factor principal, se puede seleccionar directamente un programa cuya duración sea de 23 a 33 semanas. Si se exige en la fecha de terminación que la duración del proyecto sea menor de 23 semanas, será necesario examinar nuevamente la inversión y duración de la actividad, o incluso revisar el proceso de utilización.

Este último procedimiento, requiere, como es natural, que se altere el plan básico y la red precedente del proyecto; pero antes de hacer cambio alguno en la red, habrá que tener en cuenta las actividades críticas. Será necesario colocar las actividades para-

lamente cuando en un principio, y esto es lo ideal, se realizaron en serie. Con este género de cambios, la dirección se expone a correr riesgos. No obstante, decisiones arriesgadas no se deben tomar más que en casos de absoluta necesidad.

Curva Coste-Total: Cuando el coste total del proyecto es el factor decisivo al seleccionar un programa determinado, se necesita más información que la requerida para la inversión directa del proyecto ya calculado. Al gasto directo habrá que añadir otros gastos indirectos tales como fondo perdido, impuestos, multas y gastos similares. Los gastos indirectos aumentan a medida que las duraciones se van haciendo más largas. Si suponemos, por ejemplo, que los gastos indirectos son invariablemente de \$600 por semana, se pueden exponer como en la Fig. 11. El resultado de la suma de la inversión directa y de los gastos indirectos es una curva coste-total del proyecto en forma de U que también se demuestra en la Fig. 11. El programa óptimo para la utilización del proyecto es el que corresponde al punto mínimo de esta curva.

En la práctica es bastante corriente la curva coste-total aplanada. Este aplanamiento indica, que la duración del proyecto - solo disminuye realmente en una inversión adicional normal. En este caso un programa que ~~se puede~~ ^{se puede} ser terminado en 27 semanas, es óptimo en términos de tiempo y coste. En el Programa 2, Cuadro 5 se expone la duración de las actividades y la inversión necesaria a cada una de ellas con una duración total de 27 semanas.

En el Programa 2, la entrega G (0,4) es crítica. En caso de creerse oportuna alguna otra duración que no fuera cero en el tiempo marcado, o sea si hubiera que comenzar el proyecto en un futuro, la entrega se convertiría en no crítica. Y a la inversa, si la duración normal de la entrega fuera mayor de las cuatro semanas que se dan en el ejemplo, pongamos ocho, y no se pudiera hacer crash, el mero hecho de ser crítica permitiría una espera de cuatro semanas desde el "tiempo actual" hasta el comienzo de las actividades A y B. En otras palabras, puesto que para G se necesitan 8 semanas, se puede introducir un tiempo marcado de 4 semanas y así el proyecto se terminará de acuerdo con el programa más económico. Debido a que las entregas externas pueden determinar el punto de partida del proyecto, el suceso de entrega de partida debe coincidir con el proyecto de origen.

En este ejemplo, todas las actividades se han convertido en críticas, lo que no es muy probable que ocurra en la realidad. Por lo general solo el 10 al 20% de las actividades de cualquier proyecto, llegan a ser críticas. Por lo tanto solo es preciso acumular datos de tiempo-coste para una fracción pequeña del proyecto - lo que simplifica muchísimo, especialmente en los grandes proyectos. El otro 80% de las actividades continua constante a sus duraciones normales y a los valores de inversión. Por lo tanto, su única contribución es el coste invariable en todos los puntos de la curva inversión-directa. La forma relativa de esta curva - y consecuentemente su utilidad - no cambia. El único problema es como determinar cual de los 20 por ciento será crash.

Tiempos de las Actividades: En cualquiera de las series de duración de las actividades es posible determinar el punto primero y último en el cuál se puede comenzar y terminar una actividad. Examinaremos como ejemplo, el caso all-normal de la Fig. 9b. Acaeciendo el proyecto de origen en el tiempo cero, el tiempo primero en que puede empezar la actividad A es también cero. Puesto que A es crítica, esta actividad no se puede terminar después de la octava sin interferir en la duración de 33 semanas del proyecto all-over. La actividad G se puede terminar muy pronto, en la cuarta semana. Por lo tanto, D se puede empezar también muy pronto, en la octava semana - enseguida que se termine A. Sin embargo, el comienzo de D se puede aplazar hasta la décima semana, dejando 23 semanas para la terminación de D. (que necesita nueve semanas) y de F. (que necesita catorce semanas). Considerando así todas las actividades del proyecto se consigue una tabla de tiempo completa consecuente con la duración del proyecto que se ha seleccionado.

Flote: Como en el caso de la actividad D, todas las actividades no críticas tienen alguna "deriva" o "flote" en sus tiempos de partida y de terminación. Normalmente hay que considerar dos tipos de flote "flote total" y "flote libre".

El flote total, que en PERT se llama "holgura", es la deriva de que se puede disponer cuando todas las actividades que preceden a la actividad en cuestión se empiezan lo antes posible, y - todas las actividades subsiguientes se empiezan lo más tarde posible. Si el flote total de una actividad es cero, esa actividad es crítica.

El flote libre se define como la deriva de que se puede disponer en la actividad cuando todas las demás actividades del proyecto se empiezan lo antes posible. Si se utiliza todo el flote para realizar una sola actividad, no quedará ningun flote disponible para las actividades sucesivas. En este caso las actividades se convierten en críticas y aumenta el riesgo de demorar el proyecto.

En el ejemplo que estamos examinando, la tabla de tiempo all-normal se expone en la Tabla 8.

De lo visto anteriormente se puede deducir que es necesario especificar las duraciones normales en todas las actividades. El cálculo all-normal de flote total es lo que identifica a las actividades críticas. Para estas actividades se necesitan datos completos en los cuales el márgen total es cero, o casi cero, ya que la compresión en la duración consume parte del flote de la red, y las actividades con solo pequeñas cantidades de flote total se convierten rapidamente en críticas.

El concepto de flote es una de las razones para construir una red ideal. Refiriéndonos a la Fig. 12, supongamos que las tres actividades calculadas se estima necesitan 4,3, y 6 semanas. Si los calculos de la red all-normal demuestran que estas actividades son no-críticas, se podrá disponer según la definición de un flote. Pongamos como ejemplo que hay diez semanas de flote en una actividad de seis semanas. Disponiendo de un sistema de analisis, las tres actividades se pueden examinar, con una escala de tiempo, en series. Empleando el flote disponible se puede terminar primero la actividad de 3 semanas, después la de cuatro semanas y finalmente la actividad de seis semanas, dejando dos semanas libres. Como normalmente son muy pocas las actividades que no tienen flote, arreglos como este se pueden hacer muchas veces.

En la Parte 4. presentaremos como ejemplo, la primera parte de un caso donde se encierran los conceptos fundamentales presentados hasta ahora.

MODELOS DE RED PARA PROGRAMACION DE PROYECTOS

Parte 4. - Preparación de un Modelo de Red

En los tres primeros artículos de esta serie, hemos presentado el método de construcción de los bloques de un proyecto de red. En este artículo expondremos las primeras operaciones en el funcionamiento de un modelo de proyecto de red para el desarrollo real de un proyecto de ingeniería.

El "AABOE Engineering Inc. Defense Project Dept," como arrendatario tiene el plan de someter una propuesta sobre desarrollo y funcionamiento de un aparato electromecánico para el proyecto - XYZ. La compañía tiene bastante experiencia en lo referente a proyectos mecánicos pero es algo limitada en trabajos de desarrollo en el campo requerido por XYZ.

Los desarrollos incluidos en este subarriendo deben ser integrados en los de otras compañías. Por este motivo, el primer contratante ha solicitado la terminación y revisión de la fase de desarrollo, o sea de los 100 días proyectados después del comienzo del proyecto. Los ingenieros de AABOE teniendo en cuenta su experiencia limitada, quieren sacar el mayor provecho posible de este periodo de 100 días. Así pues, en cualquier plan o programa adoptado no se debe considerar la fase de trabajo de desarrollo acelerada por debajo del límite de 100 días. La revisión que quiere el primer contratante se considera en el proyecto como una gran "milestone".

El subarriendo entero tiene que estar terminado el 15 de abril de 1.963. El contrato contiene una cláusula incitativa si se termina rápidamente, dando un máximo incitativo de \$4800 si se termina diez semanas antes de la fecha requerida. El incitativo dis-

minuye a razón de \$600 por semana si se termina de diez a cuatro semanas antes de la fecha requerida, el 15 de Abril, y de aquí en adelante \$300 por semana. Las terminaciones después de la fecha requerida tienen una multa de \$100 a la semana.

La propuesta tiene que estar basada en un proyecto de red y para ello se ha nombrado un director del programa. También se dispone de un computador debidamente programado.

DIAGRAMA DE FLECHA

La responsabilidad mayor y más importante del director del proyecto es preparar y supervisar un análisis de los elementos de trabajo requeridos para realizar el contrato. Este análisis se lleva a cabo consultando los distintos grupos funcionales relacionados con la ejecución del proyecto. Una vez que se extraen los elementos de trabajo, estos se definen en términos de actividades y se prepara, simultáneamente, una red donde se describen la precedencia lógica entre estas actividades. El resultado es el diagrama de flecha que demuestra en la Fig. 13.

En la Fig. 13 hemos escogido un ejemplo suficientemente detallado para manejar todos los proyectos y para exponer claramente el plan que se intenta utilizar. Más adelante, los directores componentes podrán trazar unas redes más detalladas que les faciliten la planificación, programación y muy especialmente, el control, de las tareas proyectadas dentro de su jurisdicción. Las fases anteriores del proyecto están expuestas en el diagrama con más detalles que las posteriores. Esto es debido a que se puede saber más de un futuro inmediato que de un trabajo posterior, el cual depende en cierto modo del resultado de las primeras fases.

Como hemos dicho anteriormente, los diagramas de flecha tienen que ser dinámicos. Por lo tanto, a medida que va avanzando el trabajo se puede ir añadiendo otros detalles a la red. Anticipando algunos de estos detalles, subdividimos en la Fig. 13 unos cuantos elementos de trabajo en varias fases. Esta subdivisión indica que el comienzo de una actividad cualquiera, depende de la terminación parcial, y no final, de dicha actividad. Por ejemplo, en "Layout Drafting", las Fases 1 (16,15) y 2 (6,16) pueden ir concurrentemente pero tienen que estar terminadas antes de que pueda empezar "Industrial Design", Fase 1 (16,17). "Layout Drafting" (16,18) continúa concurrentemente con (6,17) y llega hasta un grado más avanzado de terminación en el cuál se necesitan más datos (14,18). A medida que avanza el proyecto, el trabajo específico de cada uno de estas fases ha de ser sometido a revisión.

CONSIDERACIONES ESPECIALES

En relación a este modelo de red tendremos que hacer unos comentarios más. Conciernen estos a la numeración de los sucesos y a los métodos de empleo de las restricciones "milestone".

Numeración de Sucesos: Se ha adoptado en conjunto un convenio para numerar los sucesos. Las excepciones - los sucesos 100, 231 y 232, demuestran dos situaciones diferentes. En principio, una actividad (0,9) se definió como "Delivery of Bearings". No obstante, consideraciones posteriores han indicado que la preparación de las producciones podía considerarse como una relación continua tiempo-coste, mientras que el envío era no continuo. En este caso, generalmente es preferible dividir la actividad en dos partes y hacer dos actividades que se indican como (0,100) y (100, 9):

Por otro lado, los sucesos 231 y 232 dividen la actividad (20,23) en tres segmentos. Lo que quiere decir que habrá que aproximar la curva tiempo-coste empleando tres líneas en lugar de una sola directa, Fig. 14. Cada uno de estos segmentos no pueden existir por sí solos. Solamente una de las actividades se ha definido -"Analog-Computer Study of Servo Control". Esto se indica dejando la flecha (20,23) continuar a través de los sucesos 231 y 232. El modo de manejar esta especie de aproximación lineal a la curva tiempo-coste de una actividad, se discutirá más adelante.

Como el convenio de numeración no se ha adoptado totalmente, habrá que emplear el computador para numerar de nuevo todas las actividades. Como es natural, la red se podrá numerar de nuevo manualmente.

Milestones: ^a través de la red se usan varios "dummies". Todos, excepto dos se emplean para facilitar la identificación de las actividades mediante partes numeradas - por ejemplo, el dummy(17,18)- o para demostrar las relaciones precedentes tecnológicas - por ejemplo el dummy(12,13). Los dos dummies que no se encuentran en esta categoría se demuestran con líneas de puntos entrecortadas y marcados (0,33) y (33,37). También el suceso 33 se demuestra con un octágono en vez de con un círculo. El suceso 33 es el "milestone" al que nos hemos referido en la definición del problema, y (0,33) y (33,57) son las llamadas restricciones milestone. Fundamentalmente, el concepto milestone no quiere decir nada nuevo, representa únicamente la una o varias aplicaciones posibles en los bloques básicos de construcción descritos anteriormente. No obstante es una aplicación importante.

La red de la Fig. 13 se puede representar sistemáticamente como en la Fig. 15, o sea con un bloque de desarrollo, un bloque de proyecto y un bloque over-all. Se demuestra además, el origen del proyecto, su terminación y el "milestone" con las restricciones A y B. Si en algún momento se olvidan las dos restricciones artificiales milestone, siempre queda el diagrama de flecha para el que se podría calcular una duración proyectada all-normal. Si se tiene en cuenta la definición del problema, los únicos programas aceptables son aquellos en los que se especifica el acontecimiento del suceso 33, el milestone, en el día 100. Sin embargo, no existe ninguna garantía de que el programa all-normal, o cualquier programa crash - especifique una terminación pronta o tardía de la actividad (32,33) en el día 100. Así pues es necesario introducir las restricciones milestones. Una actividad cuyas características estén debidamente definidas, anclará el milestone en el punto especificado de tiempo sin tener en cuenta el crash.

Restricciones Milestone: Las restricciones no deben añadir más coste al proyecto. Por lo tanto, el coste normal es igual al coste - crash que es igual a cero en las dos restricciones.

Existen dos posibilidades: 1. En la solución all-normal, el suceso milestone ocurre en el tiempo especificado o antes.
2. En la solución all-normal, el suceso milestone ocurre después del tiempo especificado.

En la primera solución, la restricción A, se puede considerar como una restricción de entrega que se llama: "Delivery of Completion of Activity Leading to the Milestone Event". Esta entre-

(La red de la Fig. 13 se puede representar sistemáticamente como en la Fig. 15, o sea con un bloque de desarrollo, un bloque de proyecto y un bloque over-all. Se demuestra además, el origen del proyecto, su terminación y el "milestone" con las restricciones A y B. Si en algún momento se olvidan las dos restricciones artificiales milestone, siempre queda el diagrama de flecha para el que se podría calcular una duración proyectada all-normal. Si se tiene en cuenta la definición del problema, los únicos programas aceptables son aquellos en los que se especifica el acontecimiento del suceso 33, el milestone, en el día 100. Sin embargo, no existe ninguna garantía de que el programa all-normal, o cualquier programa crash - especifique una terminación pronta o tardía de la actividad (32,33) en el día 100. Así pues es necesario introducir las restricciones milestones. Una actividad cuyas características estén debidamente definidas, anclará el milestone en el punto especificado de tiempo sin tener en cuenta el crash.)

ga debe tener una duración de 100 días y no se debe comprimir. Así pues las características de la restricción A serán: Duración normal igual a duración crash, igual al acontecimiento especificado milestone de tiempo (en este caso 100 días). La restricción Milestone B no se necesita en este caso. Como se ve claramente la restricción A podría ser crítica, y continuar siendo crítica a lo largo de todos los crashings. La aceleración podría ser posible en todos los bloques del diagrama, pero la restricción A retendría el suceso milestone en el día 100. Puesto que en la segunda situación el suceso 33 ocurre después de los 100 días, la restricción A no es crítica. Las duraciones a lo largo de una o varias secuencias contiguas de flechas desde el proyecto de origen al suceso 33, suman en total más de 100 días.

Estas secuencias - llamadas sendas milestones - no tienen como es natural - que recaer sobre las sendas críticas para una solución normal. No obstante, cuando se quieren obtener unos programas aceptables es necesario comprimir la duración de las sendas milestones a 100 días. Esto se debe hacer antes de comprimir cualquiera otra parte del proyecto, con el fin de eliminar lo antes posible algunas soluciones inaceptables en los programas. Para esto se necesitará que las sendas milestone tengan que ser forzosamente parte de las sendas críticas de la red. La restricción milestone B sirve a este fin.

Especificando una duración normal muy larga - mucho más larga de lo que pudiera ser la duración del proyecto all-normal - en la restricción B. se haría esta restricción parte de la senda crítica. Puesto que la senda crítica es una secuencia contigua de flechas desde el comienzo hasta el final del proyecto, las sendas milestone tendrá que formar ahora también parte de la senda crítica, Fig.16

El crashing de la senda milestone con prioridad a cualquier otro crashing, se puede ahora llevar a término empleando el concepto de inclinación artificial. La inclinación muy empinada que hemos especificado anteriormente en la restricción B., podrá hacer menos costoso el crash de la senda milestone. Cuando después de un crashing suficiente, la duración de la senda milestone es de 100 días, la restricción A se convierte en crítica. Si la duración normal de la restricción B se hubiera especificado como de 500 días, llegando a este punto, la duración del proyecto sería de 100 días (restricción milestone A) + 50⁰ días (restricción milestone B) = 600 días.

Puesto que " no se puede acelerar, la única alternativa es la de hacer crash (estallar) B. La restricción B se puede, sin ningún coste adicional y con una duración crash de cero, acelerar hasta que otras sendas se conviertan en críticas.

En este punto, el problema queda reducido a la primera situación. El milestone, debido a la restricción ^A, quedará fijo en los 100 días, pero otras partes de la red se pueden hacer crash del modo habitual. La restricción B tendrá necesariamente que sufrir una compresión adicional pero no volverá a sufrir ninguna otra influencia de restricción si se especifica su duración crash como cero. La forma general de la curva proyecto-coste -directo, sería como en la Fig. 17. Solo la tercera parte de la curva tiene el milestone en el día 100. Por lo tanto, únicamente son aceptables los programas correspondientes a esta parte.

Se ha creído generalmente, que las sendas milestone se podrían comprimir lo suficientemente como para permitir el acontecimiento del suceso milestone en el tiempo especificado. Este puede no ser el caso. No obstante, este procedimiento garantizará que el suceso milestone esté lo más cerca posible del punto deseado antes de que se

creen otros programas. También será necesario identificar claramente las sendas milestone para cuando se examinen de nuevo las características de la actividad - para hacer posible la compresión de las sendas milestone adicionales - se haga con el mínimo esfuerzo. Los claculos originales de duración-crash , o de estructura de red a lo largo de la senda milestone, tendrán que ser revisados para realizar algunos cambios posteriores en el ~~acontecimiento del~~ tiempo de acontecimiento del suceso milestone.

Asi pues, los datos especificos de la restricción milestone son:

Restricción Milestone A (Origen del suceso milestone):

Duración normal = tiempo de acontecimiento milestone

Duración Crash = tiempo de acontecimiento milestone

Coste normal = 0

Coste crash = 0

Restricción Milestone B (Suceso milestone hasta su terminación):

Duración normal = número grande

Duración crash = 0

Coste normal = 0

Coste crash = 0

Inclinación artificial = número grande

Estas especificaciones demuestran que no se necesita un conocimiento previo de la duración del proyecto, del tiempo en que ocurre el suceso original milestone all-normal, o de la senda milestone.

INDICE de separos
Número de Milestones: En la red se pueden incluir varios milestones. Sin embargo, la posibilidad de ir colocando restricciones no realizables o sucesos, aumenta rapidamente, por lo tanto la persona que pla-

nea debe tener más cuidado a medida que se van introduciendo más milestones.

El termino del proyecto puede ser un milestone. Esto tiene como resultado la creación, si fuera posible, de ese programa especial que corresponde a un dia especificado para la terminación del proyecto. Si al seleccionar cualquier programa se desea introducir un flote adicional en el proyecto total, esta posibilidad es en ese caso especialmente interesante. Un cómputo de programación adicional producirá un programa con el flote extra deseable si se introduce una restricción milestone desde el origen del proyecto al término, con una duración crash-igual-normal que corresponda a la duración del programa seleccionado más la realización del flote deseado.

Hemos presentado el concepto milestone en unos términos y condiciones muy severos - el suceso especifico programado no puede ocurrir ni antes ni después del tiempo señalado. En caso de existir una situación anterior o posterior, la especificación de la duración crash sobre la restricción A, puede relajarse a cero. Esto permitirá la compresión adicional de la senda milestone. Para garantizar la creación de un programa donde el suceso milestone esté en el punto exacto de tiempo deseado, se debe añadir a los datos de restricción A, una especificación amplio-valor-inclinación - artificial. La inclinación empinada de la restricción \ddot{A} , servirá además para demorar la compresión de la senda milestone hasta que se hayan ejecutado todas las demás compresiones posibles del proyecto. En otras palabras, se demora lo más posible la creación de programas "anteriores".

Tiempo Marcado: El tercer comentario de la red concierne a la línea ondulada (0,1) de la que hemos hablado anteriormente como tiempo marcado. El suceso 0 es el instante corriente de tiempo y el suceso 1 es cuando el proyecto está programado para empezar. Como es lógico, estos dos sucesos pueden ser simultáneos. Como hemos dicho anteriormente, las flechas de entrega de una actividad se trazan desde el suceso 0 a los lugares adecuados de la red. La actividad (0,100) es una de estas restricciones de entrega. Las actividades (0,30) y (0,55) también entran en esta categoría, pero estas requieren unos comentarios aparte. Ambos se han incluido para demostrar que las directrices principales deben estar preparadas en el suceso 30 y 55 si el proyecto tiene que continuar. Si las directrices solo se pueden obtener al principio, entonces es posible acortar el tiempo marcado y ajustarlo a la restricción de programación.

Cuando existe esta situación y la cantidad de tiempo marcado es menor que la compresión requerida, algunas actividades pueden verse forzadas a un crash que de no ser así sería innecesario.

La cantidad de crashing se podría determinar haciendo milestone los sucesos 30 y 55. El aumento de coste que resulte se puede relacionar directamente con una incapacidad de dirección. A veces la eliminación de ^{todo el} tiempo marcado y el crashing total del proyecto no proporcionará el tiempo suficiente y se demorará la terminación del proyecto inevitablemente. Una vez más la responsabilidad tendrá que recaer sobre quién le corresponde. Si las directrices solo se pueden obtener después del comienzo de los sucesos 30 y 55, el tiempo marcado se podrá ampliar con la demora correspondiente en la duración del proyecto.

Origen y Terminación: El diagrama se ha trazado de modo que el origen del proyecto (START) y la terminación del proyecto (END), se identifiquen unicamente por sucesos (los sucesos 0 y 57 respectivamente). Como es lógico esto se puede conseguir aplicando los "dummies" debidamente.

En la parte 5 de esta serie continuaremos con el historial de este caso, y examinaremos los datos de entrada del computador.

MODELOS DE RED PARA PROGRAMACION DE PROYECTOS

Parte 5. - Preparación de los datos del Computador

Puesto que todo el procedimiento del proyecto de red se puede formular en términos matemáticos exactos, se han ido desarrollando unos cómputos de rutina para cuidar los problemas de planificación y programación del tamaño que estos sean. En este artículo demostraremos el modo de hacerlo.

Para poner en marcha un modelo de proyecto de red en un computador debidamente programado se necesitan dos operaciones importantes. La primera implica la compilación de los datos necesarios bajo unas formas preparadas. La segunda operación consiste en transferir estos datos a fichas perforadas antes de llevarlas al computador y elaborar cierto número de programas alternativos.

PREPARACION DE LOS DATOS DE ENTRADA

La preparación de los datos de entrada está completa una vez que se han recogido toda la información necesaria y relacionado en una hoja clave de entrada. En la fig. 18 ~~demuestra~~ mos la Pag. 5 de las hojas claves preparadas para la propuesta XYS que hemos examinado en la Parte 4. Cada una de las líneas de la página corresponde ~~al~~ sesgo de una actividad y puede contener hasta 80 columnas de información. Las columnas 1 a 28 contienen la información referente a preferencia, tiempo, coste, sesgo, ponderación y continuidad. La ponderación - en número de 1 a 9 - se refiere al plan especial prioritario de ponderación incluido en el programa que se emplea en el transcurso de este ejemplo.

Prioridad: La Prioridad-ponderación le asigna a las actividades cualquier flote disponible proporcionado a la ponderación establecida, dándole al usuario una oportunidad de poder sesgar la asignación de tiempo de deriva o flote. En los casos de incertidumbre anormal en los cálculos de tiempo, se empleará una ponderación de gran prioridad, cuyo resultado será una cantidad de flote muy grande pero proporcionado a esa actividad. Debido a razones prácticas, la asignación de flote por ponderación prioritaria, se aumenta en el programa GE 225, creando un sesgo que le conserva el flote a las actividades localizadas tarde en un proyecto- en este momento se le dá una gran importancia a una deriva₂ adicional.

Las columnas 29 a 80 están, en los casos donde las tres estimaciones de tiempo no se emplean en una duración normal, reservadas para la descripción alfanumérica de una actividad. En esta descripción se puede incluir una clave para facilitar, por ejemplo, la identificación de áreas de responsabilidad. Igualmente se puede incluir números de identificación o cualquiera otra clave que se desee.

En este ejemplo, la responsabilidad de la actividad basada en las directrices ejecutivas se ha cifrado en la serie 500. La responsabilidad legal y financiera se ha cifrado en la serie 400, la relativa a ingeniería en la 300, a industria en la 200 y a mercados en la serie 100. Las subdivisiones adicionales dentro de estos números claves identifican componentes específicos de los diferentes campos funcionales.

Si se emplean las tres estimaciones de tiempo, las columnas 29 a 37 se reservan para las estimaciones de duración optimista, más probable y pesimista y las columnas 38 a 9 se dejan

en blanco.

Relación Tiempo-Coste: La suposición de que el coste sube linealmente a medida que se intenta acelerar una actividad, facilita considerablemente la tarea de compilación de datos. En los casos donde se ignoran las diferencias lineales, se puede hacer una especie de aproximación lineal.

Examinemos la relación tiempo-coste de la actividad (20,23) : "Analog-Computer Study of Servo Control" (Estudio Analógico de Computador de Servo Control) Fig: 19. Esto podría ser de acuerdo con las siguientes consideraciones: Existiendo facilidades la duración normal se puede calcular en 15 días con un coste directo de \$3000. Esta duración se puede acelerar y reducir a 10 días con un ^{aumento de} gastos directos ~~per~~ termino medio de \$160 al día. Diez días (y \$3800) no es, sin embargo, la duración más corta de esta actividad. Si se encarga ~~de~~ ^a este trabajo/una agencia exterior, la actividad se podrá terminar en unos 8 o 6 días , pero con un aumento considerable de coste. Por 8 días el coste se calcula en \$5000; y 6 días \$7000. Se debe adoptar la mejor aproximación en términos de tiempo de proyecto y coste over-all. Sin embargo no se puede planear ninguna duración en el intervalo de 10 a 8 días.

En este ejemplo, es evidente que una sencilla línea recta desde N a C sería irreal. Indicaría un coste aproximado de \$5200 en una duración de 10 días - más de lo que cuesta una duración de 8 días. Además, sería imposible evitar la posibilidad de otras duraciones en el intervalo donde no existe la relación línea recta.

La especie de aproximación lineal se puede manejar muy

facilmente si se examina separadamente cada segmento de la relación. La actividad (20,23) aparece de este modo en la Fig. 18, como tres "seudo actividades" en los datos de entrada de las actividades (20,231), (231,232) y (232,23).

Las características de estas actividades deberán especificarse debidamente. Si las duraciones normal y crash se especificaran en cada uno de los segmentos 1,2, y 3 de la Fig. 19 como:

Segmento 1

Duración normal = 8
Duración crash = 6

Segmento 2

Duración normal = 10
Duración crash = 8

Segmento 3

Duración normal = 15
Duración crash = 10

y si los tres segmentos se consideraran como tres flechas consecutivas de la red, Fig. 20, el crashing total de esta senda daría una duración total crash de $6 + 8 + 10 = 24$ días para la actividad (20,23). Del mismo modo la duración normal de la senda - desde el suceso 20 al suceso 23 sería de $8 + 10 + 15 + = 33$ días.

Está claro que los dos resultados son incorrectos.

Las actividades a las que no se les pueda aplicar ninguna duración determinada se les habrá que conceder cierta tolerancia. Esto se hace mediante lo que supone un turno en la escla a lo largo de la duración del eje. El mismo error se cometerá siempre que se intente especificar las características de coste de tres actividades individuales y se le concederá el mismo género de tolerancia a lo largo del coste del eje.

La Fig. 21 nos demuestra una relación general lineal tiempo-coste, y en el Cuadro 9 se exponen los datos normal y - crash de cada uno de los segmentos. La duración normal de la actividad es: $t_1 + (t_2 - t_1) + (t_3 - t_2) + (t_4 - t_3) + \dots + (t_n - t_{n-1}) = t_n$. La duración crash es $t_1 + 0 + 0 + 0 = t_1$.

Las características de coste expuestas en el Cuadro 9 compensan igualmente de los errores en las especificaciones de coste. Estudiando el Cuadro se comprobará que los puntos entre N y C están también debidamente justificados. En las Fig. 18 se exponen los datos correctos de la actividad (20,23).

Los segmentos de no-continuidad de la relación se identifican sencillamente como tales en los datos de entrada - columna 28, actividad (231,232), Fig. 18. Si solo se permiten valores discretos, todos los segmentos se especifican como no-continuos.

COMPUTACION DEL PROGRAMA

Para esto será necesario perforar con clave un grupo de fichas de las hojas claves de salida. Se emplea una ficha para cada línea. Las fichas contienen toda la información del proyecto necesaria para comunicar con el computador. Si estas fichas se emplean con una parte del programa que contenga la debida interpretación de la fórmula matemática, el resultado será una salida de computador consistente en una serie de programas tabulados alternativamente, Cada programa constituirá una tabla de tiempo completa y detallada para la duración de un proyecto determinado.

Salida del Computador: Además de repetir la parte oportuna de información de salida, en el cuadro de salida se enumerará:

1. Estado crítico de cada actividad.

2. Tiempo y coste requerido en cada actividad para la utilización del programa.
3. Cambio en el tiempo y coste de la actividad en comparación con el programa precedente.
4. Termino de programación de cada actividad con el fin de especificar las ponderaciones prioritarias.
5. Flote de programación de cada actividad, determinado por la ponderación prioritaria y la proximidad de la actividad al último suceso del proyecto.
6. Tiempo de comienzo lo más pronto posible y de terminación lo más tarde posible permitido en cada una de las actividades.
7. Flote libre y total de cada actividad.

Se hace además un resumen de todas las alternativas programadas duración-proyecto y sus costes directos en el proyecto. Se pueden hacer unos impresos especiales donde se clasifique y ordene de nuevo cualquier información de los programas computados. En la "clasificación" se incluye entre otras cosas, el resumen de las actividades críticas, flote total (que en PERT se llama "análisis de holgura"), flote libre y coste. Las clasificaciones e impresos se pueden preparar sobre cualquier información incluida en el campo descriptivo de las hojas claves de entrada. Por ejemplo, las actividades relacionadas con el mismo eje de coste o identificadas como pertenecientes a la misma clave de responsabilidad se pueden imprimir separadamente. Estos informes separados constituyen una ayuda administrativa muy valiosa para el personal ejecutivo durante la utilización.

La Fig. 22 nos muestra el ejemplo de un caso de programación acelerada sacado de un impreso del computador. La Fig. 23. nos muestra el resumen. La duración del proyecto oscila entre una duración all-normal de 629 días a una duración mínima de 285 días,

más de lo cual no se puede acelerar el proyecto. Lo que hemos llamado aquí duración all-normal incluye la duración seleccionada arbitrariamente de la restricción milestone B. Para esta duración se escogió un plazo de 500 días. Sin B, la duración all-normal hubiera sido 384 días.

En este ejemplo, la duración all-normal de la senda milestone era de 129 días (629 - 500). En la Fig. 23 se puede ver que la aceleración de la senda milestone, para ajustarse a los 100 días requeridos, se ha conseguido mediante el Programa 13. En esta ocasión, la restricción-milestone B no se ha comprimido, y la duración del proyecto es de 600 días (100 + 500).

Entre los Programas 13 y 14, la duración del proyecto se ha reducido a 245 días, que corresponden a la parte aplanada de la curva de la Fig. 17 (Parte 5 de esta serie). Esta compresión no se asocia ningún aumento de coste. El resto de los programas, desde el programa 14 hasta el programa 26, representan las soluciones en las cuales el milestone está programado para ocurrir en el día 100.

Por lo tanto, el programa all-normal aceptable es el Programa 14: Duración del proyecto, 355 días; coste directo del proyecto, \$85,575. El programa de duración mínima es el Programa 26: Duración del proyecto, 285 días; coste directo del proyecto, \$94,891.

Si todas las tareas - inckuida la restricción A - se hubieran acelerado, se habría especificado que el suceso milestone ocurriría antes del día 100; pero la duración del proyecto seguiría siendo de 285 días. Sin embargo, el coste subiría a \$116,640. Lo que supone un desembolso innecesario de \$32,000 aproximadamente, o sea el 32 por ciento del coste directo del proyecto necesario en la duración mínima.

El tiempo requerido para la lectura de todas las fichas de la actividad y para la computación de las 26 alternativas de los programas de coste menor es, en este ejemplo, 4.7 minutos. (Lo que supone en el Sistema Proceso Informativo GE 225 de la General - Electric, \$11.75 (aproximadamente) El tiempo empleado en el proceso depende del tamaño y complejidad de la red. Además del tiempo de computación y de lectura, la impresión de los programas tabulados y el resumen de cada uno de estos requiere aproximadamente 0.2 segundos por actividad.

Gastos Indirectos

El grado de duración de los proyectos y los gastos asociados de la Fig. 23, se exponen en la Fig. 24 como curva directa - coste-proyecto. Para hacer una descripción total coste -proyecto habrá que calcular y añadir los gastos indirectos. En ingeniería AABOE Inc., los gastos indirectos y extraordinarios se cargan a los proyectos "de la casa" como porcentaje fijo del coste directo del proyecto duración-normal, más los gastos indirectos y variables derivados. En el proyecto anterior XYZ, se calcula el 93 por ciento del coste directo del proyecto en la duración all-normal aceptable - \$79,500 aproximadamente. Basandonos en porcentajes iguales del coste-directo del proyecto, los gastos adicionales indirectos pueden ser:

1. Después de un año (240 días proyectados), 0.35 % por semana adicional de trabajo (5 días proyectados).
2. Después de 65 semanas de trabajo (325 días proyectados), 0.7% por semana adicional de trabajo (5 días proyectados).

Los gastos indirectos se calculan de acuerdo con estas estimaciones. El resultado es la curva coste-proyecto-indirecto que se demuestra mediante líneas entrecortadas en la fig. 24.

El calculo del coste del proyecto directo necesitará, en la mayor parte de los casos, un examen a fondo del ambiente económico donde se va a utilizar el proyecto. A medida que se van programando duraciones de proyectos cada vez más largas, la naturaleza acumulativa o aumentativa del tipo de coste que constituye los elementos de la curva de coste indirecto se convierte en una norma para el tipo de gastos que se han de incluir aquí, con preferencia a hacerla en la relación de la inversión directa de la actividad. Para obtener una curva coste-proyecto indirecta con pleno significado, es necesario asignar el coste del negocio a los proyectos individuales de la casa. Un medio muy eficaz de desarrollar, al menos parte de los costes indirectos, sería examinar las duraciones especificadas de la actividad en cada una de las programaciones. Mientras que arriba es directamente proporcional al tiempo o al número de días - hombre dedicados a una actividad, esta aproximación puede dar unos resultados de lo más exactos y se podría calcular.

Hemos de señalar, que se solo van incluidos aquellos costes que se pueden expresar en términos de la escala relativa de tiempo empleada en la curva coste-proyecto-directo. Los costes, tales como pérdidas de mercado o multas, relacionados con unas fechas de calendario determinadas, deben de ser tratados separadamente. Además, los costes de material no están incluidos, generalmente en la curva coste-proyecto-indirecto. El aumento de coste de material que hace posible la aceleración de una actividad, se in-

cluye, como es lógico, en la relación particular tiempo-coste de esa actividad. En todos los demás casos, los costes materiales siguen siendo iguales durante el crashing, siempre que la calidad y contenido del trabajo definido en cada uno de ellos, siga siendo también igual. Por lo tanto, el coste material añadirá sencillamente la misma cantidad igual al coste calculado de todas las programaciones.

En la Parte 6 terminaremos el análisis de este caso que hemos puesto como ejemplo, y discutiremos el modo de establecer un modo específico de utilización.

MODELOS DE RED PARA PROGRAMACION DE PROYECTOS

Parte 6. Elección de un Plan

El último paso del proceso de planificación y programación consiste en establecer un plan específico de utilización. Los valores relativos de tiempo del programa seleccionado deben ser trasladados a los valores del calendario y asignar los recursos de acuerdo con el programa escogido. En este artículo final discutiremos estas consideraciones aplicándolas al ejemplo del proyecto.

Los valores relativos de tiempo de algunos de los programas seleccionados deben ser trasladados a un calendario base, así como los recursos asignados; estos dos procedimientos han de ser calculados. La asignación de recursos requiere generalmente varias operaciones adicionales de cálculo para obtener un nivel de recursos de acuerdo con las condiciones existentes. Este proceso corresponde a una especie de impacto en un programa dado basado sobre los recursos de la empresa.

CURVAS COSTE-PROYECTO

El director del proyecto puede determinar la variación del coste total del proyecto en programaciones de proyecto alternativas, añadiendo las curvas coste-proyecto directas e indirectas (Fig. 24, parte 5) y producir así una curva total coste-proyecto, Fig. 25. En el proyecto XYZ la curva total coste-proyecto indica que la duración del proyecto menos costosa se puede obtener con el Programa 17, el cuál da una duración de proyecto de 322 días laborables.

En este ejemplo, la curva total coste-proyecto en forma de U con las escalas seleccionadas - es bastante aplanada. Con el Programa 17, se obtiene un ahorro en el coste del 2 al 4%. El ahorro de tiempo que se indica es alrededor del 10% de la duración all-normal. Los porcentajes en el ahorro de dolares y tiempo que damos en este ejemplo, son típicos de las situaciones practicas.

Sin la restricción impuesta por el suceso milestone, el cuadro hubiera cambiado considerablemente. Empleando durante unos minutos el computador sin ninguna preparación pre-adicional via en la información de entrada ~~adicional~~, se conseguirán todos los datos necesarios para un posible cambio milestone. Se puede obtener un gran ahorro relajando la restricción - milestone. Si se analiza el computador se puede saber la reducción exacta de coste que se puede conseguir con la relajación de la restricción milestone.

En el contrato van incluidas unas clausulas de bonificación en el caso de terminar el trabajo antes del tiempo - fijado y de penalización si se hace después. La bonificación adicional máxima se puede obtener terminando el proyecto el 4 de febrero de 1963, diez semanas antes del 15 de abril, o sea la fecha requerida. Por lo tanto, para sacar el provecho máximo del contrato, el programa preferible será aquel que el dia laborable 322 coincide con el 4 de Febrero de 1963.

Adaptación del Programa al Calendario: El programa 17 seleccionado se convierte en un programa de calendario, contando por días laborables a la semana los días no laborables de fiestas y vacaciones. De acuerdo con esto se puede establecer un tiempo marcado. Puesto que el tiempo marcado no puede ser negativo - o dicho de otro modo, el proyecto no se puede empezar en un tiempo ya pasado- el periodo de tiempo desde la fecha en que se hace el contrato, hasta el 4 de febrero de 1963, debe de ser mayor que el tiempo del calendario que requiere el Programa 17. En este caso, ese programa - con su beneficio mínimo proyecto-coste-total - se podrá emplear. No obstante, cuando el tiempo de calendario disponible es menor del que requiere el Programa 17, se debe emplear una aceleración mayor (y por lo tanto más costosa) para poder alcanzar la fecha de terminación, 4 de Febrero de 1963.

Con el computador es muy fácil trasladar la escala relativa de tiempo a una escala de calendario base. Una vez que la dirección ha seleccionado el programa más conveniente, se le pasa la tabla de tiempo a los distintos grupos funcionales en quienes recae la responsabilidad de terminar las actividades individuales. Los directores de los grupos funcionales son los que asignan el personal, suministros y demás recursos de acuerdo con la salida tabulada del computador.

Composición de la Curva Coste: La curva proyecto-coste-total de la Fig. 24 se expone en la Fig. 25. Se ha modificado la escala vertical de coste para dar mayor énfasis a la forma en U. En esa Fig. se expone también una curva compuesta de la pérdida de estímulo y coste de penalización. El coste de penalización se fija con respecto a las fechas del calendario, mientras que la curva de proyec-

to-coste-total se puede mover hacia la derecha extendiendo más el tiempo marcado. La posición de la Fig. 25 corresponde al tiempo marcado cero y describe una situación muy corriente: Aunque se crashed totalmente, el tiempo de terminación más ventajoso está fuera de alcance. Si se suma la curva proyecto-coste-total, y la curva que indica el aliciente de pérdidas y las multas, el resultado será una curva de coste compuesta. Como los sumandos disminuyen y aumentan respectivamente, la curva de coste compuesta dará un mínimo. Este mínimo determina el programa óptimo over-all con el que la compañía obtendrá el beneficio máximo. En este caso el programa más ventajoso es el que corresponde al proyecto cuya duración es de 305 días laborables, el Programa 20. Por lo tanto, y aunque el Programa 17 es el que puede tener un coste más bajo en la utilización del proyecto, el equilibrio entre el coste aliciente-pérdida y coste de utilización requiere una aceleración de 2 semanas aproximadamente.

SUPERVISION DEL PROYECTO Y CONTROL

Los modelos de red también se prestan muy bien a la supervisión y control de los proyectos en ejecución. En este respecto PERT se ha desarrollado hasta un alto grado de perfeccionamiento. El método informativo PERT, solicitado para supervisar, controlar y estructurar muchos contratos de defensa ha sido adoptado también en algunas compañías como instrumento interno.

Queremos señalar que no solo programas de multimillones de dolares, sino también proyectos más pequeños y no de defensa, son mucho más fáciles de manejar y llevar a efecto con los métodos de modelo de red. Siguiéndolos se demuestra brevemente una de las maneras en que la organización de ingeniería de una compañía pue-

de procurarle a su dirección un proyecto efectivo de supervisión y sistema de control.

En el diagrama de la Fig. 26 se demuestra un sistema de supervisión. Las operaciones 1 a 4 han sido descritas anteriormente. El sistema de control y supervisión se basa en una acumulación periódica de datos de ejecución. La frecuencia depende de la duración del proyecto y de las preferencias personales. En la información se ^{debe} especificar el tiempo y coste empleados, así como el tiempo y coste calculados para la terminación de todas las actividades. Coordinadas en la oficina del director del proyecto, las nuevas características de la actividad se emplean para actualizar el plan del proyecto y su programación. La actualización se ejecuta rápidamente empleando el computador y se presentan a la dirección la nueva fecha de terminación calculada, así como el coste directo del proyecto.

El análisis de la información corregida puede indicar la necesidad de emplear un programa diferente del usado anteriormente en el resto del programa, si es que se quieren alcanzar los objetivos originales. Cuando ocurren cambios o demoras, generalmente se puede eliminar sus efectos sobre la duración de los proyectos - pero rara vez sobre el coste del proyecto - dejando al computador desarrollar un nuevo programa en el que las nuevas actividades todavía no empezadas, se especifiquen sobre bases más rápidas que las planeadas originalmente. Cuando todas las demás actividades se han crashed lo más posible, el director del proyecto debe recurrir a unas aproximaciones alternativas. En estas alternativas se puede incluir alguna definición del contenido del trabajo o condiciones o actividades aún por utilizar, o también revisiones y correcciones en la red del proyecto.

Decisiones arriesgadas: Las posibilidades anteriores requieren generalmente que la dirección tome algunas decisiones arriesgadas, debido a que obligan a desviar el plan deseado de utilización establecido en un principio. Por lo tanto, solo se deben tomar en consideración en último recurso. Los métodos de modelos de red que permiten computar la aceleración a un coste mínimo, ayudan a la dirección especificando cuáles son las únicas actividades del proyecto en las que las decisiones arriesgadas pueden tener la influencia deseada.

El procedimiento se demuestra esquemáticamente en la Fig. 27. Supongamos que L_{des} es la duración deseada para el resto del proyecto, y L_{min} y L_{nor} sean las duraciones mínimas y all-normal del proyecto relacionadas con la fecha requerida por la supervisión. Una vez computado el crashing coste-menor, se puede - basándose en el modelo de red existente - producir unos programas que vayan de L_{nor} a L_{min} . Se necesita tomar una decisión arriesgada para que L_{min} vaya por debajo y así poder realizar L_{des} .

Por ejemplo, la definición reiterada de las actividades críticas del proyecto XYZ puede ocurrir si la dirección decide que por falta de tiempo no se puede construir más que un prototipo para un ensayo de laboratorio - actividad (47,49), Fig. 27. Si el proyecto tiene que estar terminado en una fecha fija. El desarrollo de un prototipo, con preferencia a tres, aumenta el riesgo con la subsiguiente valoración errónea del proyecto. La dirección tiene pues que decidir si está dispuesta o no a aceptar este riesgo.

El efecto de la decisión arriesgada puede ser como se indica en la relación tiempo-coste de la actividad (47,49), Fig. 27.

28. Un efecto similar se puede especificar en la actividad "Test and Evaluate Lab Models" (Ensayo y Valoración de Modelos de Laboratorio). La disminución en el tiempo crash de las actividades afectadas puede subsiguientemente facilitar la aceleración precisa del proyecto en conjunto para que L_{min} venga más abajo o por debajo de L_{des} .

Una de las alternativas en el cambio, calidad y naturaleza de la actividad sería revisar la red, eliminando parte de una o de todas las actividades, o añadiendo actividades paralelamente a las series planeadas originalmente. En la Fig. 4 (Parte 1) damos un ejemplo. En el proyecto XYZ que se demuestra en la Fig. 13 (Parte 4), se puede eliminar "Test Final Prototype" (~~Ensayo del Prototipo~~ Final) para que los sucesos 54 y 55 coincidan en el diagrama revisado. Puesto que la actividad se encontraba en la senda crítica, se puede disponer de un tiempo adicional para "Build Final Prototype" (Construcción del Prototipo Final) o acortar la duración del proyecto.

Si todas las actividades de la senda crítica no se han acelerado plenamente, se puede examinar que es preferible si el coste de un crashing ulterior más amplio, o correr el riesgo de cambiar o eliminar algunas actividades. La dirección debe estudiar la marcha alternativa del computador antes de decidir la revisión de un programa. De este modo, las decisiones de la dirección se pueden basar sobre unos datos de tiempo más amplios, lo que no es posible hacer sin un modelo de red y un computador de gran velocidad.

OBSERVACIONES FINALES

Los modelos de proyecto de red y el proceso de cómputo de las características de una actividad se emplean cada vez más. Los diagramas Bar y los plannings Gantt se están sustituyendo actualmente por computadores en los que se pueden realizar en solo unos segundos gran cantidad de datos.

Aunque es necesario disponer de un computador debidamente preparado para sacar el mayor provecho de los conceptos de modelo de red y a pesar de que el avance en los métodos modernos ha tenido lugar principalmente en lo que se relaciona con programas de miles de millones de dolares, no se excluyen otras aplicaciones en ~~empresas~~ más pequeñas y medianas que no tengan computador. Existen en todo el país centros de proceso informativo dispuestos a servir al usuario que solamente necesita un computador en alguna que otra ocasión. Además, y aparte del enorme ahorro de tiempo y -coste, la capacidad del método y la red expositiva del proyecto en conjunto, proporciona grandes ventajas a los proyectos pequeños.

Como hemos expuesto en este artículo, el método examina solamente un proyecto a la vez, y la asignación de los recursos total de la compañía no tienen necesariamente que ser óptimos. Desde el punto de vista de toda la organización, los métodos de modelo de red sobrepasan la fase de "Model T". Avanza, entre otros proyectos, el trabajo que permitirá la asignación óptima de los recursos de la compañía.

Delivery= liberación, rescate, entrega, rendición, expedición
desembarazo, cesión (com. remesa, reparto.)

Crash= estallar, rechinar, estrellarse(un coche un avión)
estallido, estrépito, estropicio, fracaso, fragor, estampido,
bancarrota.

Dummy= (fam.) Testaferro, en teatro personaje que no habla.
en f.c. poste indicador de líneas, tranvia de motor, montaplatos,
objeto simulado, maniquí, chupete.

Milestone= poste donde se marcan las millas, indice