

5. Método experimental

Consiste en reproducir, bajo un estricto control, el fenómeno en estudio.

Este método, que es muy usado en el ámbito científico, se encarga de mantener constantes todas las condiciones, a excepción de aquella cuya intervención se desea estudiar.

c) Técnicas auxiliares y etapas del estudio

Para efectuar el estudio de mercados es necesario valerse de una serie de técnicas, tales como la estadística, la contabilidad, la psicología, la sociología.

En cuanto a las etapas, se puede dividir la realización de cualquier análisis de mercado en cuatro: análisis preliminar del problema, planteo, recolección de datos y conclusiones.

Con respecto al análisis preliminar del problema, lo primero a definir es si existe el mercado, para luego preguntarnos cuál es la población consumidora.

La segunda corresponde al planteo del problema, formulándose la pregunta: qué es lo que se desea saber. Las preguntas a formular pueden ser de tipo cualitativo o cuantitativo.

Los datos primarios, que son de tipo cualitativo, se obtienen directamente del mercado consumidor. La recopilación de datos primarios, que es la más costosa, consiste en el uso del método de encuestas, entre las que deben considerarse las de hechos, de opinión y las de interpretación, el método de observación y el método experimental.

4.3. Tipos de estructuras organizacionales

Como se dijo al comienzo del capítulo hay tres tipos de estructuras organizacionales: **proyecto puro**, **proyecto funcional** o **proyecto matriz**. La elección de una u otra dependerá de varios factores, por lo que anali-

Su aplicación es comprobada a diario en los diferentes centros de comercialización, donde se obtienen conclusiones, que de otra manera serían muy costosas de lograr.

La recopilación de datos secundarios, que son de tipo cuantitativo, constituye la historia de lo que aconteció con el bien analizado. Se las logra en forma de series estadísticas, que deben ser cuidadosamente analizadas y elaboradas antes de ser utilizadas. Tal lo expresado, se pueden obtener en el Banco Central, en el INDEC, en las Cámaras Empresarias, etc.

Es menester considerar una serie de premisas teóricas para poder manejar los datos secundarios. La teoría permitirá cuantificar y proyectar la demanda; para lo que se estudiará la función demanda y la elasticidad. Estudiaremos también la función oferta, el punto de equilibrio entre la demanda y la oferta, los costos fijos, variables, totales y marginales.

Dada la importancia que tiene el tema económico en el estudio de evaluación de proyectos, se ha desarrollado el mismo en el cap. 2, realizando una serie de análisis sobre conceptos que estimamos fundamentales para que sean considerados a la hora de la toma de decisiones.

zaremos las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

Se llama **proyecto puro** a aquel donde un grupo de personas se dedica plenamente al

proyecto. Se interpreta que cada vez es mayor la posibilidad de encarar los proyectos desde esta concepción en desmedro de las estructuras tradicionales gerenciales.

Cuenta con un conjunto de ventajas entre las que se destacan: las líneas de comunicación disminuyen, la toma de decisiones es rápida, el gerente del proyecto asume en forma total la toma de decisiones, los integrantes del equipo sólo dependen del gerente.

Entre las desventajas se encuentran: la falta de conexión con las metas y políticas de la organización, el aumento de los recursos, debido a que no se comparten los integrantes del equipo en otros proyectos, la tendencia a extenderse en el tiempo, por la inseguridad en la continuidad que se presenta después de la terminación del mismo.

El denominado **proyecto funcional** es el que se desarrolla dentro de un área de la organización.

Entre sus ventajas se destacan: la simultaneidad de trabajo del personal en más de un proyecto, cuando termina un proyecto el personal tiene continuidad en la organización, aunque algunos miembros ya no estén más en el proyecto o la organización, los conocimientos y los avances técnicos permanecen.

Las siguientes son algunas de las desventajas: poca motivación de los integrantes del

equipo, falta de atención a temas del proyecto que no tienen vinculación con el ámbito funcional.

El **proyecto matriz** es una combinación de los dos anteriores. El gerente del proyecto y los gerentes funcionales asumen sus propias responsabilidades. Las tareas de un proyecto, como el momento de su realización, dependen del gerente del proyecto; mientras que el aporte tecnológico y los recursos humanos intervinientes dependen de los gerentes funcionales.

Como ventajas se pueden citar: se reduce la asignación de recursos, buena comunicación entre las áreas funcionales, la responsabilidad por el éxito del proyecto es del gerente del proyecto, la continuidad en la organización de los miembros del proyecto una vez que el mismo finalizó.

Algunas desventajas son: la superposición de jefes no es aconsejable, la inexistencia de habilidad negociadora del gerente del proyecto puede perjudicar al proyecto, los gerentes del proyecto acaparan recursos para el proyecto perjudicando a otros en ejecución.

Dadas las ventajas y desventajas de los tres considerados, hay que estudiar profundamente la conveniencia de la aplicación del seleccionado, para alcanzar el éxito buscado, teniendo en consideración que ese éxito depende en gran medida del gerente del mismo.

4.4. Herramientas para el control de proyectos

Entre las herramientas más utilizadas para el control de proyectos se tienen el **diagrama**

de Gantt y **PERT-CPM** (Programación por camino crítico).

4.4.1. Diagrama de Gantt

El **diagrama de Gantt** es un gráfico de representación de tipo horizontal en donde se indican los trabajos realizados, confrontándolos con lo que ha sido programado. De acuerdo con su utilización se confeccionan por se-

manas o por meses, siendo muy fácil y rápido registrar lo programado. Es un óptimo medio de comunicación, por la facilidad y claridad para su comprensión.

Los tipos de diagramas más utilizados son: de utilización y rendimiento, de carga, de abastecimiento, de manufactura, de proceso y de control de proyectos; lo que no significa que con ellos se termina su aprovechamiento; ya que sus posibilidades de aplicación son directamente proporcionales a la creatividad e imaginación de quienes deseen aprovechar sus virtudes.

Se utilizan para cualquier tipo de actividad; ya sea en el ámbito manufacturero o de servicios.

En el cuadro 4.4 se representa el trabajo programado para una semana, donde los números que aparecen a la izquierda de cada día corresponden al trabajo programado para cada uno de ellos.

A la derecha de cada día se representa la cantidad programada acumulada hasta ese período. Los trazos horizontales se van represen-

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1000	1000 900	1900 1000	2900 800	3700 1200
4900				

Cuadro 4.4. Diagrama de Gantt

Los trazos de los días lunes y martes indican que se cumplió con lo programado; mientras que el miércoles sólo se hicieron 800 de las 1.000 unidades programadas, el jueves se realizaron 200 más que las 800 programadas y el viernes se concretó lo que estaba en el programa.

El trazo grueso corresponde a lo realizado acumulado en toda la semana, que de acuerdo con la escala significan 4.900 unidades.

Un diagrama de utilización y rendimiento muestra la cantidad de tiempo que una máquina ha estado produciendo o un operario ha estado trabajando.

Se realiza un gráfico equivalente al analizado anteriormente, donde a la izquierda se

tando en la medida en que el trabajo se realiza; por lo que esta línea corresponde a lo realizado en cada uno de los días de la semana. En un trazo más grueso o en otro color se representa lo efectuado en toda la semana.

La división de los espacios correspondientes a los días se efectúa con el objeto de visualizar con mayor claridad lo realizado con respecto a lo programado.

Una división de espacio representa una cantidad de trabajo programado y un tiempo. Existen varias maneras de efectuar las representaciones, pero en nuestro caso nos basamos en que iguales divisiones de espacio corresponden a cantidades iguales de tiempo, cantidades iguales de trabajo programado y cantidades iguales de trabajo realizado.

En el gráfico a analizar el espacio representado para cada uno de los días corresponde a 1.000 unidades.

incorpora el nombre de la máquina o del operario.

El cuadro 4.5 corresponde a un diagrama de utilización y rendimiento compuesto por máquinas de dos sectores de producción: tornos y balancines.

La existencia de espacios donde no existe continuidad del trazo significa que hubo interrupciones. En los mismos, con una nomenclatura predeterminada se colocan letras indicativas de las razones que motivaron las detenciones de la actividad. Por ejemplo, un problema con las herramientas lo indicamos con H, inconvenientes con materiales con M, reparaciones con R, ausencia del operario con O.

Máquina	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Tornos					
Nº 1				M	
Nº 2		H			
Nº 3	R				O
Nº 4			R		
Balancines					
Nº 1				R	
Nº 2			H		R
Nº 3			O		M

	Trabajo realizado por cada máquina
	Trabajo realizado por conjunto de máquinas

Cuadro 4.5. Diagrama de utilización y rendimiento

Del diagrama se obtiene la utilización y el rendimiento de cada máquina, además del rendimiento o grado de utilización de cada sector.

Teniendo en consideración la escala, en el sector **tornos** se aprecia que la máquina Nº 1 tuvo un rendimiento de 0.96, la Nº 2 de 0.94, la máquina Nº 3 alcanzó sólo el 0.72 y la Nº 4, el 0.96. El rendimiento de todo el sector se logra aplicando la siguiente fórmula:

$$n1 = \frac{n1 + n2 + n3 + n4}{N^{\circ} \text{ máquinas}} = \frac{0,96 + 0,94 + 0,72 + 0,96}{4} = 0,885$$

Se actúa de la misma manera con el sector **balancines**, para conocer la utilización y el rendimiento de cada una de las máquinas y el total del área.

El trazo grueso representa el rendimiento de cada sector.

Lo observado permite estudiar las razones que originaron las detenciones de las máquinas, interviniendo los responsables de los sectores involucrados, a efectos de evitar que tales situaciones vuelvan a repetirse o tender a la reducción del grado de las mismas.

De la misma manera se puede realizar un diagrama de utilización o rendimiento con los

nombres de los operarios que tienen a cargo las máquinas.

Otro diagrama es el de procesos, donde se representa lo realizado en el transcurso del tiempo.

En el cuadro 4.6 se representan las actividades programadas correspondientes a la construcción de un edificio.

En la primera columna se colocan las actividades a realizar, indicándose a la derecha las duraciones de cada una de ellas.

Tareas	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1. Limpieza del Terreno					
2. Nivelación					
3. Excavaciones					
4. Encofrado de Madera					
5. Estructura de Hierro					
6. Montaje de 4 y 5					
7. Ajuste general					
8. Hormigonado					
9. Desencofrado					

Cuadro 4.6. Diagrama de procesos

Cabe señalar que por la cantidad y complejidad de cada una de las actividades a efectuar, es conveniente confeccionar un diagrama de Gantt para cada una de las mismas; lo que significa que lo representado en el cuadro anterior es la sumatoria de todos los subGantt o Gantt parciales.

En el gráfico se observa que muchas de las actividades (2, 3, 6, 7, 8 y 9) no pueden realizarse hasta la finalización de otras debido a la vinculación de compromiso entre las mismas; mientras que otras como las 4 y 5 pueden realizarse con simultaneidad a otras. En el caso de la actividad 9 existe un tiempo de espera después de la realización de la 8 (hormigonado), debido a la necesidad del proceso de fraguado de la estructura de hormigón.

Si existe demora con respecto a lo programado, en la realización de las etapas del proyecto, se indicará con trazo cortado a continuación de la línea llena.

Debe tenerse en consideración que las extensiones en los tiempos previstos no solamente generan aumentos de costos, sino que entorpecen las otras etapas del mismo; por lo que el diagrama debe ser analizado en forma diaria para poder adoptar las medidas que el caso exige, para superar los inconvenientes o razones que originaron dichas demoras.

Tal los ejemplos desarrollados el uso del **diagrama de Gantt** no tiene limitaciones en su uso, siendo de gran utilidad como herramienta de programación y control de todo tipo de proyectos.

4.4.2. Programación por camino crítico (PERT-CPM)

Estas técnicas son utilizadas para la planificación y control de proyectos; ya que en todo proyecto los factores que interesan son el costo, el tiempo y la disponibilidad de recursos.

A diferencia con el método de Gantt, **PERT** o **CPM** separa el proceso de planificación del proceso de programación; ya que como hemos apreciado en el diagrama de Gantt, se realiza la planificación y la programación al mismo tiempo, o sea que la longitud del trazo que representa cada actividad indica las unidades de tiempo.

Ambas técnicas, **PERT** (*program evaluation and review technique*) y **CPM** (*critical path method*), se desarrollaron al final de la década del cincuenta, siendo las técnicas de programación de la ruta crítica más difundidas y aplicadas. El **PERT** nace en la Armada de los EE.UU. en 1958, a manera de herramienta gerencial para programar y controlar el proyecto del misil (submarino atómico Polaris), debido a que a las dificultades científicas y técnicas se agregaban las de la coordinación y control de este proyecto de gran envergadura. Es de señalar que en este proyecto había más de 250 contratistas y más de 9.000 subcontratistas, que involucraban una gran cantidad de recursos humanos y materiales, lo que obligaba a la intervención de nuevas técnicas facilitadoras del desarrollo del proyecto, con la eficacia y eficiencia exigible. La intervención de las empresas Booz, Hamilton y Allen viabilizó la iniciación de los conceptos básicos del sistema **PERT**, como herramienta de planificación, comunicación, control e información. Cabe recordar que el resultado de la aplicación de esta nueva técnica se tradujo en el ahorro del 40 % del tiempo del proyecto, que originalmente era de cinco años.

El **CPM**, que es muy similar al **PERT**, fue desarrollado en 1957 por J. E. Kelly, de Remington-Rand y M. R. Walker, de Du Pont, para la planificación y programación en la construcción y mantenimiento.

Los dos modelos se concentran en buscar el camino de mayor consumo de tiempo en una red de tareas para planificar y controlar un proyecto. La diferencia fundamental entre ambos radica en que el **PERT** estima la duración de cada tarea del proyecto basándose en un nivel de costo, mientras que el **CPM** relaciona duración y costo, por lo que surgen una diversidad de duraciones para cada operación, eligiéndose la adecuada de tal manera que el costo total del proyecto sea mínimo.

PERT y **CPM** no resuelven los problemas por sí solos, sino que presentan una perspectiva más clara para su ejecución. Están diseñados para asistir a la dirección en las actividades donde la incertidumbre podría comprometer su eficacia.

La diferencia fundamental entre **PERT** y **CPM** es que el **PERT** utilizaba tres estimaciones de tiempo, tales como: optimista, pesimista y mejor, del tiempo de una actividad, mientras que **CPM** usaba la mejor estimación. **PERT** nace y se aplica en proyectos caracterizados por la incertidumbre; mientras que **CPM** en proyectos con programación de tareas más rutinarias.

PERT y **CPM** preparan el plan efectuando la representación gráfica de todas las tareas que intervienen en el proyecto, relacionándolas y coordinándolas ajustándose a las exigencias técnicas.

De acuerdo con lo expresado, es más conveniente utilizar **PERT** en los proyectos de investigación en los que existe la dificultad de la estimación de los tiempos de trabajo; a la vez de no tener antecedentes para calcular los costos por unidad de tiempo.

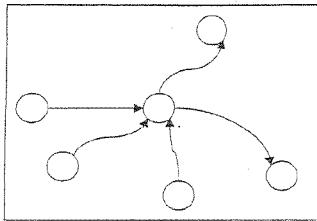
CPM se aplica en aquellos proyectos donde es sencillo estimar los tiempos y los costos, interesando saber cuál es la combinación de costo-duración de cada actividad para poder alcanzar el costo total mínimo del proyecto.

La planificación consiste en un análisis de las actividades que intervienen en el proyecto y el orden en que las mismas acontecen. En el PERT las programaciones se refieren a la estimación de las duraciones de las tareas, tanto en el sentido determinístico como probabilístico. En CPM la programación consiste en estimar las duraciones de las tareas con la intervención de los menores recursos, por lo que el tiempo y el costo están íntimamente relacionados en un proyecto.

A efectos de utilizar una denominación que no genere dificultades de interpretación lo denominaremos PERT-CPM.

Las tareas del proyecto se representan por flechas que componen el diagrama de flechas del proyecto, conformado por el orden de realización de las tareas, desde el comienzo hasta el final. La representación de las tareas puede ser en forma rectilínea o curva; aunque en general se utiliza la primera. La conformación de las flechas no tiene sentido vectorial, no estando en escala, como es el caso del diagrama de Gantt.

En el cuadro 4,7 se representan varias tareas, que responden a trazados curvos o rectilíneos, además de no estar en escala.

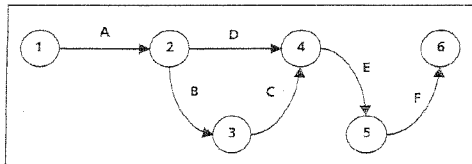


Cuadro 4,7. Conformación de las flechas

La actividad está compuesta por la propia ejecución de la operación representada gráficamente con una flecha de izquierda a derecha y dos círculos o nodos en los extremos, que se llaman sucesos.

Tanto el suceso inicial como el final, que cumplen la función de punto de control, son instantes de la actividad, los cuales corresponden al momento de comienzo o terminación de una actividad.

Cada actividad debe estar terminada para que la subsiguiente pueda comenzar.



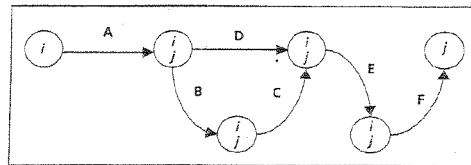
Cuadro 4,8. Actividades y sucesos

En el cuadro 4,8 se aprecia que existen actividades y sucesos.

Las actividades son: A: 1-2, B: 2-3, C: 3-4, D: 2-4, E: 4-5 y F: 5-6

Los sucesos o nodos son: 1, 2, 3, 4, 5 y 6

Como cada actividad tiene dos números, a los sucesos iniciales los llamamos *i* y a los finales *j*.



Cuadro 4,9. Sucesos inicial y final

En el cuadro 4.9 se observa que en todas las actividades el suceso final de la precedente coincide con el suceso inicial de la siguiente. A excepción de los nodos inicial como final, los demás tienen la correspondiente a

la inicial del subsiguiente y la final del precedente.

En todo proyecto, antes de la realización del diagrama de flechas hay que formularse una serie de preguntas tales como: ¿Qué actividades deben preceder a la referente? ¿Que actividad puede continuar a ésta?

¿Cuáles se pueden desarrollar con simultaneidad? Una vez que se tengan las respuestas a estas preguntas se está en condiciones de elaborar la red de flechas.

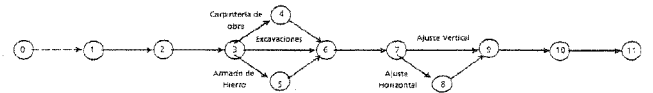


Cuadro 4,10. Proyecto de construcción de una obra civil

El cuadro 4.10 es un diagrama de flechas correspondiente a un proyecto de construcción de una obra civil, equivalente al ejemplificado en el método de Gantt, en donde cada una de las flechas es la presentación de las actividades del mismo. Es de señalar que la primera tarea corresponde a lo conocido como tiempo de preparación, el cual puede pertenecer a actividades tales como: espera de la decisión para el lanzamiento del proyecto, obtención de la financiación o logro de autorizaciones oficiales. Todas estas actividades no

pertenecen al proyecto en estudio; por lo que no tienen tiempo ni costo para el mismo.

En el caso analizado aparecen todas las actividades conformando un diagrama en serie, que no es el que corresponde a la real situación de materialización del proyecto, ya que algunas actividades pueden desarrollarse con simultaneidad; por lo que el indicado para representar el desarrollo temporal del mismo es el perteneciente al cuadro siguiente:



Cuadro 4,11. Proyecto de construcción de una obra civil

Este diagrama es el que corresponde a lo que en realidad acontece; ya que luego de la actividad de nivelación 2-3, pueden simultáneamente realizarse las de carpintería 3-4 y la de armadura de hierro 3-5, de la misma manera, que sin relación de precedencia pueden realizarse la de ajuste horizontal 7-8 y la de ajuste vertical 7-9, una vez finalizada la de montaje

6-7. Se aprecian trazos cortados que corresponden a las llamadas tareas ficticias. Se llaman con esta denominación a aquellas que establecen una vinculación entre tareas con relación de precedencia, que responden a circunstancias particulares y que no tienen ni costo, ni insumen tiempo, ni operaciones previas.

a) Análisis de tiempo más temprano y más tardío

Cumplida la etapa de planificación se comienza con la de programación, en la que se estima la duración de cada una de las actividades del proyecto; pudiendo ser la misma determinística o probabilística.

Desarrollaremos un ejemplo de carácter determinístico; es decir que las duraciones sean únicas.

Para la elaboración del diagrama de flechas se requiere la participación de todos los sectores involucrados, decidiéndose las actividades del mismo, su relación de precedencia y estimándose la duración de cada actividad. Hay que determinar también el tiempo más temprano posible de comienzo y de terminación de una actividad, además del tiempo lo

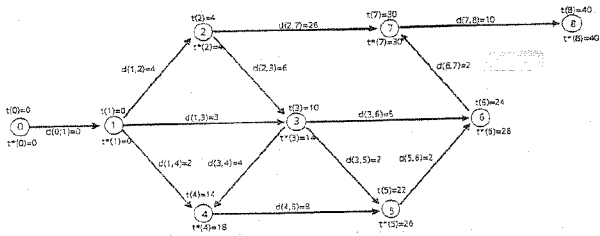
más tarde permisible de comienzo y finalización.

La duración de cada actividad se expresa con: $d(i,j)$.

Al tiempo más temprano posible de comienzo de cada actividad lo expresamos con: $t(i)$ y al más temprano posible de finalización con: $t^*(j)$.

En el cuadro 4.12 representamos las tareas del proyecto, con su duración, los tiempos más tempranos de iniciación y terminación, y los tiempos más tardíos de comienzo y de finalización.

Al tiempo más tardío de iniciación lo expresamos con: $t^*(i)$ y al más tardío de finalización con: $t^*(j)$.



Cuadro 4.12. Fechas más tempranas y más tardías

Observamos en el cuadro anterior que el tiempo lo más temprano posible de comenzar es $t(1) = 0$ y lo más temprano posible de terminar es $t(2) = 4$, obteniéndose de la suma de $t(1) = 0$ más la $d(1,2) = 4$. Se procede de la misma manera con el resto de las actividades, sumando el tiempo más temprano a la duración correspondiente. Cuando a un nodo llega más de una actividad, el tiempo más pronto de terminación que se considera para la misma, es el mayor; pues hasta que la actividad que insume más tiempo no finalice, no se puede continuar con el desarrollo del proyecto. Por ejemplo, para obtener el tiempo más temprano de terminación de las actividades que llegan al suceso 3, se consideran las siguientes sumas:

$$t(2) + d(2,3) = 4 + 6 = 10$$

$$t(1) + d(1,3) = 0 + 3 = 3$$

Se elige 10 por ser el mayor valor.

Aplicando el criterio explicado se llega al final del proceso, obteniendo como tiempo más temprano de terminación del proceso $t(8) = 40$, que corresponde al trayecto más largo del proyecto, debido a que como tiempo de cada nodo se selecciona el máximo de las duraciones de las actividades.

El tiempo más temprano de terminación del proyecto coincide con el tiempo más tardío de terminación del mismo, que es $t^*(8) = 40$.

Se procede ahora a obtener los valores de los tiempos más tarde permises de iniciación y terminación de cada actividad, hasta llegar al nodo inicial.

Al tiempo más tarde permisible de terminación del proyecto se le resta la duración de las tareas precedentes.

Para obtener el tiempo más tarde permisible de iniciación de la tarea (7-8) se resta $t^*(8) - d(7,8) = 40 - 10 = 30$, coincidiendo este valor con el más tarde permisible de terminación de las tareas (6-7) y (2-7).

El tiempo más tarde permisible para el inicio de la tarea 6-7 surge de restar $t^*(7) - d(6,7) = 30 - 2 = 28$, que es el mismo que el tiempo más tarde permisible de terminación de las tareas (3-6) y (5-6).

Cuando a un nodo llega más de una tarea, es necesario analizar los tiempos más tardíos de terminación de ellas, para adoptar el menor de los resultados; ya que no se puede demorar la continuidad del proyecto, pues se estaría afectando la concreción del mismo en el tiempo establecido.

Por ejemplo, para obtener el tiempo más tardío de iniciación de las tareas (3-4), (3-5) y (3-6), se consideran las restas:

$$t^*(4) - d(3,4) = 18 - 4 = 14$$

$$t^*(5) - d(3,5) = 26 - 2 = 24$$

$$t^*(6) - d(3,6) = 26 - 5 = 23$$

De las tres restas se elige el menor de los tiempos, ya que no se puede esperar más que 14, pues en caso contrario se estaría afectando el desarrollo del proyecto.

Continuando con las otras actividades se llega al comienzo del proyecto, observando que el tiempo más tardío $t(0)$ de iniciación coincide con el más temprano de comienzo del proyecto.

En todo proyecto existen tareas flexibles y tareas críticas, siendo las últimas las que no pueden tener demora en el tiempo establecido en la programación, debido a que una demora en alguna de ellas afecta a todo el proyecto. Todas estas tareas de carácter inflexible componen el camino crítico, que es el mayor tiempo de duración del proyecto. En el camino crítico no existen posibilidades de holguras o márgenes de tiempo para comenzar o finalizar. En todo proyecto hay como mínimo un camino crítico, que en general está compuesto por un porcentual del total de tareas que oscila entre el 10 y el 20 % de las tareas que lo conforman. La concentración de la atención, por parte de los responsables del proyecto, en las tareas críticas disminuye

el esfuerzo de contraer, lo que no significa que deben desatenderse las no críticas; ya que las mismas pueden transformarse en críticas.

Dada la importancia de los márgenes, holguras o flotantes de tiempo realizaremos el cálculo de los mismos, definiendo primero los varios conceptos. Cabe señalar que la expresión **holgura** es propia del PERT y la de **flotante** o **márgenes** del CPM. Con el objeto de simplificar utilizaremos el término **margen** como el indicado para realizar nuestros estudios.

Se llama **holgura** del suceso a la diferencia entre el tiempo más tardío y el más temprano del propio suceso.

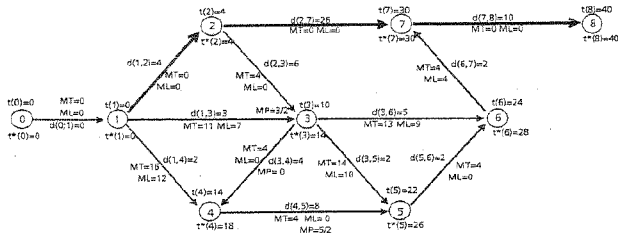
En el cuadro 4.13 se representan los diferentes márgenes. Por ejemplo para el suceso 2, el margen del suceso es:

$$Ms = t^*(2) - t(2) = 4 - 4 = 0$$

Para el suceso o nodo 5, el margen es:

$$Ms = t^*(5) - t(5) = 26 - 22 = 4$$

Cuando en el comienzo o final de una actividad existe margen cero, significa que no se puede demorar el inicio o terminación de esa operación.



Cuadro 4.13. Márgenes

Con respecto a las actividades, existen varios tipos de márgenes. Se denomina **margen total** de la actividad, a la diferencia que existe entre el tiempo más tardío de terminación de la actividad y la suma de la duración de la misma y el tiempo más temprano de iniciación de la actividad en estudio.

$$Mt = t^*(j) - (d(i,j) + t(i))$$

En nuestro ejemplo, para la actividad (1,2), el margen total es:

$$Mt = 4 - (4 + 0) = 0$$

El margen total de la actividad (2,3) es:

$$Mt = 14 - (6 + 4) = 4$$

Se efectúa el mismo análisis hasta llegar a la última actividad, apreciándose que existen actividades que tienen márgenes de tiempo en su realización de acuerdo con lo programado y otras no. El tiempo de realización de las tareas (1,2), (2,7) y (7,8) es inflexible o crítico; por lo que esas tareas resaltarían en trazo grueso componen el camino crítico del proyecto, comprobándose que los márgenes de tiempo correspondiente a cada uno de los

nodos de comienzo y finalización de las tareas mencionadas también son iguales a cero.

Se define como **margen libre** a la cantidad de tiempo disponible después de efectuar la actividad, si todas las actividades del proyecto comenzaron en sus tiempos lo más pronto posible. Es la diferencia que existe entre el tiempo más temprano de finalización de una actividad y la suma de la duración de la misma y el tiempo más temprano de comienzo.

$$Ml = t(j) - (d(i,j) + t(i))$$

En el caso del cuadro 4.13, para la actividad (1,2) el margen libre es:

$$Ml = 4 - (4 + 0) = 0$$

El margen libre de la actividad (2,3) es:

$$Ml = 10 - (6 + 4) = 0$$

En el caso (3,6) el margen libre es:

$$Ml = 24 - (5 + 10) = 9$$

El margen libre resulta más indicado para el control del proyecto.

Analicemos una subruta como la integrada por (2,3), (3,4) y (4,5). Se aprecia que cada una de las tres actividades tiene 4 unidades de margen total para la concreción de sus operaciones; es decir que toda la subruta tiene ese tiempo disponible. Si se consumen esas 4 unidades de tiempo en la tarea (2,3), no quedaría posibilidad de demora para las actividades (3,4) y (4,5); ya que el proyecto debe terminarse en 40 unidades de tiempo.

El concepto de margen libre expresa que si se desea que comience la actividad (3,4) y (4,5) en sus tiempos más temprano t(3) = 10 y t(4) = 14 la actividad que la precede (2,3) no debe tener demora de ningún tipo.

El **margen independiente** es el margen disponible de una actividad cuando la anterior ha finalizado en el tiempo lo más tarde per-

misible y la subsiguiente en el tiempo lo más pronto posible.

$$Mi = t(j) - (d(i,j) + t^*(i))$$

Por ejemplo, el margen independiente de la actividad (1,2) es:

$$Mi = 4 - (4 + 0) = 0$$

El correspondiente a la (5,6) es:

$$Mi = 24 - (2 + 26) = -4$$

Tal lo apreciado el margen independiente puede ser negativo.

Existe otro **margen denominado programado**, que tiene por objeto la distribución del tiempo margen total de una subruta no crítica sobre la base de algún criterio. En el ejemplo en estudio se aprecia que en la subruta (2,3), (3,4) y (4,5) tiene un margen total de 4 unidades de tiempo y un margen libre de 0 unidades. El margen total disponible de 4 unidades se repartirá entre las tres tareas, teniendo en consideración una serie de aspectos vinculados a la realidad sobre lo que acontece con la misma, tal como: el grado de incertidumbre de la estimación de duración esperada, dudas sobre el cumplimiento por parte de los proveedores, afectación generada por la cercanía de tareas críticas.

Si el criterio de la distribución del margen total es la magnitud de la varianza de cada tarea, el margen programado está determinado por la ponderación sobre el grado de la incertidumbre de la duración estimada.

$$Fp = \frac{Wij}{\sum Wij} \cdot Mt$$

Representamos con $Wij = \sigma^2$ = Sigma Cuadrado, la ponderación de la actividad, que varía entre 1 y 9, siendo $\sum Wij$ la sumatoria de las ponderaciones de la rama o subruta en estudio.

$$Wij = \sigma^2$$

Si en el ejemplo analizado a la actividad (2,3) le asignamos $\sigma^2 = 3$, a la (3,4) $\sigma^2 = 0$ y a la (4,5) le asignamos $\sigma^2 = 5$, podemos obtener los márgenes programados de cada una de ellas. Para la actividad (2,3) Fp es:

$$Fp = \frac{3}{8} \cdot 4 = \frac{3}{2}$$

Para la (3,4) es:

$$Fp = \frac{0}{8} \cdot 4 = 0$$

Para la (4,5) es:

$$Fp = \frac{5}{8} \cdot 4 = \frac{5}{2}$$

Si existieran más tareas a analizar, a cada una de ellas le adjudicaríamos un valor de Sigma o ponderación con respecto a la situación de compromiso de las mismas dentro del proyecto, de acuerdo con lo explicado.

Confeccionamos un cuadro con todos los datos obtenidos hasta ahora.

Actividad	Duración	Lo más temprano posible		Lo más tarde posible		Tiempo de Actividad	MT	MI	VI	MP
		Inicio	Final	Inicio	Final					
0-1	0	0	0	0	0	Crítico	0	0		
1-2	4	0	4	0	4	Crítico	0	0		
1-3	3	0	10	0	14	No crítico	11	7		
2-3	6	4	10	4	14	No crítico	4	0	3	3/2
1-4	2	0	14	0	18	No crítico	16	12		
1-4	2	10	14	14	18	No crítico	4	0	0	0
3-5	2	10	22	14	26	No crítico	14	10	5	5/2
4-5	8	14	22	18	26	No crítico	4	0		
2-7	26	4	30	4	30	Crítico	0	0		
3-6	5	10	24	14	26	No crítico	13	9		
5-6	2	22	24	26	28	No crítico	4	0		
6-7	2	24	30	28	30	No crítico	4	4		
7-8	10	30	40	30	40	Crítico	0	0		

Cuadro 4.14. Márgenes

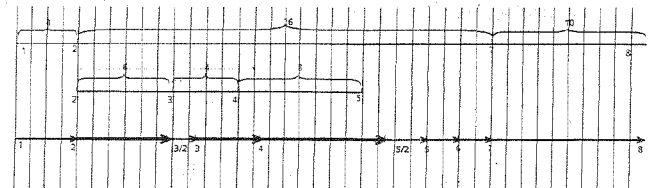
En el cuadro anterior solamente se indican los valores del margen programado en las tareas (2,3), (3,4) y (4,5), pues son las únicas analizadas en la subruta estudiada.

Los datos obtenidos de los márgenes programados para las tareas estudiadas se representan en un diagrama calendario, con el objeto de apreciar de qué manera el margen total de 4 para la subruta analizada, se distribuye entre las tareas que la componen.

En el cuadro 4.15 se observa que la primera representación corresponde al camino crítico, compuesto por las tareas (1,2), (2,7) y (7,8). La segunda representación es la correspondiente a las tareas (2,3), (3,4) y (4,5), que

son las que fueron estudiadas para obtener el margen programado. La parte con trazo grueso en la tercera gráfica tiene incorporados en línea cortada, los márgenes programados de cada una de las tareas estudiadas. Se completa esta gráfica con las otras tareas que permiten completar el diagrama calendario con el tiempo total del proyecto, que es de 40 unidades de tiempo.

Si el proyecto en estudio no es de carácter determinístico, pues no se conoce con exactitud la fecha de terminación, se puede tener el tiempo más probable en el cual es posible finalizar el trabajo sobre la base de experiencias anteriores y teniendo en consideración los recursos y disponibilidades. El método



Cuadro 4.15. Representación del camino crítico

PERT-CPM permite obtener tres fechas de duración de la actividad, como ser: más probable, más optimista y más pesimista.

La probable (m) es el tiempo normal en que la actividad puede concretarse.

La optimista (a) es el tiempo mínimo necesario para realizar la actividad si todos los factores se desempeñan sin dificultades.

La pesimista (b) es el mayor tiempo en que la actividad puede realizarse, siendo los motivos posibles: demora en la entrega de materiales, corte de energía eléctrica, roturas de máquinas o enfermedad del personal.

Los datos de estos tres tiempos provienen del ámbito donde las tareas van a realizarse. Con los mismos se halla la estimación media del tiempo de duración, aplicando la fórmula siguiente:

$$De = \frac{a + 4m + b}{6}$$

De acuerdo con lo expresado, cuando la duración del tiempo es única, la actividad finalizará en la fecha establecida, encontrándonos

en el caso determinístico; siendo en este caso la probabilidad de éxito del 100 %.

El valor de De (media aritmética), que es el que divide la distribución en dos áreas con el 50 % de probabilidades aproximadamente, en general no coincide con el más probable. Si la distribución es asimétrica no se divide en partes iguales.

En todo proyecto la duración de la actividad es una variable aleatoria, siguiendo una distribución de probabilidad. La medida de obtener la incertidumbre es por medio de la varianza de la distribución de probabilidades. La varianza es el riesgo de no acertar la duración media calculada de la actividad.

Su fórmula es:

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

De la fórmula se aprecia que si la fecha optimista y la pesimista están muy separadas, hay una gran incertidumbre con respecto al tiempo requerido para terminar la actividad; ocurriendo lo contrario cuando se encuentran próximas.