



Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería

Proyecto de Maquinas 67.29

GESTION DE PROYECTOS DE INGENIERIA

Profesor adjunto: *Ing. Rafael A. Schiazzano*

VERISON 12.08



Contenido

GESTION DE PROYECTOS DE INGENIERIA.....	1
PROYECTO DE INGENIERIA (P.I.).....	3
GESTION DE PROYECTOS DE INGENIERIA (G.P.).....	3
GRAFICO DE GANTT DE PROGRAMACION Y CONTROL	5
ORIGEN – COMPOSICION – GRF. DE BARRAS -VIRTUDES Y DEFECTOS	5
GRAFICO DE BARRAS.....	7
CONCLUSIONES:	9
METODOS PERT Y CPM	9
Ejemplo de Programación por Red.....	11
Observación	11
DESARROLLO DE UN PERT/CPM.....	12
Evaluación del tiempo de duración.....	12
Aplicación al caso de la red anterior:	17



PROYECTO DE INGENIERIA (P.I.)

Es un conjunto de actividades técnico-científicas relacionadas funcional y/o cronológicamente que al completarse satisfacen a tiempo, técnica y económicamente el objetivo (necesidad) que le dio origen. Tanto por motivos prácticos como metodológicos se establece que todo proyecto debe tener un inicio y un fin definidos y debe completarse para dar satisfacción al objetivo.

Los P.I. tienen distintas características según las áreas de ingeniería que involucren (diseño de una máquina, tendido de un gasoducto, desarrollo de un programa de software, programa de producción de una pieza metalmeccánica). También se diferencia por el grado de certidumbre con que pueden preverse los resultados en tiempos, calidad o costos; las causas de incertidumbres pueden ser diversas. (Ej: diferencia entre “la fabricación de 10.000 de unidades de arandelas normalizadas para bulones de $\frac{1}{2}$ ”, “el diseño y fabricación de una celda de hidrogeno capaz de generar determinada potencia con limitaciones de peso y volumen para que sea portátil” y “la fabricación de 10.000.000 de unidades de arandelas normalizadas para bulones de $\frac{1}{2}$ ” en una plaza que no garantiza materias primas a costo razonablemente constante, que no garantiza la provisión de energía en los horarios normales de actividad fabril y con un parque de máquinas usadas con mantenimiento previo desconocido”).

GESTION DE PROYECTOS DE INGENIERIA (G.P.)

Dirigir es: “enderezar, llevar rectamente una cosa hacia un termino o lugar señalado”, según una de las acepciones de la palabra en el diccionario de la Real Academia Española, esta es la meta de la G.P.

Se asocia aquí la palabra dirección a la Gestión de Proyecto en un sentido genérico descriptivo basado en la bibliografía historicamente primera en idioma ingles, que trata sobre “Project Managment” = Dirección de Proyectos, aunque algunos autores (en idioma castellano) reservan la expresión dirección a un aspecto específico restringido dentro del estudio de G.P.

Planear, coordinar los medios humanos y técnicos necesarios (personal con la competencia requerida, información técnico-científica, software, CAD/CAM, maquinas herramientas, maquinas de producción, etc) y controlar el cumplimiento de las actividades involucradas en cualquier P.I., es un problema complejo que requiere la aplicación de procedimientos apropiados de carácter genérico (independientemente de la característica de P.I.). Estos procedimientos son el objeto de estudio y las herramientas de la “Gestión de Proyectos”.

Proyectos de distintas características involucran actividades distintas, en todos los casos la “Gestión de proyectos” planea, coordina y controla; no cumple las actividades necesarias para un P.I. (no se ocupa de los conocimientos técnico-científicos requeridos).

En diversos casos los procedimientos de la “Gestión de Proyectos”, se han desarrollado como una necesidad planteada por un P.I. específico y posteriormente se ha generalizado su aplicación a cualquier tipo de proyecto.

Las actividades de la G.P. pueden sintetizarse en el siguiente conjunto (no ordenado):

PREVEER (permite fijar objetivos)

ORGANIZAR

DIRIGIR (sentido metodológicamente estricto asociado a la toma de decisiones)

COORDINAR

CONTROLAR



La función inicial de la G.P. en un P.I. consiste en la fijación de un objetivo global (que incluye un plazo de tiempo global estimado), la previsión de las actividades necesarias en forma general, los medios requeridos y los responsables de llevarlo a cabo, esto se conoce como **PLANIFICACION**.

La función final es la comparación de los objetivos fijados con los resultados reales obtenidos, esto se conoce como **CONTROL. (Ref:4)**

Un plan mas detallado, llamado **PROGRAMACION**, que analiza, fija plazos y coordina en el tiempo cada una de las actividades necesarias para alcanzar el objetivo global, permite aplicar el **CONTROL** en etapas intermedias del P.I. y mediante toma de decisiones adecuadas (función **DIRIGIR**) corregir los desvíos que se produzcan para garantizar el objetivo planificado (o no, según resulte conveniente, pero como resultado de una decisión y no del desconocimiento).

PLANIFICACION, PROGRAMACION y CONTROL son los tres capítulos de la G.P. que aplicados conducen al cumplimiento de cualquier P.I.

La **PLANIFICACION** es una herramienta de dirección propia de los niveles superiores de la organización a cargo del Proyecto mientras que la **PROGRAMACION** cuanto mas detallada corresponde a un nivel de dirección mas inmediato a la ejecución práctica de cada actividad.

Cualquiera sea el método de G.P. que se utilice para desarrollarlas tanto la **PLANIFICACION** como la **PROGRAMACION** tienen carácter dinámico, ya que son inevitablemente previsiones que se van modificando por la aparición de factores eventuales que alteran los resultados y por las correcciones que se hacen para llegar al objetivo final como resultado del **CONTROL** permanente.

Se llama **ACTIVIDAD** o **TAREA** a cada una de las acciones de carácter técnico que forman parte del proyecto (proyectar un subconjunto mecánico, fabricar una pieza, desarmar una bomba inyectora de combustible). A los fines de la G.P. una actividad debe tener un objetivo definido, un plazo de ejecución y debe ser puesta a cargo de una persona responsable.

En proyectos complejos una actividad o tarea puede ser a su vez objeto de una programación subdividida en actividades más simples (proyectar un subconjunto mecánico = diseñar un mecanismo que satisfaga un movimiento cinematicamente definido + diseñar los componentes del mecanismo + verificar que funcione bajo el estado de cargas real + diseñar una estructura de soporte compatible con el resto del proyecto).

Determinar cada una de las actividades o tareas en que se divide el proyecto, teniendo en cuenta las relaciones funcionales o cronológicas que existe entre ellas, adjudicarle a cada una los medios necesarios, su tiempo de ejecución y su costo previsto; son el primer paso para cualquier método de **PROGRAMACION** que se aplique. Este primer paso se formaliza mediante la **LISTADO DE PRECEDENCIAS** que se describirá oportunamente.

Desde el punto de vista de las relaciones funcionales y/o cronológicas las actividades o tareas pueden ser:

- a) secuenciales, cuando la realización de una depende de la previa realización de otra.
- b) paralelas, cuando no están relacionadas entre si pero tienen antecedente común por lo que pueden llevarse a cabo simultáneamente.



c) asociadas o interdependientes, son aquellas en que los resultados de cada una afectan a las otras de manera tal que o bien se desarrollan simultáneamente con constante intercambio de información o se desarrollan secuenciadamente en forma tentativa e iterativa pues forzosamente los resultados de cada una determinaran iteraciones de modificación en las otras hasta unificar los resultados.

GRAFICO DE GANTT DE PROGRAMACION Y CONTROL

ORIGEN – COMPOSICION – GRF. DE BARRAS -VIRTUDES Y DEFECTOS

Este gráfico fue ideado por el colaborador directo de Taylor, Henry D. Gantt como método de programación y de control y fue el resultado de la experiencia de varios años de dirección de fábricas de producción en serie durante la 1ra. Guerra Mundial. Su descripción fue publicada por primera vez en

1921. Su acento en la medición es propio del Taylorismo y el Fordismo que caracterizaron el periodo de la revolución industrial, periodo en que surge y se desarrolla el interés en la programación y control de las producciones en serie.

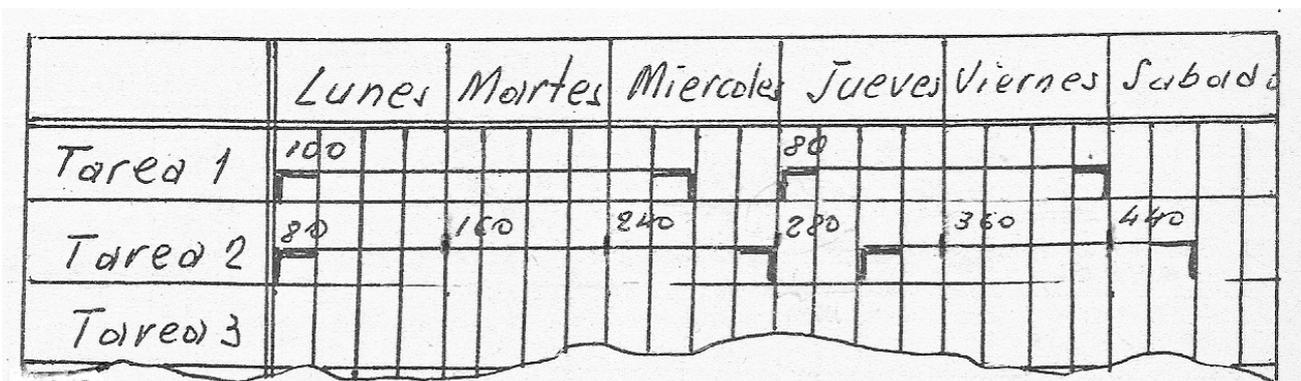
Es muy simple de trazar y de interpretar siendo esta una de sus principales virtudes. La grafica consiste en un sistema de coordenadas cartesianas planas.

Se basa en a) la adjudicación de una actividad a cada renglón (ordenada) de la grafica. b) la longitud indicada del renglón (abscisa) representa el tiempo programado en una determinada escala. Es decir que aparecen columnas de ancho igual a la unidad de tiempo en la escala adoptada.

Como método de programación utiliza los símbolos

- ┌ comienzo de la actividad
- └ Final de la actividad
- Duración programada de la actividad.

En su forma original puede incluir un número para indicar, además del tiempo, la cantidad de unidades a producir programados. Este número se anota en el extremo superior izquierdo del trazo que representa la duración de la actividad, puede anotarse un único número para toda la actividad o números en el extremo superior izquierdo de cada unidad de tiempo considerada, con el acumulado previsto de las unidades de tiempo anteriores.



Nota: En la tarea 2. La cifra 240 al comienzo del miércoles indica que se programa una producción de

80 unidades para ese día y se asume que se cumplió la producción en los días anteriores. La



cifra 280 indica una producción programada de 40 unidades para el jueves (por estar programada una parada de producción de ½ turno) y asume cumplida la programación de los días anteriores (240 al final del miércoles).

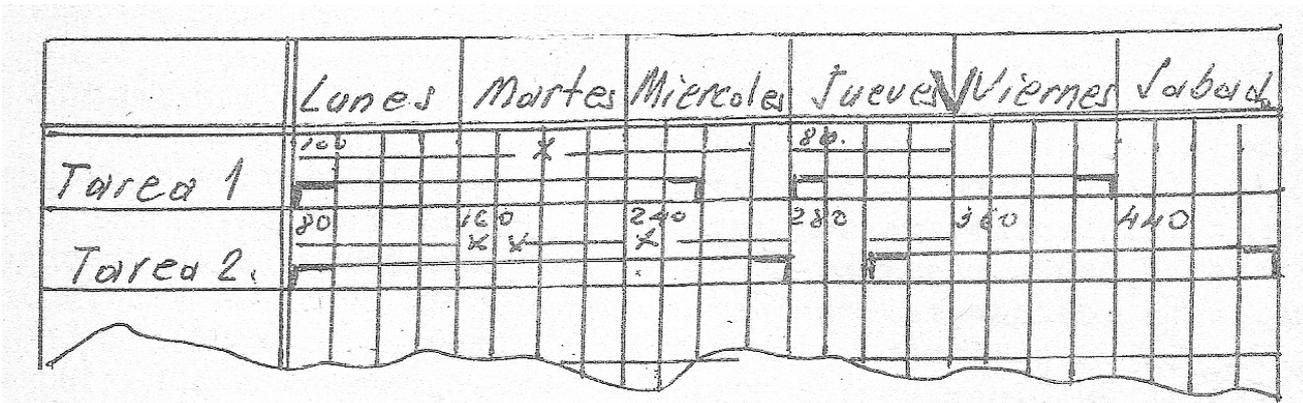
Como método de control incorpora los siguientes símbolos

- ✓ que se dibuja en el encabezamiento indicando el instante a que se refiere el control.
- trazo fino superpuesto a la duración programada indica el tiempo trabajado.
- X en tramos en que el trazo de tiempo trabajado es interrumpido indica tiempos de inactividad o improductivos. Puede omitirse y la mera interrupción del trazo de tiempo trabajado indica inactividad.

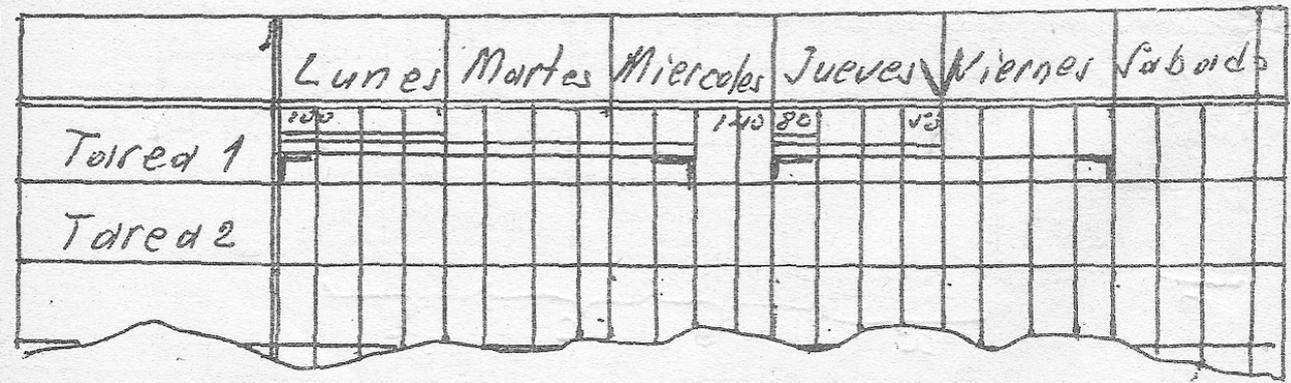
No se hace ninguna señal al principio o fin de la línea de control.

En el caso de control de volumen de trabajo realizado (distinto de control de tiempo trabajado) se agrega una convención: la longitud del trazo fino superpuesto a la duración programada que representa el trabajo realizado, se hace proporcional al porcentaje de trabajo programado que se ha realizado. Además se anota arriba a la derecha la cantidad de unidades de trabajo realizado.

Ejemplo de control de tiempo de trabajado



Ejemplo de control de trabajo realizado



Nota: la línea de control de trabajo realizado en igual escala que la línea de trabajo programado para la primera etapa de la Tarea 1 debe representar 140 unidades mediante un trazo de igual longitud al de programación (100 unidades) y otro superpuesto que representa 40 unidades en igual escala.

GRAFICO DE BARRAS

Es una evolución del Grafico de Gantt en el que se han cambiado los símbolos y convenciones para hacerlo mas simple.

- Se eliminan los símbolos de inicio y fin de programación, b) el programado se representa por un trazo grueso,
- Se programa una única etapa de tarea por renglón (misma tarea en segundo renglón al repetirse).
- Se cambia el símbolo ∇ que indica el instante de control por una línea vertical que se prolonga a toda la altura de la hoja
- La línea de control puede hacerse en línea punteada o sombrada para conservar la idea inicial de simplificar el trazado con el uso del color negro únicamente. Actualmente se tiende a trazar con otro color para lograr mayor claridad.
- Se usa igual escala de longitud para programación que para trabajo realizado de manera que los atrasos se evidencian por una línea de control mas corta que la de programación y un adelanto por una línea de control mas larga que la de programación, en todos los casos respecto del instante de control representado por la vertical (esto es posible por la modificación c).

Nota: El siguiente gráfico de barras expresa que el pedido 59031 se cumplió (control línea rayada) de acuerdo a lo programado, el pedido 59039 esta atrasado pues al controlar en el 3er día de la 3er semana lo producido corresponde al 3er.día de la 2da. semana, el pedido 59043 se



cumplió de acuerdo a lo planeado, el pedido 59063 tiene una producción adelantada respecto a la programación pues al controlar al 3er. día de la 3er. semana la producción corresponde a la del 5to día de la 3er semana según lo programado

Manivela	Cant.	Nº Pedido	1ª semana	2ª semana	3ª semana	4ª semana
# 14 F	90	59031	██████████	██████████		
# 12 F	60	59032	██████████	██████████		
# 14 F	100	59043	██████████	██████████		
# 8 F	100	59063		██████████	██████████	██████████
# 10 F	10	59064			██████████	
# 8 F	10	59066			██████████	
# 14 F	100	59067				██████████

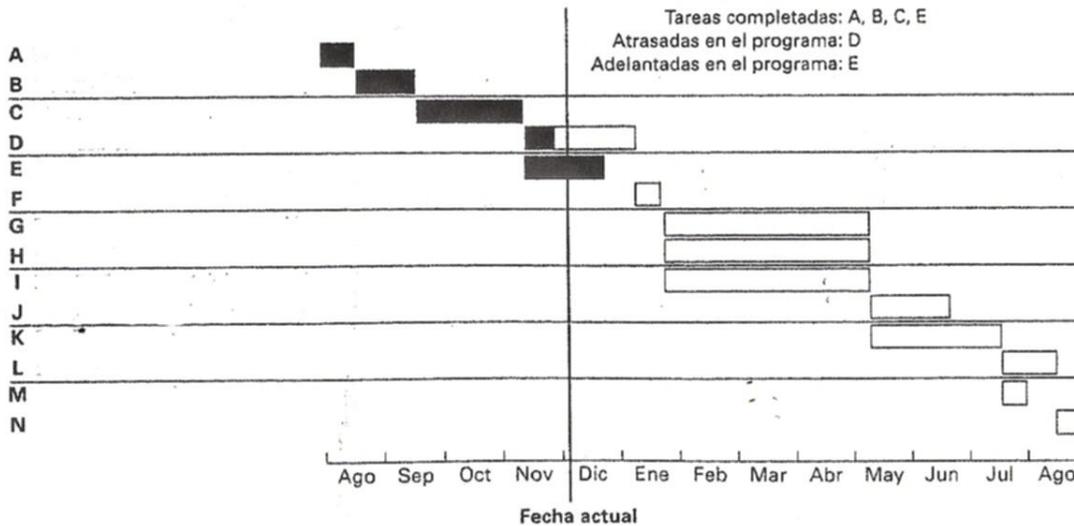
Los pedidos 59064 y 59066 también están adelantados. El pedido 59067 no ha comenzado su producción.

Se trata de operaciones (actividades) de fabricación de distintos modelos de manivelas y se observa que la descripción “# 14 F” aparece tres veces indicando tres procesos (actividades) distintas de fabricación del mismo producto, de igual manera se repite dos veces la descripción “# 8F”.

Actualmente se ha mejorado mucho el sistema de descripción dando mayor utilidad al gráfico.

En el siguiente ejemplo los contornos indican programación y el “llenado” indica el cumplimiento a la fecha de control (fecha actual).

Se observa que en el caso de actividades simultaneas no es posible saber si se trata de tareas “paralelas” (que se cumplen independientemente entre si) o “interdependientes” (los resultados de una afectan a la otra, generando iteración), además en el caso de las tareas “secuenciales” no se informa del carácter de la dependencia si es que existe.



CONCLUSIONES:

El Grafico de Gantt y sus derivados tiene las siguientes ventajas principales:

- 1) *Gran sencillez de trazado e interpretación.*
- 2) *Gran claridad para demostrar atrasos y adelantos de producido en función de control*
- 3) *Visualización exacta de los momentos de iniciación y terminación de las distintas actividades en función de planeamiento.*

Sus principales inconvenientes son:

- 1) *No demuestra de forma clara la relación entre tareas.*
- 2) *Si alguna actividad se atrasa demasiado, la reprogramación obliga a rehacer el grafico completo.*
- 3) *Es difícil el análisis de costos operativos globales ante diferencias en los tiempos de ejecución.*

De lo anterior se deduce que el Grafico de Gantt es particularmente útil para programar y controlar producciones masivas de actividades poco relacionadas, pero pierde parte de su utilidad al tratar proyectos con actividades de duración poco previsible y con alto grado de relaciones entre si. Mantiene el beneficio de su gran sencillez de ejecución y de visualización de resultados (control).

Por esta razón conserva espacio de aplicación en proyectos, en etapa de planificación y como control cronológico.

METODOS PERT Y CPM

Los dos métodos se desarrollaron independientemente y se dieron a conocer a fines de la década 1950-1960, casi al mismo tiempo, tienen en común el objetivo de programar y controlar proyectos compuestos por muchas actividades distintas fuertemente interrelacionadas, mediante una estructura de red.



En general este tipo de P.I. se caracteriza por ser proyectos únicos o de mínimo volumen de producción en relación a la gran cantidad de actividades y la alta complejidad de su programación y control. La historia del origen del desarrollo de cada uno de ellos lo demuestra.

El **PERT** (Program Evaluation and Review Techniques) fue desarrollado por asesores de la armada de EEUU para programar y controlar el desarrollo del “Programa Misilístico Polaris” que incluía el proyecto de un submarino atómico como base de lanzamiento de misiles nucleares. La magnitud del esfuerzo de programación y control puede percibirse mencionando que las actividades estuvieron a cargo de más de 250 proveedores directos y cerca de 10000 proveedores indirectos, además en varios casos las actividades no registraban antecedentes de aplicaciones técnicas.

PERT centro su interés en la determinación de tiempos de ejecución de actividades de difícil evaluación, en la incertidumbre en la evaluación de esos tiempos (previsión de posibles atrasos o adelantos) y en los efectos de esos desvíos (incertidumbre) en el tiempo de desarrollo del proyecto total.

Dado el carácter del proyecto y el momento histórico en que tubo lugar (plena Guerra Fría) resulta natural que el interés se centrara en evaluar el tiempo requerido y la incertidumbre asociada a su evaluación.

A tal fin se utilizaron procedimientos matemáticos de evaluación de tiempo e incertidumbres, tomados de la teoría de probabilidades y estadística.

Desde su inicio y hasta la actualidad PERT encuentra su mejor aplicación en los P.I. compuestos por numerosas actividades novedosas, relacionadas en forma compleja. Ej: Proyectos que incluyan actividades de aplicación a la ingeniería de resultados de investigación que no tengan precedentes.

El **CPM** (Critical Path Method) fue desarrollado por un departamento de servicios de Du Pont para programar proyectos de construcción o programas de mantenimiento de plantas de producción.

En este caso la duración de las actividades se fijaron de manera determinista (tiempo previsto único), por lo que este método resulta mas apto para P.I. compuestos por muchas actividades que tengan antecedentes de aplicación y permitan evaluar los tiempos con razonable precisión.

En este caso el objetivo fue la programación y control de desarrollo de tareas para determinar la duración total del proyecto que determine el menor costo global (costos directos + indirectos), no necesariamente la mínima duración.

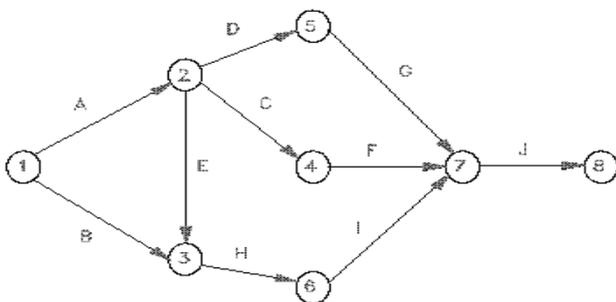
Ambos son métodos basados en la representación por sistemas de redes de flechas y sus diferencias son menores en relación a mayoría los conceptos de su desarrollo

Se llama red a la representación global del proyecto por un conjunto de flechas que simbolizan las actividades y que se organizan secuencialmente en función de sus relaciones, originándose y convergiendo en los llamados nodos de la red.

Los nodos representan instantes (duración nula) en el desarrollo del proyecto, llamados eventos, que caracterizan los estados de comienzo o final de una o varias tareas.

Si bien las actividades tienen una duración asignada las flechas que las representan no tienen longitud ni dirección formalmente asignadas, ni siquiera deben ser rectas.

Convencionalmente se desarrolla la red de programación de un P.I. de izquierda a derecha y debe comenzar y terminar en un nodo único (nodo de comienzo y finalización del proyecto).





Ejemplo de Programación por Red

Las actividades o tareas se representan por las flechas A,B,C,D,E,F,G,H,I,J.

Los eventos que caracterizan el principio y fin de las actividades y permiten representar la relación de precedencia o simultaneidad entre ellas están representadas aquí por los círculos 1,2,3,4,5,6,7,8.

En conjunto sus características beneficiosas son:

- a) Permite visualizar el desarrollo total del P.I. organizando lógicamente las actividades en función de sus relaciones.
- b) Facilita la asignación de medios humanos, materiales o económicos en función de la organización en el tiempo de las tareas.
- c) Identifica el “camino crítico” del P.I., que es la sucesión o cadena de actividades que determinan la duración del proyecto en conjunto.
- d) Durante el desarrollo del proyecto permite controlar el cumplimiento del “camino crítico” y evaluar las alternativas de corrección, para garantizar su cumplimiento en término, en función de los medios disponibles.
- e) Permite evaluar costos previsible y comparar con resultados conocidos generando nuevas referencias.

Observación

Ambas modalidades PERT/CPM evalúan la duración de las actividades.

No obstante las actividades a cumplir para completar el P.I. y las relaciones entre ellas están previstas antes de trazar la red (Listado de Precedencia) y en este sentido los métodos PERT/CPM son igualmente deterministas. Además no prevén ciclos de iteración, es decir la repetición de actividades en función de los resultados de actividades subsecuentes (posteriores) que a su vez se repiten hasta lograr resultados convergentes.

El análisis probabilístico de ocurrencia de una de varias actividades subsecuentes en función del resultado de una actividad, así como la previsión de procesos de iteración en el transcurso de un proyecto han dado origen al método GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), particularmente aplicable a los casos de proyectos de investigación.



DESARROLLO DE UN PERT/CPM

Una importante parte del procedimiento es común a ambos métodos en los casos que corresponda se señalarán las diferencias correspondientes, profundizando hasta el grado considerado conveniente para el presente apunte

- 1) Analizar el P.I. y determinar cada una de las distintas actividades que deberán desarrollarse para completarlo, evitando tanto la subdivisión innecesaria como asociar mas de una actividad real secuenciada bajo una sola denominación (conceptualmente más grave), asignarle un código (número o letra) y describir completa y concisamente cada tarea. La correcta descripción ayuda a evitar los defectos mencionados.
- 2) Evaluación de los medios necesarios y/o disponibles y del tiempo asignado a la actividad. (también pueden determinarse datos de costos, este aspecto se mencionará oportunamente). Es evidente la relación entre medios, tiempo de ejecución y costos.
- 3) Establecer las relaciones de precedencia entre actividades, es decir el orden en que deben llevarse a cabo las tareas interdependientes llamadas secuenciales o la simultaneidad de las independientes. Igualmente es útil establecer el carácter de la relación, puede ser netamente técnico funcional o simplemente temporal (por ejemplo por falta medios para cumplirlas a la vez). A los fines específicos de trazar la red de programación **para cada tarea** debe saberse: cuales **deben** terminar inmediatamente **antes**, cuales **pueden** comenzar inmediatamente **después** y cuales **pueden** desarrollarse **simultáneamente**

Con la información anterior se conforma el **LISTADO DE PRECEDENCIA**, que resulta imprescindible en proyectos complejos, su contenido mínimo es el siguiente

Código de actividad	Descripción de Actividad	Actividades Inmediatamente Precedentes	Duración

Evaluación del tiempo de duración

CPM: en este caso el tiempo es fijado en forma determinista, sea por contar con precedentes o por estimación directa. Eventualmente al evaluar costos se tratan los conceptos de tiempos normales y tiempos acelerados.

El tiempo total de duración del proyecto es la suma de los tiempos del “camino critico” del mismo. (ver hipótesis I de duración total de proyecto según PERT)

PERT: Ante actividades en que no se puede prever una duración razonablemente exacta, los creadores del método optaron por el siguiente procedimiento:

a) elección “a priori” de tres tiempos que caractericen a cada actividad

T_o = Tiempo optimista de duración, que es el supuesto en el caso en que toda la actividad se desarrolle sin inconvenientes y en las mejores condiciones.

T_m = Tiempo mas probable de duración, si el desarrollo de la actividad es normal

T_p = Tiempo pesimista de duración, que es el supuesto si se presentan todos los inconvenientes previsibles y en las peores condiciones de desarrollo.



b) adopción de una curva de distribución de probabilidades para la duración del tipo β que responde al siguiente modelo matemático

$$t \leq T_o \rightarrow f(t) = 0 \quad (\text{otros adoptan } f(t) = 0,01) \quad T_o < t < T_p \rightarrow f(t) = K (t - T_o)^\alpha * (T_p - t)^\phi$$

$$T_t \geq T_p \rightarrow f(t) = 0 \quad (\text{otros adoptan } f(t) = 0,01)$$

En función de los T_o , T_m y T_p adoptados dependiendo de K , α y ϕ las curvas tendrán formas como las graficadas a continuación

Puede ser $T_m > (T_o + T_p) / 2$ o $T_m < (T_o + T_p) / 2$

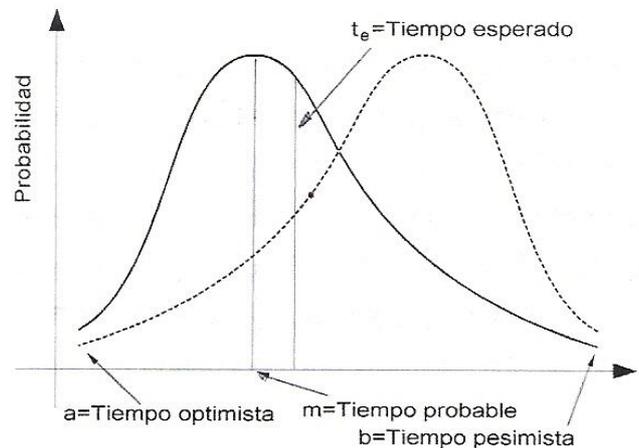
Para este tipo de función de distribución la esperanza matemática o tiempo esperado es T_e

$$T_e = (T_o + 4 * T_m + T_p) / 6$$

T_e es la abscisa de una vertical que divide el área de la curva de distribución de probabilidad normal β en partes iguales.

La medida de la dispersión de la curva de probabilidad normal, es decir de la incertidumbre asociado a T_e , puede darse por la varianza de la función (σ^2) o por su desviación estándar (σ)

$$\sigma^2 = (T_p - T_o)^2 / 6$$



Para la determinación de la duración total esperada del proyecto y su correspondiente incertidumbre, las hipótesis necesarias son las siguientes: (ver punto 8)

- I) El camino crítico es la duración de la mayor de entre todas las “cadenas” de actividades descritas por la red entre el evento de inicio y el de terminación, siempre. (también válida para CPM)
- II) Las duraciones de las actividades son independientes, esta hipótesis es fuertemente objetable en actividades relacionadas funcionalmente.
- III) La duración total del proyecto responde en sí a una distribución normal de probabilidades. Tiene sustento matemático probabilístico en el Teorema central del límite, que demuestra que la suma de muchas variables aleatorias (duraciones de cada actividad, supuesto un número elevado de actividades) responde a una distribución normal α .

De lo anterior resulta que la duración total estimada del proyecto (T_{et}) es la suma de los T_e de las actividades del camino crítico y la varianza total (σ_{t^2}) correspondiente es la suma de las varianzas de las mismas. (condiciones I y II).

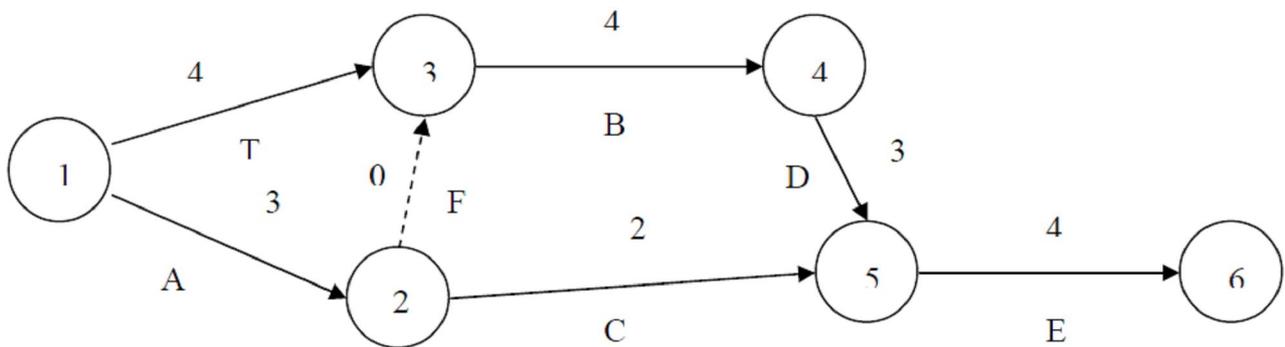
Además la hipótesis III) permite obtener la probabilidad de alcanzar el final del proyecto en plazos distintos (sobre la base de la duración esperada del camino crítico con su correspondiente incertidumbre), utilizando las tablas de valores de la distribución normal estándar. Ver Ejemplo.



3) Graficar la red de actividades en función de los datos resultantes de 3).

A partir del nodo de inicio se trazan flechas representativas de las actividades, para cada actividad (con la “lista de precedencia”) se debe determinar que acciones son las precedentes inmediatas y deben ser separadas por un nodo. Hay situaciones especiales que se resuelven mediante una “tarea ficticia”, el siguiente es el caso típico

Tarea	Descripcion	Tarea Precedente	Duracion
A	AAAAAAAAAAAAA	-----	3
T	TTTTTTTTTTTTTTT	-----	4
C	CCCCCCCCCCC	A	2
B	BBBBBBBBBBBBB	A - T	4
D	DDDDDDDDDDDD	B	3
E	EEEEEEEEEEEEEE	C - D	4
F	FICTICIA	A	0 (CERO)



En la red se ha seguido la convención de colocar el código (letra o número) de cada actividad debajo de la flecha correspondiente y la duración prevista (Te en el caso de PERT) sobre la flecha.

Las actividades B y C son independientes y pueden desarrollarse en paralelo pero mientras que la actividad C tiene una única antecedente A, la actividad B tiene como antecedentes a A y a T. La inclusión de la tarea ficticia F; de duración nula (0), permite graficar la situación.

Además es útil en el caso de tareas paralelas para evitar la posible confusión que generan actividades que comienzan y terminan en los mismos nodos, especialmente en software que identifica las tareas por un par de dígitos que corresponden a los eventos de inicio y final.

5) Determinación del **FECHA TEMPRANA** y **FECHA TARDIA DE UN EVENTO** Una vez construida la red del proyecto y conociendo la duración adjudicada a cada actividad se pueden fijar las fechas características de un evento o nodo. Al nodo de inicio le corresponde la fecha 0.

Desde el nodo de origen sumando las duraciones previstas (Te en PERT) de las actividades de cada una de las cadenas convergentes hasta el nodo considerado, se obtienen las fechas de terminación de dichas cadenas de tareas. Generalmente las fechas son distintas según la distinta duración de las tareas que forman las cadenas.

Para iniciar cualquier actividad que se origine (emergentes o posteriores) en ese nodo es necesario que todas las tareas anteriores (convergentes) hayan terminado. Por esta razón la mayor de las fechas de las cadenas convergentes (la mas larga) determina la “**FECHA TEMPRANA DEL EVENTO**”, es decir la fecha en que con seguridad estarán cumplidas todas las actividades



convergentes.

Desde la fecha del nodo de finalización del proyecto restando las duraciones previstas de las actividades de cada una de las cadenas emergentes (que se inician en) del nodo considerado, se obtienen las fechas de inicio de cada una de las actividades que se inician en el nodo. Generalmente las fechas son distintas según la duración de cada cadena de actividades emergente.

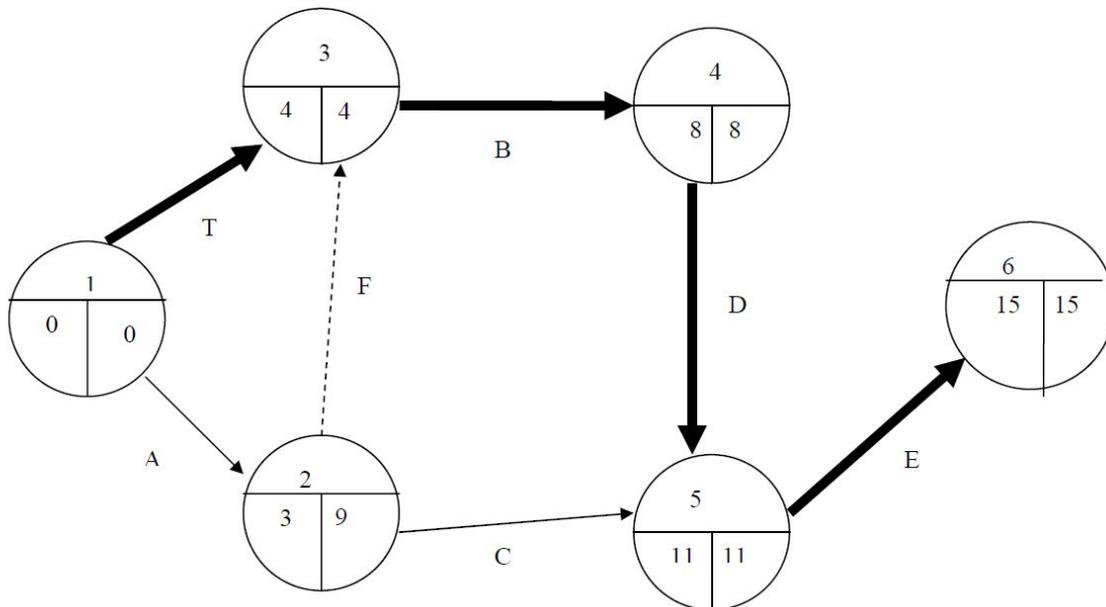
Para cumplir con seguridad la fecha de finalización del proyecto, la fecha de inicio de las actividades originadas en un nodo no deben superar la fijada por la mayor de las duraciones medidas desde el final. Esta es la “**FECHA TARDIA DEL EVENTO**”. (Es la menor de las fechas fijadas)

La diferencia entre la **FECHA TEMPRANA** y **LA FECHA TARDIA** origina el **MARGEN** u **HOLGURA DE TIEMPO**.

6) Determinación del **CAMINO CRITICO** del proyecto. Es la cadena desde el nodo de inicio hasta el de terminación del proyecto que determina su duración mínima real.

Se caracteriza porque en todos los eventos que forman parte de el las **FECHAS TARDIAS Y TEMPRANAS SON COINCIDENTES**. Es decir que no disponen de holguras para su ejecución.

En la gráfica se ha numerado abajo a la izquierda en cada nodo la **FECHA TEMPRANA DEL EVENTO** y abajo a la derecha la **FECHA TARDIA DEL EVENTO**.



7) Evaluación de **MARGENES** o **HUELGOS**:

La diferencia entre la **FECHA TEMPRANA** y **LA FECHA TARDIA** de un evento es el **MARGEN** u **HOLGURA DE TIEMPO** disponible para efectuar tareas emergentes del nodo sin afectar la duración total del proyecto. (Tareas que no forman parte del camino crítico).

A los fines de controlar la situación del proyecto en conjunto es necesario determinar los huelgos disponibles de las actividades como parte de cadenas compuestas por varias tareas secuenciales, no analizarlas individualmente. Analizando una rama de 4 eventos y tres tareas secuenciales



a = evento inicial de la rama y de la t_a = fecha temprana T_a = fecha tardía
 b = evento final de tarea ab e inicio de t_b = fecha temprana T_b = fecha tardía
 c = evento final de tarea bc e inicio de t_c = fecha temprana T_c = fecha tardía
 d = evento final de tarea cd y de la rama, t_d = fecha temprana T_d = fecha tardía
 d_{ab} = duración de la tarea ab , d_{bc} = duración tarea bc , d_{cd} = duración tarea cd

EL “**Huelgo independiente**” de cada actividad es el tiempo máximo de que dispone para variar su duración sin afectar los huelgos independientes de las demás actividades de la cadena, es el huelgo menor que se puede apreciar para una tarea

Se calcula $H_{lab} = t_b - T_a - d_{ab}$, $H_{lbc} = t_c - T_b - d_{bc}$, $H_{lcd} = t_d - T_c - d_{cd}$

El “**Huelgo total**” de cada actividad es el tiempo máximo de que dispone para variar su duración sin afectar la duración máxima de toda la rama (todo el proyecto). Es el mayor huelgo asignable a una tarea y transforma a la cadena considerada en camino crítico ya que obliga a que las demás tareas a cumplirse en el tiempo asignado. Es decir que a partir de una tarea que dispone del Huelgo Total los siguientes eventos pasan a tener T_i y t_i coincidentes.

Se calcula $H_{Tab} = T_b - t_a - d_{ab}$, $H_{Tbc} = T_c - t_b - d_{bc}$, $H_{Tcd} = T_d - t_c - d_{cd}$

El “**Huelgo libre**” que precede a una actividad es el tiempo libre que resulta cuando esta comienza en la fecha temprana del evento de inicio y las tareas secuenciales precedentes se han cumplido en forma consecutiva y sin retrasos (como si fueran críticas) generando así un huelgo adicional (suplementario del propio) para la tarea considerada.

Se calcula $H_{Lab} = 0$, $H_{Lbc} = t_b - d_{ab}$, $H_{Lcd} = t_c - d_{ab} - d_{bc}$

Con igual nombre “Huelgo libre” se identifica un concepto similar pero no coincidente, en este caso se llama así al huelgo resultante al fin de una actividad cuando todas las actividades (previas y la considerada) se han iniciado en las fechas tempranas de sus eventos de inicio.

Se calcula $H_{Lab} = t_b - t_a - d_{ab}$, $H_{Lbc} = t_c - t_b - d_{bc}$, $H_{Lcd} = t_d - t_c - d_{cd}$

En ambos casos el Huelgo libre es un valor intermedio entre los Huelgos independiente y total y uno u otro son aplicables según la apreciación que se desee hacer durante la función de control.

8) Estimación de la **PROBABILIDAD DE CUMPLIMIENTO EN PLAZO DETERMINADO.**

Aplicable a PERT

Basados en las hipótesis I,II, y III del punto 3 se concluye:

La probabilidad de cumplimiento del proyecto responde a una curva de distribución normal $N(Tet, \sigma)$. Se conocen únicamente (tabulados) los valores de la curva normal $N(0,1)$.

Para calcular la probabilidad de cumplir un proyecto antes del plazo T_{it} , o sea la probabilidad de $t \leq T_{it}$, conocidos T_{et} y σ del proyecto, se busca una distribución normal estándar $N(0,1)$ de variable ξ relacionada con t por

$$t = \sigma \cdot \xi + T_{et}$$

$$P(t \leq T_{it}) = P(\xi \leq (T_{it} - T_{et}) / \sigma) \quad (1)$$

Resoluble para la distribución ξ (0,1) tabulada.



Aplicación al caso de la red anterior:

Listado de Precedencia (los tiempos se miden en “unidades de tiempo genéricas” (u.d.)

Actividad	Precedente	To	Tm	Tp	Te	σ^2
A	-----	2,2	3,1	3,4	3	0,24
T	-----	2,2	4,2	5	4	1,307
B	T - F	2,8	3,7	6,4	4	2,16
F	A	0	0	0	0	0
C	A	1,5	1,9	2,9	2	0,327
D	B	1,6	3,1	4	3	0,96
E	C - D	3,7	3,8	5,1	4	0,317

Camino Critico: T, B, D, E Σ El tiempo esperado total del proyecto Σ Tet = 4+4+3+4 = 15

→ La varianza del Tet Σ $\sigma^2 = 1,307+2,16+0,96+0,317 = 4,744$

→ La desviación estandar total Σ $\sigma = 2,178$

Calcular la probabilidad de cumplir el proyecto antes de que se cumplan 18 u.d. Aplicando la (1)

para Tit = 18

I)
$$P(t \leq 18) = P(\xi \leq 1,378)$$

De la siguiente reproducción parcial de los valores de la función normal para el valor 1,378 de la variable se obtiene el valor 0,416.

Se calcula la probabilidad $P(t \leq 18) = 0,5 + 0,416 = 0,916 \rightarrow 91,6\%$ Se suma 0,5 porque Tit > Tet: aplicando la (1) $P(t \leq Tet) = P(\xi \leq 0) = 0,5$, la vertical de abcisa Tet correspondiente a $\xi = 0$ divide el area bajo la curva normal en áreas iguales. Ver figura a)

II) Calcular la probabilidad de cumplir el proyecto antes de las 12 u.d.

Aplicando la (1) para Tit = 12

$$P(t \leq 12) = P(\xi \leq -1,378)$$

De la siguiente reproducción parcial de los valores de la función normal para el valor 1,378 de la variable se obtiene el valor 0,416.

De lo que se calcula la probabilidad $P(t \leq 18) = 0,5 - 0,416 = 0,084 \rightarrow 8,4\%$

Se resta 0,5 porque Tit < Tet

$P(\xi \leq 0) = 0,5$, la vertical de abcisa Tet correspondiente a $\xi = 0$, se busca aquí la probabilidad del área bajo la curva entre $-\infty < \xi < -1,378$. Ver figura b)



Continuación

Suplemento 2

Tabla de valores de la función $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz$.

x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)
0,00	0,0000	0,18	0,0714	0,36	0,1406	0,54	0,2054
0,01	0,0040	0,19	0,0753	0,37	0,1443	0,55	0,2088
0,02	0,0080	0,20	0,0793	0,38	0,1480	0,56	0,2123
0,03	0,0120	0,21	0,0832	0,39	0,1517	0,57	0,2157
0,04	0,0160	0,22	0,0871	0,40	0,1554	0,58	0,2190
0,05	0,0199	0,23	0,0910	0,41	0,1591	0,59	0,2224
0,06	0,0239	0,24	0,0948	0,42	0,1628	0,60	0,2257
0,07	0,0279	0,25	0,0987	0,43	0,1664	0,61	0,2291
0,08	0,0319	0,26	0,1026	0,44	0,1700	0,62	0,2324
0,09	0,0359	0,27	0,1064	0,45	0,1736	0,63	0,2357
0,10	0,0398	0,28	0,1103	0,46	0,1772	0,64	0,2389
0,11	0,0438	0,29	0,1141	0,47	0,1808	0,65	0,2422
0,12	0,0478	0,30	0,1179	0,48	0,1844	0,66	0,2454
0,13	0,0517	0,31	0,1217	0,49	0,1879	0,67	0,2486
0,14	0,0557	0,32	0,1255	0,50	0,1915	0,68	0,2517
0,15	0,0596	0,33	0,1293	0,51	0,1950	0,69	0,2549
0,16	0,0636	0,34	0,1331	0,52	0,1985	0,70	0,2580
0,17	0,0675	0,35	0,1368	0,53	0,2019	0,71	0,2611
0,72	0,2642	1,09	0,3621	1,46	0,4279	1,83	0,4684
0,73	0,2673	1,10	0,3643	1,47	0,4292	1,84	0,4671
0,74	0,2703	1,11	0,3665	1,48	0,4306	1,85	0,4678
0,75	0,2734	1,12	0,3686	1,49	0,4319	1,86	0,4686
0,76	0,2764	1,13	0,3708	1,50	0,4332	1,87	0,4693
0,77	0,2794	1,14	0,3729	1,51	0,4345	1,88	0,4699
0,78	0,2823	1,15	0,3749	1,52	0,4357	1,89	0,4706
0,79	0,2852	1,16	0,3770	1,53	0,4370	1,90	0,4713
0,80	0,2881	1,17	0,3790	1,54	0,4382	1,91	0,4719
0,81	0,2910	1,18	0,3810	1,55	0,4394	1,92	0,4726
0,82	0,2939	1,19	0,3830	1,56	0,4406	1,93	0,4732
0,83	0,2967	1,20	0,3849	1,57	0,4418	1,94	0,4738
0,84	0,2995	1,21	0,3869	1,58	0,4429	1,95	0,4744
0,85	0,3023	1,22	0,3883	1,59	0,4441	1,96	0,4750
0,86	0,3051	1,23	0,3907	1,60	0,4452	1,97	0,4756
0,87	0,3078	1,24	0,3925	1,61	0,4463	1,98	0,4761
0,88	0,3106	1,25	0,3944	1,62	0,4474	1,99	0,4767
0,89	0,3133	1,26	0,3962	1,63	0,4484	2,00	0,4772
0,90	0,3159	1,27	0,3980	1,64	0,4495	2,02	0,4783
0,91	0,3186	1,28	0,3997	1,65	0,4505	2,04	0,4793
0,92	0,3212	1,29	0,4015	1,66	0,4515	2,06	0,4803
0,93	0,3238	1,30	0,4032	1,67	0,4525	2,08	0,4812
0,94	0,3264	1,31	0,4049	1,68	0,4535	2,10	0,4821
0,95	0,3289	1,32	0,4066	1,69	0,4545	2,12	0,4830
0,96	0,3315	1,33	0,4082	1,70	0,4554	2,14	0,4838
0,97	0,3340	1,34	0,4099	1,71	0,4564	2,16	0,4846
0,98	0,3365	1,35	0,4115	1,72	0,4573	2,18	0,4854
0,99	0,3389	1,36	0,4131	1,73	0,4582	2,20	0,4861
1,00	0,3413	1,37	0,4147	1,74	0,4591	2,22	0,4868
1,01	0,3438	1,38	0,4162	1,75	0,4599	2,24	0,4875
1,02	0,3461	1,39	0,4177	1,76	0,4608	2,26	0,4881
1,03	0,3485	1,40	0,4192	1,77	0,4616	2,28	0,4887
1,04	0,3508	1,41	0,4207	1,78	0,4625	2,30	0,4893
1,05	0,3531	1,42	0,4222	1,79	0,4633	2,32	0,4898
1,06	0,3554	1,43	0,4236	1,80	0,4641	2,34	0,4904
1,07	0,3577	1,44	0,4251	1,81	0,4649	2,36	0,4909
1,08	0,3599	1,45	0,4265	1,82	0,4656	2,38	0,4913

El acortamiento del tiempo total del proyecto se obtiene por el acortamiento de las actividades del camino crítico.

Desde el punto de vista exclusivo del acortamiento del tiempo de proyecto sin otras consideraciones se debe garantizar que el acortamiento de cualquier actividad elegida no genere el cambio del camino crítico (es decir que al acortar una actividad resulte un cambio de las cadenas que forman el camino crítico) que puede pasar a una rama no controlable.

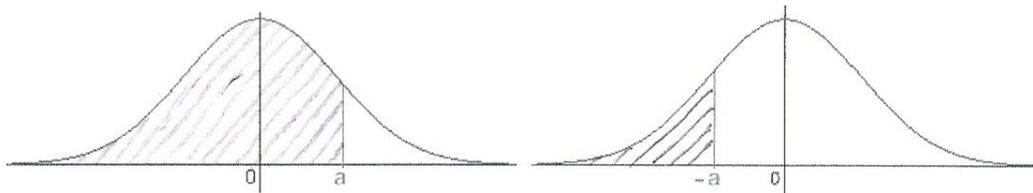
9) OPTIMIZACION DE LA RELACION COSTO-DURACION (OCD) Característico de CPM

Además de evitar el cambio del camino crítico, la OCD se obtiene cuando a cada actividad se le adjudica la duración que provoque su mínimo costo.

La determinación del tiempo de mínimo costo de cada actividad requiere de conocimientos sobre el proceso de ingeniería aplicado que hacen innecesario el uso de métodos probabilísticos. Estos conocimientos se obtienen generalmente por experiencias previas iguales o similares.

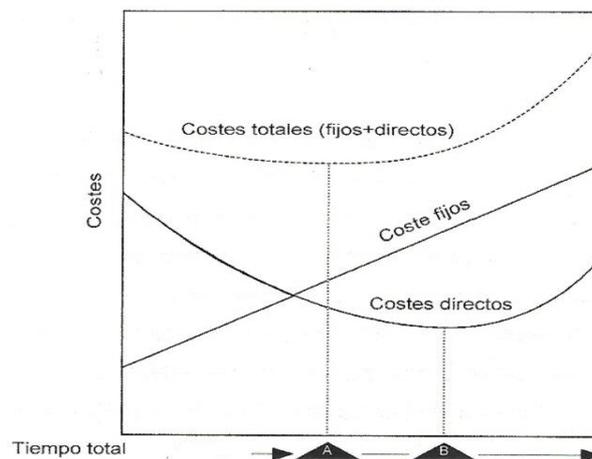
El hecho de adjudicar duraciones en forma determinista indica que se aplica en CPM.

Cada actividad tiene costos indirectos que aumentan con la duración (amortización de equipos de producción e inmuebles, alquiler de software específico, etc.). Los costos directos disminuyen con la duración en forma no lineal (un aumento de costo por aumento del equipo de trabajadores aplicados a una actividad o el aumento de turnos de trabajo reducen la duración pero en relación no lineal).



Se deben acortar las tareas que sufran menor aceleración de costos por gastos directos, ya que en cada tipo de proyecto de ingeniería (fabricación metalmecánica, proyecto de software) los gastos indirectos varían de manera similar en las distintas actividades. En cada caso la suma de costos directos e indirectos constituye el costo total que tiene un valor mínimo que corresponde a una duración intermedia entre las posibles.

También en este caso se opera sobre las actividades del camino crítico cuidando que este no cambie.



En general se estiman dos puntos posibles costo-tiempo (uno en condiciones normales y otro para acortar al máximo la actividad aún aumentando el costo), se asume una variación lineal entre ellos y se adopta el tiempo intermedio mas conveniente (la menor duración compatible con el costo aceptable).

Bibliografía y graficas:

- Administración de la Producción y las Operaciones – E.E. Adam, R.J. Ebert – Prentice Hall Mex. - 1991
 - Diseño y Desarrollo de Productos - K.T. Ulrich, S.T. Eppinger –
 - Planeamiento y Control de la Producción – M.D. Varela – Publicación C.E.I. -1976
 - Teoría de las Probabilidades y Estadística Matemática – V.E. Gmurman – MIR – 1974
- http://alarcos.inf_cr.uclm.es/doc/pqsi/doc/esp/T9899_LBachiller.pdf (consulta 05/01/2008)