

# **UNIDAD II**

## **MEDIDAS** **DE** **DESEMPEÑO**

## **2 Medidas de Desempeño**

Es fundamental en toda operación productiva medir el desempeño de las operaciones que dan origen a los productos o servicios, ya sean estos de producción serial (Gerencia Operativa) o de proyectos especiales (Gerencia de Proyectos). Existen distintos conceptos y métodos para hacerlo, debiendo elegirse el más adecuado a cada requerimiento.

### **Productividad**

#### **2.1-1 Introducción**

El índice de productividad muestra que tan productiva o no es una empresa, lo que podría demostrar el tiempo de vida de dicha corporación, además de la cantidad de producto fabricado con total de recursos utilizados.

El único camino para que un negocio pueda crecer y aumentar su rentabilidad (o sus utilidades) es aumentando su productividad. Del costo total a cubrir en una empresa típica de mano factura de productos metálicos, 15% es para mano de obra directa, 40% para gastos generales. Se debe comprender claramente que todos los aspectos de un negocio o industria - ventas, finanzas, producción, ingeniería, costos, mantenimiento y administración- son áreas fértiles para la aplicación de métodos, estudio de tiempos y sistemas adecuados de pago de salarios.

#### **2.1-2 ¿Que es productividad?**

Productividad puede definirse como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados. En la fabricación la productividad sirve para evaluar el rendimiento de los talleres, las máquinas, los equipos de trabajo y los empleados.

Productividad en términos de empleados es sinónimo de rendimiento.

La productividad en las máquinas y equipos está dada como parte de sus características técnicas. No así con el recurso humano o los trabajadores.

- Misma entrada, salida más grande
- Entrada más pequeña misma salida
- Incrementar salida disminuir entrada
- Incrementar salida más rápido que la entrada
- Disminuir la salida en forma menor que la entrada.

### 2.1-3 ¿Cómo se mide la productividad?

La productividad se define como la relación entre insumos y productos, en tanto que la eficiencia representa el costo por unidad de producto.

**Eficacia: grado en que se realizan las actividades planificadas y se alcanzan los resultados planificados (es el cumplimiento de los objetivos planteados).**

**Eficiencia: relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados.**

Por ejemplo:

En el caso de los servicios de salud, la medida de productividad estaría dada por la relación existente entre el número de consultas otorgadas por hora/médico. La eficiencia se mediría a partir del costo por consulta, mismo que estaría integrado no solo por el tiempo dedicado por el médico a esa consulta, sino también por todos los demás insumos involucrados en ese evento particular, como pueden ser materiales de curación medicamentos empleados, tiempo de la enfermera, etc.

Muchas empresas modernas manufacturan una gran variedad de productos. Estas últimas son heterogéneas tanto en valor como en volumen de producción a su complejidad tecnológica puede presentar grandes diferencias. En estas empresas la productividad global se mide basándose en un número definido de “centros de utilidades” que representan en forma adecuada la actividad real de la empresa.

La fórmula se convierte entonces en:

Productividad = Producción a + prod.b + prod. N.../Insumos empleados

Finalmente, otras empresas miden su productividad en función del valor comercial de los productos.

Productividad = Ventas netas de la empresa/Salarios pagados

Todas estas medidas son cuantitativas y no se considera en ellas el aspecto cualitativo de la producción (un producto debería ser bien hecho la primera vez y responder a las necesidades de la clientela).

Todo costo adicional (reinicio, re fabricación, reemplazo, reparación, después de la venta) debería ser incluido en la medida de la productividad. Un producto también puede tener consecuencias benéficas o negativas en los demás productos de la empresa.

El costo relacionado con la imagen de la empresa y la calidad debería estar incluido en la medida de la productividad

Con el fin de medir el progreso de la productividad, generalmente se emplea el INDICE DE PRODUCTIVIDAD (P) como punto de comparación:

$$IP = 100 * (\text{Productividad Observada}) / (\text{Estándar de Productividad})$$

La productividad observada es la productividad medida durante un periodo definido (día, semana, Mes, año) en un sistema conocido (taller, empresa, sector económico, departamento, mano de obra, energía, país)  
El estándar de productividad es la productividad base o anterior que sirve de referencia.

Con lo anterior vemos que podemos obtener diferentes medidas de productividad, evaluar diferentes sistemas, departamentos, empresas, recursos como materias primas, energía, entre otros. Como por ejemplo:

$$\begin{array}{cccc} \text{Medición} & & & \\ \text{Parcial} & \frac{P}{MO} & \text{o} & \frac{P}{C} & \text{o} & \frac{P}{M} & \text{o} & \frac{P}{E} \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{Medición} & & \\ \text{Multifactorial} & \frac{P}{MO + C + E} & \text{o} & \frac{P}{MO + C + M} \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{Medición} & & \\ \text{Total} & \frac{P}{I} & \text{o} & \frac{\text{BySP}}{\text{Todos los recursos utilizados}} \end{array}$$

P = producción                      MO = mano de obra                      E = energía  
C = capital                              M = materiales                      I = insumos  
BySP = bienes y servicios producidos

Un ejemplo numérico de mediciones de productividad:  
Datos de producción de insumos y de producción (U\$\$)

<b>Producción</b>	<b>U\$\$</b>
1-Unidades terminadas	10.000
2-Inventario en proceso	2.500
3-Dividendos	1.000
4-Bonos	
5-Otros ingresos	<hr/>

Producción total	13.500
<b>Insumos</b>	<b>U\$\$</b>
1-Humanos	3.000
2-Materiales	153
3-Capital	10.000
4-Energía	540
5-Otros gastos	1.500
Insumos totales	15.193

### Ejemplos de medición de productividad

#### Medición total:

$$\frac{\text{Producción total}}{\text{Insumos totales}} = \frac{13.500}{15.193} = 0.89$$

#### Mediciones multifactorial

$$\frac{\text{Producción total}}{\text{Humano + Material}} = \frac{13.500}{3.153} = 4.28$$

$$\frac{\text{Unidades terminadas}}{\text{Humanos + Material}} = \frac{10.000}{3.153} = 3.71$$

#### Mediciones parciales

$$\frac{\text{Producción total}}{\text{Energía}} = \frac{13.500}{540} = 25$$

$$\frac{\text{Unidades terminadas}}{\text{Energía}} = \frac{10.000}{540} = 18.50$$

Una importante entidad en dar pautas para la medición es la Organización Internacional del Trabajo (OIT) ya que agrupa conceptos empresariales y sindicales de casi todo el mundo.

Utiliza el Indicador Clave del Mercado de Trabajo ICMT-18, para las mediciones de productividad laboral, el cual contiene principalmente los siguientes indicadores:

A) Productividad Laboral Anual (valor añadido por hora trabajada)  
= Producción Total / Total Horas Hombre de los Trabajadores.

Por ejemplo: si la producción total es de 20.000 productos, y el total de horas hombres es de 9.600 horas, la productividad laboral anual es de 2,1 productos / hora. O sea que en el año se elaboran 2,1 productos por cada hora.

B) Productividad Laboral Anual (valor añadido por persona empleada)  
= Producción Total / Total Trabajadores.

Por ejemplo: si la producción total es de 20.000 productos, y el total de trabajadores es de 5, la productividad laboral anual es de 4.000 productos / trabajador. O sea que anualmente cada trabajador elabora 4.000 productos.

C) Índice de Productividad Laboral Anual = Productividad Laboral Anual / Productividad Laboral Máxima Anual x 100.

Por ejemplo: se estima que se puede producir un máximo de 25.000 productos al año. La Productividad Laboral Máxima Anual por horas (A) sería: 25.000 productos / 9.600 horas = 2,6 productos / hora; y el Índice de Productividad Laboral Anual sería = (2,1 productos / hora) / (2,6 productos / hora) x 100 = 80,8%.

En el segundo caso (por persona empleada), la Productividad Laboral Máxima Anual por persona empleada (B) sería 25.000 productos / 5 trabajadores = 5.000 productos / trabajador; y el Índice de Productividad Laboral Anual sería = (4.000 productos / trabajador) / (5.000 productos / trabajador) x 100 = 80,0%.

D) Índice de Productividad Laboral Anual Ajustado = Índice de Productividad Laboral Anual - Índice de Productividad Laboral Anual del Año Anterior.

Por ejemplo: si en un año el Índice de Productividad Laboral Anual fue de 80,0% y en el anterior fue de 75,0%, el Índice de Productividad Laboral Anual Ajustado = 80,0% - 75,0% = 5,0%.

E) Índice de Productividad Laboral Acumulado = Índice de Productividad Laboral del 1° Año (año base) +  $\Sigma$  Índices de Productividad Laboral Anuales Ajustados.

Por ejemplo: si en primer año el Índice de Productividad Laboral fue de 75,0%, y los Índices de Productividad Laboral Anuales Ajustados de los siguientes años fueron: 5,0%, 2,0%, y -3,0% respectivamente, el Índice de Productividad Laboral Acumulado = 75,0% +5,0% +2,0% -3,0% = 79,0%.

F) Índice de Productividad Laboral Promedio Ajustado = es el promedio de los Índices de Productividad Laboral Anuales Ajustados.

Por ejemplo: si en 3 años los Índices de Productividad Laboral Anuales Ajustados fueron: 5,0%, 2,0%, y -3,0% respectivamente, el Índice de Productividad Laboral Promedio Ajustado =  $(+ 5,0\% + 2,0\% - 3,0\%) / 3 = 1,3\%$ .

Estos últimos indicadores son muy útiles para reflejar las tendencias de crecimiento o decrecimiento de la productividad en un período determinado. Incluso, los mismos (por hora trabajada y por persona empleada) son comparados con los Índices de Remuneración de Mano de Obra por Unidad de Producción Promedio Ajustados.

Por ejemplo : en el Reino Unido el Índice de Productividad Laboral Promedio Ajustado (F), refleja: a) durante el período 1980-2000, por persona empleada, un crecimiento anual promedio del 1,7%, b) en los años 1980-1999, por hora trabajada, un crecimiento anual promedio del 2,1%; sin embargo, el Índice de Remuneración de Mano de Obra por Unidad de Producción Promedio Ajustado (por persona empleada), durante el período 1990-1999, presenta un crecimiento del 2,9%. Lo cual demuestra que a pesar del incremento anual en la productividad laboral, los costos laborales han aumentado a una proporción mayor.

Así mismo, la OIT calcula principalmente los Índices de Productividad Laborales Anuales Ajustados (D) por país, y por actividades económicas (por hora y por trabajador), realizando diversas comparaciones, y haciendo énfasis en el crecimiento (cuando éstos son positivos) o decrecimiento (cuando los mismos son negativos), y su relación con los incrementos o reducciones en los respectivos costos de mano de obra. También proporciona las estimaciones de productividad en dos sectores de servicios (transporte y comunicaciones), y en el comercio mayorista y minorista, aclarando que este concepto no es único del sector producción.

#### **2.1-4 Factores internos y externos que afectan la productividad**

Factores Internos:

- \* Terrenos y edificios
- \* Materiales
- \* Energía
- \* Máquinas y equipo
- \* Recurso humano

Factores Externos:

- \* Disponibilidad de materiales o materias primas.

- \* Mano de obra calificada
- \* Políticas estatales relativas a tributación y aranceles
- \* Infraestructura existente
- \* Disponibilidad de capital e intereses
- \* Medidas de ajuste aplicadas

2.1-5 **Optimización de la productividad:** Optimizar significa lograr un máximo o un mínimo con respecto a un criterio. Por ejemplo, para comparar los usos de diferentes medidas de productividad y luego ver el grado de optimización obtenido:

<b>Concepto</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>
<b>N° de productos = clase</b>	<b>10</b>	<b>15</b>
<b>Hs. M de O directa</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
<b>Costo M de O directa</b>	<b>20000</b>	<b>23000</b>
<b>Depreciación capital</b>	<b>6000</b>	<b>7000</b>
<b>Valor en libros</b>	<b>18000</b>	<b>36000</b>
<b>Costo directo total</b>	<b>30000</b>	<b>38000</b>
<b>Costos totales</b>	<b>40000</b>	<b>53000</b>
<b>Moneda extranjera usada</b>	<b>4000</b>	<b>10</b>
<b>Energía consumida kw</b>	<b>1000</b>	<b>1400</b>
<b>MP utilizadas kg</b>	<b>10000</b>	<b>15000</b>

Relacionando el año 2 con el año 1:

- Índice de productividad de la M de O:

$$\frac{15 / 4000}{10 / 2000} \times 100 = 75 \%$$

- Índice del costo de M de O directa:

$$\frac{15 / 23000}{10 / 20000} \times 100 = 130 \%$$

- Índice de la depreciación de capital:

$$\frac{15 / 7000}{10 / 6000} \times 100 = 129 \%$$

- Índice del valor en libras:

$$\frac{15 / 36000}{10 / 18000} \times 100 = 75 \%$$

- Índice del costo directo total:

$$\frac{15 / 38000}{10 / 30000} \times 100 = 118 \%$$

- Índice de los costos totales:

$$\frac{15 / 53000}{10 / 40000} \times 100 = 113 \%$$

- Índice de la moneda extranjera:

$$\frac{15 / 10}{10 / 400} \times 100 = 60000 \%$$

- Índice de la energía consumida:

$$\frac{15 / 1400}{10 / 1000} \times 100 = 107 \%$$

- Índice de las MP:

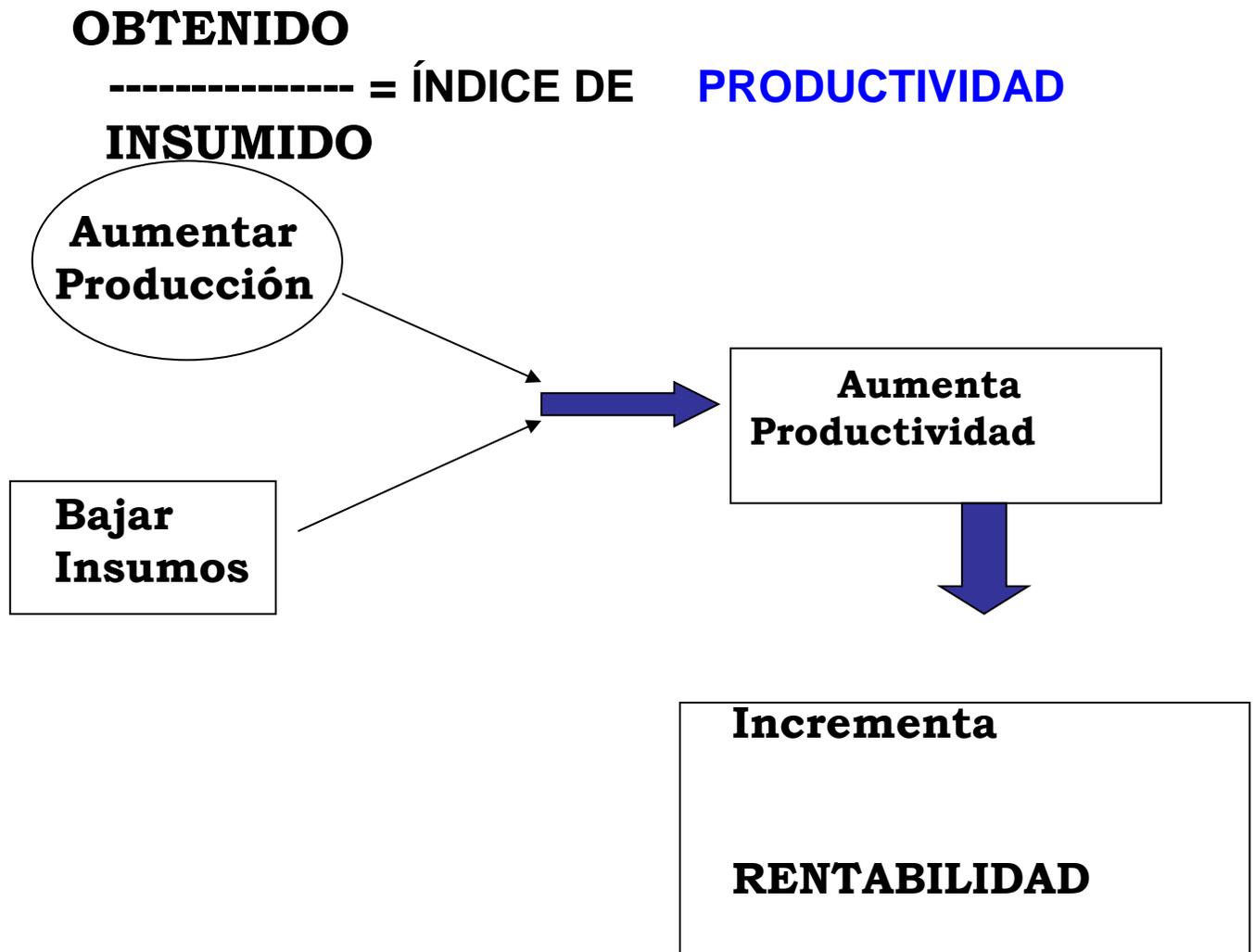
$$\frac{15 / 15000}{10 / 10000} \times 100 = 100 \%$$

La optimización se basa en mejorar la relación de sus términos. Sin embargo, existen límites prácticos, sobre todo en los servicios; la suboptimización es el mayor riesgo, donde se disminuye fácilmente

algún costo pero luego se producen problemas con los clientes que terminan disminuyendo los índices de productividad.

Por ello el aumento de productividad sectorial no puede ser evaluada sin una observación global de los índices más importantes; ellos también indicarán si las motivaciones del personal para aumentarla se encuentran en relación con los resultados, ya que mayormente depende de los esfuerzos que realizan los empleados.

En conclusión, la productividad es, sobre todo, una actitud de la mente. Ella busca mejorar continuamente todo lo que existe.



DISEÑO ADECUADO  
TECNOLOGÍA IDONEA  
CALIDAD REQUERIDA  
UTILIZACIÓN ÓPTIMA DE :  
INSTALACIONES – MATERIALES – PERSONAL  
METODOS Y ESTUDIOS DE LOS TIEMPOS  
PLANIFICACION

La obtención de productos de diseño adecuado utilizando la tecnología IDONEA alcanzando la calidad requerida, tiene lugar mediante la utilización de los medios:

Instalaciones => materiales, personal

Cuya utilización óptima es requisito indispensable para alcanzar altos niveles de productividad.

Esta utilización óptima debe buscarse a través de la utilización de los métodos más adecuados y un riguroso estudio de los tiempos de las distintas operaciones que integran un proceso.

Por fin una adecuada planificación de la producción es el complemento para conseguir que aquella utilización óptima de todos los recursos que se persigue se inserte en las necesidades globales de funcionamiento de la empresa.

2.2 **Gerenciamiento de Proyectos:** La gerencia de proyecto tiene por objetivo la Planificación, Dirección y Control de Recursos (Mano de obra, equipos y materiales), para responder a las exigencias de: costos, tiempo y técnicas del proyecto.

Proyecto es un todo que puede iniciarse con una manifestación de trabajo a realizar, en la que aparecen los objetivos perseguidos, las fechas de comienzo y finalización. Está compuesto de actividades o tareas con una duración que dependerá del proyecto que se trate, o bien puede ser una propuesta de concreción de inversión que tiende a crear o modificar, ampliando y /o desarrollando los ámbitos físicos y sus instalaciones con el objeto de generar o aumentar la producción de bienes y servicios en un tiempo establecido.

2.2-1 **Sistemas de Planeamiento por Camino Crítico:** estos sistemas fueron desarrollados para proyectos de gran envergadura y complejidad bajo la denominación general de CPM (Chritical Path Method); se aplicó luego a la construcción y a la industria, generalizándose a todos los proyectos que reúnan una serie de condiciones:

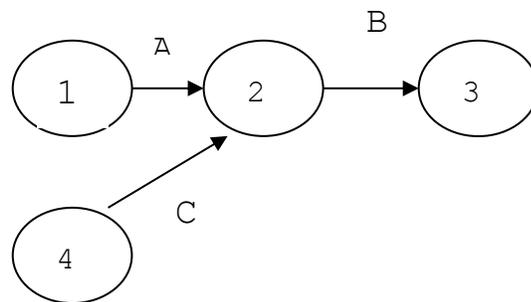
- ser un proyecto único, no repetitivo en la mayor parte de sus actividades
- implicar tiempos y recursos variados
- tener superposición de tareas que impliquen distintos rumbos de acción (red)
- permitir modificar las secuencias dentro de ciertos límites, así como reasignar los recursos de todo tipo.

La facilidad de contar con variado software de aplicación para todo tipo de equipos (PROJACS y JAS para IBM, SUPERPROJECT para DOS, PROJECT para WINDOWS, Primavera SureTrak, etc.) hacen que su aplicación a los proyectos de Sistemas sea universal.

Se basan en establecer que **el cumplimiento de un proyecto se alcanza por la realización íntegra de varias secuencias paralelas o interrelacionadas y, en consecuencia, la duración del proyecto total será la de la secuencia de mayor duración.**

2.2-2 **PERT: Program Evaluation and Review Technique:** es un sistema de los más usados porque permite una adjudicación de tiempos y recursos a las distintas actividades basadas en estimaciones estadísticas. Sus principales elementos son:

- Red: representación gráfica de la secuencia lógica en que serán ejecutadas las actividades.
- Actividad: se representa por flechas y deben ser únicas en el proyecto. Una actividad puede ser en sí un proyecto. La red se construye con relaciones de precedencia de actividades; tienen recursos y tiempos; se expresan en infinitivo (ir, mover, hacer, etc.).
- Suceso: es el fin de una actividad o el comienzo de otra. No tiene recursos ni tiempos; no hace falta nominarlos, se lo hace para mayor claridad (se ha ido, se ha movido, se ha hecho, etc.).
- Margen: demora que no afecta al camino crítico.
- Camino Crítico: secuencia de actividades que, al ser variada, varía la duración de todo el proyecto.



- A precede a B
- C precede a B
- 1 inicio de A
- 2 fin de A y C e inicio de B
- 3 fin de B

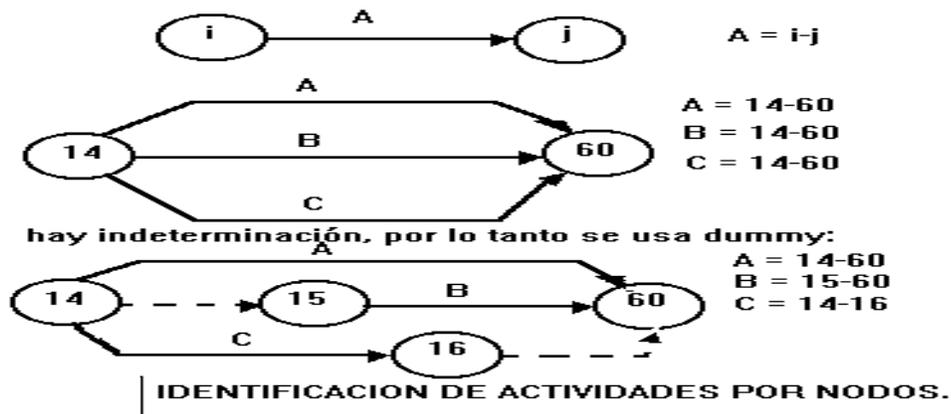
El suceso no indica el comienzo de la actividad, sino que se está en condiciones de comenzar la actividad. Las precedencias que se grafican son las inmediatas.

2.2-3 **Identificación de actividades:** para identificar correctamente las actividades, sin denominar los sucesos, se hace referencia a los puntos asociados al principio y fin de las actividades, llamándolos **nodos**.

Los nodos se identifican numéricamente; Cada actividad tendrá un código integrado por el número del nodo origen y el número del nodo final de la misma. La numeración debe seguir las siguientes reglas:

- no repetir el mismo número para dos nodos diferentes

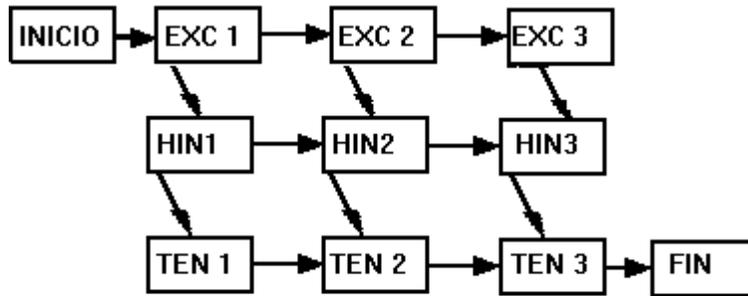
- el número correspondiente al nodo origen debe ser menor que el del nodo final
- se puede numerar a partir de cualquier valor, lo que permite enlazar distintas redes
- se puede numerar en forma no correlativa y de a decenas o centenas, para permitir la inserción de actividades u otras redes sin renumerar los nodos existentes
- en caso de indeterminaciones en la identificación por nodos se usan actividades ficticias
- en general se denomina **i** al nodo origen y **j** al nodo final



En caso de tener que agregar actividades ficticias, como en la figura, conviene proceder como con la actividad B, o sea agregar el dummy antes de la actividad para facilitar el cálculo de márgenes.

2.2-4 **Método de los potenciales:** hasta ahora se ha usado la representación por el método **flecha-actividad**. Existe otra forma de representación donde las actividades se representan por bloques y las flechas sólo se usan para representar las relaciones de dependencia entre tareas.

Si por ejemplo tomamos el ejemplo del tendido de una línea y lo representamos con el método de los potenciales:



### METODO DE LOS POTENCIALES

En este método no hacen falta actividades ficticias, pero se debe agregar una de comienzo y otra de fin del proyecto, ambas de duración y recursos nulos, que permita identificar el comienzo y el fin de la red.

Comparando este método con el de flecha-actividad:

- Flecha-actividad:
  - es más sencillo de calcular y ordenar
  - es más claro de visualizar
  - si se representa en una escala de tiempos (diagrama Calendario) es muy útil
  - es el más usado
- Potenciales:
  - es más simple de construir
  - se pueden poner las actividades en cualquier posición y después trazar las flechas para lograr la precedencia correcta
  - no requiere actividades ficticias
  - la información es compacta y fácil de leer

2.2-5 **Construcción de la red:** los siguientes son los pasos ordenados que se deben seguir para lograr el dibujo de la red. Es imprescindible un conocimiento previo de las características del proyecto en cuanto a:

- **objetivos del proyecto:** qué se desea lograr
- **condiciones técnicas:** especificaciones del trabajo a realizar, secuencias de tareas, materiales y conocimientos requeridos, equipos a usar y sus características, etc.
- **modalidades de trabajo:** estilos de trabajo, horarios disponibles de personal y equipos, condiciones de los gremios, etc.
- **enumeración de tareas:** listado de todas las actividades a realizar, que puede ser luego reagrupado o subdividido

Estos puntos deben ser cumplidos independientemente de la magnitud del proyecto. Para optimizar el proyecto las modalidades pueden modificarse, así como la división de actividades, no así los objetivos y las condiciones técnicas.

Una vez que se cuentan estos elementos, se procede al dibujo de la red de acuerdo a las siguientes **reglas**:

- dos actividades no pueden tener componentes comunes
- no pueden quedar tareas sin ser consideradas en alguna actividad
- la agrupación de tareas en una sola actividad debe corresponder a razones lógicas y técnicas
- una vez que se cuenta con la enunciación definitiva de tareas:
  - seleccionar las tareas sin precedencias y dibujarlas primero
  - ver para cada tarea de las restantes:
    - . Que tareas las preceden
    - . Que tareas las siguen
    - . Cuales tareas no tienen relación con éstas
    - . En dos tareas consecutivas es necesario que la primera esté terminada para que empiece la siguiente.

2.2-6 **Estimación de duraciones:** es básico establecer la duración total del proyecto y la de sus etapas intermedias, además de ubicar en el tiempo sus necesidades de recursos.

La duración de cada tarea debe ser estimada en base al volumen de la misma y a los recursos que requiere y, por otra parte, a los elementos que se disponen para realizarla.

La duración debe ser estimada en base a la realización en condiciones normales de acuerdo a los recursos disponibles.

La unidad de tiempo debe elegirse acorde a las duraciones de las tareas, debiendo ser uniforme para todas las tareas y a lo largo de todo el proyecto.

No se usarán coeficientes de seguridad por imponderables.

Se usará un calendario tipo taller, es decir de días corridos, donde el primer día del proyecto es el 1, el segundo el 2 y así sucesivamente hasta completar la duración total del proyecto. Los feriados se agregarán a cada tarea cuando su ocurrencia cronológica caiga dentro de la duración prevista por esa tarea.

En PERT se usa un modelo probabilístico, basado en la ley beta, llamado **estimación por ponderación**, que es muy útil cuando las tareas que se realizan no están normalizadas. Para ello, PERT utiliza 3 tiempos:

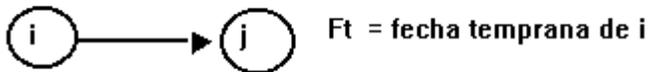
- a. tiempo optimista, es el mínimo posible para completar una tarea
- b. tiempo pesimista, es el máximo lógico para completar una tarea
- m. tiempo mas probable, es el mas frecuentemente requerido para una tarea

el tiempo estimado se calcula con la siguiente fórmula:

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

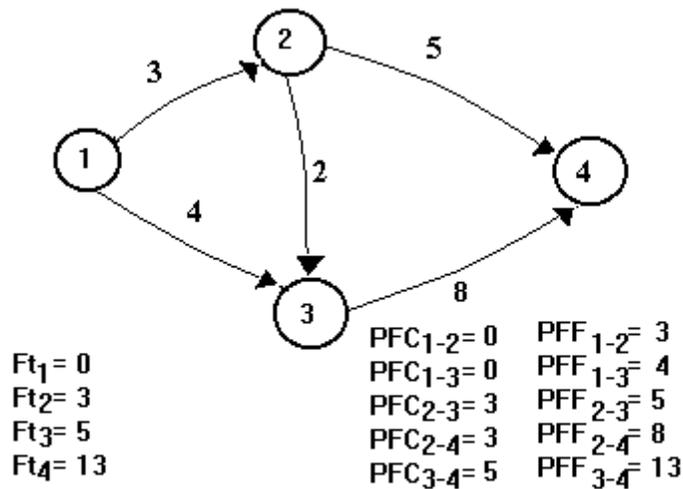
### **2.2-7 Definición y cálculo de fechas:**

- **Fecha temprana:** es aquella en la cual se verifica un suceso cuando finaliza la actividad concurrente a el que finaliza mas tarde:



La actividad i-j no se puede verificar antes de la fecha temprana de i.

Para calcular la fecha temprana de un suceso hay que conocer las fechas tempranas de los sucesos inmediatamente precedentes y la duración de las actividades que las vinculan. O sea que el cálculo recorre la red en forma progresiva en el sentido de las flechas. Por ejemplo:



### CALCULO DE FECHAS TEMPRANAS.

Con respecto a la actividad se puede definir primera fecha de comienzo de la actividad  $i-j$  (**PFC  $i-j$** ) a la fecha temprana del nodo origen y como primera fecha de finalización de  $i-j$  (**PFF  $i-j$** ) a aquella que empieza en PFC y se desarrolla en la duración estimada.

- **Fecha tardía:** es el límite máximo en que puede extenderse la verificación de un suceso ( **$FT_i =$  fecha tardía del nodo  $i$** ).

La desigualdad entre fechas tempranas y tardías permite reasignar los recursos y reajustar los cálculos.

La fecha para a que es necesario que se verifique un proyecto es la fecha tardía del último nodo,  **$FT_n$** .

Se puede definir como  **$FT_i$**  al instante hasta el cual puede retrasarse el cumplimiento del suceso sin alterar la verificación del proyecto total.

Se llama última fecha de comienzo de la actividad  $i-j$  (**UFC  $i-j$** ) a aquella que comienza en la  $FT_i$  y se desarrolla según la duración estimada de  $i-j$  y última fecha de finalización de  $i-j$  (**UFF  $i-j$** ) a la fecha tardía del nodo  $j$ .

El proceso de cálculo de la fecha tardía recorre la red en forma regresiva.

En el ejemplo de la Figura anterior, se puede observar que:

$FT_4 = 13$ , ya que  $Ft_n = FT_n$ , luego:

el suceso 2 no debe verificarse despues de 8  
 el suceso 3 no debe verificarse despues de 5  
 la actividad 2-3 no debe verificarse despues de 3

por lo tanto:

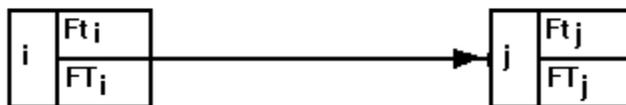
$FT = 0$	$UFC_{1-2} = 0$	$UFF_{1-2} = 3$
$FT = 3$	$UFC_{1-3} = 1$	$UFF_{1-3} = 5$
$FT = 5$	$UFC_{2-3} = 3$	$UFF_{2-3} = 5$
	$UFC_{2-4} = 8$	$UFF_{2-4} = 13$
	$UFC_{3-4} = 5$	$UFF_{3-4} = 13$

Por lo tanto la fecha tardía es igual a la menor de las últimas fechas de comienzo de todas las actividades que nacen de ese suceso.

También se puede decir que las últimas fechas de finalización de las actividades son coincidentes con las fechas tardías de los nodos a los que respectivamente concurren.

Con estos elementos, la representación de los sucesos en la red debe ser de la siguiente forma:

REPRESENTACION Y EJEMPLO CON  $Ft$  Y  $FT$ .



2.2-8 **Márgenes:** para un caso tipo ( $Ft_n = FT_n$ ):

- la fecha temprana de un nodo debe ser menor o igual a su fecha tardía
- la PFF de una actividad es menor o igual a la  $Ft$  del nodo al que concurre
- la UFC de una actividad es mayor o igual que la  $FT$  del nodo origen

por lo tanto pueden darse desde una fecha dada a otra posterior, o sea que existe un lapso entre ellas. Asimismo, puede calcularse el lapso de tiempo entre la PFF de una actividad y la  $Ft$  y  $FT$  del nodo al que concurren.

- **Margen del suceso:**  $Msi = FT_i - Ft_i$

- **Margen de la actividad:** una actividad puede comenzar en Ft<sub>i</sub>, coincidente con la PFC<sub>i-j</sub>, y terminar como límite en la FT<sub>j</sub>, coincidente con UFF<sub>i-j</sub>.

El lapso lo puede absorber la actividad i-j para su desarrollo o para compensar retrasos. La magnitud de este excedente se conoce como **margen total: (Holgura)**

$$Mt_{i-j} = FT_j - (Ft_i + d_{i-j})$$

o de otra forma:

$$Mt_{i-j} = FT_j - PFF_{i-j}$$

(d<sub>i-j</sub> = duración estimada de la actividad i-j)



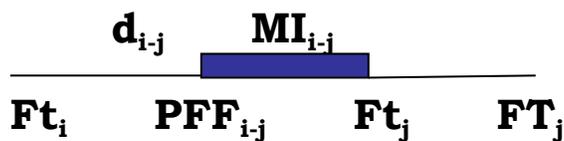
si la actividad absorbe su margen total, significa que i se verificó en su Ft y j se verificará en su FT, lo que restringe las actividades y márgenes posteriores. Las actividades sobre el camino crítico **siempre** tienen margen cero.

Se llama **margen libre** al lapso entre PFF<sub>i-j</sub> y Ft<sub>j</sub>, con la restricción que y se verifique en Ft. La diferencia entre Ft<sub>j</sub> y FT<sub>j</sub> queda disponible.

$$Ml_{i-j} = Ft_j - (Ft_i + d_{i-j})$$

o:

$$Ml_{i-j} = Ft_j - PFF_{i-j}$$

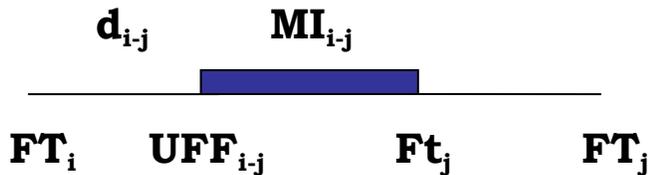


Finalmente, si una actividad dispone de un tiempo que no está comprometido por las fechas de finalización de las actividades precedentes ni compromete la iniciación de las actividades siguientes, aun verificándose el suceso i en FT y el j en Ft existe un margen remanente llamado **margen independiente:**

$$MI_{i-j} = Ft_j - (Ft_i + d_{i-j})$$

o:

$$MI_{i-j} = Ft_j - PFF_{i-j}$$



Una vez establecidos los márgenes y el camino crítico, debe comenzarse el estudio de tiempos para ajustar los márgenes de manera de disminuir la duración total del proyecto, tratando de absorber los márgenes de las tareas no críticas.

El análisis debe comenzarse por el margen independiente, luego por el margen libre y finalmente por el margen total. Luego, si las condiciones técnicas de la actividad lo permiten, se pueden ir absorbiendo los márgenes en el orden indicado.

Siempre que se modifique un margen deberá recalcularse la red completa.

2.2-9 **Diagrama calendario:** para mejorar la interpretación de la red y facilitar la asignación de recursos puede llevarse el gráfico a una escala de tiempo, donde la red se representa proporcionalmente a esa escala según la duración de cada actividad.

Si las tareas se ubican de manera que comiencen en la fecha temprana del nodo i (PFC) se lo llama **diagrama calendario en fecha temprana**. Si se hace en forma que cada tarea concluya en su UFF se lo llama **diagrama calendario en fecha tardía**.

## 2.2-10 CPM con una sola estimación de tiempo

Por ejemplo, el equipo de proyecto debe desarrollar un gráfico de proyecto y calcular la probabilidad de completar el prototipo de computador en el término de 35 semanas.

Los pasos para desarrollar la red son:

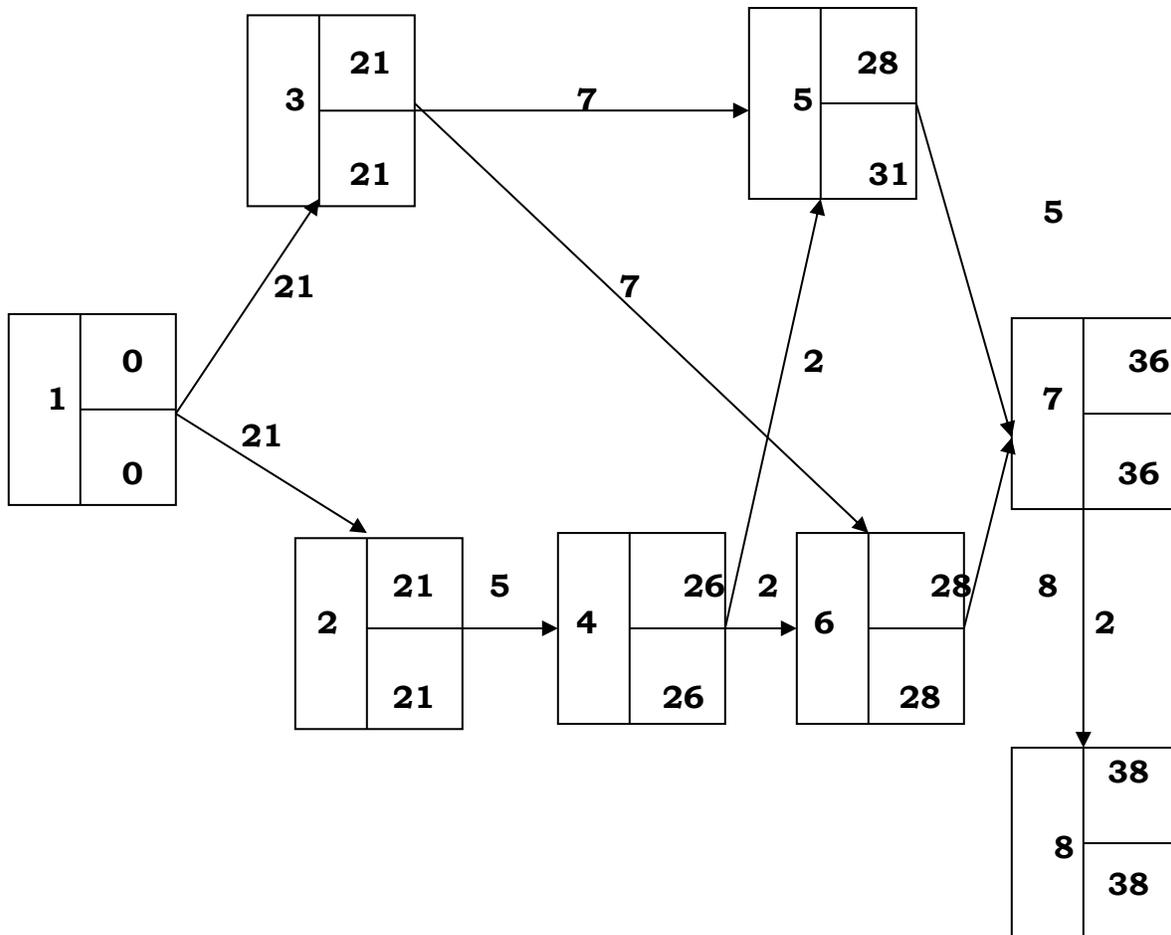
### **a-Identificación de la actividad**

El equipo decide que las siguientes actividades constituyen los principales componentes del proyecto: Diseño del computador, Construcción del prototipo, Prueba del prototipo, Especificaciones de métodos (resumidas en un informe), Estudios de evaluación sobre equipos de ensamble y un informe final que resuma todos los aspectos del diseño, equipo y los métodos.

### **b-Secuencia de actividades y construcción de la red**

Con base en un intercambio de ideas con su personal, el gerente de proyecto desarrolla la tabla de precedencia y la red de secuencias dada en la siguiente figura:

<b>Actividad</b>	<b>Asignación</b>	<b>Predecesores</b>	<b>Tiempo (semanas)</b>
Diseño	1	-	21
Fabricar prototipo	2	1	5
Evaluar equipo	3	1	7
Probar prototipo	4	2	2
Redactar informe:			
Sobre equipo	5	3-4	5
Sobre métodos	6	3-4	8
Final	7	5-6	2
Entrega del Inf. Final	8	7	-



Como se puede observar hay dos caminos críticos. Uno incluye las actividades 1, 3, 5, 7, 8 y el otro es 1, 2, 4, 5, 7, 8. Únicamente la actividad 6 no se encuentra en un camino crítico.

### 2.2-11 Estimaciones de tiempos y errores para las actividades.

Como ya se vio, a veces no es confiable una sola estimación del tiempo requerido para terminar una actividad por ello es mejor utilizar tres estimaciones de tiempo.

Las tres estimaciones para un tiempo de actividad son:

**$\alpha$** = Tiempo optimista: el periodo mínimo razonable en el que se puede terminar la actividad. (Solo existe una pequeña probabilidad, que por lo general se considera 1%, de que la actividad se pueda terminar en menor tiempo).

**m**= Tiempo más probable: la mejor aproximación del tiempo requerido. Como *m* sería el tiempo que se cree que aparecerá con mayor probabilidad, también es el modo de la distribución beta.

**b**=Tiempo pesimista: el periodo máximo razonable en el que se terminaría la actividad. (Solo existe una pequeña probabilidad, que por lo general se considera un 1% de que la actividad se demore más tiempo.

Por lo general esta información se obtiene de las personas que van a realizar la actividad.

Calculo del **tiempo anticipado o expected, (ET)** para cada actividad. La fórmula para efectuar este cálculo es:

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

Esto se basa en la distribución estadística beta y le asigna al tiempo más probable (**m**) un peso cuatro veces mayor que el del tiempo optimista (**a**) o el del tiempo pesimista (**b**). La distribución  $\beta$  es extremadamente flexible; puede asumir la variedad de forma que suele surgir, tiene puntos finales finitos (lo que limita los tiempos de actividad posibles al área entre a y b y, en la versión simplificada, permite la computación directa de la media de actividad y la desviación estándar.

Calculo de las **variaciones ( $\sigma^2$ ) de los tiempos de actividad:** Específicamente, esta es la variación  $\sigma^2$  asociada con cada **ET**, y se computa de la siguiente manera:

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

Como se puede ver la variación es el cuadrado de un sexto de la diferencia entre las dos estimaciones de tiempo extremas. Desde luego cuanto mayor sea esta diferencia, mayor será la variación.

Determinar la **probabilidad de terminar el proyecto en una fecha establecida:** Un aspecto valioso del uso de tres estimaciones de tiempo, es que permite al analista evaluar el efecto de la incertidumbre en el tiempo de terminación del proyecto. La mecánica para calcular esta probabilidad es la siguiente:

- a) sumar los valores de variación asociados con cada actividad de la ruta crítica.

- b) Sustituir esta cifra junto con la fecha de vencimiento del proyecto y el tiempo anticipado de terminación del mismo, en la fórmula de transformación Z. Esta fórmula es:

$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{CP}^2}}$$

Donde:

**D** = Fecha de terminación deseada del proyecto.

**TE** = Tiempo de terminación esperado del proyecto.

$\sum \sigma_{CP}^2$  = Sumatoria de las variaciones en la ruta crítica.

- c) Calcular el valor de Z, que es el número de desviaciones estándares de la fecha de vencimiento del proyecto con respecto al tiempo de terminación esperado.

- d) Utilizando el valor de Z determinar la probabilidad de cumplir con la fecha de vencimiento del proyecto (utilizando una tabla de probabilidades normales). El tiempo de terminación esperado es el tiempo de inicio más la suma de tiempo de actividad en la ruta crítica.

Retomando el ejercicio anterior, se desarrolla el siguiente cuadro, con tiempos esperados y variaciones.

La red de proyectos se creó de la misma manera en que se hizo previamente. La única diferencia es que los tiempos de actividad son promedios ponderados.

La ruta crítica se determina igual que antes, empleando estos valores como si fueran números unitarios.

La diferencia entre la estimación de un solo tiempo y las tres estimaciones de tiempo (optimista, más probable y pesimista), está en la computación de las probabilidades de terminación.

El cuadro muestra la red y la ruta crítica.

Actividad	Designación de la actividad	Tiempos esperados (ET)			Variaciones de la actividad	
		Estimaciones de tiempo			ET	$\sigma^2$
		A	m	b		
Diseñar	1-2 1-3	10	22	28	21	9
Construir prototipo	2-4	4	4	10	5	1
Evaluar equipos	3-5	4	6	14	7	2 7/9
Probar prototipos	4-6	1	2	3	2	1/9
Redactar informes	5-7	1	5	9	5	1 7/9
Redactar informes sobre métodos	6-7	7	8	9	8	1/9
Redactar informe final	7-8	2	2	2	2	0

Como hay dos caminos críticos en la red, hay que decidir que variaciones utilizar para contar con la probabilidad de cumplir con la fecha de vencimiento del proyecto. Un método conservador aconseja utilizar el camino con la variación total más grande, pues esto concentraría la atención de la gerencia en las actividades que con más probabilidad exhibirán grandes variaciones. Con base en esto las variaciones relacionadas con las actividades: 1, 3, 6, 7 y 8, reutilizarían para determinar las probabilidades de terminación, así que

$$\sum \sigma_{CP}^2 = 9 + 2 \frac{7}{9} + \frac{1}{9} + 0 = 11,89$$

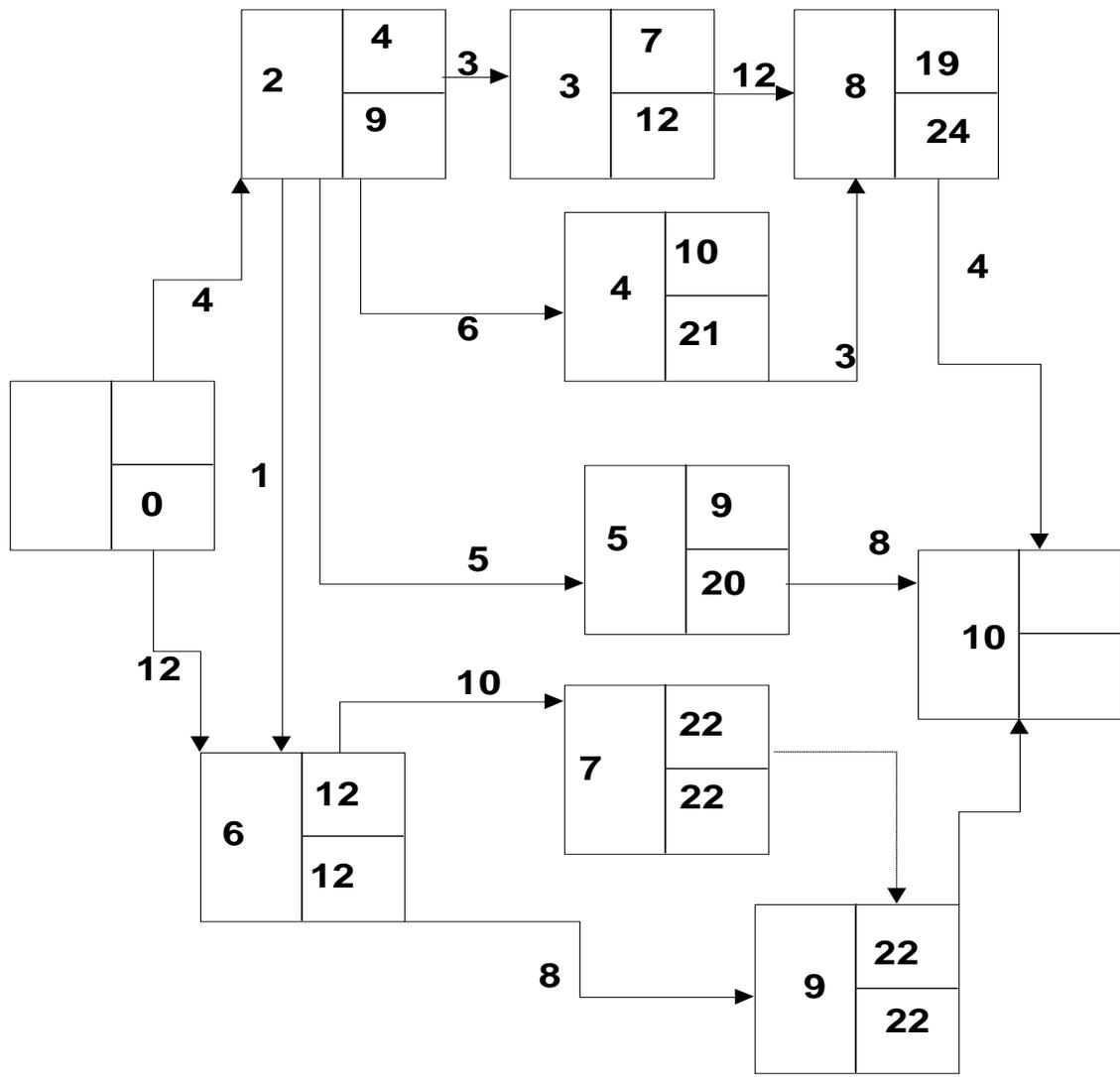
Suponiendo que la gerencia pide la probabilidad de completar el proyecto en 35 semanas. En ese caso, D es 35. El tiempo esperado de terminación se determinó como 38. Sustituyendo Z en la ecuación y resolviéndola, se obtiene:

$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{CP}^2}} = \frac{35 - 38}{\sqrt{11,89}} = -0,87$$

2.2-12 **Programación de recursos:** con el sistema de codificación se pueden agrupar tareas comunes en el uso de un recurso. Ubicadas las tareas en el tiempo y conociendo las unidades de recurso por tarea se pueden sacar requerimientos totales del recurso por unidad de tiempo.

Los recursos pueden necesitarse en forma no uniforme; esto debe evitarse para la mano de obra que es un recurso no acumulable. Si el programa de disponibilidad de recursos es un dato a él se ajustará el programa de requerimientos. Se usan métodos como la Nivelación de recursos MAP, Algoritmo de Brooks) que sirven para evitar los picos y valles de recursos no acumulables, como mano de obra y alquiler de equipos. Sin embargo, la distribución final se determina por las políticas de la empresa.

### **EJEMPLO DE PERT TIEMPO**



### 2.3 Diagrama de Gantt:

Se trata de un diagrama muy simple, similar a un histograma horizontal, en el cual se grafican en una matriz barras que surgen de la intersección de las tareas que se llevan en las filas con los tiempos que se incluyen proporcionalmente en las columnas .

Por ejemplo, la planificación para el montaje de una máquina:

		DÍAS										
TAREAS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Sujetar base	■	■									
2	Taladrar			■								
3	Colocar medidor				■	■	■					
4	Alinear							■	■			
5	Colocar tapa									■		
6	Ajustar										■	■
7	Marcar							■	■	■		
	TOTAL	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

El diagrama permite visualizar el total de tiempo necesario para cada tarea y para el total, la simultaneidad de tareas que puedan hacerse en distintas secciones (por ejemplo, la 4 y la 5 con la 7) e incluso abrir en un detalle mayor para ver la asignación de tareas por áreas.

También permite ver los avances realizados en las tareas parciales y en el total; en el ejemplo, si tomamos el estado del proceso al finalizar el quinto día, podemos ver que el total del mismo se encuentra con un atraso del 20%, debido a que la Tarea 3 se encuentra cumplida sólo en un 33%:

	↓ DÍAS										
TAREAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Sujetar base	█	█									
	▨	▨									
2 Taladrar			█								
			▨								
3 Colocar medidor				█	█	█					
				▨							
4 Alinear							█	█			
5 Colocar tapa									█		
6 Ajustar										█	█
7 Marcar							█	█	█		
TOTAL	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	▨	▨	▨	▨							