

### **III. PROGRAMACION**

Entenderemos a la programación como el conjunto de acciones y datos que definen de manera ordenada, secuencial y a través del tiempo, los pasos que se deben de seguir para lograr la solución de un problema, la ejecución de un proyecto o el mejoramiento de una situación.

La programación se apoya en métodos numéricos y diagramas que permiten una solución óptima de los procesos.

Se entiende por programación de un proceso, al ordenamiento a través del tiempo de sus actividades ya planeadas en una forma lógica y racional, con el objeto de seguir tanto su desarrollo como el de las variables que lo afectan, tomando en cuenta siempre las restricciones, los recursos y los objetivos señalados.

Los programas serán, por lo tanto, herramientas para el control del proceso y existirán tantos de acuerdo al número y tipo de variables que se desee vigilar, como por ejemplo las necesidades de recursos.

Estos programas tendrán diferente función y uso dependiendo de quien sea la persona que los utiliza (constructor, supervisor, cliente, etc.).

Estas funciones pueden ser:

- Programar las necesidades de los diferentes recursos a usar en el proceso a través del tiempo.
- Evaluar en determinado instante el desarrollo del proceso.
- Detectar desviaciones en las decisiones planteadas originalmente, mediante su comparación con la realidad.
- Formular medidas de corrección de los efectos producidos por las desviaciones, retroalimentando así al proceso.

La programación de un proceso consta de las siguientes fases:

- a) Selección de la duración de cada actividad.
- b) Selección del tiempo de iniciación de cada actividad.

- c) Cálculo de los tiempos de terminación y holguras de cada actividad.
- d) Representación gráfica del proceso en un diagrama de barras, que finalmente se convierte en un Programa de Obra.

La selección de la duración de cada actividad deberá hacerse teniendo en cuenta la influencia de dicha duración en los siguientes factores:

- a) Duración del proceso.
- b) Costo y recursos requeridos para realizar la actividad.
- c) Costo del proceso.

La selección del tiempo de iniciación de cada actividad depende de:

- a) Secuencias de la actividad respecto a las otras actividades del proceso, de acuerdo con el plan elaborado.
- b) Posibilidades de desplazar la terminación de la actividad sin retrasar la duración del proceso.
- c) Distribución eficiente en el tiempo de duración del proceso, de los recursos requeridos para efectuarlos.

El cálculo de tiempos de inicio y terminación y las holguras dependen del método de programación que se aplique al proceso. Estos métodos se explicitan más adelante.

Por último, teniendo en cuenta todos los tiempos anteriores, se procede a representar gráficamente al proceso en un diagrama tal que se puedan asignar fechas y recursos a cada actividad, para culminar en el diagrama que nos interesa que es el Programa de Obra. Existen métodos tradicionales para llevar a cabo la Planeación, Programación y el Control de Obras existen métodos tradicionales como son:

#### Método de Gantt o Diagrama de Barras

Este método se basa principalmente en la representación gráfica de las actividades que componen un proceso, que contenga información, duración, inicio y terminación de las mismas y que esta información sea fácil de asimilar y manejar.

El diagrama de barras considerado como se mencionó anteriormente como medida de planeación, programación y control, representa diversas deficiencias como son: la dificultad para representar la secuencia de un gran número de eventos y solo considerar actividades principales. Por lo anterior, es preciso supervisar continua y físicamente el desarrollo del proceso para tener un control eficiente del mismo.

Por sus características objetivas, en dicho diagrama en la fase de programación se determinan y analizan cada una de las actividades, definiendo qué partes y porcentajes de otros eventos deben estar terminados para iniciar el evento en cuestión. Por tal motivo, la duración del proceso resulta un tiempo arbitrario, lo que dificulta decidir y definir las actividades críticas que controlan la duración del proyecto, ya que aparentemente todos los eventos son de igual importancia. Por la forma tan general en que se desglosan las actividades, no es posible asegurar la fecha de terminación de cada una de ellas, sobre todo en eventos donde las condiciones meteorológicas, físicas, humanas, etc., son de importancia.

También por la misma generalidad, no es posible prevenir las demandas de recursos, tanto materiales, humanos, equipo, capital, etc., requeridos para realizarlos provocando que frecuentemente el proceso se retrase.

El diagrama de barras presenta como ventaja la representación de un programa, siendo sin duda una herramienta muy útil, siempre y cuando dicho diagrama se ocupe por conceptos específicos, pudiendo ser estos exclusivamente, análisis económicos, de mano de obra, etc., y cuando se trata de un proceso simple.

Otro método que se desarrolló en el año de 1958 y prácticamente en forma inmediata al método CPM (el cuál se menciona con más detalle a continuación), en los Estados Unidos, es el método PERT (Program Evaluation and Review Technique). Debido a que tanto el método de la Ruta Crítica o CPM como el método PERT se basan en redes de actividades, ya que fueron creados casi simultáneamente, dan lugar a confusiones, por lo que se señalará su diferencia básica.

La ruta crítica o CPM es un método netamente determinista, ya que asigna una duración bien definida para cada una de sus actividades.

El método PERT se basa en la probabilidad, puesto que define tres probables duraciones a cada actividad, según criterios optimista, pesimista y medio. Cabe mencionar que la diferencia primordial entre el método CPM y PERT es el cómo se calculan las duraciones ya que las actividades son consideradas como variables aleatorias.

La duración de cualquier actividad, en el caso del método PERT, se determina de la siguiente manera:

$$d = \frac{d_{op} + 4 d_{nor} + d_{pes}}{6}$$

$d_{op}$  = duración optimista  
 $d_{nor}$  = duración normal  
 $d_{pes}$  = duración pesimista

La duración dependerá básicamente de tres factores de ejecución.

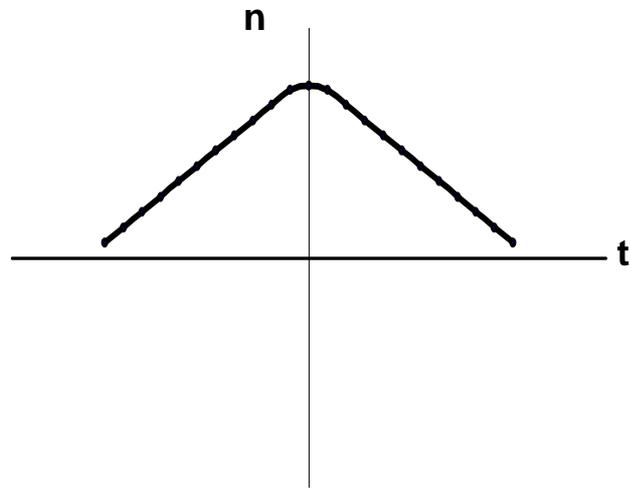
- a) La cantidad y calidad de los recursos para ejecutar la actividad
- b) Métodos de ejecución utilizados.
- c) Condiciones de ejecución.

En cuanto los tres factores mencionados se mantuvieran sin ningún cambio, la duración de una actividad, que se repitiese sería siempre la misma.

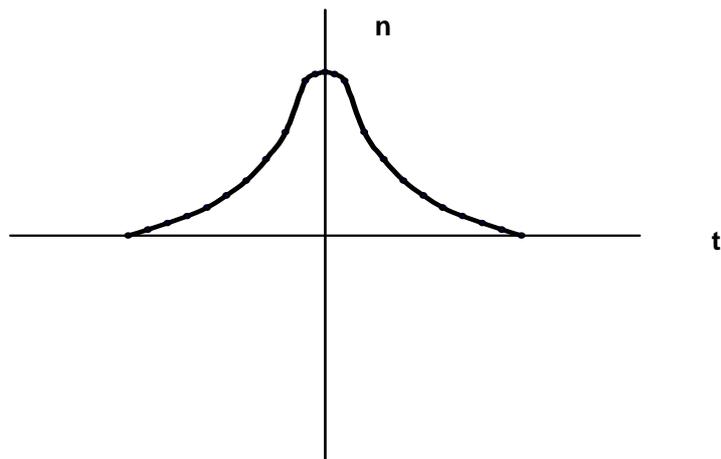
Ahora bien, resulta obvio mencionar que en cualquier proceso que tratemos tendremos una serie interminable de factores que harán que los “tres factores” no sean controlables en un 100%, esto da como resultado que la duración real de una actividad sea una variable aleatoria, y cuya distribución de probabilidad tiene características que dependen del grado de control en los tres factores de ejecución. La curva que nos represente la probabilidad será semejante a la de la figura 6. Cuanto mayor control se puede ejercer, la curva tenderá a ser como se muestra en la figura 7.

Para establecer la distribución de probabilidades de la duración de una actividad se puede proceder según cualquiera de estos dos caminos:

- a) Repetir la actividad referida un número suficiente de veces, haciendo un análisis estadístico de sus duraciones en cada ejecución.
- b) Suponer el tipo de la distribución y estimar los parámetros de la misma, basándose en la experiencia de especialistas.



**Figura 6** Curva que representa la probabilidad de duración de una actividad con factores no controlables



**Figura 7** Curva que representa la probabilidad de duración de una actividad con factores controlables

### **III.1 Método CPM (Ruta Crítica)**

Hasta la década de los 50's existía sólo un método para la planeación, programación y control de un proceso. Este método (diagrama de Gantt o de barras) presentaba una serie de deficiencias, que se hacían más notorias ante el desarrollo y complejidad de los nuevos proyectos creados, por lo cual hubo necesidad de idear nuevos métodos, y es así como se desarrolla el método CPM (Critical Path Method).

Existe una metodología detallada, que permite comprender el Método de la Ruta Crítica de una manera más clara y sencilla (ver figura 8).

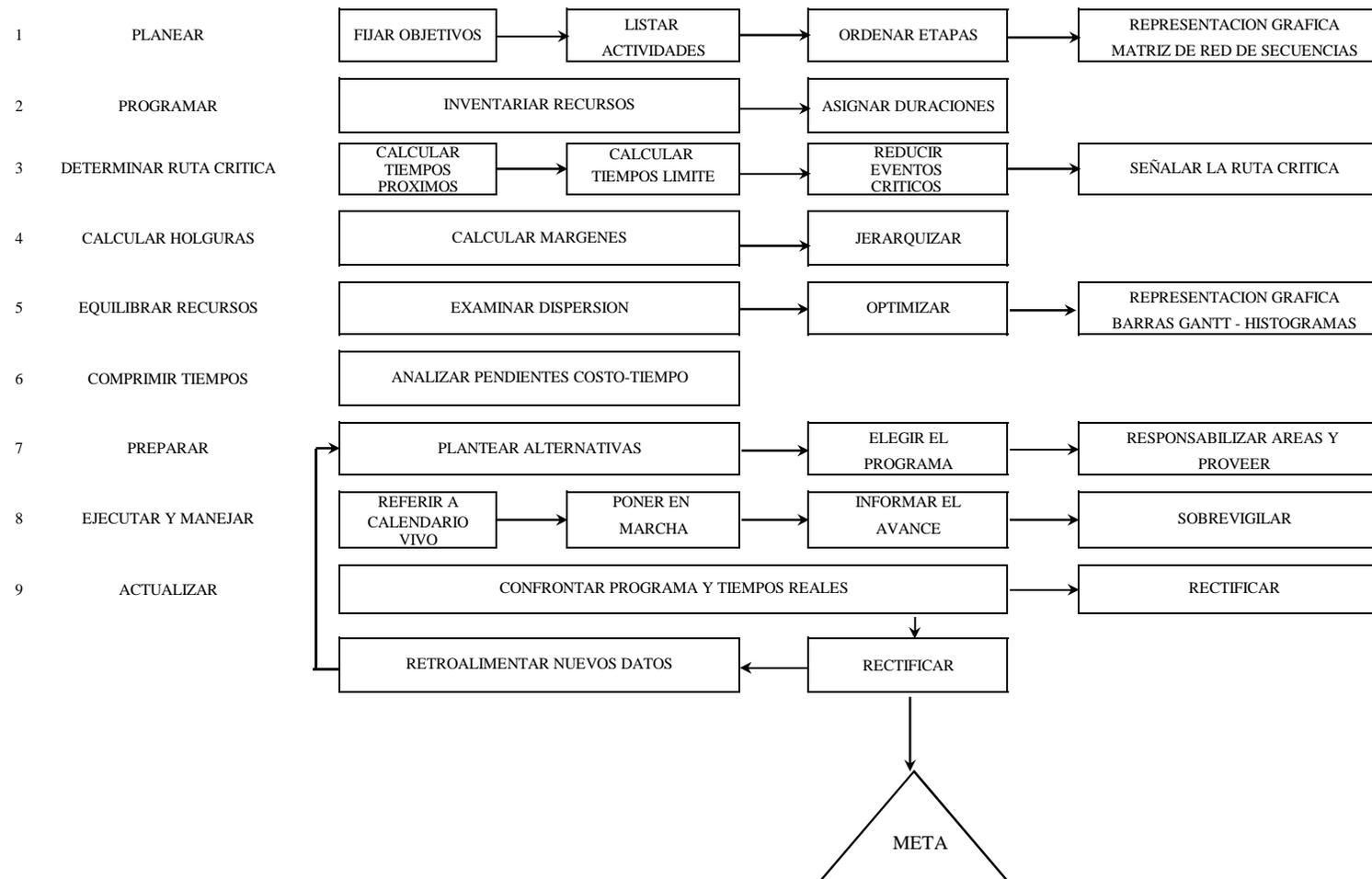
El Método de la Ruta Crítica es una técnica para la planeación y el control de todo tipo de proyectos. En esencia, consiste en la representación del plan de un proyecto a través de un diagrama esquemático o red que bosqueja tanto la secuencia y la interrelación de todas las partes componentes del proyecto, como el análisis lógico y la manipulación de dicha red para determinar el mejor programa general de operación.

Por otra parte, permite la evaluación pronta y la comparación de programas opcionales de trabajo, de métodos de construcción, y de tipo de equipo. Cuando el mejor plan para la ejecución del proyecto se ha preparado de esta forma, el diagrama suministra al líder del proyecto la información precisa acerca de los efectos de cada variación o retraso en el plan adoptado, lo que permite la identificación de la operación que requiera un pronto remedio.

El Método de la Ruta Crítica puede emplearse no sólo para la planeación y el control de los trabajos de construcción, sino para los programas de investigación, mantenimiento, etc.

#### **El problema Tiempo-Costo**

Para analizar o revisar un proyecto de construcción, empleando el Método de la Ruta Crítica, el primer paso necesario es preparar un diagrama (o "modelo") bajo la forma de una red esquemática que muestre todas las operaciones individuales y sus relaciones entre ellas mismas. Cualquier proyecto de construcción se divide con facilidad en un número de procesos u operaciones, cada uno de los cuales puede realizarse mediante diferentes combinaciones de los métodos de construcción, del equipo, de los tamaños de las cuadrillas de trabajadores, y las horas de trabajo. Los factores más importantes que



© Derechos Reservados UNAM, 1977

**Figura 8 Método de la Ruta Crítica**

dominan la selección de la mejor combinación pueden ser el costo, el tiempo o ambos. La primera impresión es que el costo directo de cada operación deba predominar, en especial con el sistema por contrato, con el fin de que las tareas puedan terminarse con el costo total más bajo; pero el costo total del proyecto incluye todas las cargas indirectas y los gastos generales asociados con la ejecución completa de los trabajos, y éstos son proporcionales al tiempo.

El problema tiempo-costo tiene un número infinito de soluciones. Si el tiempo careciera de importancia, cada operación se realizaría de forma que el costo directo fuese el más bajo. Si el costo no tuviese importancia, cada proceso podría acelerarse con el fin de terminarlo en el menor tiempo. Entre estos dos límites se encuentra la mejor respuesta. El acelerar un proceso puede aumentar su costo y reducir el tiempo, pero no puede disminuir el tiempo total del proyecto, a menos que la operación acelerada sea crítica en la larga cadena de actividades que abarcan las tareas. Es, por lo tanto, necesario encontrar la combinación correcta de operaciones que deberán acelerarse con la finalidad de producir la reducción más económica del proyecto, sin dejar de tener presentes tanto los costos directos como los indirectos.

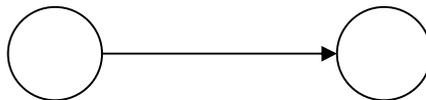
La solución del problema tiempo-costo no es simple. Todos los costos varían con el tiempo; los costos directos tienden a disminuir si hay más tiempo disponible para una operación, pero los costos indirectos y los generales aumentan con el tiempo. El equilibrio correcto entre el tiempo y el costo total es lo que da la solución óptima.

El Método de la Ruta Crítica tiene como elementos básicos un diagrama y una ruta crítica. El diagrama esta formado por eventos y actividades.

El evento es un momento dentro del Proceso Constructivo que no consume tiempo ni recursos, representa a la iniciación o a la terminación de una actividad. Deben los eventos sucederse en una secuencia lógica y se representan por medio de figuras geométricas, como: círculos, triángulos, cuadrados, rectángulos, etc.

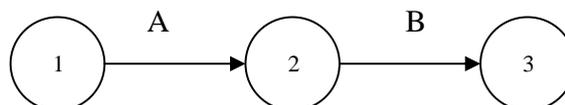


La actividad es la ejecución física de una labor que consume tiempo y recursos. Se representa por una flecha; queda por tanto, enmarcada entre dos eventos:



Una actividad ficticia es aquella que no consume tiempo ni recursos y se representa por: -----> y se usa, solamente, para expresar restricciones que define el Proceso Constructivo, como son las dependencias entre actividades.

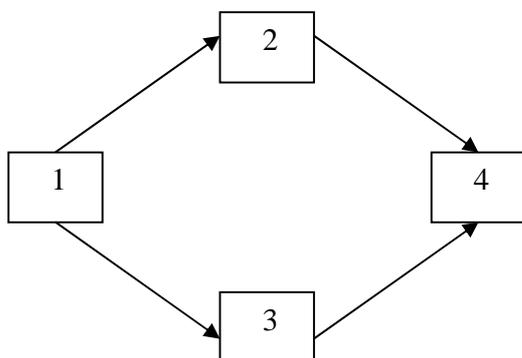
El conjunto de actividades constituyen una cadena y el conjunto de cadenas, ligadas entre sí, constituye la red o diagrama:



**Figura 9**

Los eventos que siguen inmediatamente a otro se llaman eventos subsecuentes. Lo mismo sucede con las actividades: En la figura 9 la actividad B es subsecuente de la actividad A, significa además que para que pueda ejecutarse B, tiene que haberse ejecutado A.

Los eventos que están inmediatamente antes de otro evento se llaman antecedentes o precedentes, lo mismo sucede con las actividades; en la figura 9 el evento 1 es precedente del evento 2.

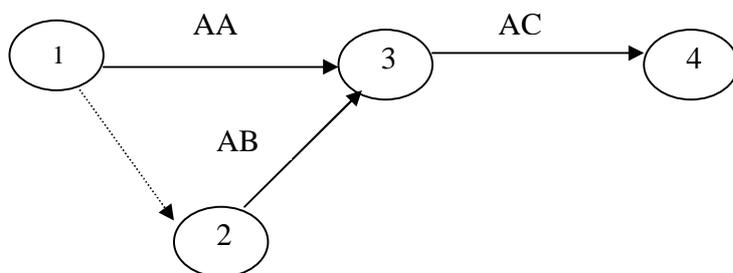
**Figura 10**

En la figura 10 el evento 1 es precedente de los eventos 2 y 3.

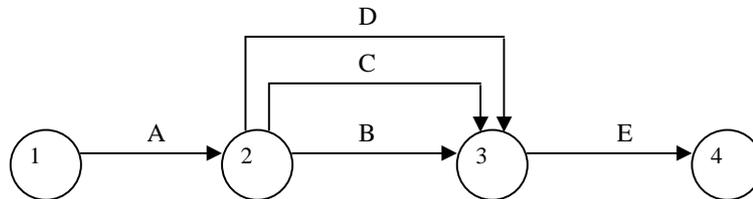
Dependencias de las actividades. En la figura 10 la actividad 2-4 depende de la actividad 1-2 y la 3-4 de la actividad 1-3. Las actividades 1-2 y 1-3 no dependen de ninguna actividad. La actividad 1-2 es precedente a la actividad 2-4 y ésta es subsecuente de 1-2.

En una actividad la longitud de la flecha no representa ni su duración ni el volumen de obra. La flecha representa algo que tiene que ser realizado. El origen de la flecha representa el principio de la actividad y la punta representa su terminación.

Hay ocasiones en que dos actividades que parten de un mismo evento han de realizarse inmediatamente antes de una misma actividad y por lo tanto llegan al mismo evento; en este caso podemos hacer uso de las actividades ficticias y el diagrama nos quedaría como en la figura 11.

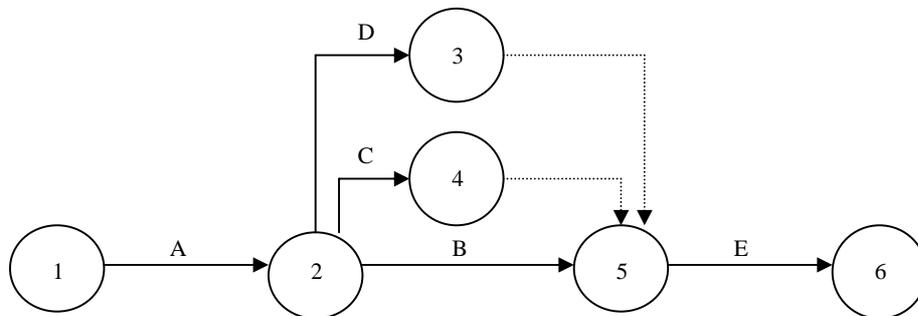
**Figura 11**

Las actividades ficticias se introducen para indicar la secuencia lógica en que se encadenan las actividades.



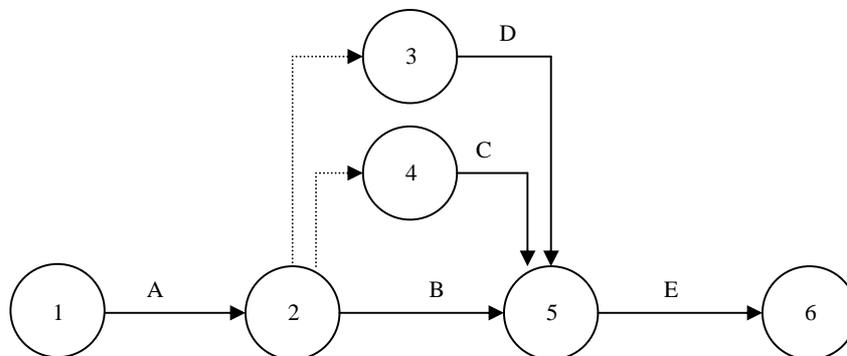
**Figura 12 Red incorrecta**

Lo correcto sería:



**Figura 13 Red correcta**

En la figura 13 las actividades ficticias se colocaron después de las actividades 2-3 y 2-4; en la figura 14 se han colocado antes, su significado o interpretación, en ambos casos, es el mismo.



**Figura 14 Red equivalente**

### El Diagrama de Red o Modelo

Podemos resumir de los conceptos anteriormente descritos que una red es un diagrama de un programa o plan correspondiente a un proyecto determinado (o a parte de un proyecto) que muestra la secuencia correcta y la relación entre las actividades y eventos que se requieren para lograr los objetivos finales en la red orientada a las actividades o diagrama de flechas cada línea o flecha representa una actividad, y la relación entre las actividades se representan mediante la relación de una flecha con las demás; cada círculo, cuadrado, triángulo (o nodo) representa un evento. El largo de la flecha no tiene significado; sólo representa el paso del tiempo en dirección de la flecha. Cada actividad individual se representa mediante una línea separada (o flecha) y el inicio de todas las actividades que parten de un nodo depende de la terminación de todas las actividades que llegan a dicho nodo. Por ello el evento que representa cualquier nodo no se logra hasta que todas las actividades que llegan a dicho nodo han terminado. Este tipo de logro se denomina tiempo del evento; éste constituye un concepto de gran importancia en el Método de la Ruta Crítica. Los eventos y las actividades se numeran para su identificación en la red. El orden de numeración carece por completo de significado, por convención, y por varias razones, el número en la cabeza de la flecha debe ser siempre mayor que el número en su cola.

El proyecto debe, por lo tanto, comenzar en el primer evento (es decir, el inicio del proyecto, numerado como punto de referencia) y procede, evento por evento hasta la terminación de los trabajos. Al dibujar una red es axiomático que:

- 1) Cada nodo represente correctamente la relación completa entre todas las actividades que entren y salgan.
- 2) Que todas las actividades que salgan del nodo tengan predecesores idénticos, y que todas las que entren tengan seguidores idénticos.
- 3) Que cada actividad tenga un grupo único de números asignados al mismo, con el número de cola menor que el número de cabeza.

Estas condiciones pueden cumplirse en cada tarea, no importa lo compleja que sea mediante un dibujo cuidadoso y el empleo de actividades ficticias.

El Método de la Ruta Crítica se ocupa no solo de la secuencia de interrelación de actividades, sino también del tiempo y del costo de terminación de las actividades. Por definición, un diagrama de red es

la representación esquemática de un proyecto, en la que aparecen todas las actividades relevantes y los eventos en yuxtaposición correcta, y los tiempos requeridos para su terminación.

Para cada actividad hay un costo correspondiente, que en forma habitual se aplica sólo en el momento específico de terminación que se indica para cada actividad. Si el tiempo se varía puede esperarse que el costo varíe también. En consecuencia, en el análisis final de una red, es necesario conocer el efecto del costo debido a un cambio en el tiempo. Los datos que muestran este efecto (denominados datos de tiempo-costo) pueden también aparecer indicados en una red para cualquier actividad. Cuando aparece esta información (es decir cuando se indica tanto datos de tiempo como de costo), la representación esquemática del proyecto se conoce como modelo de la red.

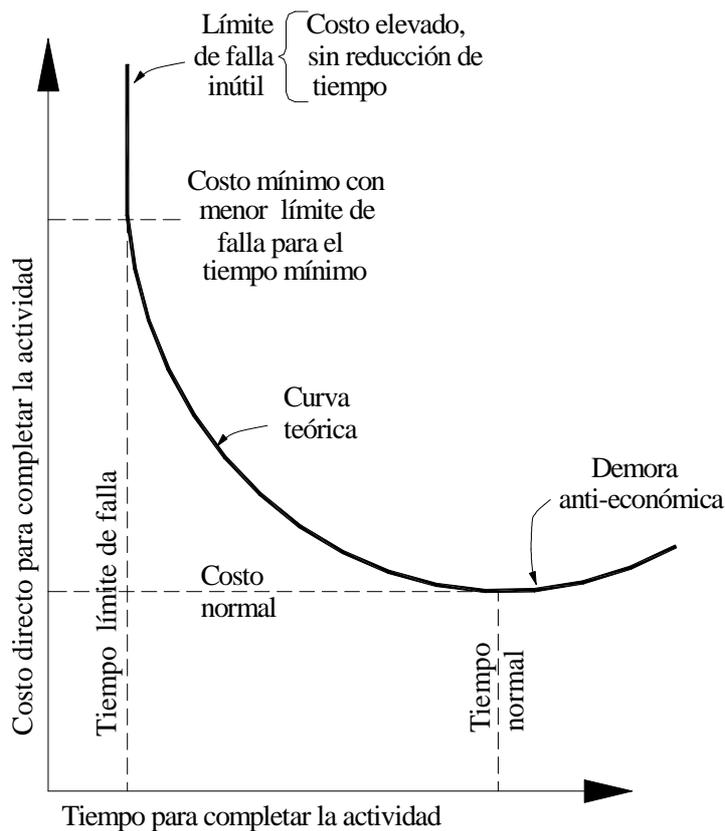
#### Datos de Tiempo-Costo y Curvas de Tiempo-Costo

Los datos de tiempo-costo son la información detallada de tiempo y de costo que se obtiene de la estimación de los trabajos correspondientes a cada actividad del proyecto. Tales datos deben presentarse de manera que muestren el costo directo y el tiempo requerido para cada método posible de ejecución de cada actividad.

Esta información básica se requiere para determinar el costo óptimo del proyecto y la duración óptima del mismo. Mediante el empleo de la ruta crítica, estos datos intermedios se analizan y relacionan, y la solución debe encontrarse en algún punto entre los extremos de la solución del costo mínimo y la solución del tiempo mínimo. La solución del costo mínimo se denomina habitualmente la solución normal y da el tiempo requerido para completar el proyecto con el costo directo más bajo posible.

La solución del tiempo mínimo es el plan necesario para terminar el proyecto en el tiempo más breve posible y con el costo mínimo correspondiente a dicho tiempo. Para reducir el tiempo, un gran número de las actividades deben acelerarse (hasta el límite de falla) aunque no es necesario llegar hasta la falla en cada actividad del proyecto para lograr la solución de mínimo tiempo. Si todas las actividades se llevan al límite de falla, el resultado se denomina solución de falla total. Esto costará siempre más que el programa de mínimo tiempo y, por lo tanto, no resulta nunca económico. De aquí que el objetivo del método aplicado al programa del mínimo tiempo consiste en una selección de aquellas actividades que deben llevarse al límite de falla para lograr la solución óptima.

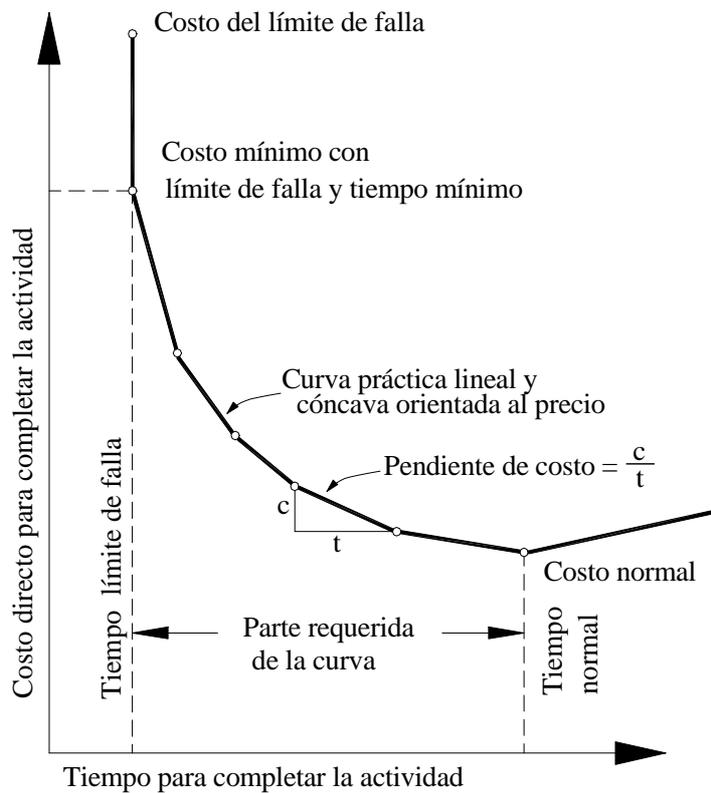
Un corolario esencial a la preparación de los datos de tiempo-costo de la actividad en la estimación del proyecto consiste en la producción de curvas de costo directo-tiempo (denominadas también curvas de datos de costo-tiempo), como las que se observan en las figuras 15 y 16. Aquí el costo directo para cada método de realización de una actividad se grafica contra el tiempo requerido para hacerlo de esa manera. Un examen cuidadoso de la figura pondrá en claro que si se cuenta con muchos métodos posibles para activar un trabajo, la curva de costo-tiempo se aproximará a la curva teórica ideal y continua que aparece en la figura 15. En la práctica, sin embargo, sólo hay un número limitado de medios que se analizan, y por ello, sólo se cuenta con un número finito de puntos así definidos. La curva práctica que aparece en la figura 16 se considera lineal entre cada par de puntos. Las características de la curva de mayor interés son: el punto de solución normal o punto que muestra el costo más bajo, el punto correspondiente al mínimo tiempo o límite de falla y los puntos definidos entre ellos.



**Figura 15** Curva teórica de tiempo-costo de una actividad

El punto de solución normal es por definición el tiempo requerido para realizar el trabajo con el costo directo viable más bajo; todos los tiempos más rápidos deberán costar más, debido a los gastos adicionales de tiempo extra, de cambios de turno, del uso de más equipos, etc. El punto marcado como “costo del límite de falla para el mínimo tiempo” muestra el costo directo mínimo en la realización del trabajo en el tiempo práctico más corto. Los puntos intermedios muestran los costos de varios tiempos viables en los cuales puede acelerarse el trabajo por medio de los métodos practicables distintos con que se cuente. Se pueden obtener curvas de este tipo para actividades individuales, para grupos de actividades y para el proyecto como un conjunto.

El primer enfoque a la planeación y programación lógica de un proyecto consiste en encontrar la ruta crítica para la solución normal, es decir, construir la red con los datos intermedios utilizando los tiempos correspondientes al costo directo más bajo de cada una de las actividades.



**Figura 16** Curva práctica para determinar tiempo-costo de una actividad

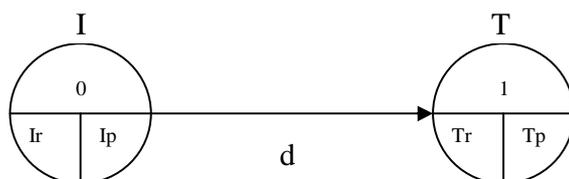
El proyecto se ha descompuesto en las actividades viables únicas.

1. Se han enumerado todas las actividades del proyecto.
2. Se han especificado todas las restricciones.
3. El diagrama de red se ha trazado, y todos los eventos se han enumerado.
4. Los datos de tiempo-costo correspondientes a cada actividad se han preparado.

El sexto paso consiste en asignar un tiempo a cada actividad de la red; para ello se utilizan los tiempos de trabajo procedentes de todos los datos normales de tiempo-costos.

Notación

Si consideramos la actividad 0-1 (figura 17), tenemos que



**Figura 17**

En la parte superior del círculo se coloca el número que corresponde a cada evento y en la parte inferior de la flecha la duración de la actividad que corresponda.

Definiciones:

- Ip: Tiempo de iniciación más próximo de la actividad.
- Ir: Tiempo de iniciación más remoto de la actividad.
- Tp: Tiempo de terminación más próximo de la actividad.
- Tr: Tiempo de terminación más remoto de la actividad.
- d: Duración de la actividad.
- I: Evento inicial.
- T: Evento final.

Para encontrar el tiempo de iniciación más próximo de cada actividad se requieren tres cosas:

1. La fecha de iniciación del proyecto.

2. La relación en secuencia de las actividades del proyecto, hasta llegar a la actividad que nos ocupa.
3. La duración de cada actividad del proyecto, que en cadena anteceden a la actividad que se analiza.

La fecha de iniciación del proyecto puede representarse por el “tiempo cero” y luego desarrollar números con relación a esta base.

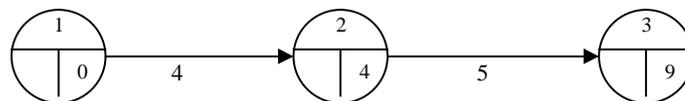
Las relaciones de secuencia de todos los trabajos quedan completamente determinadas de manera lógica y expuesta en el diagrama de flechas.

La duración o medida del tiempo, se estima de acuerdo con el método constructivo que se vaya a utilizar, mediante una fórmula que relaciona la cantidad total de trabajo a realizar con los rendimientos esperados.

En el caso del Método de la Ruta Crítica la duración de una actividad se calcula como:

$$d = \frac{\text{cantidad total de obra a ejecutar}}{\text{rend. de cuadrilla por núm. de cuadrillas}}$$

En la figura 18, el  $I_p$  de la actividad 2-3 se calcula como  $0+4 = 4$ , que a su vez sería el  $T_p$  de la actividad 1-2 ( $T_p = I_p+d$ ). Cuando a un evento concurren varias actividades el  $T_p$  que debemos tomar es el de mayor valor.

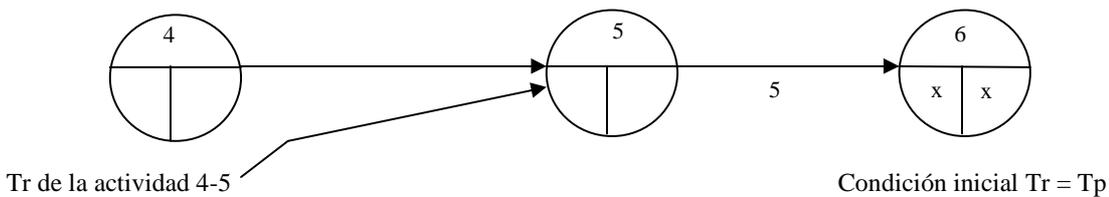


**Figura 18**

Las actividades ficticias se manejan como si fueran trabajos reales con una duración nula.

Tiempo de terminación más remoto de cada actividad.

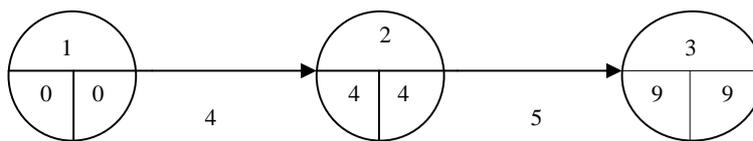
Si tenemos calculados todos los  $T_p$  de un diagrama y vemos que el  $T_p$  correspondiente al último evento es  $X$ , conocemos la duración del proceso. Para el último evento se acepta que  $Tr = T_p$



**Figura 19**

El  $Tr$  de la actividad 4 –5 se calcula  $Tr$  menos  $d$ , por lo tanto  $Tr = X - 5$ . Todos los demás  $Tr$  de la figura 19 se calculan de la misma forma, yendo del último evento hasta el primero. Si de un evento parten dos o más actividades, al venir efectuando el cálculo de los  $Tr$  tendremos dos o más  $Tr$  para un solo evento, debemos escoger el de menor valor de todos ellos.

Aplicando lo anterior a la figura 18 tenemos que:



**Figura 20**

El  $Tr$  de la actividad 2-3 corresponde al  $T_p$  de la última actividad, esto es:  $Tr = 9$ , por lo que el  $Tr$  de la actividad 1-2 será:  $Tr = 9-5 = 4$  y así sucesivamente hasta terminar la red.

### Holguras

Las actividades no críticas tienen varios tipos de holguras; las principales son la holgura total y la holgura libre.

### Holgura Total

Es el tiempo que puede desplazarse una actividad sin que se modifique la duración del proyecto y se calcula con la diferencia de los tiempos remotos menos los tiempos próximos:

$$HT = Tr - Tp = Ir - Ip$$

### Holgura Libre

Es el tiempo que puede desplazarse una actividad sin modificar la fecha de iniciación más próxima de las actividades que en cadena le siguen. La holgura libre se calcula directamente del diagrama de flechas con la siguiente fórmula:

$$HL = Tp - Ip - d$$

### Ventajas por el uso del Método de la Ruta Crítica.

- a) Una red de ruta crítica totalmente desarrollada es un modelo matemático lógico del proyecto, basado en el tiempo óptimo requerido para cada proceso del trabajo y para lograr el uso menos costoso de los recursos disponibles (mano de obra, equipo, finanzas, etc.).
- b) Se ha orientado a los problemas individuales de un proyecto en particular, y puede ser detallado como se desee para adecuarse a las situaciones y riesgos previsibles.
- c) Durante la ejecución del proyecto permite la revisión sistemática de situaciones actuales a medida que se presentan, de forma que pueden concederse tolerancias en cuanto a los efectos de incertidumbre en la planeación original, a la vez permite llevar a cabo una reevaluación de incertidumbres en la planeación original.
- d) El uso del Método de la Ruta Crítica permite la planeación más económica de todas las operaciones para cumplir con las fechas de terminación deseables.
- e) Sustituye al juicio basado en la experiencia (o método de prueba y error o tanteo) antes utilizado para seleccionar los tiempos de operación, los tamaños de las cuadrillas de obreros, los equipos, etc.
- f) Con el Método de la Ruta Crítica es posible determinar con certeza la fecha de terminación del proyecto.
- g) Proporciona un medio para evaluar el efecto de todas las variaciones, como son las órdenes de cambio, los trabajos extras, o las deducciones sobre el tiempo de terminación y el costo de los trabajos.

### III.2 Teoría de Nodos

Dentro de los métodos llamados de secuencias, tenemos el método de Teoría de Nodos. Este método viene a ser un intento de optimizar los ya descritos anteriormente CPM y PERT, ya que sus bases son las mismas.

La Teoría de Nodos cambia su simbología respecto a los otros métodos secuenciales representando al evento en sí, como un nodo en el que se concentra toda la información.

Otra diferencia es la idea de simplificar y mejorar ya que en la Teoría de Nodos no se manejan actividades ficticias.

Planeación del método de Teoría de Nodos.

1. Hacer un listado de las actividades que constituyen el proyecto, llegando al nivel de detalle que la planeación lo amerite.
2. Una vez terminada la fase anterior es necesario analizar el orden en que deben ejecutarse las actividades, teniendo en cuenta los requisitos del proyecto mismo, los recursos con que se cuente; para lo cual haremos uso de la matriz de precedencias y secuencias.

Para la elaboración de la matriz de precedencias y secuencias, se hace un listado de todas las actividades que constituyen el proyecto, como títulos de los renglones y de las columnas, de manera que a cada actividad corresponda un solo renglón y una sola columna. Para llenar la tabla se siguen dos reglas:

- a) Se analiza la actividad correspondiente a cada uno de los renglones y se determina qué actividades pueden hacerse inmediatamente después de terminada la actividad en cuestión.
- b) Se analiza la actividad correspondiente a cada una de las columnas y se determina qué actividades deben precederle inmediatamente antes de poder iniciar la actividad en cuestión.

Duración de las actividades

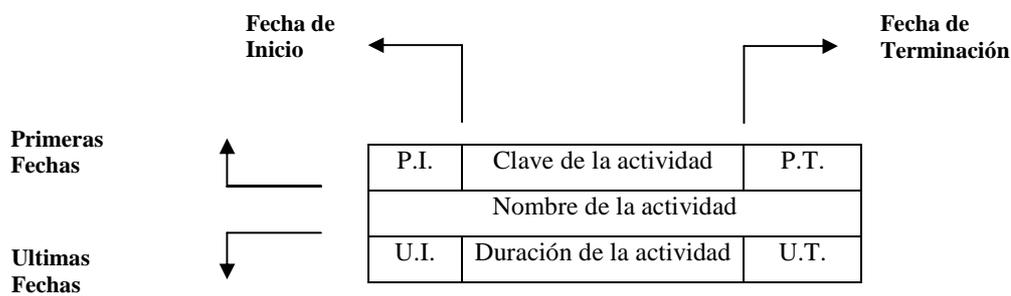
La duración de las actividades en Teoría de Nodos se calcula como en el Método de Ruta Crítica lo cual se describió en el subcapítulo III.1, o sea

$$d = \frac{\text{cantidad total de obra a ejecutar}}{\text{rend. de cuadrilla por núm. de cuadrillas}}$$

Construcción de la red

Como su nombre lo indica, este método está basado en nodos, esto es, toda la información referente a la actividad se encontrará concentrada en ellos.

Nomenclatura



P.I. Primera Fecha de Inicio

P.T. Primera Fecha de Terminación

U.I. Última Fecha de Inicio

U.T. Última Fecha de Terminación

Para tener una mayor claridad dentro de la red ya planteada, el nodo de las actividades y de los suministros tendrá diferente forma, como se muestra en la figura 21.

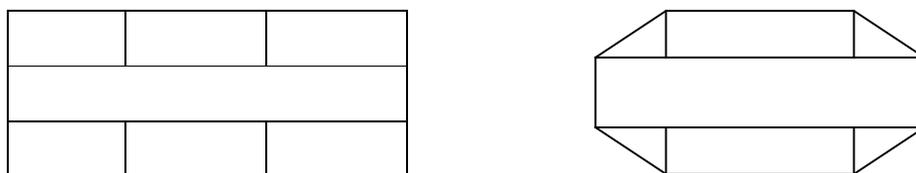


Figura 21

El cálculo numérico de la red se realizará a partir de las siguientes fórmulas y de acuerdo a la secuencia de pasos que a continuación se mencionan.

$$(P.I.)_B = \text{mayor } (P.T.)_{A_i}$$

$$(P.T.)_B = (P.I.)_B + (\text{duración})_B$$

$$(U.I.)_B = (U.T.)_B - (\text{duración})_B$$

$$(U.T.)_B = \text{menor } (U.I.)_{C_i}$$

1. En la figura se plasma el orden de ejecución de las diferentes actividades y su duración.
2. Se identifican las actividades que no tienen ningún precedente. Una vez que han sido identificadas, las primeras fechas de inicio (P.I.) de estas actividades se les asigna un tiempo de inicio igual a cero (pudiendo ser también cualquier otro).
3. Dentro de estas mismas actividades se procede a calcular su primera fecha de terminación (P.T.), que será igual a su primera fecha de inicio (P.I.) más la duración de la actividad.
4. Una vez conocidas las primeras fechas de terminación de las actividades sin precedencia, se pasa a las actividades que son subsecuentes.
  - ✓ Cuando una actividad subsecuente tiene una sola actividad precedente, el valor de P.I. subsecuente será igual al P.T. precedente.
  - ✓ Cuando una actividad subsecuente tiene varias actividades precedentes, el valor del P.I. subsecuente será igual al mayor de los P.T. precedentes. Esto se resume en la fórmula:

$$(P.I.)_{\text{subsecuente}} = \text{mayor } (P.T.)_{\text{preced. } i}$$

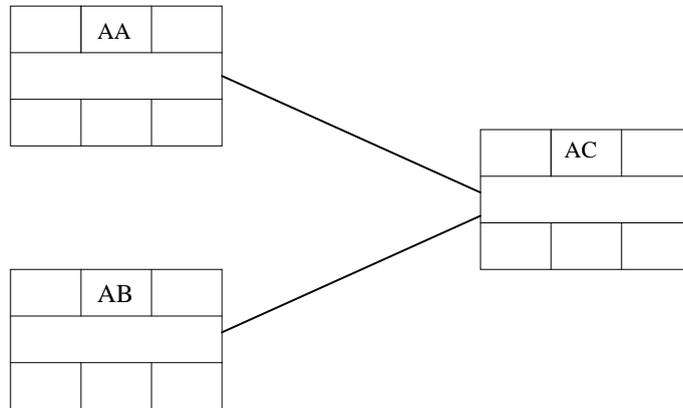
- ✓ La obtención de los P.T. de las actividades subsecuentes serán iguales a la primera fecha de inicio más la duración de cada actividad específica.

5.- Por último se calcularán las últimas fechas de inicio y terminación, partiendo de la última actividad de la red, para lo cual se hará coincidir su primera y su última fecha de terminación (el proceso es opuesto al del cálculo de las primeras fechas). Ver las siguientes ecuaciones:

$$(U.I.) = (U.T.) - \text{duración}$$

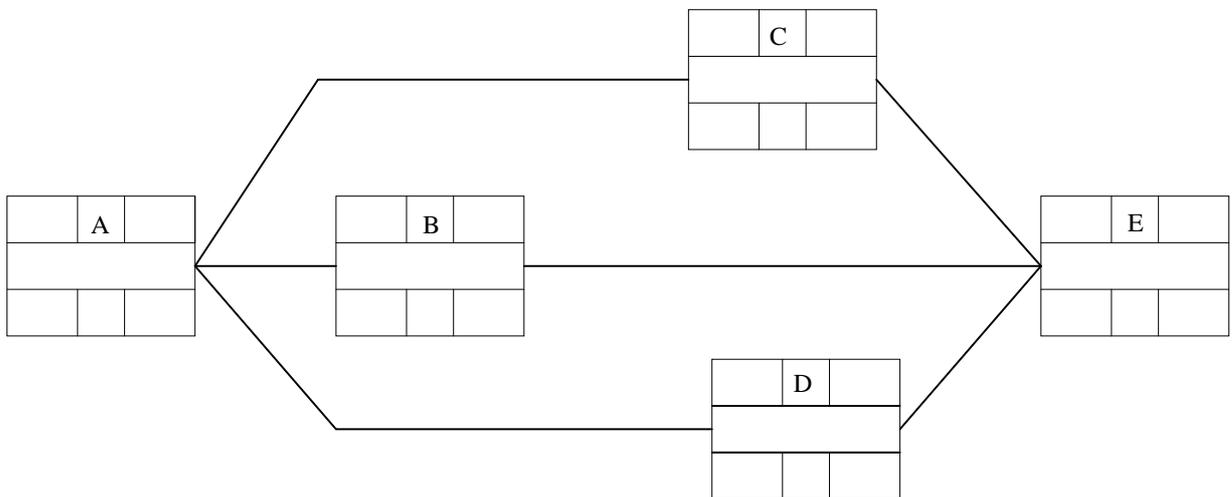
$$(U.T.)_{n-1} = \text{menor } (U.I.)_n$$

En base a lo anterior y aplicando el método de Teoría de Nodos, se hace la red equivalente de la figura 11.



**Figura 22 Equivalencia de la figura 11 en Teoría de Nodos**

De la misma forma obtenemos la red equivalente de la figura 13, quedando como se observa en la figura 23.



**Figura 23 Equivalencia de la figura 13 en Teoría de Nodos**

### III.3 Programa General de Obra

He planteado anteriormente dos métodos para la planeación, programación y control de una obra, por un lado el Método de la Ruta Crítica y por el otro el método de Teoría de Nodos. Sin embargo dichos métodos son considerados poco amigables debido a que su metodología culmina representada por una red, la cual ocasionalmente puede resultar un tanto complicada su interpretación, sobre todo cuando se representan obras de gran magnitud. El Programa General de Obra está basado en el método de Diagrama de Barras o de Gantt, es por ello que se debe entender como un complemento o culminación de los anteriores, a continuación se hará una breve descripción de este método.

Recordemos que el Diagrama de Barras es una representación del tiempo que se ha estimado para las principales actividades del proyecto a ejecutar y con el cual se podrá llevar un control de obra que es muy importante en la fase constructiva. Este diagrama se deriva de la red de actividades.

El diagrama se forma de la siguiente manera:

- a) Para las actividades que hemos seleccionado como conceptos del programa, habrá una barra que a cierta escala, representa el tiempo de ejecución de cada una de ellas.
- b) Se convierte la escala de tiempos efectivos en una escala de días calendario, haciendo coincidir el origen de la escala con la fecha de iniciación del proceso. Se ajustan enseguida las posiciones de las barras que representan a las actividades teniendo en cuenta los días no laborables (días de descanso y días festivos).
- c) Todas aquellas actividades que poseen holguras deben también representarse en el diagrama.

Los datos para la construcción del diagrama de barras, son fundamentalmente las  $I_p$ ,  $I_r$ ,  $T_p$ ,  $T_r$ , la duración y la holgura, de tal manera que si dibujamos para cada actividad una barra, iniciándola en la fecha correspondiente a un  $I_p$ , y prolongándola a la escala debida por toda su duración, habremos logrado un programa en el que no se han usado las holguras, pero además, si en este programa reemplazamos los datos antes mencionados por fechas, entonces habremos obtenido un programa calendarizado llamado Programa General de Obra tal como se puede observar en la figura 24.

El paso siguiente consiste en el análisis del programa obtenido desde el punto de vista de recursos, los cuales se detallarán posteriormente.

Si anotamos para cada período de tiempo, sobre la barra, el costo correspondiente al volumen de obra ejecutado, obtendremos el importe de obra en ese lapso de tiempo, también con este sistema podemos obtener las cantidades de dinero necesarias para ese avance de obra; si la distribución general de la obra no nos es conveniente, podemos hacer uso de las holguras hasta obtener una distribución lo más adecuada posible. En la misma forma se debe revisar el programa, con datos tales como distribución del personal, de maquinaria, etc. Si la distribución obtenida no nos conviene, podemos hacer uso de las holguras, en forma total o parcial

Es importante destacar que las principales ventajas que podemos obtener del Programa General de Obra son las siguientes:

- a) Conocer de antemano la cantidad total de los recursos  $R_1, R_2, \dots, R_n$  que se necesitan en cada día, durante la ejecución del proceso.
- b) Determinar si la cantidad requerida de un recurso cualquiera, excede en un cierto intervalo de tiempo, a la cantidad disponible en dicho intervalo.
- c) Conocer los períodos en que no se necesita un cierto recurso (equipo ó personal).
- d) Determinar si las distribuciones de los recursos requeridos son inconvenientes, debido a cualquiera de las causas siguientes
  - Grandes concentraciones en períodos cortos de tiempo.
  - Acumulación rápida de un recurso (capital, por ejemplo).
  - Períodos largos e intermitentes de no utilización de un recurso (equipo pesado, personal especializado, etc.).
- e) Organizar eficientemente las compras, los pedidos o la contratación de los recursos requeridos.
- f) Determinar si es conveniente o necesario, subcontratar alguna ó algunas partes del proceso.
- g) Determinar si es conveniente el empleo de una mayor cantidad de recursos ó utilización de otros procedimientos de ejecución en algunas actividades, con el objeto de lograr una distribución más eficiente de ciertos recursos.



### **III.4 Asignación de Recursos**

El objetivo de la asignación de recursos consiste en poder fijar fechas a los eventos de un proyecto de tal manera que se pueda desarrollar un plan que sea práctico y económico. Cualquier actividad de la red que tenga holguras tendrá varios tiempos posibles de inicio. El mejor uso será programar de tal forma que los recursos requeridos para el proyecto se utilicen en su totalidad. El procedimiento básico de asignación es un método de fijar fechas de trabajo equilibrando la necesidad con la disponibilidad de los recursos en un tiempo dado. Asimismo, con frecuencia los recursos se ven severamente restringidos y deben asignarse de manera que satisfagan o cumplan con las condiciones prevalecientes. Tales condiciones pudieran ser las siguientes:

1. Los recursos son limitados, el proyecto se ha de terminar utilizando los recursos disponibles
2. La duración del proyecto está especificada, y se desea determinar el nivel mínimo de recursos necesarios.

Todo esto se logra mediante una técnica paralela de asignación de recursos, la cual distribuye los recursos a las actividades sobre una base diaria. En el proceso se utilizan las siguientes reglas para asignar prioridades a las actividades.

1. Asignar los recursos a la actividad que tenga una holgura menor. Si no es única.
2. Asignar a la actividad que esté en proceso. Si no es única.
3. Asignar a la actividad que requiera la mayor cantidad de recursos por día. Si no es única.
4. Asignar a la actividad que requiere el número mayor de días recurso. Si no es única.
5. Considerar la secuencia de numeración de los nodos.

De un conjunto de recursos se supone disponible un nivel al comienzo de cada día, y todos los recursos se devuelven al conjunto al cierre del día. En el comienzo y en los días siguientes, se asigna la prioridad o bien se le da preferencia a la que ya está en proceso. Si todas las actividades que tienen holgura igual ya están en proceso, se le asignan los recursos a la que requiera el número mayor según la tercera regla de prioridad. Si la tercera regla de prioridad no se puede aplicar por no ser actividad única, entonces se utilizan la cuarta y, por último, la quinta regla de prioridad. Se considera diariamente la asignación de recursos para programar una o más operaciones para el mismo día hasta que se agoten todos los recursos. Todos los días, las operaciones que compiten por los recursos son los trabajos terminados, parcialmente terminados, y “aún no comenzados”. Se usan las reglas de prioridad para asignar los recursos entre aquellas operaciones iniciadas o que pueden comenzar al terminar sus

predecesoras. Se repite el procedimiento hasta que se hayan distribuido los recursos entre todas las actividades y se obtenga un programa de fechas satisfactorias.

Hasta aquí sólo se ha considerado la asignación de un solo tipo de recurso. Sin embargo, la mayoría de los proyectos implican el programar varios tipos de recursos. Puede necesitarse más de un tipo de recurso para cada actividad, y las combinaciones y cantidades varían durante el proyecto. La diferencia básica en el tratamiento de un problema en el que se requieren recursos múltiples es que se forman varios fondos comunes de recursos que se reabastecen al principio y al final de cada día.

Utilizando las reglas anteriores de prioridad hay muchas situaciones en donde la asignación de recursos no permite fechas convenientes. Se necesitan reglas adicionales de prioridad. Una situación así es cuando:

1. Se requieren especialmente los recursos para áreas con problemas potenciales.
2. Para concluir el trabajo u obra en proceso, los contratistas aceleran el trabajo y, por tanto se necesitan recursos adicionales.
3. Se desvían los recursos a un trabajo que, cuando se termine, facilitará el uso de recursos disponibles o abundantes.
4. Se concentran los recursos en áreas de riesgo, o incertidumbre, de manera que su terminación permita que comiencen las actividades que siguen.
5. Se distribuyen los recursos en las actividades críticas de manera que su terminación permita que comiencen las actividades que le siguen.
6. Se usan sustitutos de recursos.
7. Se usa tiempo extra en la mano de obra para acelerar el trabajo.

Estas situaciones se simulan mediante reglas de prioridad apropiadas. La selección de reglas de prioridad y el establecer el procedimiento a seguir depende de las necesidades de la administración del proyecto, tamaño, tipo y ambiente del mismo.

Hay otros casos en donde el líder del proyecto estará tentado a contravenir las fechas de un programa que se haya obtenido a partir de restricciones en la asignación de recursos. Tales situaciones incluyen la necesidad de:

1. Devolver un equipo costoso de la planta en el menor tiempo posible.

2. Un patrón cíclico de fiestas para la mano de obra empleada sobre una base regular.
3. Despedir pronto de un proyecto al personal con salarios más altos.

Se puede seleccionar la mejor solución, dentro de un conjunto de alternativas, si hay un solo criterio. Para seleccionar una solución óptima, teóricamente es posible ponderar cada regla de prioridad, desarrollar una función de criterio, y calcular la solución. Puesto que las variables implicadas en un problema de optimización de asignación de recursos son demasiadas, en la actualidad no se puede calcular una solución matemática. Sin embargo, puede obtenerse una solución heurística.

Normalmente la solución heurística deja al analista la selección de las reglas de prioridad y la especificación de otras restricciones. No hay un límite en el número de ensayos que se pueden hacer para optimizar el equilibrio tiempo-recursos. Sin embargo sucede que para llegar a una solución casi óptima sólo es necesario realizar menos ensayos.

La asignación de recursos también aplica a la utilización del espacio in situ, para evitar la congestión debido al efecto perjudicial que tiene sobre la productividad. También se puede usar para asignar recursos no recuperables. El fondo común de recursos conceptuales se reabastece no por los recursos que se le devuelven después de usarlos, sino por los recursos conforme se generan.

#### Distribución de recursos

El proceso de asignación de recursos que se describió anteriormente se aplica a la solución de problemas en situaciones en donde el número de recursos o la duración del proyecto son fijos. También se ven afectados los costos del proyecto por la rapidez de adquisición, el retiro y cantidad de recursos empleados en el proyecto en un momento dado. La rapidez de contratación de trabajadores influencia los costos correspondientes y tienen ciertas consecuencias sobre la productividad. El porcentaje de despidos afecta la moral y, por consiguiente, la productividad. El costo de proporcionar servicios de acomodo en el lugar del proyecto está regulado por el número máximo de trabajadores necesarios en el mismo. Para asegurarse de la adquisición gradual y despido y tamaño razonable de la fuerza de trabajo se recomienda hacer una Distribución de Recursos. Este proceso también se aplica al evaluar el uso del equipo o de cualquier otro recurso.

La meta de cualquier proceso de distribución de recursos consiste en fijar fechas a todas las actividades que no son críticas, de manera que el fondo común de recursos del proyecto llegue paso a paso hasta un máximo y luego descienda hasta agotarse. Esto se lleva a cabo de la siguiente manera:

- a) Fijar primero las fechas de todas las actividades críticas.
- b) Comenzar las actividades que no sean críticas cuando haya una baja en los recursos programados hasta el punto en donde se llega al máximo.
- c) Comenzar las actividades no críticas cuando hay una baja, de manera que no ocurran altibajos en el perfil del recurso.

El factor significativo de la distribución es variar las fechas de inicio de las actividades no críticas y de esta manera evitar que se extienda la duración del proyecto.

Asociando estas ideas con la funcionalidad del Programa General de Obra, se pueden generar Programas específicos que son de mucha ayuda en la administración del proyecto, logrando llevar un control más específico sobre los recursos.

De esta manera, derivados del Programa General de Obra, se pueden generar, por ejemplo:

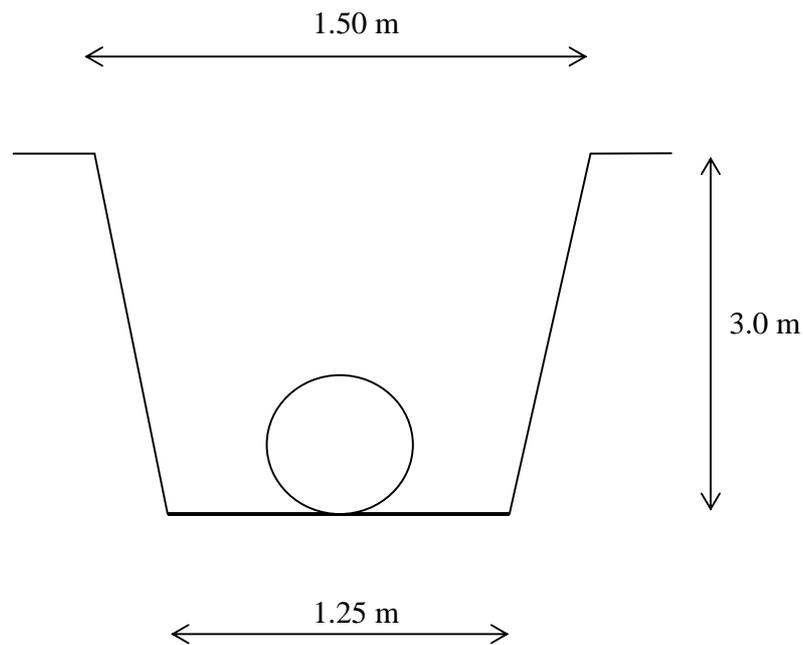
1. Programa de Utilización de Materiales
2. Programa de Utilización de Mano de Obra
3. Programa de Utilización de Maquinaria y Equipo
4. Programa de Egresos
5. Programa de Ingresos

Para poder obtener estos Programas específicos es que se propone agregar columnas en la parte derecha del formato clásico del Programa General de Obra, para ahí indicar los recursos necesarios por actividad, y en la parte inferior renglones adicionales para obtener el concentrado de recursos genéricos necesarios por día.

Con la finalidad de comprender todo lo expuesto anteriormente he propuesto el siguiente ejemplo, a partir del cuál se obtendrán el Programa General de Obra, los Programas de Materiales, Mano de Obra, Maquinaria y Equipo así como los Programas de Egresos e Ingresos.

**Ejemplo:**

Se desea instalar una tubería de 24" de diámetro a 3.0 m de profundidad en promedio, para el transporte de agua de acuerdo a la figura 25. El tramo a instalar es de 1.0 km. y se piensa dividir en tramos de 200 m, cada uno. El tiempo disponible para llevar a cabo el proyecto es de 1.5 mes calendario.



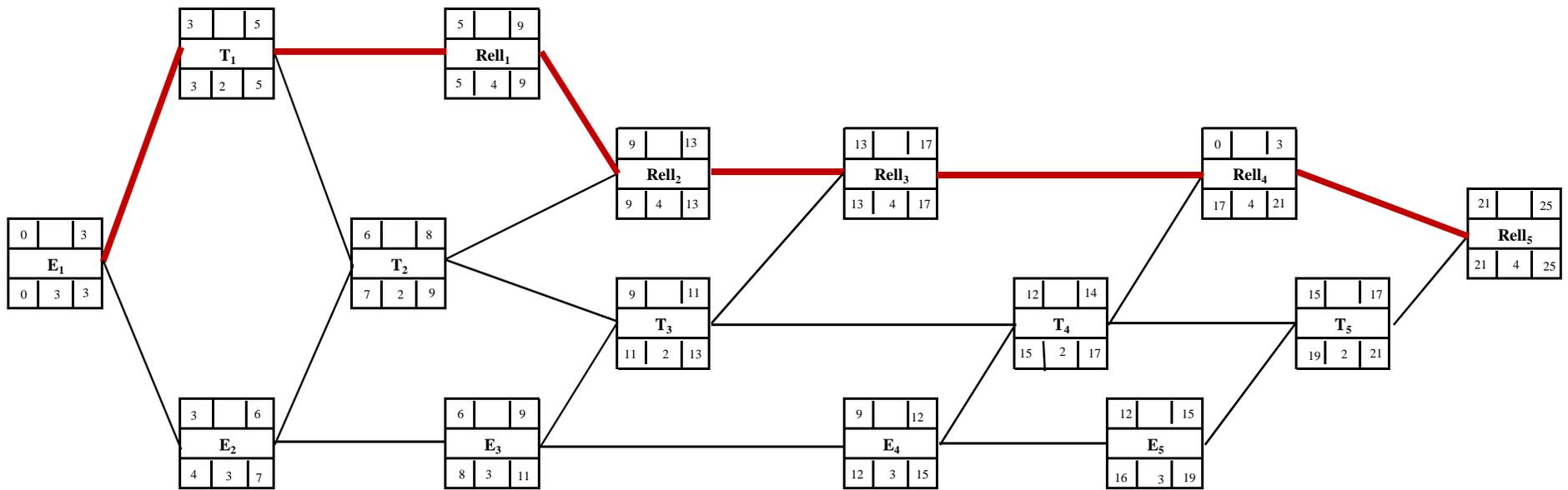
**Figura 25 Croquis de Instalación de Tubería**

Para llevar a cabo la elaboración de los Programas se presenta la matriz de precedencias y secuencias (figura 26), así como la red de actividades del ejemplo (figura 27), a partir de la cual se realiza el Programa General de Obra (figura 28), donde las actividades involucradas en la construcción de los tramos serán la excavación, tendido de tubería y relleno.

A continuación se hace referencia, en la tabla 1, de la clasificación de los recursos que se emplearán para realizar la obra. Los datos presentados en la tabla fueron previamente determinados ya que el objetivo de este ejemplo es solo mostrar como obtener los Programas.

|                                             | <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Actividades inmediatas<br/>siguientes</p> <p>→</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Actividades inmediatas<br/>precedentes</p> <p>↓</p> </div> </div> |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |          |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|----------|
|                                             | E <sub>1</sub> - Excavación tramo 1                                                                                                                                                                                                                                                     | T <sub>1</sub> - Tendido de tubería tramo 1 | R <sub>1</sub> - Relleno tramo 1 | E <sub>2</sub> - Excavación tramo 2 | T <sub>2</sub> - Tendido de tubería tramo 2 | R <sub>2</sub> - Relleno tramo 2 | E <sub>3</sub> - Excavación tramo 3 | T <sub>3</sub> - Tendido de tubería tramo 3 | R <sub>3</sub> - Relleno tramo 3 | E <sub>4</sub> - Excavación tramo 4 | T <sub>4</sub> - Tendido de tubería tramo 4 | R <sub>4</sub> - Relleno tramo 4 | E <sub>5</sub> - Excavación tramo 5 | T <sub>5</sub> - Tendido de tubería tramo 5 | R <sub>5</sub> - Relleno tramo 5 | Duración |
| E <sub>1</sub> - Excavación tramo 1         | x                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                             | x                                |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  | 3        |
| T <sub>1</sub> - Tendido de tubería tramo 1 |                                                                                                                                                                                                                                                                                         | x                                           |                                  | x                                   |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  | 2        |
| R <sub>1</sub> - Relleno tramo 1            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             | x                                |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  | 4        |
| E <sub>2</sub> - Excavación tramo 2         |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             |                                  | x                                   |                                             | x                                |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  | 3        |
| T <sub>2</sub> - Tendido de tubería tramo 2 |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             |                                  |                                     | x                                           |                                  | x                                   |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  | 2        |
| R <sub>2</sub> - Relleno tramo 2            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     | x                                           |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  | 4        |
| E <sub>3</sub> - Excavación tramo 3         |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  | x                                   |                                             | x                                |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  | 3        |
| T <sub>3</sub> - Tendido de tubería tramo 3 |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     | x                                           |                                  | x                                   |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  | 2        |
| R <sub>3</sub> - Relleno tramo 3            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     | x                                           |                                  |                                     |                                             |                                  | 4        |
| E <sub>4</sub> - Excavación tramo 4         |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             | x                                |                                     |                                             | x                                |                                     |                                             |                                  | 3        |
| T <sub>4</sub> - Tendido de tubería tramo 4 |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  | x                                   |                                             |                                  | x                                   |                                             |                                  | 2        |
| R <sub>4</sub> - Relleno tramo 4            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     | x                                           |                                  | 4        |
| E <sub>5</sub> - Excavación tramo 5         |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  | x                                   |                                             |                                  | 3        |
| T <sub>5</sub> - Tendido de tubería tramo 5 |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     | x                                           |                                  | 2        |
| R <sub>5</sub> - Relleno tramo 5            |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             |                                  |                                     |                                             | x                                | 4        |

**Figura 26 Matriz de Precedencias y Secuencias (Instalación de tubería)**



**Figura 27 Red de Proyecto (Instalación de Tubería)**



Resumen de Recursos y Costos del ejemplo de Instalación de Tubería

| Clave             | Recursos Materiales             |                                          |                                           |                                           | Recursos Mano de Obra            |                             |                              | Recursos Maquinaria y Equipo        |                                             |                                       | C.U.    | P.U.    |
|-------------------|---------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|
|                   | Cemento (ton)<br>R <sub>1</sub> | Agua (m <sup>3</sup> )<br>R <sub>2</sub> | Arena (m <sup>3</sup> )<br>R <sub>3</sub> | Grava (m <sup>3</sup> )<br>R <sub>4</sub> | Op. Maq. (jor)<br>R <sub>5</sub> | Of. (jor)<br>R <sub>6</sub> | Peón (jor)<br>R <sub>7</sub> | Retroexcav. (jor)<br>R <sub>8</sub> | Tract. tiende tubos (jor)<br>R <sub>9</sub> | Carg. front. (jor)<br>R <sub>10</sub> | \$      | \$      |
| E <sub>1</sub>    | 0                               | 0                                        | 0                                         | 0                                         | 3                                | 0                           | 3                            | 3                                   | 0                                           | 0                                     | 90,000  | 100,800 |
| T <sub>1</sub>    | 5.5                             | 5.2                                      | 11.5                                      | 13.6                                      | 2                                | 2                           | 8                            | 0                                   | 2                                           | 0                                     | 100,000 | 112,000 |
| Rell <sub>1</sub> | 0                               | 0                                        | 0                                         | 0                                         | 4                                | 4                           | 12                           | 0                                   | 0                                           | 4                                     | 40,000  | 44,800  |
| E <sub>2</sub>    | 0                               | 0                                        | 0                                         | 0                                         | 3                                | 0                           | 3                            | 3                                   | 0                                           | 0                                     | 90,000  | 100,800 |
| T <sub>2</sub>    | 5.5                             | 5.2                                      | 11.5                                      | 13.6                                      | 2                                | 2                           | 8                            | 0                                   | 2                                           | 0                                     | 100,000 | 112,000 |
| Rell <sub>2</sub> | 0                               | 0                                        | 0                                         | 0                                         | 4                                | 4                           | 12                           | 0                                   | 0                                           | 4                                     | 40,000  | 44,800  |
| E <sub>3</sub>    | 0                               | 0                                        | 0                                         | 0                                         | 3                                | 0                           | 3                            | 3                                   | 0                                           | 0                                     | 90,000  | 100,800 |
| T <sub>3</sub>    | 5.5                             | 5.2                                      | 11.5                                      | 13.6                                      | 2                                | 2                           | 8                            | 0                                   | 2                                           | 0                                     | 100,000 | 112,000 |
| Rell <sub>3</sub> | 0                               | 0                                        | 0                                         | 0                                         | 4                                | 4                           | 12                           | 0                                   | 0                                           | 4                                     | 40,000  | 44,800  |
| E <sub>4</sub>    | 0                               | 0                                        | 0                                         | 0                                         | 3                                | 0                           | 3                            | 3                                   | 0                                           | 0                                     | 90,000  | 100,800 |
| T <sub>4</sub>    | 5.5                             | 5.2                                      | 11.5                                      | 13.6                                      | 2                                | 2                           | 8                            | 0                                   | 2                                           | 0                                     | 100,000 | 112,000 |
| Rell <sub>4</sub> | 0                               | 0                                        | 0                                         | 0                                         | 4                                | 4                           | 12                           | 0                                   | 0                                           | 4                                     | 40,000  | 44,800  |
| E <sub>5</sub>    | 0                               | 0                                        | 0                                         | 0                                         | 3                                | 0                           | 3                            | 3                                   | 0                                           | 0                                     | 90,000  | 100,800 |
| T <sub>5</sub>    | 5.5                             | 5.2                                      | 11.5                                      | 13.6                                      | 2                                | 2                           | 8                            | 0                                   | 2                                           | 0                                     | 100,000 | 112,000 |
| Rell <sub>5</sub> | 0                               | 0                                        | 0                                         | 0                                         | 4                                | 4                           | 12                           | 0                                   | 0                                           | 4                                     | 40,000  | 44,800  |

Tabla 1 Clasificación de Recursos (Instalación de Tubería)

### III.4.1 Programa de Utilización de Materiales

La obtención de este tipo de Programa se realiza a partir del Programa General de Obra, tomando en cuenta las actividades a ejecutar y haciendo un análisis de los materiales que se requerirán para llevar a cabo cada actividad. Una vez determinados los materiales, se procede a hacer el cálculo de los volúmenes requeridos.

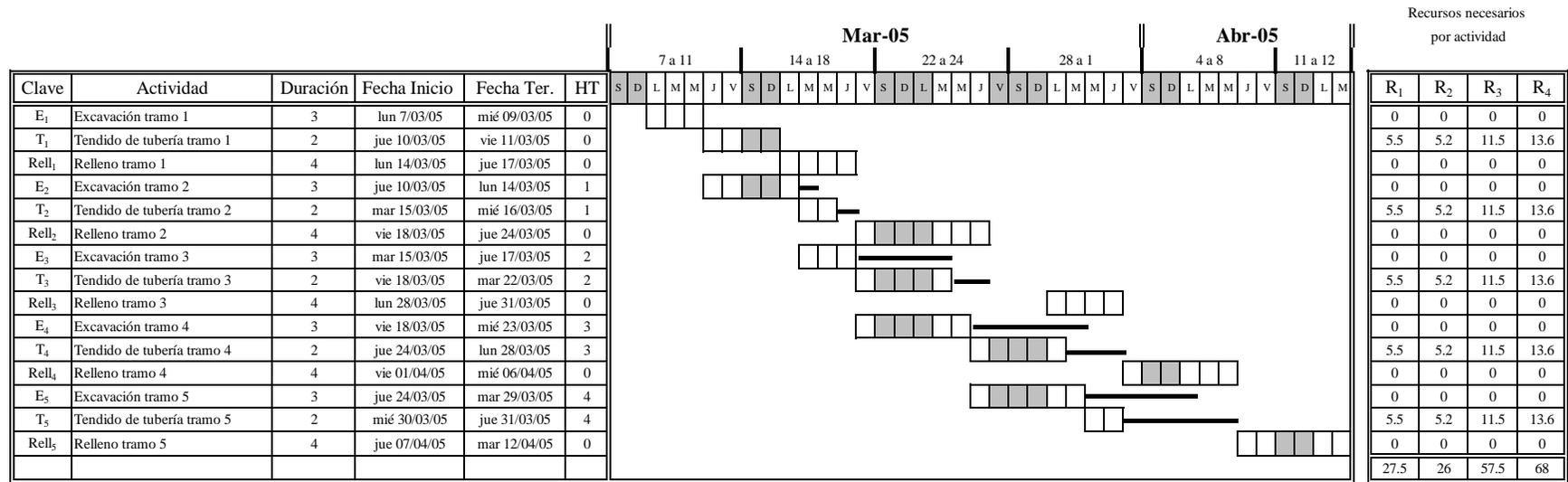
Del ejemplo planteado y de la tabla 1 podemos observar que para realizar el proyecto de tendido de una tubería se emplearán los siguientes recursos materiales:

|                        |                     |                      |                      |
|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| R <sub>1</sub> Cemento | 5.52 ton            | R <sub>3</sub> Arena | 11.54 m <sup>3</sup> |
| R <sub>2</sub> Agua    | 5.24 m <sup>3</sup> | R <sub>4</sub> Grava | 13.63 m <sup>3</sup> |

Posteriormente, estos recursos son distribuidos de acuerdo a la duración de las actividades y de las necesidades para llevarlas a cabo y finalmente se realiza la suma vertical de cada uno de los recursos, de tal manera que de esta suma podemos obtener un concentrado total que nos permite definir fechas de suministro y empleo de materiales a lo largo de la obra. Cabe destacar que se debe de cumplir que la sumatoria de la columna de los recursos necesarios por actividad debe ser igual a la sumatoria del renglón de los recursos necesarios por día.

Para el caso específico del ejemplo que presento, el recurso R<sub>1</sub> (cemento) necesario por actividad, este se requerirá en las actividades T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>, todas ellas con una duración de dos días, por lo cual, el volumen de 5.52 ton se dividirá entre dos días, que es la duración de la actividad, obteniendo de esta manera que para cada día se necesitarán 2.76 ton de cemento. Posteriormente se realiza la suma vertical por cada día, o unidad de medición elegida, y se obtiene el concentrado total de recursos R<sub>1</sub> necesarios, involucrando sus usos en otras actividades, que para este caso no hay.

En la figura 29 podemos observar este tipo de Programa, donde una de las aplicaciones inmediatas que podemos obtener es el tamaño mínimo de la bodega que se requeriría para almacenar el cemento cada semana, o el tamaño mínimo del tanque de almacenamiento para el agua que se usará en la obra por día o por semana para asegurar su suministro (en base al máximo a utilizar por unidad de tiempo), además de otra información de uso directo en las decisiones del Residente de Obra.



| Recursos necesarios por día | Recursos necesarios por actividad |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |      |
|-----------------------------|-----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|------|
|                             | S                                 | D | L | M | M | J | V | S | D | L | M | M | J | V | S | D | L | M | M | J | V | S | D | L | M | M | J | V | S | D | L | M | M | J | V | S | D | L | M |    |      |
| R <sub>1</sub>              | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 27.5 |
| R <sub>2</sub>              | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 26   |
| R <sub>3</sub>              | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 57.5 |
| R <sub>4</sub>              | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 68 |      |

- R<sub>1</sub> Cemento (ton)
- R<sub>2</sub> Agua (m<sup>3</sup>)
- R<sub>3</sub> Arena (m<sup>3</sup>)
- R<sub>4</sub> Grava (m<sup>3</sup>)

Figura 29 Programa de Utilización de Materiales (Instalación de Tubería)

### III.4.2 Programa de Utilización de Mano de Obra

Al igual que en el Programa de Utilización de Materiales, este Programa está basado en el Programa General de Obra. Para elaborar este programa seguiremos la misma metodología descrita en el inciso anterior.

Este Programa indica la cantidad y tipo de mano de obra que habrá de utilizarse en los periodos marcados para cada actividad o concepto. Las necesidades de personal se determinan a partir del tipo de obra que se va a realizar, así, por ejemplo, no podemos decir que la construcción de un edificio requerirá del mismo personal que para llevar a cabo la obra de una presa. Los recursos de Mano de Obra están determinados por los rendimientos y estos a su vez por dos limitantes que son el tiempo y el espacio disponible.

Del ejemplo propuesto y a partir del Programa General de Obra, tenemos que para realizar este Programa, se ha obtenido que los recursos  $R_5$ ,  $R_6$  y  $R_7$  serán requeridos en casi todas las actividades, por lo tanto, la distribución de recursos estará dada por la relación: recursos de la actividad entre la duración de dicha actividad.

Tomando los datos de la tabla 1 podemos determinar que la actividad  $E_1$ , de acuerdo a los rendimientos obtenidos, necesitará de 3 Operadores de Maquinaria ( $R_5$ ). Para realizar la distribución de los recursos se divide la cantidad de recursos (3) entre la duración de la actividad  $E_1$  (3), por lo tanto, se tiene que necesitaremos de un Operador con una jornada laboral de 8 hrs. por día. Este resultado se refleja en la barra de duraciones y posteriormente se hace la suma vertical por cada día o unidad de medición elegida y se obtiene el concentrado total de recursos  $R_5$ ,  $R_6$  y  $R_7$ .

En la figura 30 se puede observar el Programa de Utilización de Mano de Obra. A partir de este Programa podemos obtener información, como por ejemplo, determinar el momento en que se requiere de un mayor número de personal. Lo anterior nos permite tomar la decisión de distribuir los recursos cuando el número de personal disminuya. Con esta distribución trataremos de mantener la misma plantilla de personal que se contrato inicialmente y de esta manera, evitar hacer contrataciones y despidos continuamente.



### III.4.3 Programa de Utilización de Maquinaria y Equipo

Este Programa está determinado por el Programa General de Obra, por lo que aplicaremos la misma metodología realizada en los dos programas anteriores. El Programa de Utilización de Maquinaria y Equipo establece la cantidad y tipo de maquinaria que habrá de disponerse para realizar la obra.

Basándonos en el ejemplo propuesto y la tabla 1, primeramente se obtendrán los rendimientos de la Maquinaria y Equipo que se empleará para desarrollar todas las actividades del Proyecto. Estos rendimientos, al igual que en el Programa de Mano de Obra, están determinados por las limitantes de tiempo y espacio disponibles. A partir de los rendimientos obtenidos para este programa y de acuerdo al Programa General de Obra se observa que para las actividades  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$  y  $E_5$  con duración de 3 días cada una, se necesitará de una Retroexcavadora por jornada, lo cual nos da un total de 3 recursos por actividad. De igual manera para  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  y  $T_5$  con duración de dos días, se observa que se necesitará de un Tractor tiende tubos por jornada, es decir, que emplearemos 2 recursos por actividad y para  $Rell_1$ ,  $Rell_2$ ,  $Rell_3$ ,  $Rell_4$  y  $Rell_5$  con duración de 4 días emplearemos un Cargador frontal por jornada, esto es, requeriremos de 4 recursos por actividad. La distribución en la barra de duraciones la obtendremos al dividir el número de recursos entre la duración de cada una de las actividades.

A manera de ejemplo, tenemos que la distribución de recursos de la actividad  $E_1$  (Excavación de tramo 1) se realizará de la siguiente manera: Esta actividad tiene una duración de 3 días y se requiere de 3 recursos, dividiendo la cantidad de recursos entre la duración de la actividad tenemos como resultado que emplearemos un recurso por día, este valor los reflejamos en la barra de duraciones y posteriormente al igual que los programas anteriores se realiza la suma vertical por cada día, o unidad de medición seleccionada, obteniendo el concentrado total de recursos  $R_8$ ,  $R_9$  y  $R_{10}$ .

En la figura 31 se presenta el Programa de Utilización de Maquinaria y Equipo. A partir de este Programa podemos obtener información de suma importancia, como por ejemplo, saber en que momento y la cantidad de días en que se requerirá cierto tipo de maquinaria o equipo. Esta información nos permite hacer la contratación de dicha maquinaria con anticipación y de esta manera, garantizar que se tendrá disponibilidad del mismo cuando así se requiera, por otro lado, evitaremos en gran medida tener tiempos muertos que afecten en el costo total de la obra.



### **III.4.4 Programa de Egresos**

Este tipo de Programa nos permite ir visualizando el costo de la obra ejecutada, por lo que debemos indicar los Costos Unitarios por actividad a ejecutar y, en lugar de ver las barras del Programa como una duración, indicar los Costos Unitarios por unidad de tiempo.

Para obtener el Programa de Egresos, partimos de los Costos Unitarios para cada actividad. Este Programa se realiza a partir del Programa General de Obra y de acuerdo a la duración de cada actividad. Para llevar a cabo la distribución de Egresos tomamos los Costos Unitarios por actividad (previamente obtenidos) y los dividimos entre la duración de cada actividad. Así, por ejemplo, para la actividad  $E_1$  observamos, de la tabla 1, que tendrá un Costo Unitario de \$90,000 el cual, dividiéndolo entre la duración de esta actividad, obtenemos un Egreso por día de \$30,000. Posteriormente al hacer la suma vertical de todas las actividades, se obtiene un concentrado que es el Egreso necesario por todas las actividades que se ejecutan por unidad de tiempo, los cuales, sumados por renglón nos da el acumulado. A partir de los Egresos acumulados se puede obtener, por intervalos de una semana, las estimaciones a considerar para el Programa de Ingresos.

En la figura 32 se puede observar un ejemplo de este tipo de Programa, donde una de las aplicaciones inmediatas es él poder definir con claridad las necesidades de flujo de efectivo a lo largo de toda la obra y el verificar el costo total planeado de la obra desde el enfoque contable.



### III.4.5 Programa de Ingresos

Como su nombre lo indica, este tipo de Programa nos debe reflejar cuando tendríamos los Ingresos, sin olvidar involucrar el concepto de “velocidad de cobro”, esto es, cuando se van a tener realmente estos, ya que como sabemos, en la práctica existe un tiempo entre la generación de estimaciones en obra y el pago por parte del cliente. La “velocidad de cobro” varía mucho en función de si es obra pública o privada, y forzosamente nos refleja un desfase entre la terminación física de la obra y su finiquito.

Para obtener este Programa de Ingresos (figura 33), nos basamos en el Programa de Egresos (figura 32), así como en los Precios Unitarios previamente obtenidos (ver concentrados en el tabla1).

Para el ejemplo que he planteado, se ha considerado que obtendremos una utilidad del 12% y que se nos dará un anticipo del 30% al inicio del trabajo, además de que las estimaciones serán realizadas semanalmente en obra y entregadas el siguiente viernes al cliente para su revisión, que es el día que tiene preestablecido para ello, y finalmente recibiríamos el pago el siguiente día jueves hábil.

Tomando en cuenta lo anterior y partiendo de que el valor total de la obra es de \$1'288,000 tenemos que el anticipo que se nos proporcionará para iniciar será de \$386,400. Con esta información y con los Precios Unitarios por estimación se calculan los otros Ingresos:

(Costo Unitario \* 1.12 ) – la parte proporcional del anticipo recibido

Primera Estimación:                   Corresponde a la semana trabajada del 7 al 11 de marzo de 2005  
 $(\$250,000 * 1.12) - 0.30(\$250,000 * 1.12) = \$280,000 - \$84,000 =$   
 $\$196,000$   
 Estimación que se ingresaría para cobro el viernes 18 de marzo y se recibiría su pago el jueves 24 de marzo.

Segunda Estimación:                   Corresponde a la semana trabajada del 14 al 18 de marzo de 2005  
 $(\$350,000 * 1.12) - 0.30(\$350,000 * 1.12) = \$392,000 - \$117,600 =$   
 $\$274,400$

Estimación que se ingresaría para cobro el viernes 1 de abril, porque el viernes anterior, 25 de marzo, es no laborable, y se recibiría su pago el jueves 7 de abril.

Tercera Estimación: Corresponde a los días trabajados del 22, 23 y 24 de marzo, junto con la semana del 28 al 1 de abril.

$$(\$480,000 * 1.12) - 0.30(\$480,000 * 1.12) = \$537,600 - \$161,280 = \$376,320$$

Estimación que se ingresaría para cobro el viernes 8 de abril, y se recibiría su pago el jueves 14 de abril.

Cuarta Estimación: Corresponde a los días trabajados de la semana del 11 al 15 de abril

$$(\$50,000 * 1.12) - 0.30(\$50,000 * 1.12) = \$56,000 - \$16,800 = \$39,200$$

Estimación que se ingresaría para cobro el viernes 15 de abril, y se recibiría su pago el jueves 21 de abril.

Quinta Estimación: Corresponde a los días trabajados de la semana del 18 al 22 de abril

$$(\$20,000 * 1.12) - 0.30(\$20,000 * 1.12) = \$22,400 - \$6,720 = \$15,680$$

Estimación que se ingresaría para cobro el viernes 22 de abril, y se recibiría su pago el jueves 28 de abril.

A partir de los Ingresos obtenemos el Ingreso Acumulado y la sumatoria final de este renglón debe ser igual al Costo Total de la Obra.

