



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLANEACION Y PROGRAMACION DE OBRAS.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A:**

**CARLOS GERARDO TORRES JASSO**

DIRECTOR DE TESIS

**ING. ERNESTO RENE MENDOZA SANCHEZ**



MÉXICO, D.F.

2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A Dios, por ser el guía en mi camino y ayudarme en todos mis problemas, espero nunca fallarte y siempre ser un hombre de bien.*

*A mi madre, por que simplemente sin ella no seria nada y todo lo que soy se debe a su gran esfuerzo.*

*A mi padre, por que aunque ya no este aquí, algún día nos reuniremos de nuevo.*

*Los amo.*

*A mi hermana, Michelle y Marcelle,  
lucecitas que alegran mi vida.*

*Las quiero con todo mi corazón.*

*A mi abuelo, por ser la persona más feliz del mundo que conozco, espero seguir algún día su ejemplo.*

*A mi abuela, por todos y cada uno de sus consejos y por el amor que me ha demostrado.*

*A mi tíos, todos y cada uno de ellos son motivo de mi admiración y gran respeto, gracias por su ayuda, y por todo su cariño.*

*A mis primos, esperando que cada uno de ellos sean personas honestas y profesionales.*

*A mi asesor de tesis, por el esfuerzo y  
la confianza depositada en mí para ser  
un profesional, gracias.*

## ÍNDICE

### PLANEACION Y PROGRAMACIÓN DE OBRAS.

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN.  |    |
| I. PLANEACION DE LOS TRABAJOS.   | 1  |
| I.1. Planeación estratégica.   | 1  |
| I.2. Definición de los procesos constructivos.   | 3  |
| I.3. Planeación financiera.  | 5  |
| II. ORGANIZACIÓN DE LA OBRA.   | 11 |
| II.1. Organización de la obra: Personal técnico y administrativo, alcances, funciones y responsabilidades. | 11 |
| II.2. Actividades complementarias de la obra: Localización de oficinas, talleres, almacenes, etc.          | 17 |
| II.3. Seguridad en la obra.  | 20 |
| III. PROGRAMACIÓN DE LOS TRABAJOS.   | 26 |
| III.1. Red básica de actividades.  | 26 |
| III.2. Análisis de los recursos disponibles.   | 28 |
| III.3. Asignación de recursos a las actividades de la red.   | 29 |
| III.4. Cálculo numérico de la red. Actividades críticas, Holguras.   | 32 |
| III.5. Programa de barras: Programa general de la obra. Programa de suministros.                           | 49 |
| IV. OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS.  | 55 |
| IV.1. Optimización de recursos.  | 55 |
| IV.2. Velocidad económica de ejecución. Compresión de redes.   | 59 |
| IV.3. Control del tiempo de ejecución de los trabajos.   | 66 |
| V. PROGRAMAS DE CÓMPUTO APLICABLES.  | 72 |
| V.1. Descripción y alcances.   | 72 |
| VI. CONCLUSIONES.  | 86 |
| BIBLIOGRAFÍA.  | 89 |

## **PLANEACION Y PROGRAMACIÓN DE OBRAS.**

### **INTRODUCCIÓN.**

#### **I. PLANEACION DE LOS TRABAJOS.**

##### **I.1. Planeación estratégica.**

###### **Generalidades**

**D**esde tiempos ancestrales, el hombre ha mostrado preocupación en conocer por anticipado aquello a que deberá enfrentarse en los días por venir. Como si de esa manera pudiera esquivar su destino en el caso de malos augurios; o bien, cuando se trata de buenas promesas, tranquilizarse y disfrutarlas por adelantado.

Puede decirse que la idea de planear responde a esta lógica inquietud de la humanidad por conocer su futuro, aunque con un enfoque más activo que la simple espera de su ocurrencia. Lo que se busca con la planeación no es tan sólo el diseño de escenarios, sino la forma de alterarlos y sacarles el mayor provecho. Se trata, por tanto, de planear el futuro en vez de padecerlo.

El objetivo no es sólo planear sino realizar en forma ordenada un amplio número de actividades que, a su vez, implican el uso de recursos humanos y materiales. Por ello es fundamental tener claridad de cuál es la misión y los objetivos que se persiguen, para que la repetición del ciclo de planeación nos acerque paulatinamente al destino deseado.

La planeación ocupa un lugar muy importante dentro de la construcción, ya que después de tener el diseño de una obra basada en planos y especificaciones, es necesario un proceso de planeación en donde se incluye la identificación de los objetivos organizacionales y la selección de políticas, procedimientos y métodos diseñados para lograr estos objetivos. Es muy importante mencionar que para llevar con éxito la planeación, es necesario, tener mucha habilidad que indudablemente se adquiere con la experiencia, toma de decisiones y creatividad.

Antes de comenzar una actividad de planeación efectiva, se deben identificar primero los objetivos y metas.

El proceso de tomar decisiones es un componente esencial de la planeación, por lo que, factores como un diagnóstico efectivo, generación de alternativas y análisis de las situaciones, son muy importantes para una buena planeación.

La toma de decisiones puede realizarse intuitiva o analíticamente. Si se aplica la intuición, normalmente se usa lo que ha sucedido en el pasado, y aplicando este conocimiento se estima lo que puede pasar en el futuro en cada uno de los caminos de acción, y en función de este juicio se toma la decisión.

Por su parte, la decisión tomada analíticamente consiste en un estudio sistemático y evaluación cuantitativa del pasado y del futuro; en función de este estudio, se selecciona el camino de acción más adecuado.

Antes de iniciar el proceso de transformación, se debe analizar y definir con detalle sus actividades. Esta fase, representará para el constructor una guía en la toma de decisiones, constituye la planeación del proceso.

En esta etapa, es necesario analizar con cuidado las variables significativas que intervienen en el proceso,

Será necesario revisar, a lo largo del proceso, si nuestro objetivo se va cumpliendo; esto puede realizarse comparando a lo largo de la construcción lo realizado con lo planeado, en función del objetivo.

Esta revisión y actuación para corregir el proceso en función de los costos se denomina en construcción, control administrativo.

También es necesario, llevar la obra en tal forma que cumpla con su propósito y tenga el factor de seguridad adecuado; como en el caso anterior, no es posible esperar a terminar el trabajo para conocer si tiene el factor de seguridad dado por el proyectista y cumple con el cometido para el cual se diseñó.

Habrá que revisar continuamente que la obra, en ejecución, se vaya construyendo acorde con este propósito. A esto se le llama control de calidad.

### **Planeación de los trabajos**

Indudablemente, antes de poner en marcha una obra existe un proceso muy laborioso y detallado que puede llevar días e incluso meses de preparación, esta fase denominada planeación, es muy compleja debido a que muchísimos técnicos e instrumentos, dedicados a calcular, experimentar y analizar buscan la forma más óptima en que se puede llevar a cabo una construcción. Tarea difícil, ya que hay que ver con mucho detenimiento cada una de las actividades a realizar y las actividades subsecuentes que dependan de estas, ya que generalmente siempre existirá una fecha determinada para entregar una obra y hay que cumplirla, porque de lo contrario, se generaran costos adicionales.

Es por ello, que siempre se tiene que cuidar y prever todos los contratiempos; por ejemplo, para atender los problemas de maquinaria para su correcto funcionamiento, en la construcción de una presa, antes de utilizar el equipo que ya se había seleccionado con anterioridad, se deberán construir talleres mecánicos donde se reciban todas las máquinas

para limpiarlas, reconstruirlas o incluso renovarlas, logrando así mantener el equipo en buen estado y por lo tanto los vehículos trabajen con máxima eficiencia.

También es muy importante la comunicación entre cada una de las áreas para ahorrar tiempo y acortar distancias; en este sentido, la tecnología nos ofrece cada vez más ventajas y opciones como son la radiotelefonía y la internet.

Hay que tener en cuenta que no solo se planea sobre la utilización y mantenimiento de la maquinaria, también hay que planear las actividades de cada uno de los trabajadores y la procuración de los materiales que se utilizarán en la obra. Por tanto, los trabajadores, maquinaria y materiales estarán listos para realizar las tareas asignadas, antes de empezar con cada uno de los trabajos a realizar. Así, observamos que en una obra los caminos de acceso se construyen con anterioridad, la maquinaria ya se ha seleccionado para cada tarea, al igual que los trabajadores, se atacan diferentes frentes según el avance de la obra.

Gracias a una buena planeación se elimina la improvisación, ya que todos los que participan en la obra tienen que hacer y saben en dónde y a qué hora hacerlo, solo llegarán a existir correcciones por imprevistos o problemas que se presenten durante la ejecución de los trabajos.

Con lo anteriormente expuesto, podemos afirmar que la planeación es vital para lograr una obra terminada con los parámetros de calidad, costo y tiempo deseados.

## **I.2. Definición de los procesos constructivos.**

Si analizamos detenidamente cualquier obra (aeropuertos, carreteras, conjuntos habitacionales, presas, etc.), podemos observar que, para su realización han intervenido ciertos elementos, que se pueden agrupar en tres grandes grupos: materiales, mano de obra y maquinaria.

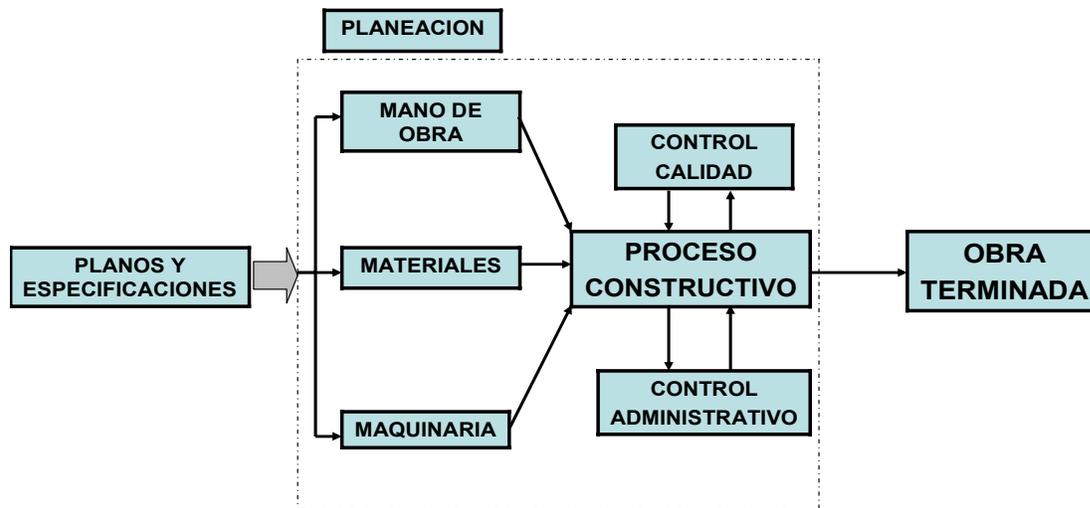
Estos tres elementos se llaman también Recursos o Insumos, los cuales son debidamente combinados y transformados a través de un cierto proceso, para obtener una obra completamente terminada.

Es obvio que, aún teniendo los mismos recursos, éstos pueden ser combinados cualitativa y cuantitativamente de manera distinta, generando así varias alternativas que nos llevarán a obtener la obra terminada. Por tanto, deberemos comparar y seleccionar la alternativa que más convenga, siguiendo un criterio fundamental que es el económico.

Los procesos deben ser planeados oportunamente, cumplir con las especificaciones de construcción, e incluir los controles de calidad y administrativos necesarios.

De esta manera se podrá producir la obra, tal como se estableció en el proyecto con la calidad, costo y tiempo deseados.

La siguiente figura muestra esquemáticamente la representación gráfica del proceso constructivo, con los elementos que lo integran.



De esta forma, una vez que se han definido las actividades por realizar, se puede mencionar que existe una gran cantidad de procesos constructivos generalizados que se han utilizado con éxito en muchas obras, entre los que podemos elegir, teniendo en cuenta, para cada caso particular, la experiencia, estudios analíticos, condiciones del lugar de construcción, recursos en el entorno, o similitud con obras anteriores.

Sin embargo, es importante recordar, que el ingenio para combinar los insumos y con ello obtener nuevos procesos constructivos cada vez más eficientes, es fundamental para el desarrollo de la ingeniería.

Como ejemplo se mencionará el siguiente proceso constructivo de registros para albañales y ductos subterráneos.

Definición.- cajas de concreto, mampostería u otro material, construidos sobre la línea del albañal o ducto de que se trate, cuya función principal es la de dar acceso a la tubería para su desazolve, limpieza o revisión.

Procedimiento:

- La forma, dimensiones, localización, ventilación, separación de los registros y en general su diseño serán los indicados en el proyecto.
- Las dimensiones de su sección horizontal estarán en función de la profundidad y diámetro de la línea de albañal o ducto, pero nunca será menor de 40 cm. X 60 cm.

- Para registros con profundidades mayores de 1.00 m., la sección horizontal deberá ser lo suficientemente amplia para que un operario en su interior pueda realizar los trabajos necesarios de desazolve, limpieza o revisión.
- El acabado interior de las paredes deberá presentar una superficie lisa y resistente, para lo cual se cubrirá con un aplanado de mortero cemento-arena en proporción 1:5, con espesor mínimo de 1 cm. Terminado fino de cemento pulido con llana metálica.
- Para el caso de albañales, el fondo llevará una media caña del mismo tubo de drenaje, misma que deberá asentarse sobre la base de concreto perfilándose los huecos con cemento, acabado pulido con llana metálica.
- En el diseño de las tapas de registro se tomará en cuenta lo siguiente:
  - a) Deberán diseñarse y construirse para soportar la mayor carga que se prevea puedan recibir, de acuerdo sitio en que vayan a ser colocadas.
  - b) Cuando los registros estén dentro o cerca de un local de trabajo, las tapas deberán cerrar herméticamente.
  - c) Cuando el tamaño de la tapa sea tal, que pueda dificultar su operación, se seccionará en dos o más partes.

El procedimiento constructivo anterior, aunque es de un concepto sumamente sencillo, refleja la necesidad de especificar los pasos a seguir en cualquier otro concepto, por complejo que sea.

También es importante mencionar que en los procedimientos constructivos en los que intervienen muchas variables, lo que los vuelve más complejos, y por tanto, existen multitud de soluciones para llevarlos a cabo, deberemos efectuar un análisis profundo para seleccionar el procedimiento adecuado, sin perder de vista que, en la construcción, un aspecto fundamental es el económico.

### **I.3. Planeación financiera.**

**L**as constructoras trabajan con un margen de utilidad relativamente pequeño a causa de la gran competencia en el mercado, por lo cual el cálculo del presupuesto y la planeación del financiamiento de las obras, deben estar al día con las técnicas modernas de administración, planeación de la construcción, presupuestos y contabilidad, pues de lo contrario las pérdidas serán un problema serio.

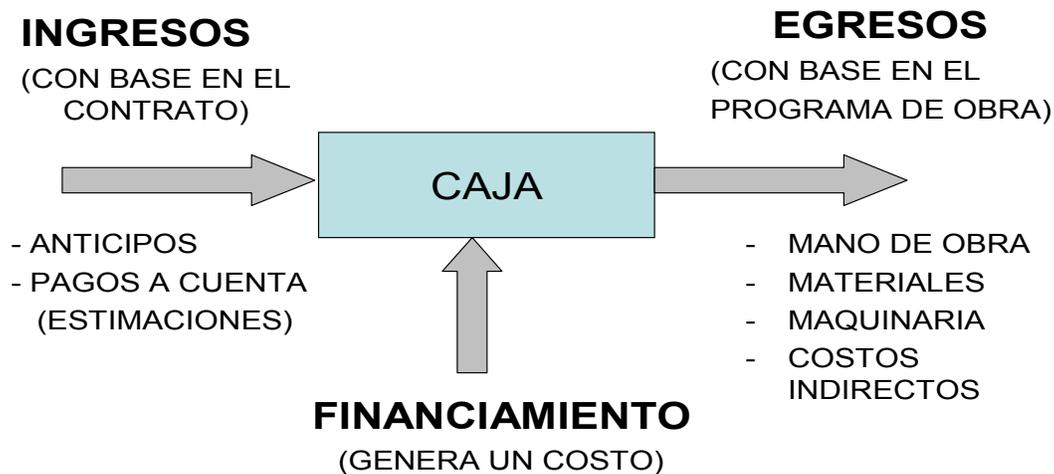
La planeación financiera incluye los cálculos correctos del margen de ganancias necesario, en previsión de los gastos administrativos fijos, depreciación del equipo, dividendos y financiamiento del proyecto. Debe conocerse también el volumen del trabajo de máxima economía, que puede manejarse con una estructura de financiamiento dada. Los prerrequisitos esenciales para cumplir con estos propósitos son: primero, un sistema eficiente en el análisis de costos y cálculo de presupuestos, y segundo, un departamento de estimaciones y pronósticos, confiable y preciso.

Para llevar a cabo el cálculo del financiamiento, necesitamos conocer dos aspectos:

- El programa de ejecución de la obra, a través del cual se conocen los importes periódicos a gastar, esto es: los EGRESOS, y
- El calendario de pagos establecido en el Contrato de Obra, mediante el cual conocemos los importes que se recibirán para la ejecución de los trabajos como son los anticipos y pagos a cuenta, esto es: los INGRESOS.

Conocidos los egresos y los ingresos que se tendrán para una obra, se puede, mediante un flujo de caja, en el cual se determinan los importes involucrados en función del tiempo, calcular la necesidad de financiamiento y su costo correspondiente.

En la siguiente figura se observa la representación gráfica de estos conceptos:

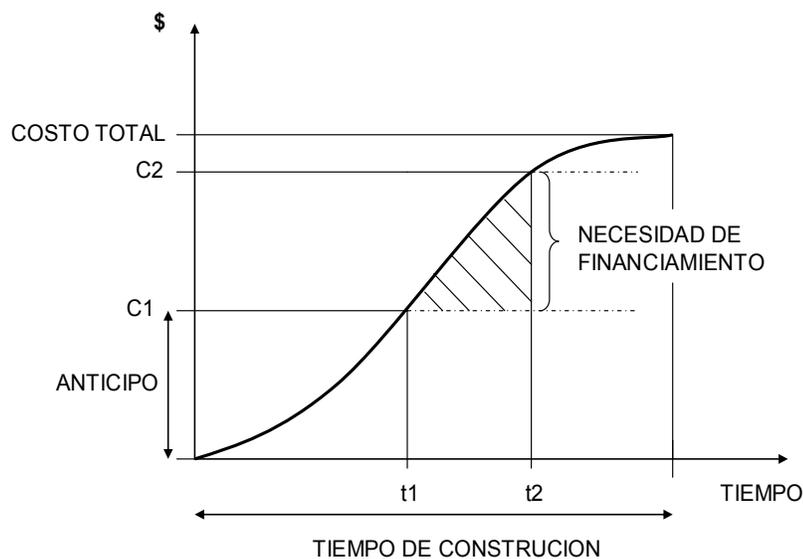


Podemos observar de la figura anterior, que los ingresos que se reciben para ejecutar una obra, se obtienen mediante lo estipulado en el contrato para realizar la obra. Estos ingresos llegan a la constructora por medio de anticipos y de pagos a cuenta (llamados estimaciones de obra).

El anticipo es una cantidad monetaria que se establece como un porcentaje del costo total de la obra, y se estipula antes de iniciar cualquier actividad. Los pagos a cuenta son pagos que se realizan en función del avance de las actividades realizadas y que se cobran después de presentar a las personas adecuadas, la documentación que ampara estos avances de ejecución.

Si los ingresos no son suficientes para cubrir la totalidad de los egresos que se tienen durante la ejecución de la obra, es necesario recurrir a un financiamiento externo para cubrir los egresos que hagan falta.

Es muy importante mencionar, que la necesidad de financiamiento se calcula desde la planeación de la obra, una vez que se han estipulado todas y cada una de las cláusulas del contrato, y con ellos la forma de pago para la realización de la obra, así como el programa de ejecución de los trabajos.



En esta figura se observa, cómo los ingresos son recibidos por medio del anticipo, gracias a ello se pueden realizar diferentes actividades de la obra hasta el tiempo  $t_1$ ; pero sin embargo, si ya estamos en el tiempo  $t_2$ , y no se han recibido más ingresos por medio de estimaciones, vemos que se genera un costo definido por la diferencia del costo  $C_2$  menos el costo  $C_1$  (que fue cubierto por el anticipo), que es necesario financiar.

Es importante recordar que este costo de financiamiento ya se había calculado desde la planeación, y por tanto la forma de absorberlo se encontrará resuelta antes de llegar al tiempo en conflicto.

La tabla 1, muestra el proceso para calcular la necesidad de financiamiento de una obra y el costo que para la Empresa constructora significa este financiamiento.



Se explica a continuación, brevemente, el proceso de cálculo:

Como punto de partida, en esta etapa se tiene ya calculado tanto el costo directo, como el costo indirecto, expresado éste último como un porcentaje del costo directo.

Por otra parte, sabemos que el financiamiento se expresa como un porcentaje del costo directo más el costo indirecto y, la utilidad como un porcentaje de la suma de los tres anteriores. Por último, la suma en cascada, de estos cuatro conceptos, nos da el importe de la obra.

Aquí, nos encontramos con un problema: para calcular el costo de financiamiento, necesitamos conocer el importe del presupuesto, ya que en función de él se tendrán definidos los ingresos, pero para calcular este importe del presupuesto, requerimos conocer el porcentaje de financiamiento, de manera que estamos en un círculo vicioso. Lo que haremos, será suponer un porcentaje de financiamiento, hacer los cálculos correspondientes, y comparar si el porcentaje supuesto es correcto, de no ser así, volveremos a calcular en forma iterativa hasta que el porcentaje supuesto, coincida con el porcentaje calculado. En la tabla del ejemplo, únicamente se muestra el cálculo correspondiente a la última iteración; esto es, cuando han coincidido el porcentaje supuesto con el porcentaje calculado.

También, en esta etapa, se debe tener definido el programa de obra, el cual nos señala los porcentajes de avance programados para ejecutar cada mes durante la duración total de la obra. En nuestro ejemplo, la duración es de 5 meses y los avances parciales para cada mes se muestran tanto en la tabla como en la gráfica correspondiente.

Por lo que respecta al contrato, se ha supuesto en el ejemplo que se tendrá un anticipo del 30% del importe de la obra, mismo que se amortizará en cada una de las estimaciones. Este concepto aparece en la tabla en el renglón de amortización del anticipo.

Con esta información, procedemos a la elaboración del flujo de caja con la secuencia siguiente:

1°. Determinación de los egresos:

- a) Costo directo.- se calcula con el importe del costo directo del presupuesto, multiplicado por cada uno de los porcentajes mensuales considerados en el programa de obra.
- b) Costo indirecto.- se toma como un porcentaje del costo directo, en nuestro ejemplo es del 12%.
- c) El siguiente renglón corresponde a la suma de los egresos.

2°. Determinación de los ingresos:

- a) El primer mes, se anota el importe correspondiente al anticipo el cual, como ya se dijo, es del 30% del importe contratado.
- b) Considerando que las estimaciones se elaborarán mensualmente, en la tabla se supuso que en el primer mes se hace el corte, durante el segundo se formaliza la estimación y el pago se produce hasta el tercer mes. Lo mismo ocurre con las estimaciones subsecuentes. El importe de dichas estimaciones se calcula como el porcentaje programado para cada mes, aplicado al importe de la obra.

- c) Sobre el importe de cada estimación, se amortiza el 30% del anticipo recibido.
- d) A continuación, se obtiene la suma de los ingresos.

### 3°. Cálculo de la necesidad de financiamiento:

Los pasos siguientes son la obtención de la diferencia entre ingresos y egresos e ingresos menos egresos acumulados, donde detectamos la necesidad de financiamiento. En nuestro ejemplo, esta necesidad de financiamiento se tiene a partir del 3er mes hasta llegar a un máximo de \$ 1'894,594.15.

### 4°. Cálculo del costo de financiamiento:

La necesidad mensual de financiamiento, da origen a un costo de financiamiento, para lo cual hay que recurrir a un indicador financiero como puede ser los cetes, el costo porcentual promedio (cpp) o la tasa de interés interbancario de equilibrio (tiie). alguna de estas tasas de interés, se toma como referencia y el constructor le suma los puntos que considera pertinentes con base en el riesgo que significa su inversión. En el ejemplo, se tomó como costo del dinero el 3%.

### 5°. Porcentaje de financiamiento:

Calculada la suma del costo financiero durante los 7 meses, al dividirla entre la suma de los egresos se obtiene el porcentaje de financiamiento, mismo que se compara contra el porcentaje supuesto y, de no coincidir como ya se dijo, se procede a recalcular el flujo de caja. En nuestro caso, el costo de financiamiento resultó de 1.12% de la suma del costo directo más el costo indirecto.

Conocida la necesidad de recursos económicos para financiar la obra, se podrá recurrir a las fuentes de financiamiento disponibles; dentro de las más comunes están:

- Instituciones bancarias.
- Hipotecarias.
- Aportaciones de los socios.
- Recursos de la propia Empresa.

De todas las fuentes disponibles para obtener los ingresos, es muy importante analizar cual será la que más nos conviene, debido a que generan diferentes intereses, por lo que indudablemente seleccionaremos el de menor valor, para no gastar de más.

En el caso de que nosotros aportemos los recursos que hagan falta, no generará intereses, pero existe un costo de oportunidad que también es necesario analizar para ver si es factible utilizar dichos recursos o mejor se recurre a las otras fuentes de financiamiento.

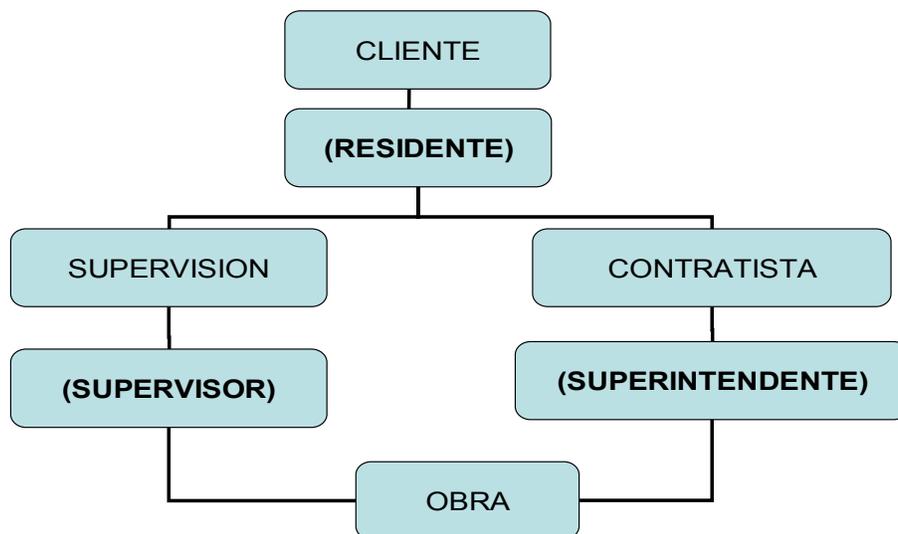
## II. ORGANIZACIÓN DE LA OBRA.

### II.1. Organización de la obra: Personal técnico y administrativo, alcances, funciones y responsabilidades.

#### Introducción.

Antes de empezar con la organización de una obra específica, es indispensable conocer el esquema jerárquico u organigrama general de las personas o entidades que intervienen en ella. En general, participan el cliente, que es la persona o institución interesada en adquirir los servicios de alguna empresa constructora para realizar trabajos de construcción, la supervisión que es la encargada de vigilar que la obra se realice con las especificaciones que son requeridas, es el auxiliar técnico de la residencia de obra, y el contratista que es la empresa que va a construir la obra.

Dicho esquema se muestra a continuación:



En este esquema se observa a los representantes de cada una de las partes involucradas, que son las personas seleccionadas para dirigir, coordinar, supervisar y solucionar cualquier tipo de problemas referentes a su área.

**Personal técnico y administrativo, alcances, funciones y responsabilidades.**

En el caso de la obra pública, la designación del residente de obra debe constar por escrito. Las dependencias y entidades para designar al servidor público que fungirá como residente de obra deberán tomar en cuenta que tenga los conocimientos, habilidades, experiencia y capacidad suficiente para llevar la administración y dirección de los trabajos; debiendo considerar el grado académico de formación profesional de la persona, experiencia en administración y construcción de obras, desarrollo profesional y el conocimiento de obras similares a las que se hará cargo.

El Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios relacionados con las Mismas establece las funciones del residente de obra como sigue:

**Funciones de la residencia de obra:**

- Supervisión, vigilancia, control y revisión de los trabajos.
- Toma de las decisiones técnicas correspondientes y necesarias para la correcta ejecución de los trabajos, debiendo resolver oportunamente las consultas, aclaraciones, dudas o autorizaciones que presente el supervisor o el contratista.
- Dar apertura a la bitácora, la cual quedará bajo su resguardo, y por medio de ella dar las instrucciones pertinentes, y consumos pactados por el contrato, por ejemplo si se trata de rendimientos y producción de maquinaria o equipo de construcción, se deberá vigilar que éstos cumplan con la cantidad de trabajo consignado por el contratista en los precios unitarios y los programas de ejecución pactados por el contrato.
- Vigilar que, previamente al inicio de la obra, se cuente con los proyectos arquitectónicos y de ingeniería, especificaciones de calidad de los materiales y especificaciones generales y particulares de construcción, catálogo de conceptos con sus análisis de precios unitarios o alcance de las actividades de la obra, programas de ejecución y suministros o utilización, términos de referencia y alcance de servicios.
- Revisar, controlar y comprobar que los materiales, la mano de obra, la maquinaria y equipos sean de la calidad y características pactadas por el contrato.
- Autorizar las estimaciones, verificando que cuenten con los números generadores que las respalden.
- Coordinar con los servidores públicos responsables, las terminaciones anticipadas o rescisiones de obras y, cuando procedan, las suspensiones de obra; debiéndose auxiliar de la dependencia o entidad para su formalización.
- Tramitar, en su caso, los convenios modificatorios necesarios.

- Rendir informes periódicos, así como un informe final sobre el cumplimiento del contratista en los aspectos legales, técnicos, económicos, financieros y administrativos.
- Autorizar, y firmar el finiquito del contrato.
- Verificar la correcta conclusión de los trabajos, debiendo vigilar que la unidad que deba operarla reciba oportunamente el inmueble en condiciones de operación, los planos correspondientes a la construcción final, así como los manuales e instructivos de operación y mantenimiento y los certificados de garantía de calidad y funcionamiento de los bienes instalados.
- Cuando exista un cambio sustancial al proyecto, a sus especificaciones o al contrato, el residente de obra presentará a la dependencia o entidad el problema con las alternativas de solución, en las que se analice factibilidad, costo y tiempo de ejecución, y establecerá la necesidad de prórroga, en su caso.
- Las demás funciones que señalen las dependencias y entidades.

Asimismo, este ordenamiento, establece las funciones de la supervisión:

**Funciones de la supervisión:**

- Previamente al inicio de los trabajos, deberá revisar detalladamente la información que le proporcione la residencia de la obra con relación al contrato, con el objeto de enterarse con detalle de las condiciones del sitio de la obra y de las diversas partes y características del proyecto, debiendo recabar la información necesaria que le permita iniciar los trabajos de supervisión según lo programado y ejecutarlos ininterrumpidamente hasta su conclusión.
- Integrar y mantener al corriente el archivo derivado de la realización de los trabajos, en que contendrá entre otros:
  - a) Copia de planos.
  - b) Matrices de precios unitarios o cédula de avances y pagos programados, según corresponda.
  - c) Modificaciones a los planos.
  - d) Registro y control de la bitácora, y las minutas de las juntas de obra.
  - e) Permisos, licencias y autorizaciones.
  - f) Contratos, convenios, programas de obra y suministros, números generadores, cantidades de obra realizadas y faltantes de ejecutar y presupuestos.
  - g) Reportes de laboratorio y resultado de las pruebas.
  - h) Manuales y garantía de la maquinaria y equipo.
- Vigilar la buena ejecución de la obra y transmitir al contratista en forma adecuada y oportuna las órdenes provenientes de la residencia de obra.

- Registro diario en la bitácora de los avances y aspectos relevantes durante la obra.
- Celebrar juntas de trabajo con el contratista o la residencia de obra para analizar el estado, avance, problemas y alternativas de solución, consignando en las minutas los acuerdos tomados.
- Analizar con la residencia de obra los problemas técnicos que se susciten y presentar alternativas de solución.
- Vigilar que el superintendente de construcción cumplan con las condiciones de seguridad, higiene y limpieza de los trabajos.
- Revisar las estimaciones de trabajos ejecutados para efectos de que la residencia de obra las apruebe, conjuntamente con la superintendencia de construcción del contratista deberán firmarlas oportunamente para su trámite de pago.
- Vigilar que los planos se mantengan debidamente actualizados, por conducto de las personas que tengan asignada dicha tarea.
- Analizar detalladamente el problema de ejecución de los trabajos considerando e incorporando, según el caso, los programas de suministros que la dependencia o entidad haya entregado al contratista, referentes a materiales, maquinaria, equipos, instrumentos y accesorios de instalación permanente.
- Coadyuvar con la residencia de obra para vigilar que los materiales, la mano de obra, la maquinaria y equipos sean de la calidad y características pactadas en el contrato.
- Verificar la debida terminación de los trabajos dentro del plazo convenido.
- Coadyuvar en la elaboración del finiquito de los trabajos.
- Las demás que señale la residencia de obra o la dependencia o entidad en los términos de referencia.

Y, por último, define brevemente los requerimientos del superintendente:

**Funciones del superintendente:**

El superintendente de construcción deberá conocer con amplitud los proyectos, normas de calidad y especificaciones de construcción, catálogo de conceptos o actividades de obra, programas de ejecución y de suministros, incluyendo los planos con sus modificaciones,

especificaciones generales y particulares de construcción y normas de calidad, bitácora, convenios y demás documentos inherentes, que se generen con motivo de la ejecución de los trabajos.

Asimismo, debe estar facultado por el contratista, para oír y recibir toda clase de notificaciones relacionadas con los trabajos, aún las de carácter personal, así como contar con las facultades suficientes para la toma de decisiones en todo lo relativo al cumplimiento del contrato.

La dependencia o entidad en el contrato, podrá reservarse el derecho de solicitar en cualquier momento, por causas justificadas, la sustitución del superintendente de construcción, y el contratista tendrá la obligación de nombrar a otro que reúna los requisitos exigidos en el contrato.

Los riesgos, la conservación y la limpieza de los trabajos hasta el momento de su entrega serán responsabilidad del contratista.

### **Organización de la obra**

Conocidas ya las partes que intervienen en la realización de los trabajos, la organización propiamente dicha de la obra, estará en función del tipo, complejidad y magnitud de la misma.

A manera de ejemplo, en la figura siguiente se muestra el esquema de organización típico de una obra.



Las características más importantes de esta organización son:

- 1) Posición central del superintendente. Del superintendente parten todas las líneas de mando.
- 2) Una división de la organización en dos áreas: una técnica, encabezada por los Jefes de los frentes y otra administrativa en la que se encuentran diversos grupos que no intervienen de forma directa en la ejecución de la obra, pero sin cuya existencia y correcto funcionamiento, la parte técnica no puede realizar su misión.
- 3) En el área técnica, el tipo de organización elegido es el lineal. Es el más apropiado para esta área, por ser esencial en ella las líneas de mando, la rapidez de la comunicación y la delimitación de responsabilidades.
- 4) En el área administrativa, la organización interna de cada grupo puede ser parcial o totalmente lineal.

Se examina ahora el funcionamiento de cada área:

**ÁREA TECNICA:** Su organización es estrictamente lineal, encontrándose en cada frente un Jefe, responsable directo ante el superintendente de obra. De cada Jefe de frente depende un número determinado de sobrestantes el cual, se recomienda, no sea mayor de 5 ó 7. Cada sobrestante tiene a sus órdenes un número determinado de jefes de equipo o cuadrillas. El número de componentes de cada equipo o cuadrilla estará de acuerdo al tipo de trabajo por ejecutar en cada caso.

Esta área, es la encargada de realizar las operaciones técnicas inherentes en toda obra: Topografía, trazos, facilitar planos y especificaciones a los jefes de frente, comprobar que

la obra se realiza de acuerdo con el proyecto, ensayos de materiales, dosificaciones, pedidos de materiales, mediciones de obra, etc. Además establecerá el orden de los trabajos, de acuerdo con la planeación de la obra. La comunicación directa del jefe de la oficina técnica es con el superintendente de obra.

Taller mecánico: Se encarga de la conservación y reparación de toda la maquinaria de la obra. Sin embargo, no debe pensarse que puede realizar todas las reparaciones, pues el montaje de un taller de estas características es muy caro, en ocasiones, las máquinas deben trasladarse a talleres especializados fuera de la obra.

**ÁREA ADMINISTRATIVA:** Está formada por los siguientes grupos:

Recursos humanos: Se ocupa de todos los aspectos administrativos relacionados con el personal, como son reclutamiento, contratación y control de los trabajadores que interviene en la obra.

Compras: Partiendo de los pedidos de material formulados por la oficina técnica, organiza la adquisición y transporte de los insumos así como el pago a proveedores.

Almacenes: Realizará el almacenamiento de los materiales suministrados por los proveedores, controlando sus existencias y sus entregas a obra.

Contabilidad: Su ocupación principal, es el registro contable de todas las operaciones comerciales que la constructora lleva a cabo en la obra, también se ocupa de realizar nóminas, expedición y recepción de facturas de suministros, realizar pagos, envío de datos contables a la Gerencia, cálculos para el pago de impuestos, etc.

Es importante recalcar que el tipo de organización presentado es solamente un ejemplo, ya que como se dijo anteriormente, dependerá del tipo, complejidad y magnitud de cada obra, la organización que se diseñe para su correcta realización.

## **II.2. Actividades complementarias de la obra: localización de oficinas, talleres, almacenes, etc.**

**P**or pequeña que sea la obra, siempre es necesario establecer locales para alojar los servicios que ésta requiere.

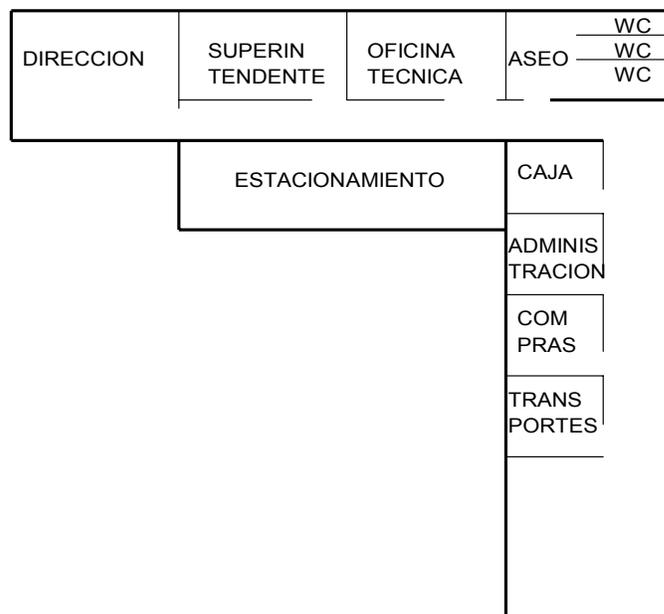
En una obra de tamaño regular, se puede establecer un local único, si éste se desarrolla en planta convenientemente. En este desarrollo en planta, es conveniente establecer las áreas involucradas, que deben ser independientes entre sí, incluso en sus accesos:

- Area de personal directivo,
- Area personal administrativo,
- Area personal técnico.

Despacho del Superintendente.  
Despacho para la Dirección o sus representantes en obra.

Las oficinas se proveerán con los servicios higiénicos necesarios, que deben ser sencillos, pero suficientes. Es conveniente dotar las oficinas con aire acondicionado, pues representa un pequeño gasto que se compensa con el aumento de productividad de los empleados, al trabajar en un ambiente agradable. Para la construcción del local, se puede utilizar algunas de las construcciones desmontables existentes en el mercado. Estas construcciones son recuperables en su totalidad y pueden emplearse repetidamente, sin más gastos adicionales que el de su montaje. A primera vista, puede parecer una inversión de alguna importancia, pero su repetida utilización permite una rápida amortización.

En la siguiente figura se representa un local para oficinas de la obra. Se adopta la planta en L, estableciendo un área de espera cubierta para los obreros. Debajo de ésta área se pueden instalar elementos de control de asistencia e informativos (relojes, circulares, boletines, etc.).



Ciertas obras, dada su magnitud y alejamiento de centros urbanos, pueden obligar a la empresa a establecer alojamientos y comedores cuyo tamaño dependerá, naturalmente, del número de obreros.

Conviene proyectarlos para un 75-80 % del número de obreros máximos que se prevea, en lugar de realizar su construcción por etapas, ya que estas instalaciones no serán utilizadas por la totalidad de los obreros.

La superficie de dormitorios está determinada por el número de literas que se instalen, debiendo proveerse los servicios necesarios.

Es importante mencionar, que en las grandes obras, se llegan a construir incluso “pequeñas ciudades” para dar todos los servicios necesarios a los obreros e incluso a sus familias, que van desde casas, escuelas, mercados y hospitales, hasta centros de entretenimiento, religiosos y deportivos.

Es necesario, además de las instalaciones anteriores, construir almacenes para ciertos materiales. Aunque muchos materiales se almacenen al aire libre (tabiques, arena, grava, acero) existen otros, tales como los distintos aglomerantes (yeso, cal, cemento y madera), para los que es indispensable un almacenamiento que los proteja de la humedad y de la acción directa de los rayos del sol. Además de su función de protección y control, los almacenes cumplen otra función importantísima, como es la de asegurar la continuidad del trabajo, evitando paros por falta de materiales en la obra. Por tanto, su tamaño debe determinarse teniendo en cuenta no sólo los consumos diarios, sino estableciendo reservas que permitan la continuidad del trabajo en caso de fallo de suministros por parte del proveedor.

Además de las superficies necesarias de almacenaje, debe tenerse en cuenta las superficies necesarias para realizar los accesos y circulación alrededor de los almacenes, estudiando los movimientos de camiones y las maniobras necesarias para realizar la carga y descarga.

Por otra parte, los talleres tienen la función de permitir el correcto mantenimiento y reparación de los equipos que se estén utilizando para realizar los trabajos de la obra, para ello, es indispensable tener las herramientas mínimas suficientes para corregir cualquier desperfecto de las máquinas, teniendo en cuenta, por supuesto, que en ocasiones existirán descomposturas que no se podrán solucionar en el taller debido a su complejidad, para ello, será necesario llevar el equipo a otro taller más completo, buscar un mecánico más especializado o en ocasiones sustituir el equipo por otro en mejores condiciones. Debido a la evidente importancia que tienen los talleres, es necesario que en obra, siempre se tengan en cuenta el total de las necesidades para poder instalar talleres que sean suficientes para cubrir los desperfectos de la maquinaria.



En la fotografía se muestra la localización de algunas instalaciones en el proyecto hidroeléctrico “El Cajón”, donde se observa la ubicación de las oficinas generales, almacén, talleres, campamentos y caminos de acceso.

### **II.3. Seguridad en la obra.**

#### **Generalidades.**

Cada año mueren dos millones de personas en el mundo por accidentes laborales según datos proporcionados por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), además se producen 270 millones de accidentes y 160 millones de personas padecen alguna enfermedad profesional.

La industria de la construcción posee una conformación y una dinámica complejas, pues se produce siempre en un sitio distinto, esta sujeta a un proyecto diferente y a un determinado grado de flexibilidad y margen de libertad.

Esta peculiaridad de la obra de construcción adquiere ribetes preocupantes, porque es uno de los sectores productivos más críticos donde se estima que la construcción causa 13.5% del total de accidentes laborales.

Más que en otros tipos de trabajos, las obras son peligrosas y se pueden producir accidentes graves, tanto al personal de la obra como al público.

**GRUPOS DE ACTIVIDADES ECONÓMICAS CON MAYOR  
NÚMERO DE ACCIDENTES DE TRABAJO.**

| ACTIVIDAD ECONÓMICA  | FRACCIÓN | ACCIDENTES DE TRABAJO | INCAPACIDADES PERMANENTES | DEFUNCIONES |
|--|----------|-----------------------|---------------------------|-------------|
| <b>T O T A L N A C I O N A L</b>   |          | 282,469               | 11,916                    | 1,069       |
| Construcción de edificaciones y de obras de ingeniería civil.  | 4100     | 27,489                | 1,392                     | 192         |
| Servicios profesionales y técnicos.  | 8401     | 18,891                | 538                       | 75          |
| Compraventa en tiendas de autoservicio y de departamentos especializados, por línea de mercancía.                        | 6400     | 15,888                | 271                       | 8           |
| Compraventa de alimentos, bebidas y productos del tabaco.  | 6100     | 15,145                | 377                       | 63          |
| Elaboración de alimentos.  | 2000     | 14,770                | 797                       | 45          |
| Servicios de administración pública y seguridad social.  | 9400     | 13,800                | 254                       | 44          |
| Preparación y servicio de alimentos y bebidas.   | 8700     | 13,369                | 225                       | 21          |
| Fabricación de productos metálicos; excepto maquinaria y equipo.   | 3500     | 12,340                | 918                       | 24          |
| Transporte terrestre.  | 7100     | 10,360                | 678                       | 147         |
| Compraventa de materias primas, materiales y auxiliares.   | 6600     | 10,032                | 412                       | 38          |
| Servicios personales para el hogar y diversos.   | 8900     | 9,160                 | 278                       | 20          |
| Fabricación de productos de hule y plástico.   | 3200     | 6,902                 | 467                       | 6           |
| Fabricación y/o ensamble de maquinaria, equipos, aparatos, accesorios y artículos eléctricos, electrónicos y sus partes. | 3700     | 6,565                 | 338                       | 3           |
| Compraventa de prendas de vestir y otros artículos de uso personal.  | 6200     | 6,667                 | 147                       | 12          |
| Servicios de alojamiento temporal.   | 8600     | 5,616                 | 60                        | 9           |
| Demás grupos de actividades económicas.  |          | 96,475                | 4,744                     | 362         |

Fuente: Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Esta gráfica dada por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, muestra las actividades con mayor número de accidentes de trabajo y enfermedades de trabajo en el 2007. En ella podemos corroborar que efectivamente la rama de la ingeniería civil es la actividad con más riesgo no solo a nivel mundial, sino también, en nuestro país.

Dentro de las causas más comunes de accidentes en la construcción tenemos:

Electricidad.- Los programas de seguridad y salud deben tratarse de los incidentes eléctricos y las muchas maneras en las cuales la electricidad se convierte en un peligro. Por lo general, los empleados no deben trabajar cerca de cualquier parte de un circuito eléctrico a menos que los empleados estén protegidos. Los peligros siguientes son los que causan más frecuentemente las lesiones eléctricas:

- Contacto con las líneas de energía eléctrica.
- Falta de protección en la conexión a tierra.
- Camino hacia la pérdida o interrupción de la conexión a tierra.
- El equipo no usado de manera ordenada.
- El uso incorrecto de los cables flexibles y cables de extensión.

Caídas.- Las caídas son la causa principal de fatalidades en la industria de construcción. Es importante que los programas de seguridad y salud contengan estipulaciones para proteger a trabajadores contra las caídas en el trabajo. Los peligros siguientes causan la mayoría de las lesiones relacionadas con caídas:

- Falta de protección, Aberturas en la pared, y agujeros en el piso.
- Construcción incorrecta del andamio.
- Barras de acero que sobresalen sin protección.
- El uso incorrecto de las escaleras portátiles.

Golpes.- La segunda causa más alta de muertes relacionadas con la construcción es la de ser golpeado por un objeto. Aproximadamente el 75% de los golpes fatales tiene que ver con el equipo pesado tales como camiones o grúas.

Los programas de seguridad y de salud deben considerar las muchas maneras en que pueden ocurrir los accidentes por golpes. Los temas siguientes son los peligros que causan la mayoría de las lesiones por golpes:

- Los vehículos.
- Los objetos que son manipulados para que caigan o para ser volados.
- Construyendo paredes de ladrillos.

Derrumbes.- Los derrumbes son quizás el riesgo más temido al atrincherar. Pero existen otros peligros potencialmente fatales, incluyendo la asfixia debido a la carencia de oxígeno en un espacio limitado, la inhalación de vapores tóxicos, el ahogamiento, etc. La electrocución o explosiones pueden ocurrir cuando los trabajadores se ponen en contacto con servicios públicos debajo de la tierra.

Los peligros siguientes causan la mayor parte de las heridas al atrincherar y excavar:

- Ningún sistema de protección.

- Falla en la inspección de la trinchera y el sistema de protección.
- Colocación insegura de las pilas de escombros.
- Acceso y/o salida peligrosos.

Según el Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, tenemos las siguientes obligaciones para los patrones y para los trabajadores:

**El Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, describe lo siguiente:**

**Obligaciones de los patrones.**

**I.** Cumplir con las disposiciones de este Reglamento, de las Normas que expidan las autoridades competentes, y con el reglamento interior de trabajo de las empresas en la materia de seguridad e higiene;

**II.** Contar, en su caso, con las autorizaciones en materia de seguridad e higiene, a que se refiere este Reglamento;

**III.** Efectuar estudios en materia de seguridad e higiene en el trabajo, para identificar las posibles causas de accidentes y enfermedades de trabajo y adoptar las medidas adecuadas para prevenirlos, conforme a lo dispuesto en las Normas aplicables, así como presentarlos a la Secretaría cuando ésta así lo solicite;

**IV.** Determinar y conservar dentro de los niveles permisibles las condiciones ambientales del centro de trabajo, empleando los procedimientos que para cada agente contaminante se establezcan en las Normas correspondientes, y presentar a la Secretaría los estudios respectivos cuando ésta así lo requiera;

**V.** Colocar en lugares visibles de los centros de trabajo avisos o señales de seguridad e higiene para la prevención de riesgos, en función de la naturaleza de las actividades que se desarrollen, conforme a las Normas correspondientes;

**VI.** Elaborar el programa de seguridad e higiene y los programas y manuales específicos a que se refiere el presente Reglamento, en los términos previstos en el artículo 130 del mismo y en las Normas aplicables;

**VII.** Capacitar y adiestrar a los trabajadores sobre la prevención de riesgos y atención de emergencias, de acuerdo con las actividades que se desarrollen en el centro de trabajo;

**VIII.** Permitir la inspección y vigilancia que la Secretaría o las autoridades laborales que actúen en su auxilio practiquen en los centros de trabajo, para cerciorarse del cumplimiento

de la normatividad en materia de seguridad e higiene; darles facilidades y proporcionarles la información y documentación que les sea requerida legalmente;

**IX.** Presentar a la Secretaría cuando ésta así lo requiera, los dictámenes emitidos por las unidades de verificación;

**X.** Proporcionar los servicios preventivos de medicina del trabajo que se requieran, de acuerdo a la naturaleza de las actividades realizadas en el centro de trabajo;

**XI.** Instalar y mantener en condiciones de funcionamiento, dispositivos permanentes para los casos de emergencia y actividades peligrosas, que salvaguarden la vida y salud de los trabajadores, así como para proteger el centro de trabajo;

**XII.** Dar aviso a la Secretaría de los accidentes de trabajo que ocurran;

**XIII.** Participar en la integración y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo; así como dar facilidades para su óptimo funcionamiento;

**XIV.** Promover que en el reglamento interior de trabajo a que se refiere el Capítulo V del Título VII de la Ley, se establezcan disposiciones en materia de seguridad e higiene en el trabajo, para la prevención de riesgos y protección de los trabajadores, así como del centro de trabajo,

**XV.** Las demás previstas en otras disposiciones jurídicas aplicables.

### **Obligaciones de los trabajadores.**

**I.** Observar las medidas preventivas de seguridad e higiene que establece este Reglamento, las Normas expedidas por las autoridades competentes y del reglamento interior del trabajo de las empresas, así como las que indiquen los patrones para la prevención de riesgos de trabajo;

**II.** Designar a sus representantes y participar en la integración y funcionamiento de la comisión de seguridad e higiene del centro de trabajo en que presten sus servicios, de acuerdo a lo dispuesto por la Ley, este Reglamento y la Norma correspondiente;

**III.** Dar aviso inmediato al patrón y a la comisión de seguridad e higiene de la empresa o establecimiento en que presten sus servicios, sobre las condiciones o actos inseguros que observen y de los accidentes de trabajo que ocurran en el interior del centro de trabajo, colaborando en la investigación de los mismos;

**IV.** Participar en los cursos de capacitación y adiestramiento que en materia de prevención de riesgos y atención de emergencias, sean impartidos por el patrón o por las personas que éste designe;

V. Conducirse en el centro de trabajo con la probidad y los cuidados necesarios para evitar al máximo cualquier riesgo de trabajo;

VI. Someterse a los exámenes médicos que determine el patrón de conformidad con las Normas correspondientes, a fin de prevenir riesgos de trabajo;

VII. Utilizar el equipo de protección personal proporcionado por el patrón y cumplir con las demás medidas de control establecidas por éste para prevenir riesgos de trabajo,

VIII. Las demás previstas en otras disposiciones jurídicas.

Actuación en caso de accidente.

Los accidentes, por muy inesperados, sorprendentes o indeseados que sean, no surgen por generación espontánea ni por casualidad; corresponden sin duda a la materialización de los riesgos con los que convivimos diariamente.

La investigación de accidentes es fundamental en toda acción preventiva desarrollada en la empresa, puesto que trata de encontrar y analizar las causas generadoras de los mismos y, en consecuencia, adoptar las medidas necesarias que eviten su repetición.

Ocurrido el accidente, la primera obligación de la empresa es la de prestar los primeros auxilios al accidentado y, si el tipo de lesiones lo requiere, organizar el traslado del accidentado con la mayor rapidez al Centro Hospitalario más próximo, cumplimentando el parte de accidente.

Prestada la asistencia médica o primeros auxilios al accidentado, habrá que proceder a la investigación del accidente para conocer **qué pasó** y **por qué pasó** para obtener las causas inmediatas y las causas básicas del accidente que nos permitan establecer las medidas correctoras adecuadas, que una vez aplicadas, impidan en un futuro la repetición del mismo.

Muchos y complejos son los factores desencadenantes del accidente de trabajo o enfermedad profesional y variables sus consecuencias sobre los trabajadores: unos atribuibles a las causas básicas y estructurales y otros a factores causales que, unidos al desconocimiento y menosprecio del riesgo, son el origen de la alta siniestralidad del Sector.

Reducir los accidentes laborales y enfermedades profesionales es el objetivo de todos los agentes intervinientes en el Sector; hecho que no será realidad hasta que el trabajador no sea protagonista del cuidado de su propia salud y conocedor de los riesgos de su trabajo, mediante una sólida formación e información en materia de prevención. Todo ello sin menoscabo de la responsabilidad que la Normativa asigna a los empresarios.

### III. PROGRAMACIÓN DE LOS TRABAJOS.

#### III.1. Red básica de actividades.

Por lo general, los grandes proyectos están divididos en varias etapas de construcción: Por ejemplo, si el proyecto es para construir una presa de usos múltiples, para el control de flujo y provisión de agua, energía y recreación, las etapas podrían ser:

- Despejar el área de abastecimiento.
- Construir la presa.
- Modificar el curso de la carretera en el área de abastecimiento.
- Si es necesario, situar en otra parte a la población.
- Construir la central de energía.
- Instalar las líneas de distribución de energía.
- Construir los conductos de agua.
- Construir las instalaciones recreativas.

Cada una de estas etapas puede construir por sí misma un proyecto separado, aunque forme parte de un conjunto.

Las etapas de construcción se pueden dividir en muchas operaciones que a su vez son los principales elementos a construir. En cuanto a la construcción de la central de energía, el planeador puede planear la construcción de los cimientos, levantar la estructura, colocar las losas del piso, colocar el techo y la techumbre e instalar las turbinas y los generadores. Como ya se mencionó, todas estas operaciones son muy amplias y es necesario dividir las en muchas actividades separadas. A su vez, las operaciones se pueden dividir en suboperaciones que se pueden detallar aún más en subsuboperaciones o actividades.

Se ha mencionado que las subsuboperaciones son actividades y que se pueden construir redes para todos los niveles de la organización del proyecto. Por tanto, una definición

precisa y sencilla del término “actividad” y que servirá para evitar cualquier confusión aparente, es la siguiente:

Una actividad es una unidad única del proyecto que se puede definir dentro de límites determinados de tiempo.

En otras palabras, es cualquier tarea, función o decisión que suma tiempo, no es necesario que tenga un costo ni que necesite otro recurso que no sea tiempo. Y a la inversa, puede necesitar muchos recursos, ser muy costosa y consumir gran cantidad de tiempo.

### **Tipos de Actividades.**

Si se analiza con cuidado la estimación de la construcción, se puede ver que hay partidas que si se identifican y dividen en actividades, se pueden agrupar por categorías. Se ve que hay tres grupos de éstas: actividades de producción, de aprovisionamiento y de decisiones administrativas.

**Actividades de producción:** Son las que se pueden tomar directamente de los planos y especificaciones y que implican la aplicación de recursos materiales, trabajo y equipo. Estas actividades son las más obvias y consumen la mayor parte del tiempo de ejecución del proyecto. Algunos ejemplos son: excavar, cimbrar, colocar acero de refuerzo, colar concreto, construir muros, instalar grúa, etc. Las actividades de producción siempre se deben mostrar en cualquier red de un proyecto de construcción. La omisión de una actividad de producción en la lista de actividades y en la red, puede ser causa de incumplimiento de contrato.

**Actividades de aprovisionamiento:** Uno de los aspectos más difíciles, y de hecho frustrantes, de cualquier proyecto de construcción es el aprovisionamiento de material que se va a usar en la construcción. Este material puede ser ladrillo, el bloque, el concreto común, etc., o pueden ser materiales muy especiales o particulares que se deben comprar e instalar a medida que avanza la construcción. En la red siempre se deben incluir las compras de material especial, por que si no se dispone de él en la obra, no pueden continuar las actividades que dependen de él. También es necesario considerar el tiempo para conseguir trabajadores necesarios para tareas especializadas, así como, obtener equipo y

tenerlo listo para la instalación o para uso de la obra. Otra tarea que consume tiempo y que forma parte de muchos proyectos de construcción es la de asegurar un financiamiento adecuado y la obtención de permisos y licencias.

**Actividades de decisión administrativa:** Dentro de las tareas de la administración de la construcción está la de ver que todas las funciones organizacionales se estén desempeñando lo mejor posible, y es de esperarse que las decisiones que se tomen puedan afectar alguna parte del trabajo total de la empresa. Muchas de estas decisiones influirán en el tiempo de terminación de un proyecto y es conveniente que se incluyan en la red de actividades que expresan estas necesidades. A menudo, las actividades de decisiones administrativas pueden parecer un poco arbitrarias y no tener una relación directa con el proyecto en cuestión. El empleo eficaz de estas actividades en la red de un proyecto puede aumentar en gran medida la efectividad del plan en relación con los otros proyectos de la empresa.

### **III.2. Análisis de los recursos disponibles.**

Una vez que se ha determinado cada una de las actividades necesarias para generar una obra, es necesario examinar los recursos disponibles para realizarlas, tomando en cuenta que un recurso es todo elemento que puede ser útil como medio para el logro de un objetivo. De todos ellos, el tiempo es el factor que interesa para el desarrollo de la programación de la obra; sin embargo, “time is money” y generalmente, el dinero se estima como el más importante de los recursos, pero más bien esto es por que se considera el común denominador de todos los otros, que a su vez dependerán de muchos factores dentro del mercado. Al fin y al cabo el dinero y todos los otros recursos son valorizados por el programador en su potencial de trabajo, para medirse en unidades de consumo de tiempo.

Por ejemplo, hay diferentes maneras de realizar una excavación dependiendo del tipo de material a excavar, su volumen, espacio disponible, etc. Pudiendo utilizar ya sea: pico y pala, o excavadoras, pero al estudiar cada uno de estos factores, se irán eliminando las diferentes alternativas, tratando de seleccionar la más eficiente.

Evidentemente hay que tomar en cuenta que, aunque se haya encontrado la manera más adecuada para llevar a cabo los trabajos, es fundamental conocer la disponibilidad del recurso a utilizar, ya que el criterio económico nos llevara a desechar en algunas ocasiones

métodos más eficientes, sustituyéndolos por otros que pueden ser menos adecuados pero más accesibles. Por ello antes de cuantificar los tiempos, es necesario realizar un inventario de los medios que disponemos para cada actividad. También es fundamental asesorarnos de elementos técnicos que conozcan a fondo la materia que constituye la fuente de los datos que influirán en los pronósticos, esto nos llevará a tener la certeza de que la información obtenida será suficientemente amplia para establecer una estadística confiable, completa y reciente.

En algunos ocasiones no siempre se cuenta con el personal ni la maquinaria adecuada para las tareas asignadas, por lo que, es necesario traer gente especializada, comprar o rentar máquinas, según convenga, teniendo en cuenta que estas opciones ya han sido analizadas.

Es de suma importancia informarnos acerca de que los datos obtenidos sean aplicables al lugar, clima, época del año u otros factores regionales que cambiarían nuestro pronóstico. Y asegurarnos de que los datos más recientes de tiempos y de costos de proyectos, de obras, trabajos, procesos o actividades sean del mismo género del que tratamos de pronosticar.

De lo completo del acervo de esta información, dependerá en gran parte el éxito o el fracaso de nuestra obra, ya sea con respecto al tiempo involucrado, o a la inversión presupuestada.

### **III.3. Asignación de recursos a las actividades de la red.**

La duración de una actividad depende del método que se va a usar para realizarla, así como también de la cantidad de trabajo que implica. Una vez que el personal está de acuerdo en el método que se usará, se puede establecer que recursos se necesitarán para las actividades. Mediante sugerencias entre el personal de oficina y el de campo se podrán considerar varias posibilidades.

De estas sugerencias, se tienen que tener en cuenta dos conceptos. El primero es que hay una relación entre los recursos que se aplicarán en la actividad y el costo. El segundo es que también hay una relación entre la cantidad total de recursos aplicados y el tiempo que durará la actividad.

Si se trata del recurso mano de obra, se puede considerar de acuerdo al tamaño de la cuadrilla, este recurso puede aumentar de costo debido al incremento de los costos de supervisión. Cuando es una medida del equipo, el aumento se deriva de los costos mayores de adquisición y operación requeridos por las unidades agregadas. Y cuando el recurso es el material, el aumento se puede atribuir al aumento en los costos de manejo, debido a que las cantidades de material son mayores.

Una vez que se han analizado los recursos más adecuados para realizar los trabajos, tomando en cuenta los recursos disponibles y las alternativas de recursos que se pueden adquirir, es necesario integrarlos a cada una de las actividades a realizar y con ello obtener la duración del proyecto.

$$\text{Tiempo de ejecución} = \frac{\text{Cantidad de obra}}{\text{Producción}}$$

$$\text{Producción} = \text{Rendimiento unitario} * \text{No. de recursos.}$$

Por ejemplo: considerando una actividad A (construcción de 600 m<sup>2</sup> de muro de tabique rojo recocido de 14 cm. de espesor, rendimiento de la cuadrilla de 8 m<sup>2</sup>/Día, tomando en cuenta que se cuenta con 8 cuadrillas).

Tenemos que:

$$\text{Cantidad de obra} = 600 \text{ m}^2.$$

$$\text{Rendimiento unitario} = 8 \text{ m}^2/\text{Día}.$$

No. de recursos = 8.

Sustituyendo valores tenemos:

$$\text{Tiempo de ejecución} = \frac{600 \text{ m}^2}{\text{Producción}}$$

Producción.

$$\text{Producción} = 8 \text{ m}^2/\text{Día} * 8 = 64 \text{ m}^2/\text{Día}.$$

$$\text{Tiempo de ejecución} = \frac{600 \text{ m}^2}{64 \text{ m}^2/\text{Día}} = 9.375 = 10 \text{ días}.$$

Por otro lado si es necesario excavar un volumen total de 10000 m<sup>3</sup> y contamos para realizar el trabajo con una retroexcavadora cuyo rendimiento es de 50 m<sup>3</sup>/h, pues sencillamente dividiendo el volumen de obra entre el rendimiento de la máquina, obtenemos así la duración de la actividad.

$$d = \frac{10000 \text{ m}^3}{50 \text{ m}^3/\text{h} * 200 \text{ h/ mes}} = \frac{10000 \text{ m}^3}{10000 \text{ m}^3/\text{mes}} = 1 \text{ mes}.$$

De estos ejemplos podemos observar que se pueden manipular: la duración de la actividad o el número de recursos disponibles, para obtener resultados que convengan para la culminación de la obra, pero ello llevará a un análisis de optimización de recursos que más adelante se detallará.

### **III.4. Cálculo numérico de la red. Actividades críticas, Holguras.**

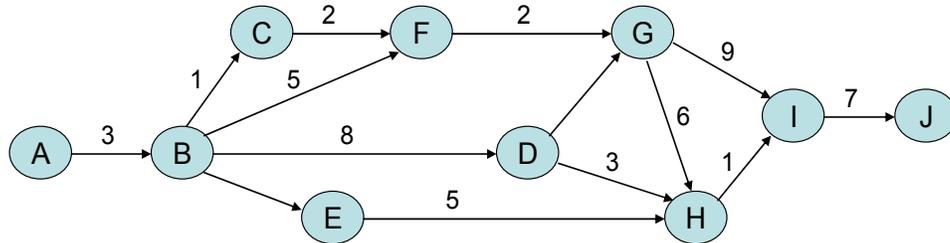
#### **Generalidades.**

El método de la ruta crítica es una técnica de planeación, programación y control de un proyecto, que representa un poderoso auxiliar para tomar decisiones, en base a la exactitud de la información obtenida mediante su aplicación.

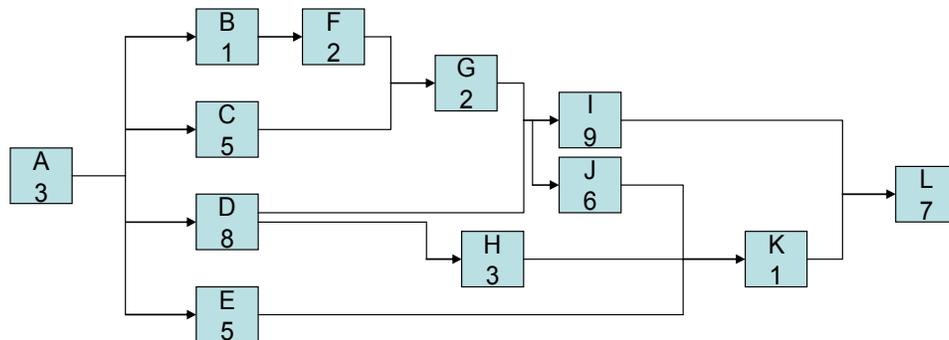
Fundamentalmente, su novedad consiste en aplicar una red de flechas o de precedencias para representar el flujo e interdependencia dentro de un proceso. Mediante esta red, puede visualizarse fácilmente toda la estructuración de los elementos del proyecto.

## RED DE FLECHAS Y DE PRECEDENCIAS

- RED DE FLECHAS



- RED DE PRECEDENCIAS



Habiéndose asignado un pronóstico de duración a cada elemento o actividad dentro del proceso, con apoyo en los recursos disponibles, se analiza el tiempo que consume cada uno de los posibles caminos hacia el objetivo final: a aquel que necesita el mayor lapso, para llegar a la meta, se le designa como ruta crítica.

La aplicación del método de la ruta crítica abarca desde el planteamiento del objetivo de un proyecto, hasta el logro total de la meta deseada.

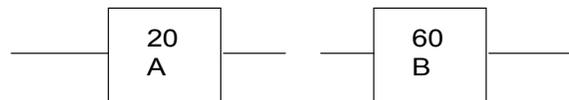
Así podemos afirmar que este método es útil en cualquier situación en la que se tenga que llevar a cabo una serie de actividades o tareas, relacionadas entre sí, para realizar lo propuesto.

Los beneficios primordiales que nos brinda este procedimiento, es que resume, en un solo documento, la imagen de interrelación de sus elementos, combinada con sus duraciones respectivas, lo cual evita omisiones en todo proyecto, identifica rápidamente contradicciones en la programación de actividades, facilita la previsión de un abastecimiento ordenado y oportuno de recursos y, en general, logra que el proyecto sea llevado a cabo, acorde con el plan dinámico que ha sido trazado.

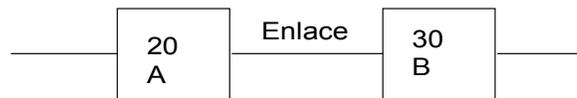
También nos ofrece determinar el tiempo estrictamente necesario para realizar un objetivo, de acuerdo con los recursos disponibles; señala con exactitud aquellos factores críticos, de los que dependen directamente los resultados; cuando es conveniente el método identifica las actividades esenciales que pueden acelerarse, sin desperdiciar recursos o tiempo en aquellas que no tienen importancia; y un control continuo del proyecto durante su lapso de ejecución.

En un diagrama de precedencias una actividad se representa mediante un nombre y un número correspondiente encerrado en algún tipo de símbolo. Las relaciones entre las actividades se señalan mediante una línea de conexión o enlace de un símbolo a otro. El conjunto total de estos símbolos y líneas integra la red.

Patrones lógicos básicos para diagramas de precedencia.

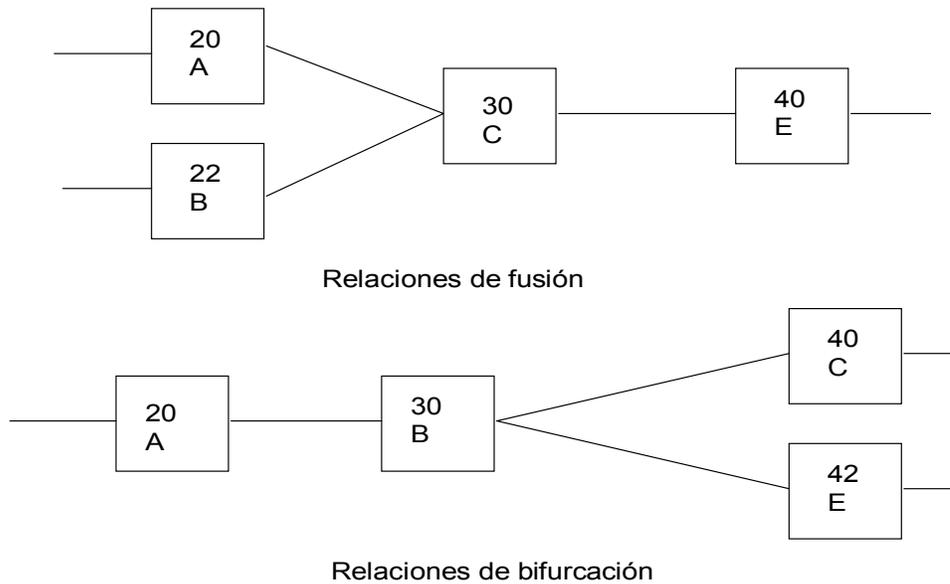


Relaciones independientes



La actividad B depende de la terminación de la actividad A

Relaciones dependientes



Existe una solución sistemática de la red, que proporcionará información sobre las fechas más cercana y más lejana en que pueda efectuarse las actividades, así como el tiempo que cada una puede ocupar. Este es el tipo de información que el planeador necesita para tomar las decisiones que influyen tanto en el proyecto como en las operaciones generales de la empresa.

Mediante los cálculos se obtienen la duración total del proyecto y las fechas de inicio y de terminación próximas de cada actividad. Se calculan dos tipos de espacios libres, u holguras y se identifican las actividades que establecieron la duración del proyecto. Por último se obtienen las fechas de inicio y terminación remotas para cada actividad.

### Las cuatro fechas de actividades.

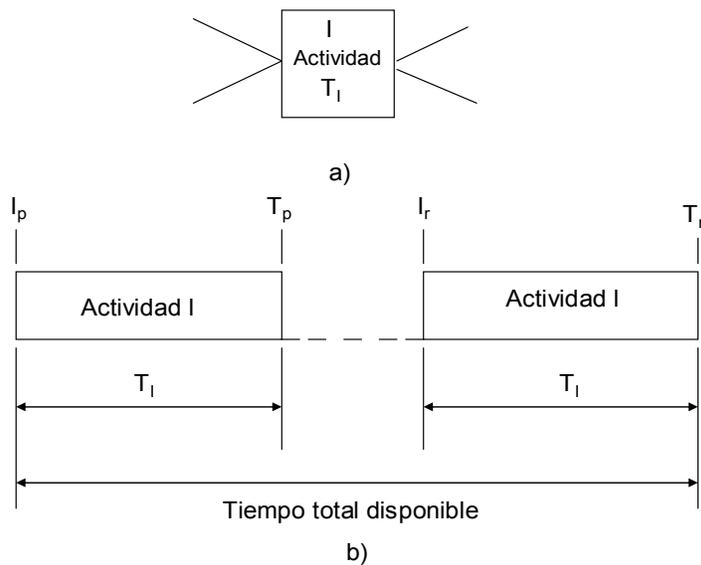
Cada actividad en la red puede tener cuatro valores en la escala de tiempo. Estos son:

- $I_p$  – Fecha de iniciación próxima
- $T_p$  – Fecha de terminación próxima.
- $I_r$  – Fecha de iniciación remota.

- $T_r$  – Fecha de terminación remota.

La fecha iniciación próxima,  $I_p$ , de una actividad es el punto más cercano en el tiempo en que puede iniciarse dicha actividad. Este valor se debe establecer por la terminación de cuando menos una de las actividades precedentes o se debe asignar si la actividad es la primera en la red. La fecha de terminación remota,  $T_r$ , para una actividad es el punto más lejano en el tiempo en que se debe terminar una actividad en caso de que no se vaya ampliar el tiempo del proyecto. Este valor está controlado por la fecha más tardía en que se puede iniciar al menos una de las actividades siguientes, con excepción de la fecha de terminación remota de la última actividad en la red, la cual se debe asignar de alguna manera.

En la siguiente figura aparece una sola actividad extraída de un diagrama de precedencias. Esta actividad se muestra en la figura a), donde el número de la actividad se identifica por la letra I, y la duración de las actividades se designa como  $T_i$ .



Los cuatro tiempos de las actividades – Anotación del diagrama de precedencias.

Por las definiciones de los tiempos para la actividad que se dieron antes, el tiempo total disponible para ejecutar la actividad I debe ser la diferencia de tiempo entre la  $T_r$  y la  $I_p$ . En la figura b) la actividad se representa como una barra con escala de tiempo en dos posibles posiciones dentro de los rangos de tiempo – uno en el lugar del tiempo más temprano y otro

en el más tardío. Note que no hay una relación de tiempo enlazado directamente entre la  $I_r$  y la  $T_p$ .

En las redes de precedencias pueden existir cuatro relaciones de dependencia entre parejas de valores de tiempo de actividad, calculados para cualquiera de dos actividades sucesivas. El inicio de una actividad se puede establecer mediante la terminación de la actividad precedente, por una relación terminación-a-inicio, o en algunos casos. Por el inicio de la actividad precedente, un enlace inicio-a-inicio. De manera semejante, se puede establecer la terminación de la actividad por el inicio de la actividad precedente, una asociación inicio-a-terminación, o por la terminación de la actividad precedente, un enlace terminación-a-terminación. La relación que se usa en este texto es la relación terminación-a-inicio.

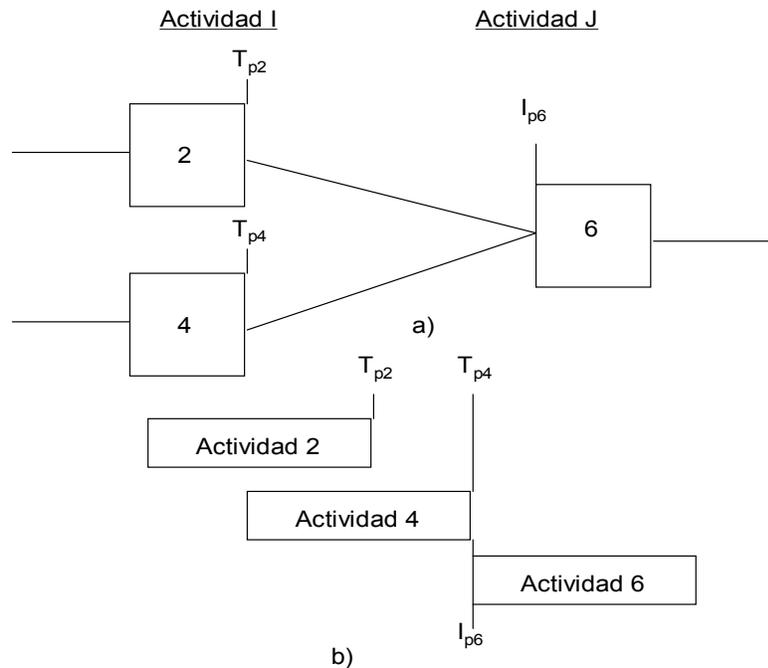
Se señalo que la actividad inicial debe tener asignado su inicio temprano. Por lo general este valor es igual a cero, pero puede ser cualquier otro tiempo que se desee en caso de que el programa se vaya a coordinar con otros proyectos de la empresa o de que los cálculos se vayan hacer con propósitos de actualización. La fecha de terminación próxima de la actividad inicial se encuentra sumando su duración a la fecha de inicio próxima. Si el subíndice 0 se usa para señalar la actividad inicial, estos valores se pueden poner en forma de ecuación de la siguiente manera:

$I_{p0}$  – asignada por el programador.

$$T_{p0} = I_{p0} + T_0 \quad (1)$$

La determinación de la fecha de inicio próxima para cada una de las otras actividades de la red, depende del punto más tardío en el tiempo en que puedan terminar las actividades precedentes. En la figura a) aparece una parte de una red que consta de tres actividades – actividades 2, 4 y 6. En la figura b) estas mismas actividades se presentan en forma de barra. Después de revisar la figura, se ve que la  $I_{p6}$  es igual al máximo de la  $T_{p2}$  y de la  $T_{p4}$ . Como se ve, la  $T_{p4}$  es más grande que la  $T_{p2}$  y la  $I_{p6}$  es igual a la  $T_{p4}$ . Esta elección del valor máximo de la  $T_p$ , como la  $I_p$  de una actividad, se debe expresar en una ecuación generalizada, como sigue:

$$I_{pj} = \text{Max}_I T_{pi} \quad (2)$$



Relaciones terminación temprana-inicio temprano.

Donde el símbolo  $\text{Max}_I$  implica que la maximización tendrá efecto en todos los enlaces  $IJ$  que terminan en la actividad  $J$ .

La fecha terminación próxima para cualquier actividad,  $I$ , se puede encontrar agregando la duración de la actividad  $T_I$ , a la  $I_{pI}$ , o sea:

$$T_{pI} = I_{pI} + T_I \quad (3)$$

También se estableció ya que a la fecha de terminación remota de la actividad final de la red se le tiene que asignar su valor. Por lo general este valor se toma como el de la  $T_p$ , pero en la práctica se puede asignar cualquiera que se le desee. La fecha de inicio remota de la última actividad se obtiene restando la duración de la actividad de la  $T_r$  asignada. Cuando el subíndice  $t$  denota la actividad final, los valores anteriores se pueden expresar como sigue:

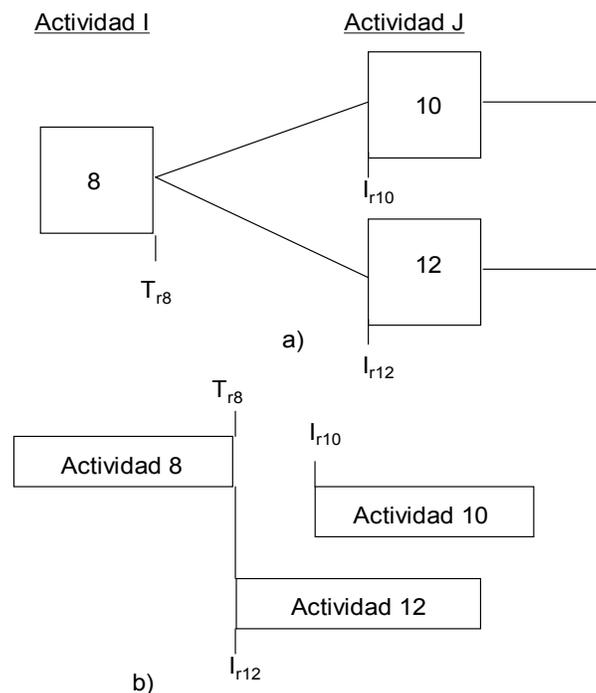
$$T_{rt} - \text{asignada, usualmente la } T_{pt}$$

$$I_{rt} = T_{rt} - T_t \quad (4)$$

La fecha de terminación remota para cada una de las otras actividades de la red depende de la fecha de inicio remota de sus actividades siguientes. En la figura a) se muestra una parte de un diagrama de precedencias que consta de las actividades 8, 10 y 12. En la figura b) aparecen estas tres actividades en forma de barras con escala de tiempo. En esta figura, quedará claro que la  $T_{r8}$  es el menor de los valores de  $I_{rI}$  para las actividades 10 y 12, y debido a que la  $I_{r12}$  es anterior en el tiempo, o menor que la  $I_{r10}$ , la  $T_{r8}$  es igual a la  $I_{r12}$ . Entonces la elección puede generalizarse en la siguiente expresión:

$$T_{rI} = \text{Min}_J I_{rJ} \quad (5)$$

Donde el símbolo  $\text{Min}_J$  implica que la minimización tendrá efecto en todos los enlaces  $IJ$  que empiezan en la actividad  $I$ .



Relaciones inicio tardío-terminación tardía.

La fecha de inicio remota para cualquier actividad,  $I$ , se toma como la diferencia entre la  $T_{ri}$  y la duración de la actividad  $T_i$ , o sea:

$$I_{rI} = I_{rI} - T_I \quad (6)$$

### Lapsos de enlace.

Un lapso de enlace se puede definir como la diferencia entre la fecha de iniciación próxima de una actividad y la fecha de terminación próxima de la actividad precedente.

En la figura se muestra este concepto para dos actividades, en las que la I y la J se refieren a los números de dos actividades sucesivas cualquiera en un diagrama de precedencias.

Lapso de enlace



$$\mathbf{LAPSO_{IJ} = I_{pj} - T_{pi}}$$

En forma de ecuación:

$$\mathbf{LAPSO_{IJ} = I_{pj} - T_{pi}} \quad (7)$$

Hay un lapso de enlace, o como se ha mencionado, un lapso, para cada enlace en la red. Como tal, el lapso se puede considerar como una propiedad del enlace y no de la actividad. El valor del lapso nunca puede ser menor que cero, porque según el supuesto de terminación-a-inicio, la  $I_{pJ}$  nunca puede ser menor que la  $T_{pI}$ .

Los valores de estos lapsos son los básicos que se deben calcular y usar para la determinación de las holguras.

### **Holgura libre.**

Holgura libre es la cantidad de tiempo que se puede demorar la terminación de una actividad, sin demorar la terminación de proyecto ni el inicio de alguna actividad siguiente.

Para cualquier actividad, I, que está enlazada a actividades subsecuentes, J, la expresión de la holgura libre,  $HL_i$ , se puede plantear así:

$$HL_I = \text{Min}_J I_{pJ} - T_{pI}$$

Donde el símbolo  $\text{Min}_J$  significa que la minimización tendrá efecto en todos los enlaces IJ que se inician con la actividad I. Para cualquier actividad I, en un programa de inicio temprano, la  $T_{pI}$  es una constante. Este valor se puede incluir en la minimización de la siguiente manera:

$$HL_I = \text{Min}_J (I_{pJ} - T_{pI})$$

Sustituyendo la ecuación anterior de  $HL_I$  por el término entre paréntesis, se tiene que:

$$HL_I = \text{Min}_J \text{LAPSO}_{IJ} \quad (8)$$

Para todos los enlaces IJ que siguen directamente a la actividad I. La ecuación anterior no se puede aplicar a la actividad final puesto que no hay enlaces que la sigan; por tanto, la holgura libre para esta actividad se debe tratar como un caso especial.

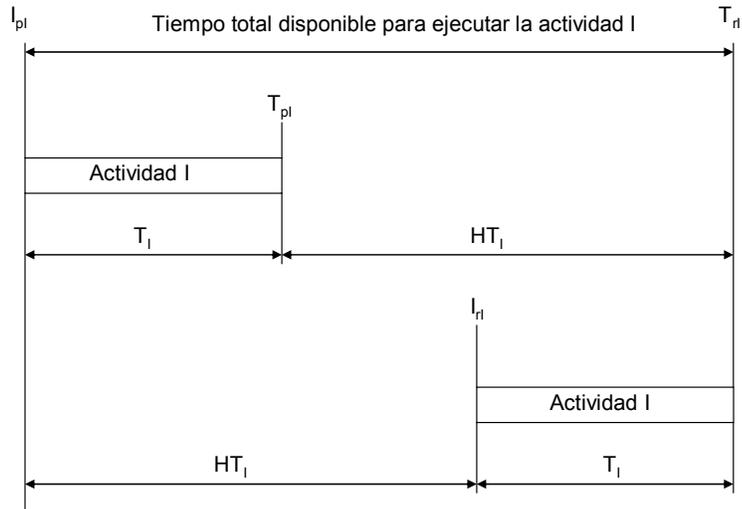
Por lo general, el valor de la  $T_{rt}$  se considera igual al de la  $T_{pt}$  y el tiempo de la holgura libre de la actividad final,  $HL_t$ , será igual a cero. Al igual que en el caso del lapso, la holgura libre nunca puede ser menor que cero en redes de terminación-a-inicio.

### **Holgura total.**

La holgura total se puede definir como la cantidad de tiempo que se puede demorar la terminación de una actividad, sin demorar la terminación del proyecto.

En la siguiente figura la actividad I aparece en la posición de inicio próximo y se puede ver que cuando la duración de la actividad,  $T_I$ , se toma del tiempo total disponible, el tiempo sobrante es la holgura total,  $HT_I$ . También se puede terminar en cualquier punto entre la  $T_{pI}$  y la  $T_{rI}$ . Por lo tanto, la siguiente ecuación se puede plantear así:

$$HT_I = T_{rI} - T_{pI} \quad (9)$$



#### Relaciones de holgura total.

En la figura también, la actividad I, aparece en la posición de terminación remota. De nuevo, la duración de la actividad, T<sub>I</sub>, se puede restar del tiempo total disponible y, como antes, el resto es el tiempo de la holgura total. En este caso, la expresión para la holgura total se puede plantear de la siguiente manera:

$$HT_I = I_{rJ} - I_{pl} \quad (10)$$

Haciendo las sustituciones correspondientes con las ecuaciones vistas anteriormente, finalmente tenemos:

$$HT_I = \text{Min}_J (\text{LAPSO}_{IJ} + HT_J) \quad (11)$$

Para todos los enlaces IJ que siguen directamente a la actividad I. Note que la minimización tendrá efectos sobre la suma del lapso y de la holgura total de la actividad J, y no solo sobre el lapso IJ.

Por lo común, la  $T_{rt}$  se toma igual a la  $T_{pt}$ , y la holgura total resultante será igual a cero. En esta condición, si la  $HT_1$  calculada mediante la ecuación anterior es igual a cero, cualquier retardo en la terminación de la actividad  $I$ , iniciada en su tiempo más temprano, hará que se atrase la fecha de terminación del proyecto. Por tanto, cuando la holgura total de la última actividad es igual a cero, se dice que todas las demás actividades con holgura total igual a cero son actividades críticas.

Si la holgura total de la actividad final no es igual a cero, todas las actividades de la red que tienen valores de holgura total iguales al de la actividad final, son actividades críticas.

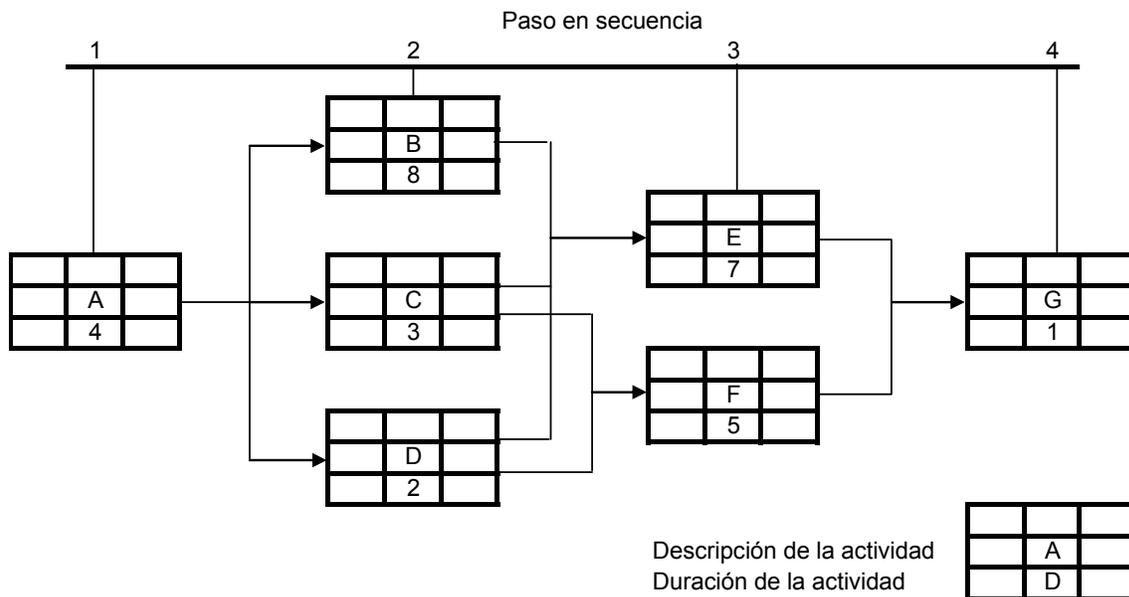
La cadena, o cadenas, de actividades críticas que empiezan con la actividad inicial y terminan con la actividad final, se llaman ruta crítica. Esta ruta establece la duración del proyecto.

### **Cálculos sobre el diagrama.**

La solución de redes de precedencias se puede lograr haciendo los cálculos directamente sobre el diagrama de la red. Este es un excelente procedimiento cuando el planeador desea encontrar los valores de la duración del proyecto y las holguras de la actividad, pero no desea utilizar la computadora.

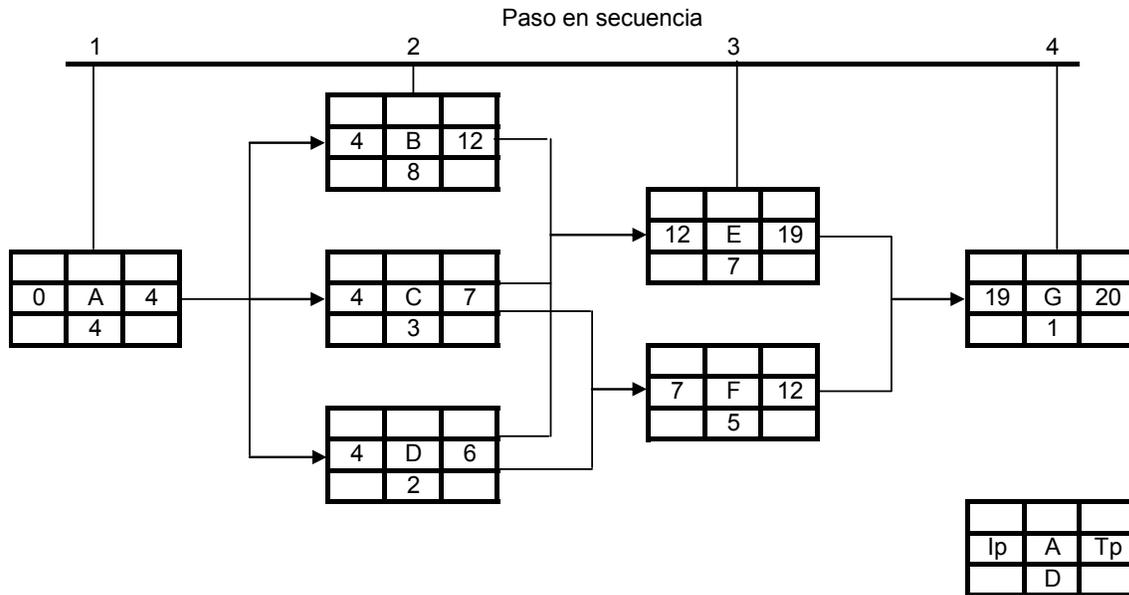
El método comienza con la elaboración de la red de precedencias. En la siguiente figura se expone una red que servirá de ejemplo:

| Actividad | Depende de | Duración |
|-----------|------------|----------|
| A         | -          | 4        |
| B         | A          | 8        |
| C         | A          | 3        |
| D         | A          | 2        |
| E         | B, C, D    | 7        |
| F         | C, D       | 5        |
| G         | E, F       | 1        |



El primer paso es el cálculo de las fechas de inicio y terminación próximas. Esto se hace buscando la ruta más larga a través de la red, a partir del nodo inicial hasta el nodo final, con la condición de que cada actividad se inicia en el tiempo más temprano posible.

En la siguiente figura aparecen los cálculos para las fechas próximas:



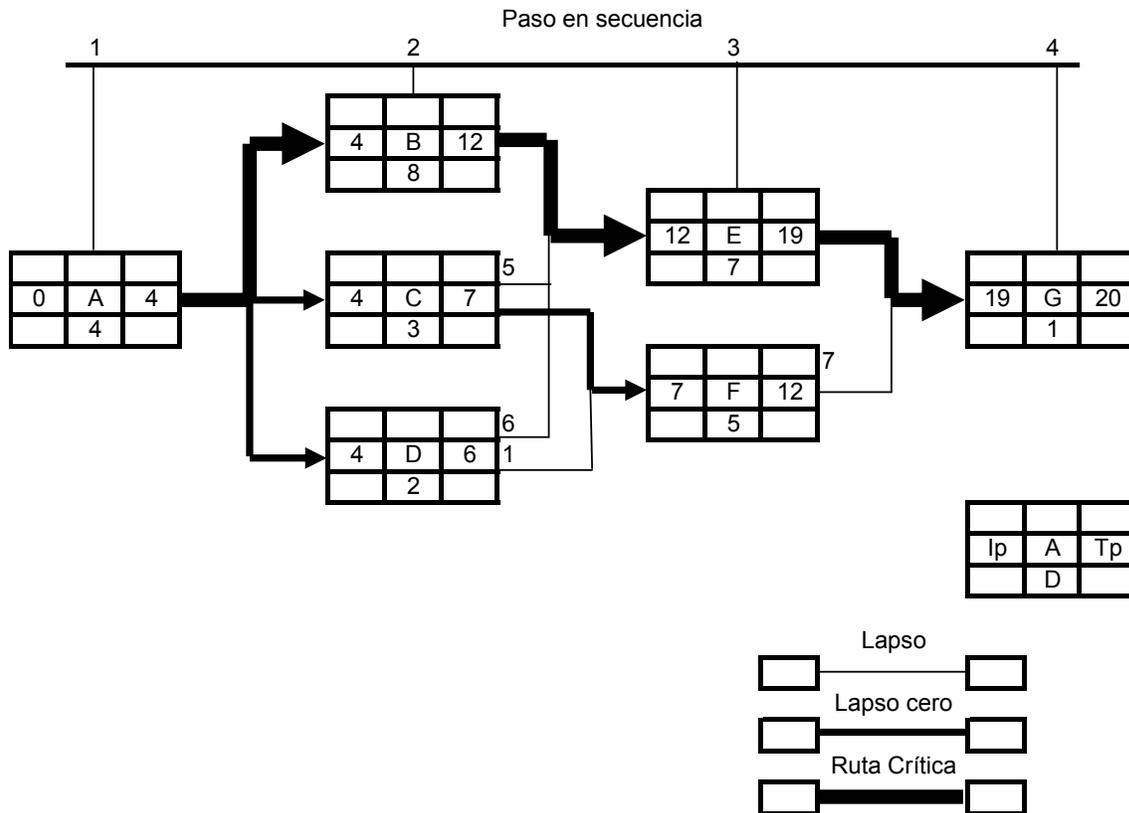
Al hacer los cálculos, la primera decisión es la que se refiere al tiempo inicial, o “tiempo cero”. En este ejemplo se ha elegido como el valor más común y se ha registrado el cero para la  $I_p$  de la primera actividad. Se ha aplicado la ecuación (1) y se ha sumado la duración de la actividad A a la  $I_{pA}$ , para obtener una  $T_{pA}$  de cuatro unidades de tiempo. La  $I_p$  de cada una de las siguientes actividades – B, C y D – es la  $T_p$  de la actividad A, o sea 4. De nuevo se suman las duraciones de las actividades para obtener las  $T_p$  representativas. Se observa que esos valores se han obtenido mediante la aplicación de las ecuaciones (2) y (3). Por supuesto, la maximización en la ecuación (2) no fue activa, porque no había más que una relación a considerar en cada caso.

Cuando se aplicó la ecuación (2) para determinar la  $I_p$  de la actividad E, se encontró que el valor era de 12 unidades de tiempo y que fue elegido del máximo de las tres  $T_p$  precedente, 6, 7 y 12. De manera semejante se encontró que la  $I_p$  de la actividad F era de 7 unidades de tiempo.

Los cálculos continúan actividad tras actividad a lo largo de la red, y cuando se llega a la actividad final, su  $T_p$  marca la duración del proyecto. En este proyecto, es de 20 unidades de tiempo.

El segundo paso importante es el cálculo de los lapsos de enlace. Esto se puede hacer fácilmente analizando los valores de la  $I_p$  y la  $T_p$  al final de cada enlace. En la ecuación (7)

se establece que la diferencia en estos valores es el lapso para ese enlace, en la siguiente figura se observan estos valores.

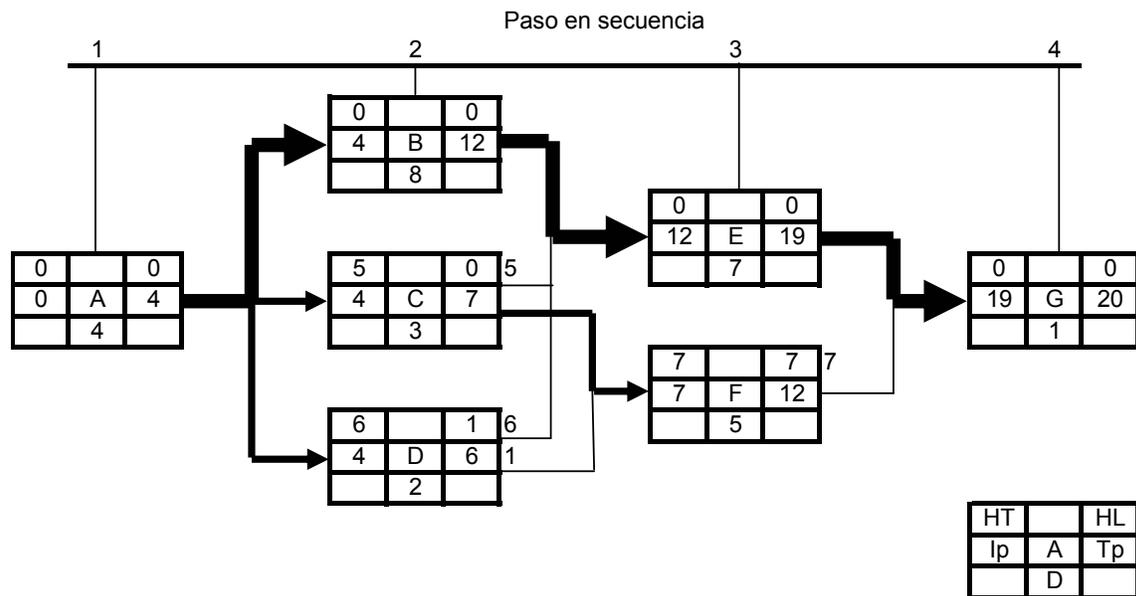


La ruta más larga a través de la red debe ser la ruta, o rutas, que tienen enlaces con valor de cero llegando al nodo final. Entonces, la ruta crítica se puede determinar fácilmente trazando retrospectivamente los enlaces con valor de cero a partir del nodo final hacia el nodo inicial. Esto se muestra en la figura, y se representa como una línea más gruesa.

El tercer paso es encontrar los valores de las holguras a partir de los lapsos. Estos valores representan la libertad que tiene cada actividad para la operación del proyecto.

El primer valor que se debe encontrar es el de la holgura libre. En la ecuación (8) se establece que éste es el valor mínimo de los lapsos en los enlaces que salen de la actividad, excepto la de la actividad final. En este caso no hay enlace siguiente y la holgura libre se toma de la diferencia entre la  $T_p$  de la actividad final y algún valor asignado para su fecha de terminación remota,  $T_r$ . En la mayoría de los casos, este valor de terminación remota es el mismo que el de la terminación próxima y la holgura libre es igual a cero.

Los valores de holgura total para cada actividad se calculan empezando en el nodo terminal y retrocediendo a través de la red hasta llegar al nodo inicial. La holgura total del nodo final se ha asignado igual que el de la holgura libre, la próxima actividad a considerar es la F. En la ecuación (11) se indica que esta holgura total se puede calcular tomando el lapso para el enlace F-G y sumando el valor a la holgura total en el extremo J del enlace. Así, la holgura total para la actividad F es igual a 7 unidades de tiempo.



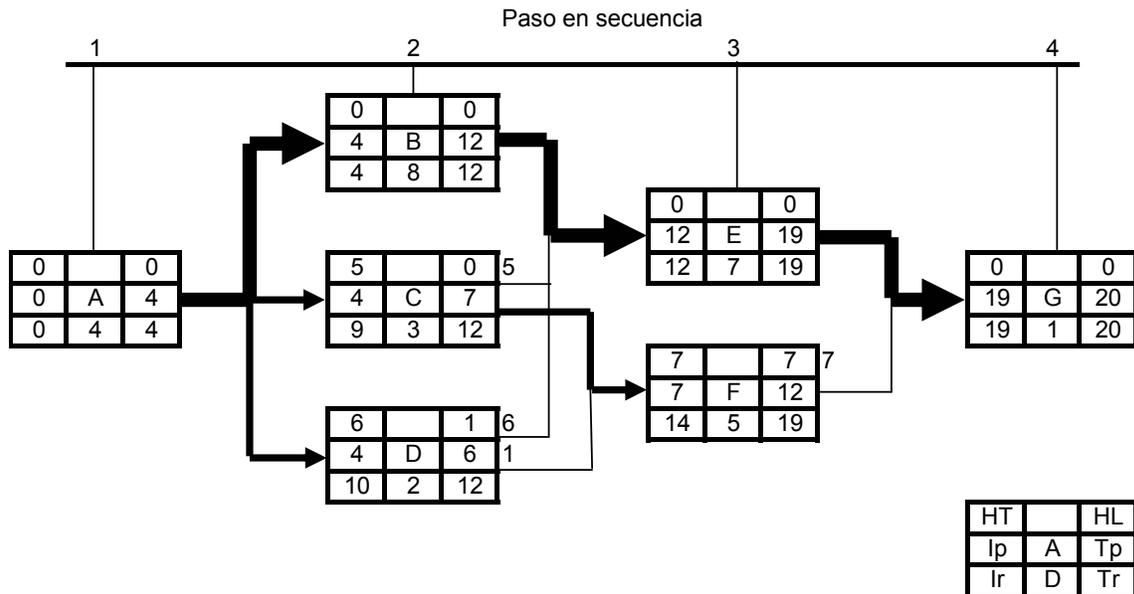
El último paso consiste en determinar las fechas remotas de inicio y terminación para cada actividad. Reordenando la ecuación (9) se obtiene:

$$T_{ri} = T_{pi} + HT_i$$

Y un reordenamiento similar de la ecuación (10), da:

$$I_{ri} = I_{pi} + HT_i$$

Estas dos ecuaciones modificadas se usan para calcular las fechas remotas de inicio y terminación y los valores aparecen en la siguiente figura:



### III.5. Programa de barras: Programa general de la obra. Programa de suministros.

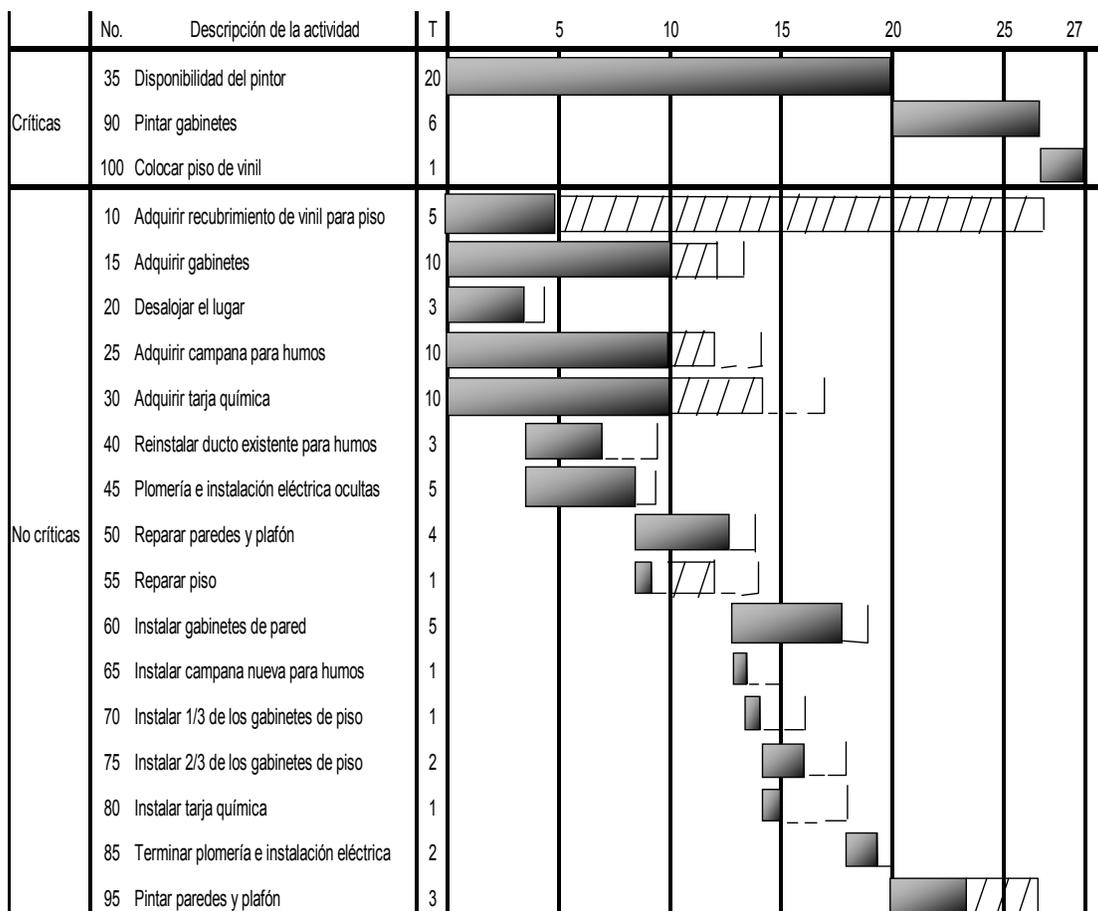
Se ha visto que un proyecto se puede planear y analizar, las fechas de inicio y terminación y las holguras de las actividades que se calcularon, se deben presentar al usuario antes de que la técnica constituya el instrumento práctico para la ejecución y el control de la obra.

El usuario desempeña un papel muy importante en la determinación de la manera en que se presentarán estos resultados. Aunque aquellos a los que va dirigido el programa establecen el nivel al que se exponen los resultados, hay cierto número de técnicas y formatos para su presentación, que pueden tener diversas ventajas.

El diagrama de barras.

Probablemente el tipo de presentación basado en diagrama de barras es el que tiene más valores universales de comunicación para transmitir los resultados. Un diagrama de barras detallado actividad-tras-actividad sirve muy bien como agente transmisor; proporciona además una base para la preparación y análisis de los recursos humanos, equipos y programas financieros.

En la siguiente figura se muestra un programa general de una obra, representado en barras:



Nótese que las actividades que forman la ruta crítica aparecen en la parte superior del diagrama y las actividades que tienen holguras, incluyendo las ficticias, aparecen abajo.

En la figura las actividades se muestran en barras sombreadas que se inician en su fecha temprana de inicio y terminan en su fecha temprana de terminación. Para cada actividad no crítica se traza una línea discontinua a partir de su fecha temprana de terminación, hasta su fecha tardía de terminación, y representa la holgura total de la actividad. La holgura libre se indica con la línea discontinua doble, en el nivel adecuado, y la holgura independiente se representa por las barras cruzadas de la holgura libre. La línea discontinua entre la holgura total y la fecha tardía de terminación, indica la holgura interferente de la actividad.

### **Programa de suministros.**

La selección de materiales es preparada con anticipación a partir de planos y especificaciones, se puede resumir con el objetivo de determinar la cantidad y tipo de material que se necesitaran para ejecutar el trabajo. La disponibilidad y el tiempo probable de entrega de estos materiales se deben determinar con base en la experiencia previa o en la información de los proveedores. En muchos casos, es necesario esperar algunos meses para obtener el material. Por ejemplo, las piezas de acero pueden depender del próximo laminado disponible del fabricante, o un tipo especial de ladrillo vidriado puede depender de la próxima horneada de la fábrica de ladrillos.

El equipo que se requiere para realizar el proyecto de construcción depende, por supuesto, del tipo de material que se vaya a usar y del procedimiento constructivo que se haya previsto. Una vez seleccionado el posible tipo de equipo, se deben confirmar la disponibilidad y la promesa de entrega de éste. En la construcción de autopistas y en construcción pesada, esta consideración es muy importante para establecer el tiempo para la terminación de la obra. Si en la flotilla de la empresa no están disponibles las excavadoras y los bulldozers, la renta o la adquisición de éstas pueden tomar demasiado tiempo; y si se necesita fabricar cierto equipo especial, se pueden prever esperas aún más largas.

En la mayoría de los proyectos se necesita emplear diversos tipos de recursos humanos. Es necesario comprender claramente la necesidad de trabajo del planeador, a fin de determinar el tiempo de ejecución de varias actividades que se tienen que emprender durante el proceso de construcción. Se puede necesitar personal especializado, lo que puede implicar la necesidad de entrenarlo o de traerlo desde lugares lejanos, o bien ambas cosas.

Por todas estas razones es fundamental realizar un programa de suministros que nos permitirá llevar un control de los recursos necesarios para llevar el buen tiempo la culminación de la obra.

De los suministros de materiales es fundamental la adquisición y la utilización de estos, tomando en cuenta un correcto manejo de almacén, lo que nos llevará a tener los recursos “just in time”.

Supongamos que se tiene el siguiente programa general calendarizado para la ejecución de trabajos de mantenimiento en varios almacenes:

| Descripción                                  | Unidad | Sep-05 | Oct-05   | Nov-05 | Total  |
|--|--------|--------|----------|--------|--------|
| <b>SAN FELIPE DEL PROGRESO</b>               |        |        |          |        |        |
| Suministro y colocación de inodoro blanco    | MUE    |        | 10.0000  |        | 10.00  |
| Suministro y colocación de inodoro color     | MUE    |        | 10.0000  |        | 10.00  |
| Suministro y colocación de lavabo blanco     | MUE    |        | 10.0000  |        | 10.00  |
| Suministro y colocación de lavabo color      | MUE    |        | 10.0000  |        | 10.00  |
| Suministro y colocación de regadera          | MUE    |        | 10.0000  |        | 10.00  |
| Suministro y colocación de loseta de 30x30   | M2     |        | 3.5000   |        | 3.50   |
| Suministro y colocación de calentador de gas | PZA    |        | 2.0000   |        | 2.00   |
| Suministro y colocación de lámina traslúcida | M2     |        | 15.0000  |        | 15.00  |
| Suministro y aplicación de impermeabilizante | ML     |        | 200.0000 |        | 200.00 |
| <b>JILOTEPEC</b>                             |        |        |          |        |        |
| Suministro y colocación de inodoro blanco    | MUE    |        | 10.0000  |        | 10.00  |
| Suministro y colocación de inodoro color     | MUE    |        | 10.0000  |        | 10.00  |
| Suministro y colocación de lavabo blanco     | MUE    |        | 10.0000  |        | 10.00  |
| Suministro y colocación de lavabo color      | MUE    |        | 10.0000  |        | 10.00  |
| Suministro y colocación de regadera          | MUE    |        | 10.0000  |        | 10.00  |
| Suministro y colocación de loseta de 30x30   | M2     |        | 3.5000   |        | 3.50   |
| Suministro y colocación de calentador de gas | PZA    |        | 2.0000   |        | 2.00   |
| Suministro y colocación de lámina traslúcida | M2     |        | 15.0000  |        | 15.00  |
| Suministro y aplicación de impermeabilizante | ML     |        | 200.0000 |        | 200.00 |

| <b>TEMASCALTEPEC</b>                            |     |          |        |
|---|-----|----------|--------|
| Suministro y colocación de lámina traslúcida    | M2  | 60.0000  | 60.00  |
| Suministro y aplicación de impermeabilizante    | ML  | 120.0000 | 120.00 |
| <b>VILLA VICTORIA</b>                           |     |          |        |
| Suministro y aplicación de impermeabilizante    | ML  | 200.0000 | 200.00 |
| Suministro y aplicación de lámina zintro        | M2  | 30.0000  | 30.00  |
| Suministro y colocación de tinaco de 450        | PZA | 1.0000   | 1.00   |
| <b>ALMOLOYA DE ALQUISIRAS</b>                   |     |          |        |
| Suministro y colocación de lámina traslúcida    | M2  | 3.0000   | 3.00   |
| Suministro y montaje de extractor gravitacional | PZA | 3.0000   | 3.00   |
| Suministro y colocación de tinaco de 450        | PZA | 2.0000   | 2.00   |
| <b>AMATEPEC SALITRE DE PALMERILLOS</b>          |     |          |        |
| Suministro y colocación de lámina traslúcida    | M2  | 60.0000  | 60.00  |
| Suministro y montaje de extractor gravitacional | PZA | 2.0000   | 2.00   |
| <b>ZUMPANGO</b>                                 |     |          |        |
| Suministro y colocación de lámina zintro        | M2  | 80.0000  | 80.00  |

Del programa podemos observar que se necesitan diversos materiales para poder ejecutar los trabajos, por ello es necesario hacer un programa también calendarizado de la adquisición de los materiales:

| Descripción                           | Unidad | Sep-05 | Oct-05 | Nov-05 | Total  |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ACRITON BLANCO                        | LITRO  | 0      | 300    | 0      | 300    |
| ASIENTO CON TAPA                      | PZA    | 0      | 40     | 0      | 40     |
| CALENTADOR CALOREX 40 LITROS          | PZA    | 0      | 4      | 0      | 4      |
| CEMENTO BLANCO                        | KG     | 0      | 55.519 | 0      | 55.519 |
| CEMENTO CREST                         | KG     | 0      | 350    | 0      | 350    |
| CEMENTO GRIS                          | KG     | 0      | 0      | 55.519 | 55.519 |
| CESPOL DE LATON CROMADO               | PZA    | 0      | 4      | 0      | 4      |
| EXTRACTOR GRAVITACIONAL SIN BASE 30"  | PZA    | 0      | 0      | 5      | 5      |
| FESTALUM                              | LITRO  | 0      | 12     | 5      | 17     |
| GRAVA                                 | M3     | 0      | 0      | 800.85 | 800.85 |
| AGUA                                  | M3     | 0      | 1.06   | 25.65  | 26.71  |
| LOSETA 30X30 EFISTO OLIVO             | M2     | 0      | 7.21   | 0      | 7.21   |
| LAMINA TRASLUCIDA R-101               | M2     | 0      | 99     | 69.3   | 168.3  |
| LAVABO VERACRUZ BLANCO IDEAL ESTANDAR | PZA    | 0      | 20     | 0      | 20     |
| LAVABO VERDE IDEAL ESTÁNDAR VERACRUZ  | PZA    | 0      | 20     | 0      | 20     |
| LAMINA ZINTRO CAL 24 R-72             | M2     | 0      | 33     | 88     | 121    |
| REGADERA MERCURIO CROMADA C/BRAZO Y   | PZA    | 0      | 20     | 0      | 20     |
| TINACO ROTOPLAS 450 LITROS            | PZA    | 0      | 1      | 2      | 3      |
| INODORO BLANCO IDEAL ESTANDAR         | PZA    | 0      | 20     | 0      | 20     |
| INODORO VERDE IDEAL ESTANDAR          | PZA    | 0      | 20     | 0      | 20     |

En este programa de suministros se observan todos los materiales necesarios para realizar las tareas del programa de obra, en el tiempo necesario para no generar demoras. Este mismo procedimiento puede ser generado para obtener un programa de suministros de mano de obra o de equipo, siguiendo los mismos conceptos básicos.

## IV. OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS.

### IV.1. Optimización de recursos.

Cuando se ha logrado crear un programa de barras, en el que se han optimizado los tiempos de ejecución y se han respetado aquellas restricciones involucradas en el proceso constructivo, de recursos disponibles, etc., pero seguramente no ha sido posible tomar en cuenta todos los factores que intervienen en el proceso.

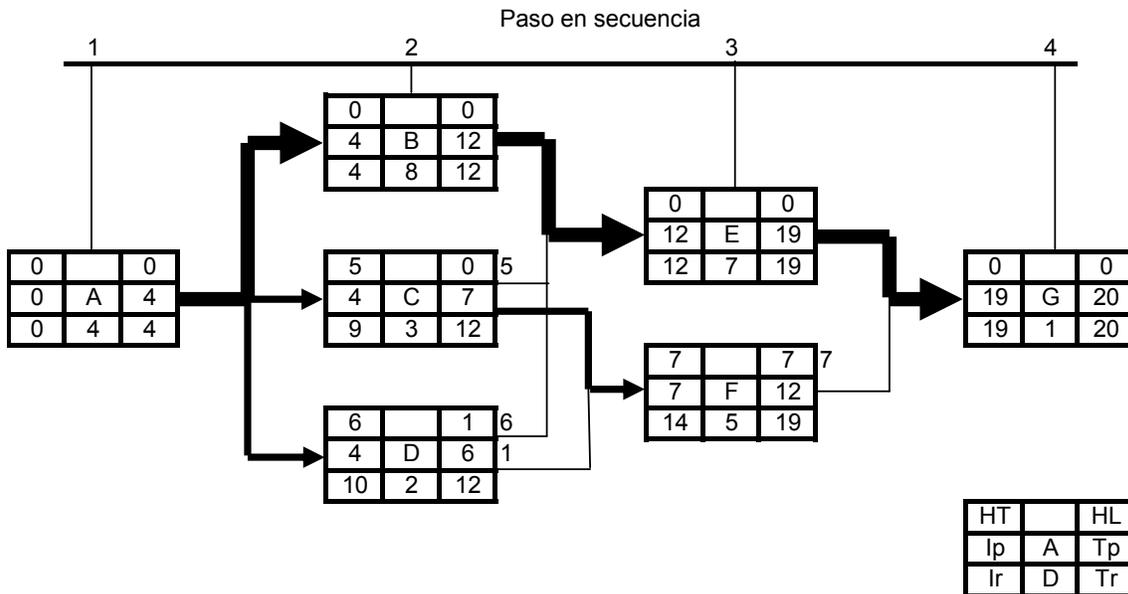
Las barras representan a escala la duración de cada actividad, pero también puede representar a cada uno de los recursos. Pueden expresarse en términos de dinero, de obreros (en cada una de sus actividades), de diversos tipos de máquinas, etc.

Si en cada espacio de tiempo anotamos el recurso que queremos analizar, podrán totalizarse sumando todo lo que requiere cada actividad que se ejecute en forma simultánea en el mismo período de tiempo y si su distribución a lo largo de la ejecución no es satisfactoria haremos los corrimientos o alargamientos de las actividades que lo permitan hasta obtener la mejor distribución, evitando picos en las necesidades o logrando hacer el mismo trabajo con un menor número de máquinas, mejor utilizadas, evitando así entradas a ellas a la obra por períodos cortos de tiempo.

No siempre se logran evitar algunas variaciones en la distribución de los recursos, quedando esta posibilidad limitada por la estructuración de las holguras.

Para comprender mejor estos criterios se presenta el siguiente ejemplo:

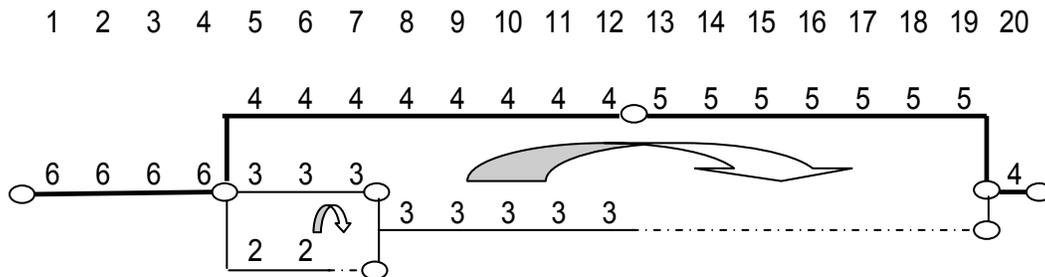
| Actividad | Duración | Recursos |
|-----------|----------|----------|
| A         | 4        | 6        |
| B         | 8        | 4        |
| C         | 3        | 3        |
| D         | 2        | 2        |
| E         | 7        | 5        |
| F         | 5        | 3        |
| G         | 1        | 4        |



Una presentación útil para el balanceo de recursos es el diagrama de proyecto: consiste en dibujar la red a escala, primero usando solo las holguras libres.

Dibuje la Ruta crítica, después a línea llena la duración y la holgura libre con una línea discontinua, anote en cada espacio el recurso analizado y obtenga los totales en cada período.

Figura 1



| $\Sigma$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1a.      | 6 | 6 | 6 | 6 | 9 | 9 | 7 | 7 | 7 | 7  | 7  | 7  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 4  |
| 2a.      | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 9 | 9 | 7 | 7 | 7  | 7  | 7  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 4  |

Si su distribución no se satisface, haga uso de las holguras libres e intente una distribución más equilibrada.

Figura 1a. distribución

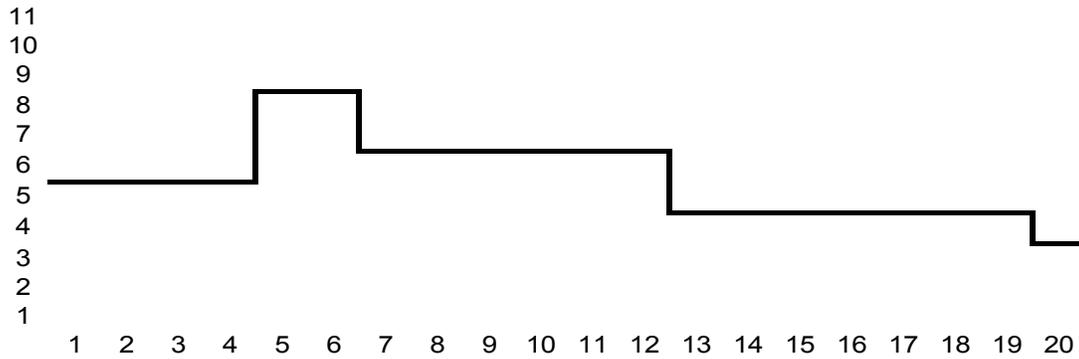
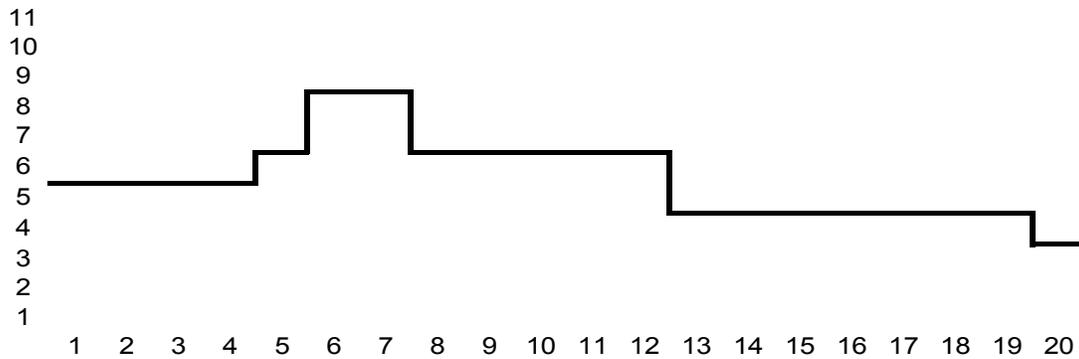


Figura 2a. distribución



En estas distribuciones, se ve que la 2ª. distribución esta más balanceada (en esa distribución se utilizaron las holguras libres de la actividad D), en comparación con la 1ª. distribución en donde no se utilizaron holguras libres.

Por lo tanto, es más recomendable realizar el programa de obra de la 2ª. distribución y por ende hacer uso de las holguras disponibles.

## IV.2. Velocidad económica de ejecución. Compresión de redes.

La compresión de redes es el proceso de acortar el tiempo de duración de un proyecto, determinado por el método de la ruta crítica.

Como ya se ha mencionado, el costo directo se forma de la suma de los costos de materiales, mano de obra y de maquinaria y el costo indirecto es una función directa del tiempo de duración del proyecto.

Cuando la duración de un proyecto se acorta, el costo aumenta, si la parte del costo asociada a los recursos aumenta más que lo que se disminuye la asociada con el tiempo. Si la duración del proyecto aumenta, también puede ocurrir que el costo aumente, si la parte del costo asociada con el tiempo crece más que lo que se disminuye la parte asociada a los recursos. También, cuando el control del proyecto es deficiente puede aumentarse los costos considerablemente por efecto de recursos que no se utilicen adecuadamente.

Ahora bien, si una actividad se realiza en un tiempo normal, se dice que dicha actividad tuvo una duración normal. En cambio cuando la duración de una actividad se acorta hasta su duración límite, se dice que esa actividad tiene una duración de premura. Esta duración de premura se obtiene de igual manera que la duración normal, o sea, volumen/rendimiento, pero con la utilización de un mayor número de recursos, que aunque aumentan la producción, el rendimiento de cada máquina o el del personal disminuye, por lo que aumenta el costo.

Una vez que son conocidas las duraciones y costos normales y de premura, el costo para reducir una actividad por unidad de tiempo, se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{Costo por unidad de tiempo acortada} = \frac{\text{Costo de premura} - \text{Costo normal}}{\text{Duración normal} - \text{Duración de premura}}$$

## **Procedimiento para la compresión.**

Las compresiones se hacen directamente sobre el diagrama, y si queremos acortar nuestro proyecto en un día o más, lo haremos en la ruta crítica y dentro de ésta se escogerá la actividad de menor costo por día acortado. Esta consideración de reducir actividades de la ruta crítica se debe a que no tienen holgura y cualquier reducción de tiempo en alguna de estas actividades se refleja en la duración total del proyecto.

Hay que tener cuidado de que al comprimir una actividad no vaya a desaparecer la ruta crítica original. En el proceso de compresión pueden producirse varias rutas críticas.

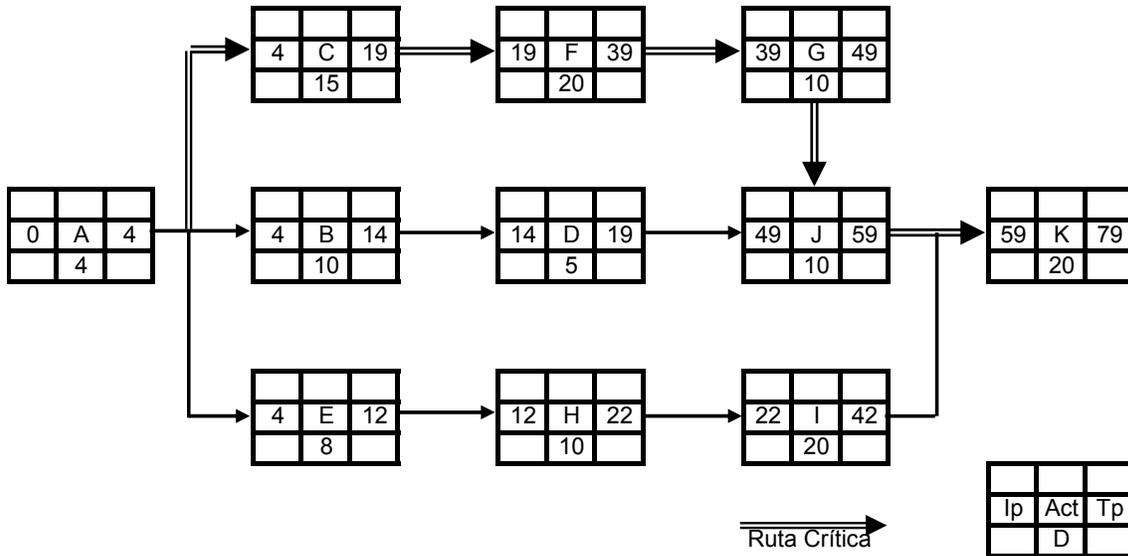
Si se quiere acortar más tiempo el proyecto y ya se tiene la ruta crítica original y otra más formada por la última compresión, la siguiente reducción deberá hacerse simultáneamente y por el mismo número de días en actividades de ambas rutas críticas.

Una actividad no se puede acortar más allá de su duración límite o de premura.

Al comprimir una actividad, el nuevo costo del proyecto se determina:

$$\text{Costo } n = \text{Costo } n-1 + (\text{costo/día } n) (\text{No. Días acortados})$$

Para explicar este método, se presenta el siguiente ejemplo: suponga que tenemos un proyecto representado por el siguiente diagrama:



Para el cual han sido calculados los siguientes datos:

| Actividad | D normal | D premura | C normal | C premura | Pesos/día |
|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| A         | 4        | 2         | 100      | 400       | 150       |
| B         | 10       | 5         | 20       | 100       | 16        |
| C         | 15       | 10        | 50       | 150       | 20        |
| D         | 5        | 3         | 15       | 105       | 45        |
| E         | 8        | 5         | 20       | 80        | 20        |
| F         | 20       | 10        | 30       | 150       | 12        |
| G         | 10       | 5         | 10       | 30        | 4         |
| H         | 10       | 5         | 5        | 20        | 3         |
| I         | 20       | 10        | 200      | 500       | 30        |
| J         | 10       | 5         | 300      | 700       | 80        |
| K         | 20       | 10        | 100      | 300       | 20        |
| SUMAS     |          |           | 850      | 2535      |           |

En donde se observa que el costo para terminar la obra en condiciones normales de 79 días:

$$C_n = \$ 850.00$$

La suma de los costos de premura de todas las actividades constituye el costo de ruptura:

$$C_r = \$ 2535.00$$

Ahora, si se necesita acortar el proyecto en 30 días, por lo tanto se escogerán una de las actividades críticas que salga más bajo su costo por acortar un día, por ejemplo la actividad G.

Si acortamos la actividad G en un día nuestro costo aumentaría:

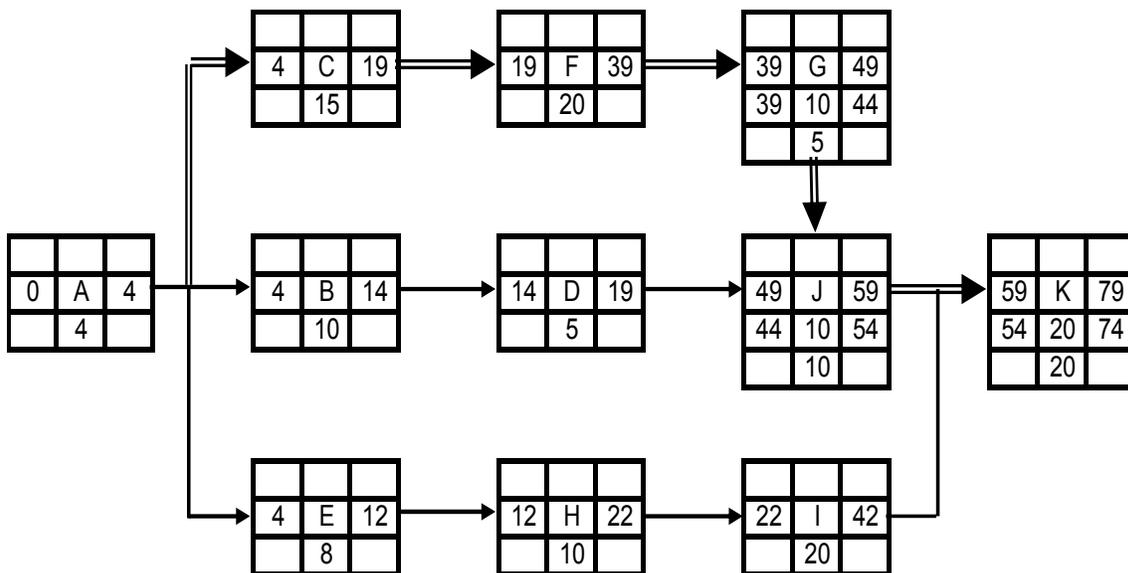
$$C = 850.00 + 4.00 \times 1 = \$ 854.00$$

**1ª. Compresión.** Si la actividad G la acortamos a su límite, o sea, cinco días:

$$\text{Costo del proyecto} = 850.00 + 4.00 \times 5 = \$ 870.00$$

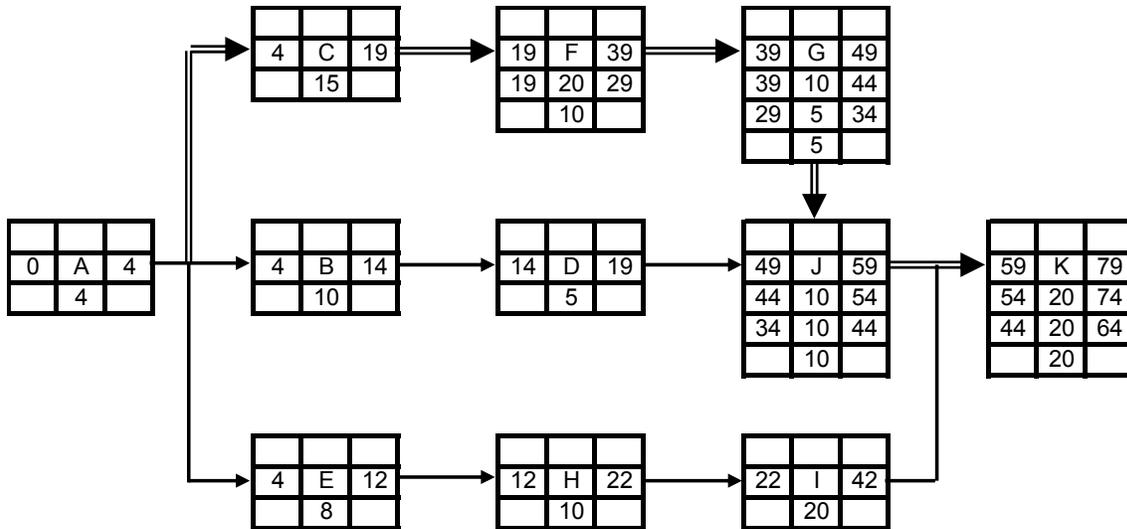
Esta actividad ya no podemos acortarla más pues ya llegó a su duración de premura.

La compresión quedaría representada en el diagrama de la siguiente manera:

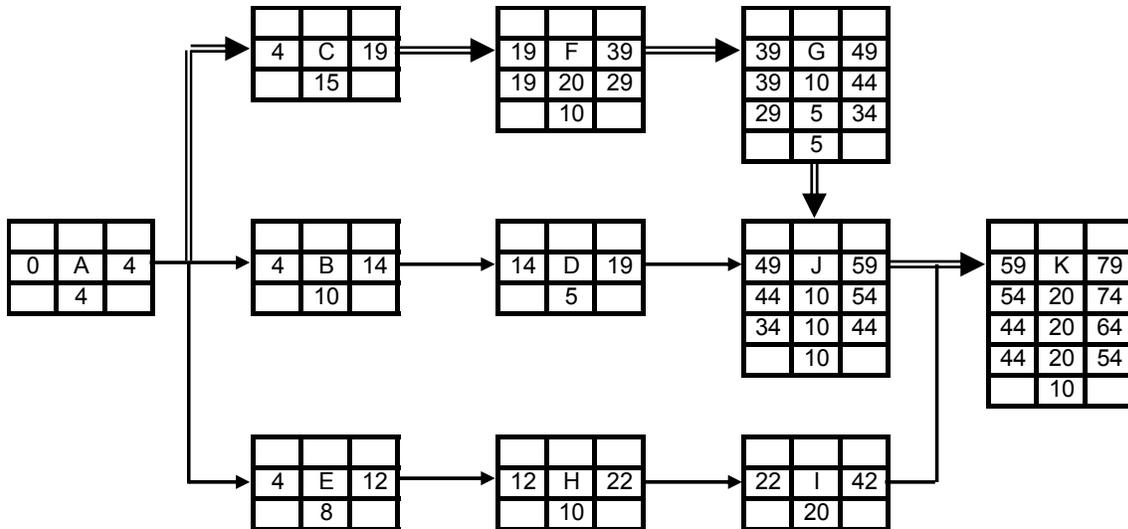


**2ª. Compresión.** La actividad F se puede reducir en 10 días.

El diagrama quedaría:

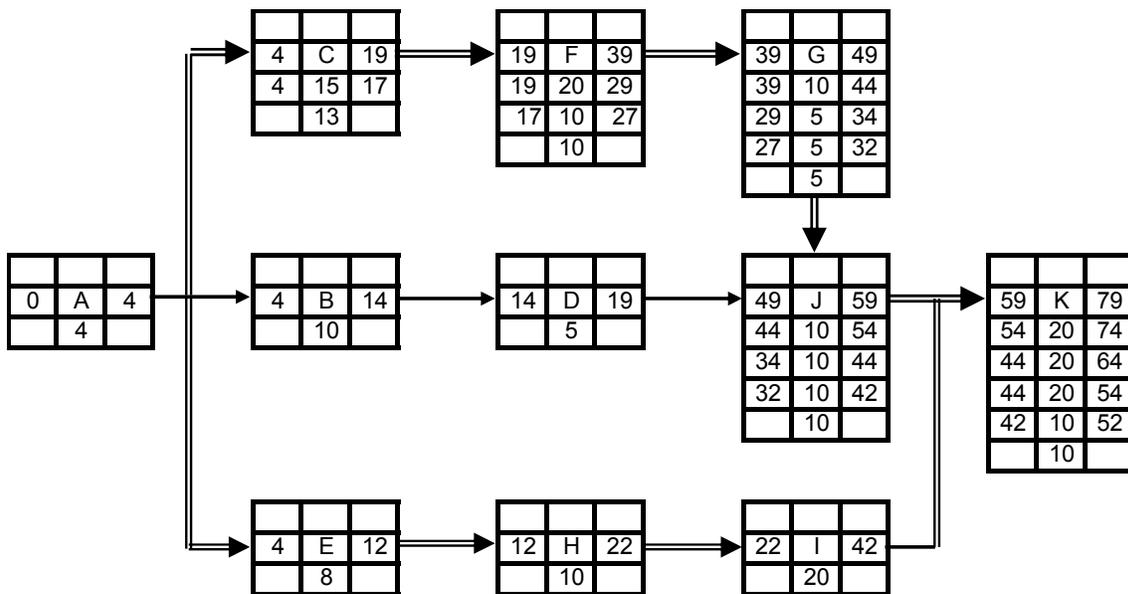


**3ª. Compresión.** Hemos llegado a la duración de premura de las actividades críticas G y F. Ahora tenemos, que hay otras dos actividades críticas cuyo costo por día acortado es el más bajo de las que quedan en esa cadena: escogeremos la actividad K ya que si comprimimos la C en 5 días se afectaría la ruta crítica original y tendríamos otra; por lo tanto comprimimos la K en 10 días.



**4ª. Compresión.** Comprimos la actividad C en dos días para no alterar la ruta crítica original.

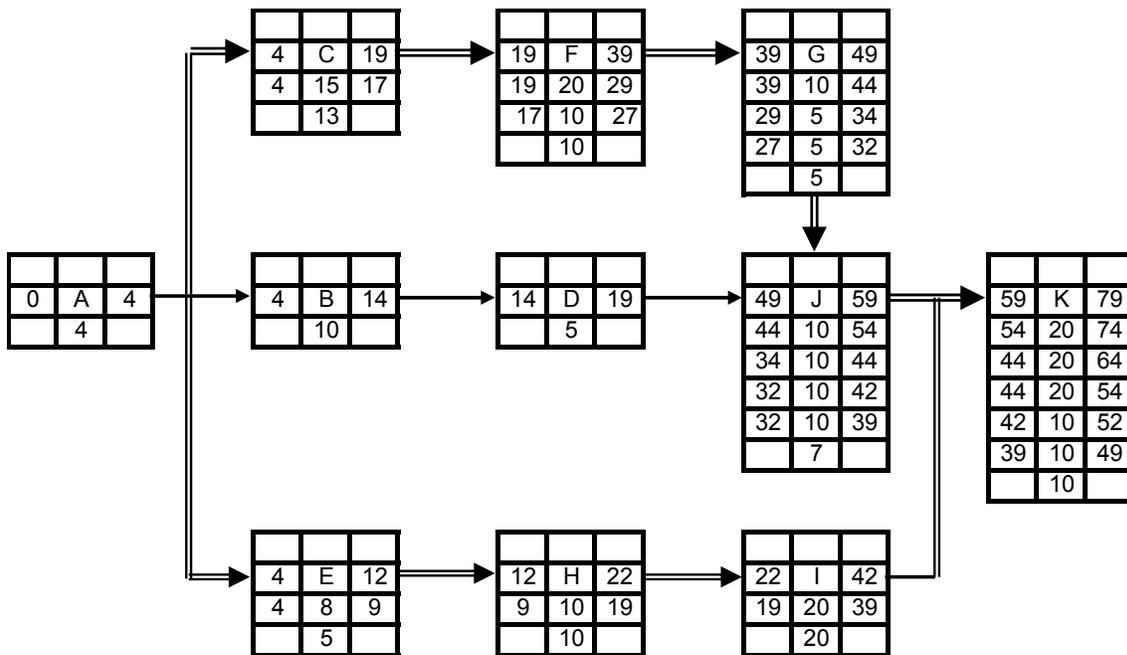
En esta compresión no se afecta la ruta crítica original, pero se forma otra en la cadena A-E-H-I-K.



**5ª. Compresión.** Nos faltan 3 días para reducir nuestro proyecto en los 30 días que acordamos con el cliente. La actividad J la podemos comprimir en esos 3 días pero como ya tenemos otra ruta crítica, debemos reducir también en 3 días alguna actividad de ella para no alterar ninguna de las dos.

Por lo tanto, comprimimos simultáneamente las actividades E y J en 3 días. En esta compresión ambas actividades quedarían totalmente comprimidas.

El diagrama quedaría:



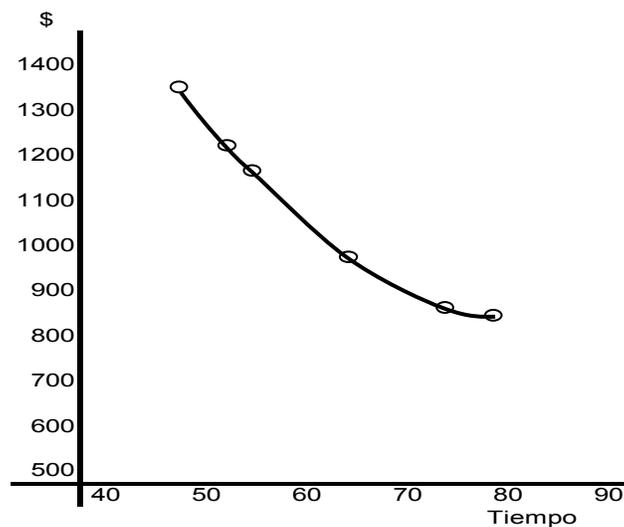
En el diagrama anterior se observan las 5 compresiones llegando así, a la duración requerida.

| Actividades | Compresiones | Operaciones                        | Costo Total | D acortada     |
|-------------|--------------|------------------------------------|-------------|----------------|
| G           | 1a. 5 días   | $850 + 4 \times 5$                 | 870         | $79 - 5 = 74$  |
| F           | 2a. 10 días  | $870 + 12 \times 10$               | 990         | $74 - 10 = 64$ |
| K           | 3a. 10 días  | $990 + 20 \times 10$               | 1190        | $64 - 10 = 54$ |
| C           | 4a. 2 días   | $1190 + 20 \times 2$               | 1230        | $54 - 2 = 52$  |
| E y J       | 5a. 3 días   | $1230 + 20 \times 3 + 20 \times 3$ | 1350        | $52 - 3 = 49$  |

Para una duración de 49 días, obtenemos por medio de la compresión de redes un aumento en el costo de \$ 850.00 hasta \$ 1350.00

Costo de premura = \$ 1350.00

En la gráfica siguiente se observa el costo que va a tener el proyecto (costo de premura), según se vaya comprimiendo la red al tiempo deseado.



### IV.3. Control del tiempo de ejecución de los trabajos.

No existe proyecto que se haya planeado por el método de la ruta crítica que se pueda completar satisfactoriamente si solo se efectuaran los procesos de planeación y programación. Es necesario efectuar un proceso adicional conocido como control.

Un sistema de construcción bien planeado y programado que permita proceder sin control puede conducir el caos, causar demoras e incluso el abandono total del sistema.

Un buen plan de control tiene primordialmente tres objetivos que se deben cumplir. En primer lugar, y el más importante, en el plan se debe representar con exactitud el trabajo con el fin de ejecutarlo de una manera compatible con los planes y especificaciones determinados de la construcción. Segundo, el plan debe permitir reconocer, evaluar y pronosticar las desviaciones del programa. Y tercero, el plan debe prever medidas correctivas periódicas para alinear cualquier programa remanente con el programa propuesto.

Para entender mejor estos conceptos se presentan las siguientes gráficas:

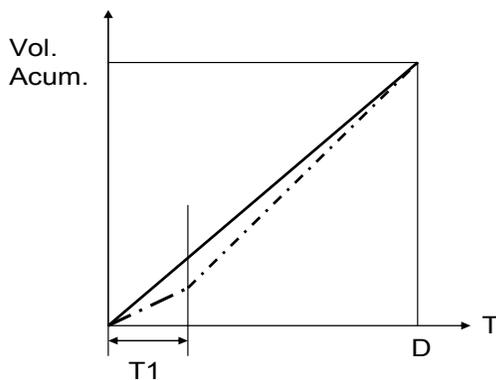


Fig. 1

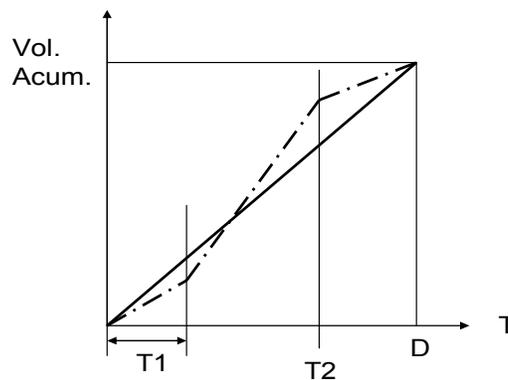


Fig. 2

La duración de cada actividad se considera tomando en cuenta un avance uniforme a lo largo de su ejecución. En la realidad esto no ocurre así, por lo tanto es conveniente reconocer que hay fluctuaciones, pero al final tenemos que llegar a lo programado.

En la Fig. 1 se observa que el avance real representado por la línea puntiaguda, es menor que el avance planeado representado por la línea continua en el tiempo T1, por lo tanto, será necesario incrementar el rendimiento a partir de T1 para que la duración D se conserve al final de la actividad.

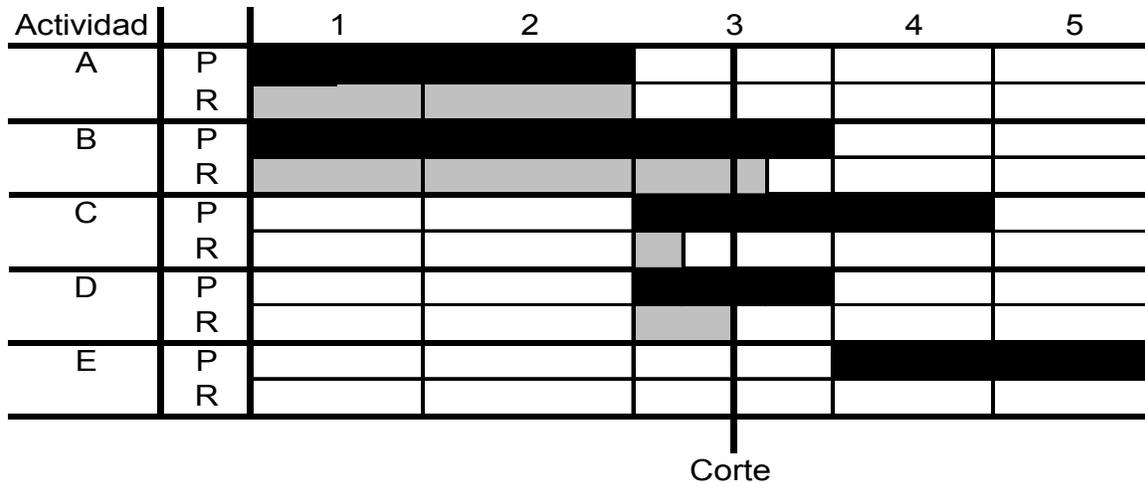
En la Fig. 2 observamos que el avance real en el tiempo T1 es menor que el avance planeado, después entre el tiempo T1 y T2 existe un avance superior al requerido, por lo tanto, el avance real en el último periodo puede tener menos rendimiento que el planeado para terminar la actividad en la duración D.

Para poder tomar este tipo de decisiones que a cada período correspondan se requiere de un seguimiento permanente del desarrollo de cada actividad. Para ello se utiliza el programa de obra representado por un diagrama de barras, en el cual, se van realizando cortes periódicamente para poder comparar los avances reales con los avances programados.

| Actividad |   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|
| A         | P |   |   |   |   |   |
|           | R |   |   |   |   |   |
| B         | P |   |   |   |   |   |
|           | R |   |   |   |   |   |
| C         | P |   |   |   |   |   |
|           | R |   |   |   |   |   |
| D         | P |   |   |   |   |   |
|           | R |   |   |   |   |   |
| E         | P |   |   |   |   |   |
|           | R |   |   |   |   |   |

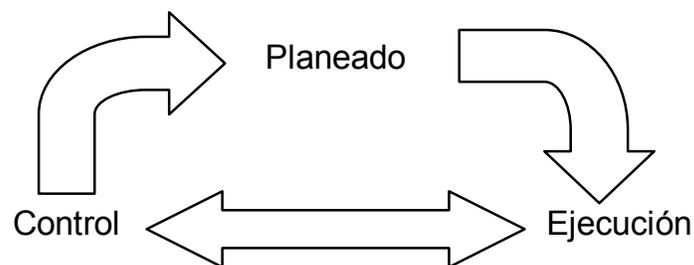
Corte

En este programa de obra se observa que se hace un corte al término del período 1 con el fin de comparar los avances reales (R) con los avances programados (P). Se puede observar de dicho corte, que: la actividad A tiene un retraso en su ejecución y por lo tanto será necesario implementar medidas correctivas para poder nivelar dicha tarea, ya que se observa que de su término depende el inicio de dos actividades C y D. Por otra parte podemos observar que la actividad B lleva un avance de acuerdo con lo programado por lo que no es necesario tomar medidas en esta actividad.

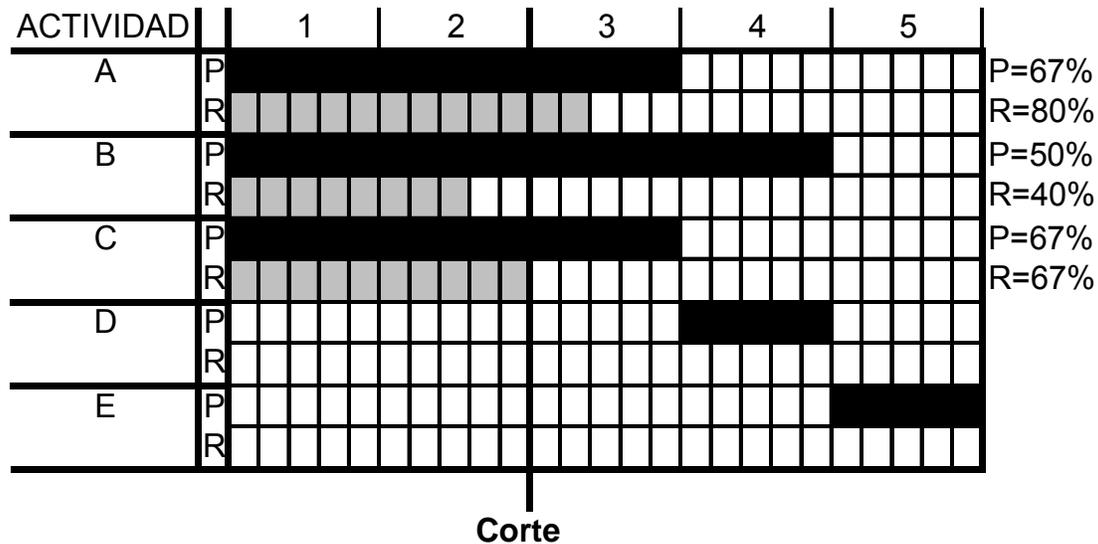


En este diagrama se muestra el mismo programa de obra pero ahora estamos en el transcurso del período 3 y se ha hecho un corte, donde se observa: La actividad A indudablemente ha finalizado ya que de su fin dependen dos actividades que comienzan en el período 3 y su retraso generaría una demora en todo el programa. La actividad B lleva un avance más productivo que lo planeado, por lo que si se desea se puede disminuir el ritmo de trabajo si es que son necesarios los recursos que ahí se estén utilizando, o simplemente mantener el ritmo para terminar esta actividad, aunque se observa que no es necesario mantener ese ritmo, ya que la actividad E depende no solo de la actividad B si no además de la actividad D. La actividad C si será necesario darle una medida correctiva para poder ir de acuerdo con el avance planeado, pero si se observa esta actividad tiene una holgura que puede ser aprovechada ya que de esta actividad no dependen otras actividades y además existe un período adicional para culminar toda la obra. La actividad D por su parte, lleva un avance de acuerdo con lo planeado por lo que no es necesario implementarle medidas correctivas.

Por lo tanto el control de la obra nos permite comparar el avance de las actividades planeadas con el avance de las actividades reales y gracias a ello poder tomar medidas correctivas.



Para comprender mejor se presenta el siguiente ejemplo:

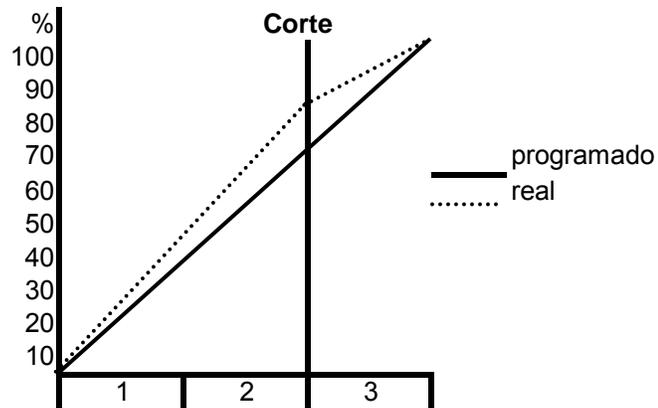


En la figura podemos observar que al momento de hacer el corte en el periodo 2, tenemos tres actividades A, B y C que se deben de estar realizando. Al momento del corte, se espera que la actividad A tenga un avance programado de 67%, pero se observa que el avance real es de 80%. A su vez, la actividad B tiene un avance programado del 50% de su actividad, pero el avance real muestra un avance del 40%. Y por último, la actividad C muestra un avance del 67% programado, mismo que muestra su avance real. De estos resultados podemos tomar las siguientes correcciones:

Tomando en cuenta que cada periodo esta conformado por 5 días, para la actividad A tenemos:

Avance programado = 6.67 % diario = 33.33 % semanal.

Avance real = 8 % = 40 % semanal.

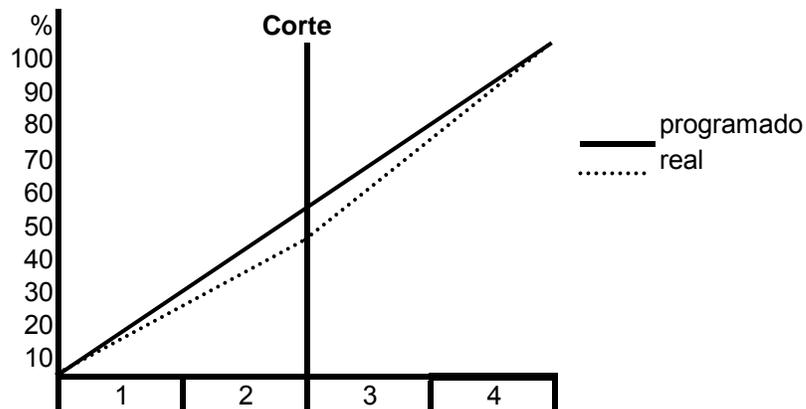


Por lo tanto, si se quiere terminar la actividad A en el tiempo establecido, se tendrá que disminuir el rendimiento llevado hasta el momento del corte de 8% diario a 4 % diario = 20 % semanal. Pero si al analizar los costos y si así conviene, se puede mantener el rendimiento llevado para terminar la actividad en menor tiempo, sin embargo, no adelantaremos el término del programa general de obra ya que la actividad A no es crítica.

Para la actividad B tenemos:

Avance programado = 5 % diario = 25 % semanal.

Avance real = 4 % diario = 20 % semanal.



En este caso, para terminar la actividad B en su tiempo programado, se necesitará aumentar el rendimiento después del corte a 6 % diario = 30 % semanal. Esta corrección es necesaria ya que la actividad E depende del término de la actividad B, y esta actividad, a su vez, es crítica, por lo que la demora en dicha actividad, demoraría el término de todo el programa.

Para la actividad C podemos observar que el avance real es igual al avance programado, por lo que no hace falta tomar ninguna medida correctiva.

En este caso, para terminar la actividad B en su tiempo programado, se necesitará aumentar el rendimiento después del corte a 6 % diario = 30 % semanal. Esta corrección es necesaria ya que la actividad E depende del término de la actividad B, y esta actividad, a su vez, es crítica, por lo que la demora en dicha actividad, demoraría el término de todo el programa.

Para la actividad C podemos observar que el avance real es igual al avance programado, por lo que no hace falta tomar ninguna medida correctiva.

## **V. PROGRAMAS DE CÓMPUTO APLICABLES.**

### **V.1. Descripción y alcances.**

Existen diversos programas de cómputo que manejan la ruta crítica, esto sin duda representa una gran ventaja cuando existen obras muy complejas que involucren muchas actividades. Dentro los programas que cuentan con análisis de ruta crítica tenemos los siguientes:

- Neodata.
- Sure Trak.
- Project.
- Opus Ole 2.0.
- Primavera.
- Otros.

#### **Neodata.**

Neodata incluye una ruta crítica muy sencilla de manejar, esto desde luego sin perder de vista el programa de obra.

Entre las características de esta ruta crítica se encuentran la vinculación entre actividades lo que permite la elaboración de la ruta crítica y diagrama de PERT de manera muy sencilla.

En Neodata se tiene toda la información necesaria para generar la Ruta Crítica, así como opciones de gran importancia para la generación de la ruta crítica así como para el programa de obra, tales como:

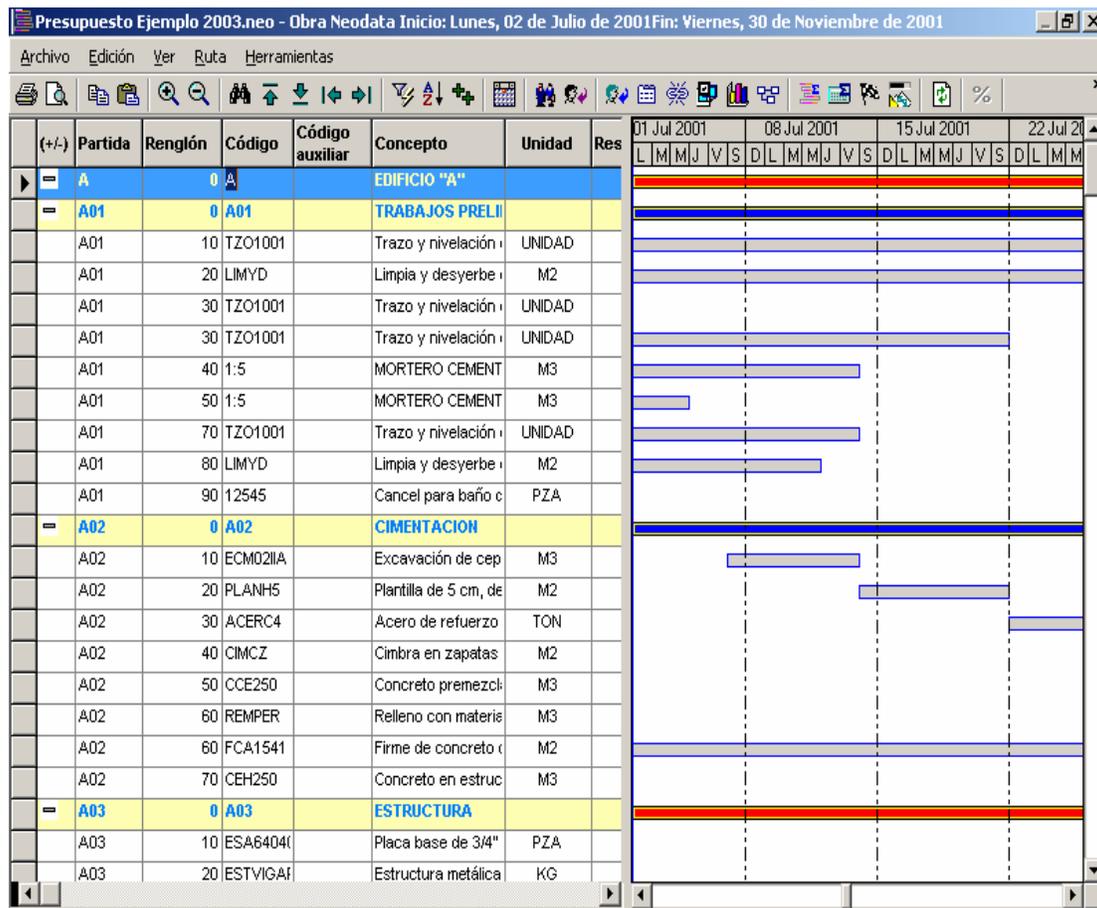
- Manejo de fechas de inicio y final de proyecto.
- Selección de los periodos de obra (mes, quincena, semana ó día)
- Programa de obra en porcentajes (partidas)
- Programa de obra en barras (partida y concepto)
- Generación de la Ruta Crítica.
- Asignación de precedencias y desfases.
- Diagrama de PERT.
- Gráficas de totales
- Diversas herramientas e iconos que facilitan la elaboración de la ruta y programas.

The image shows a dialog box titled "Definir ruta crítica" (Define critical path). It contains the following fields and options:

- Fecha inicial:** 12/12/2002
- Fecha final:** 12/12/2002
- Periodicidad:** Radio buttons for Mensual (selected), Quincenal, Semanal, and Diaria.
- Número de periodos:** Input field with the value 1.
- Options:**
  - Calcular los % por periodo con base en fechas
  - Borrar los % o volúmenes actuales.
  - Conservar los % o volúmenes actuales.
  - Borrar las relaciones actuales.
  - Recorrer las fechas al inicio del programa.
  - Recalcular Pert
- Buttons:** Aceptar and Cancelar.

En este cuadro de diálogo se determinan las fechas de inicio y fin del proyecto, así como la periodicidad del programa de obra.

Una vez definidos los periodos de la ruta crítica al hacer Clic en el botón Aceptar, la ventana que aparece es la Edición de Ruta Crítica, como se ve en el siguiente:



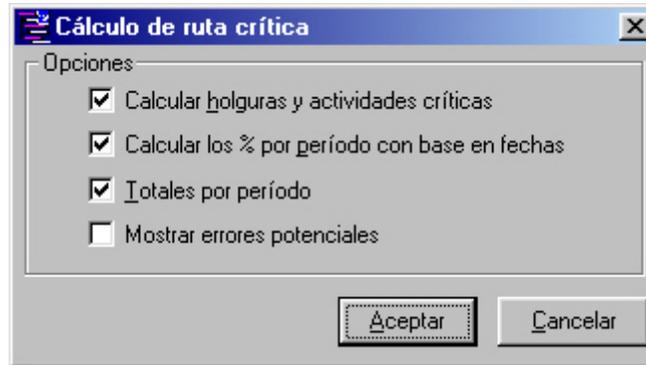
La ventana se encuentra dividida en dos partes: la ventana izquierda contiene todos los datos, en tanto que la de la derecha muestra el ambiente gráfico tanto de la ruta como del programa.

De las dos ventanas que integran la ruta crítica la más completa es el Grid (ventana izquierda) ya que en ella se encuentra la información necesaria para la generación tanto de los programas como de la ruta crítica, si bien esta información se alimenta directamente en la ventana, también puede obtenerse a partir de los datos generados en las barras (ventana derecha).

### Cálculo de Ruta Crítica.

Una vez vinculadas todas las actividades podemos calcular la Ruta Crítica, con lo que se definen las actividades críticas y las holguras así como los comienzos y fines tardíos de los

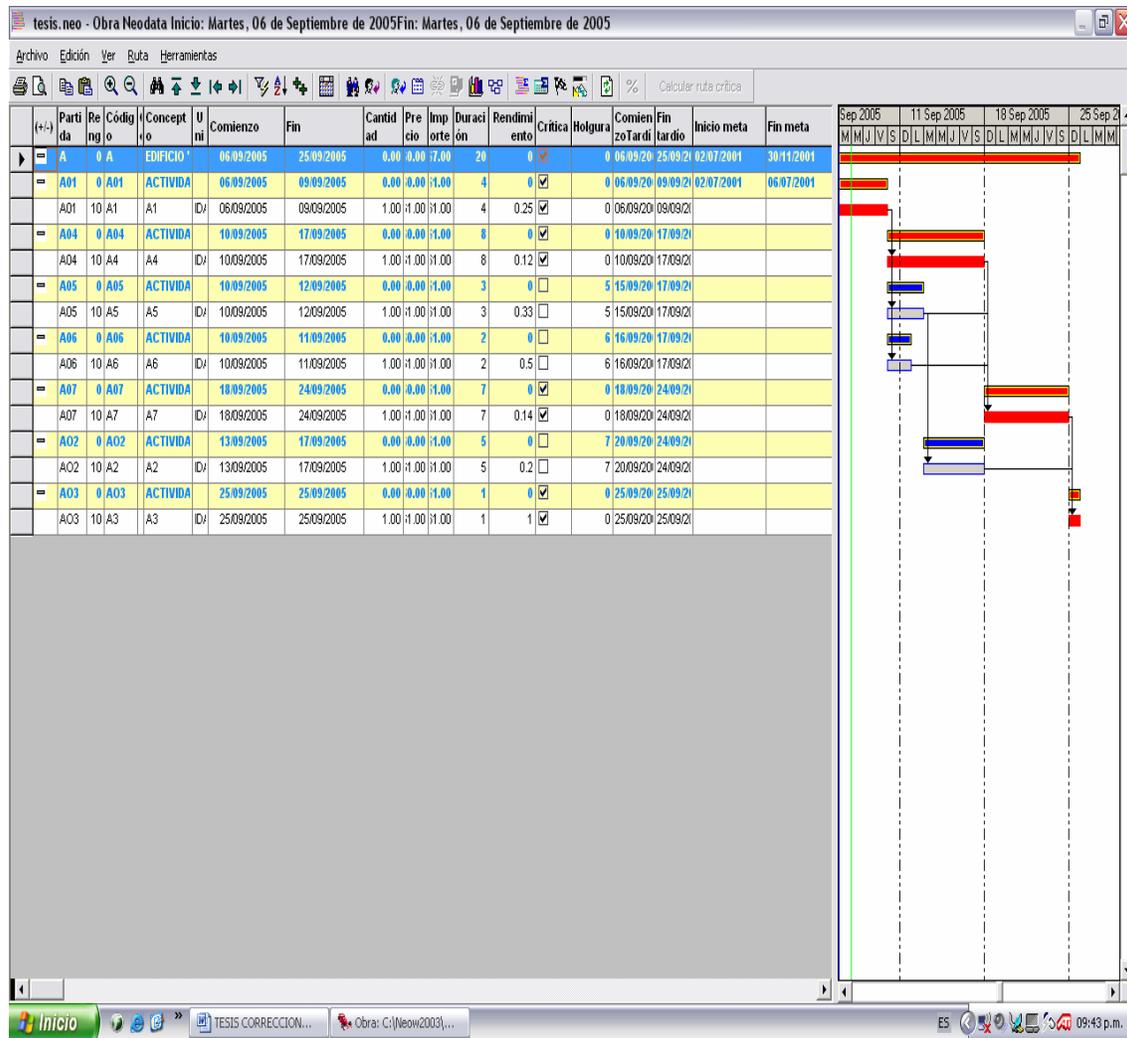
conceptos del presupuesto según lo programado. Para calcular debemos seleccionar la opción Cálculo de Ruta Crítica del menú Herramientas y enseguida se desplegará el siguiente cuadro de diálogo.



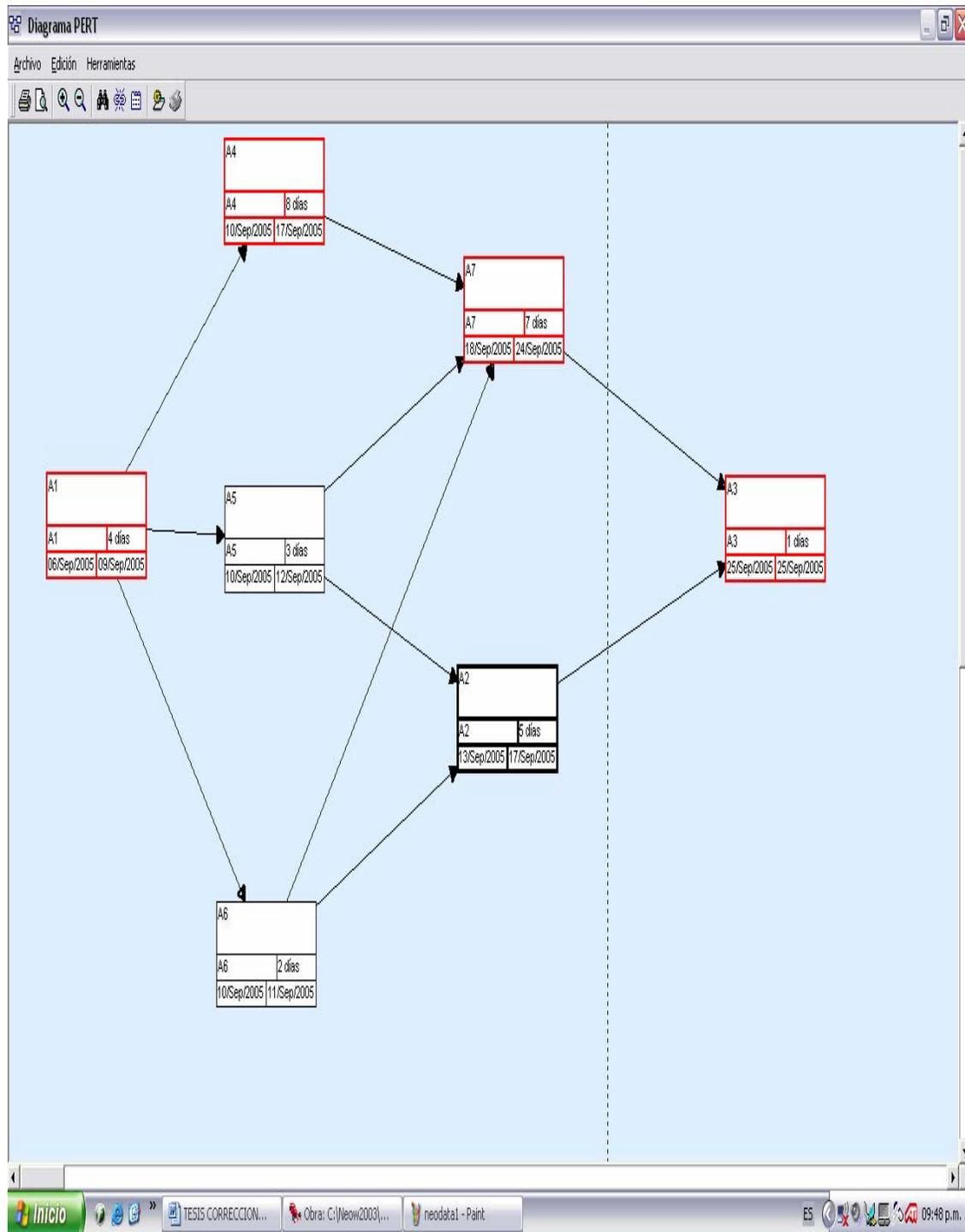
Una vez seleccionada la ó las opciones requeridas se debe hacer Clic en Aceptar y el sistema realizará el cálculo.

Si después de realizado el cálculo se obtienen actividades críticas el sistema las marca en rojo, es decir la barra aparecerá en color rojo, esto permite que sea más fácil identificarlas.

La siguiente figura muestra un análisis de ruta crítica hecho en Neodata, con los datos del ejercicio del tema III.4).



En la figura se muestran las diferentes actividades de la obra, representadas en rojo las actividades críticas y en azul las actividades con holguras (ventana derecha), y en la ventana izquierda los diferentes datos de las actividades, como son: fecha temprana y tardía de inicio, duración, holguras, fechas de tempranas y tardía de término. Estos resultados también se pueden visualizar en diagrama de Pert como se muestra en la siguiente figura.

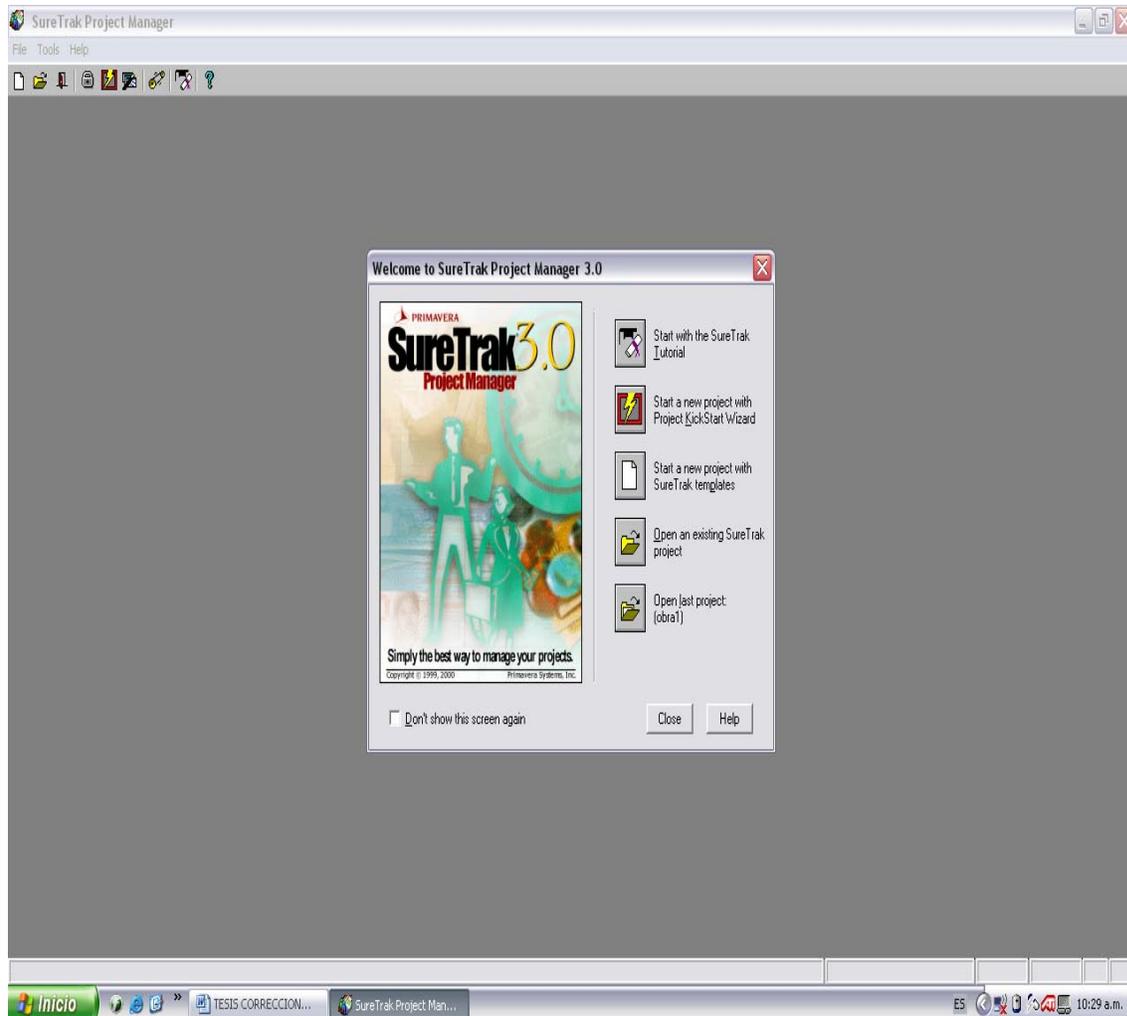


Sin embargo es muy importante mencionar, que Neodata es un programa más enfocado al desarrollo de precios unitarios y no a la planeación de una obra.

## Sure Trak.

Un programa más enfocado a la planeación y control de una obra es Sure Trak. Este programa maneja una serie de sencillos pasos para poder detallar las actividades que conforman una obra y por ende determinar la ruta crítica y las holguras de cada tarea.

Para empezar a crear la ruta crítica se ofrecen tutoriales del programa, proyectos nuevos con asistente, proyectos con plantillas predeterminadas o abrir proyectos existentes.

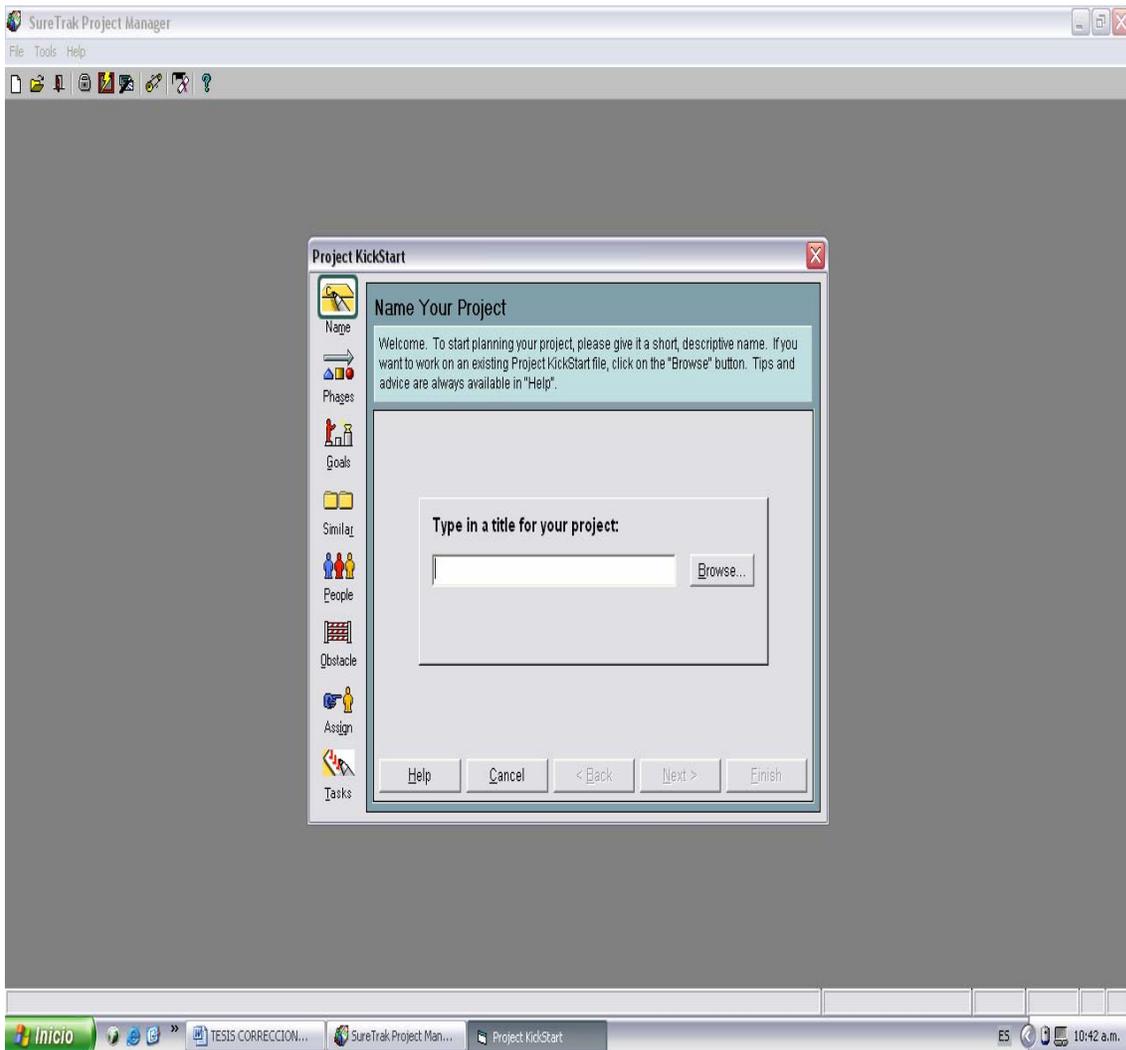


Es recomendable, si se va a crear una obra nueva, utilizar el asistente. Para ello el programa preguntará algunos datos para ir generando el diagrama:

- Nombre del proyecto.
- Enlistar las fases o actividades del proyecto.
- Metas del proyecto.

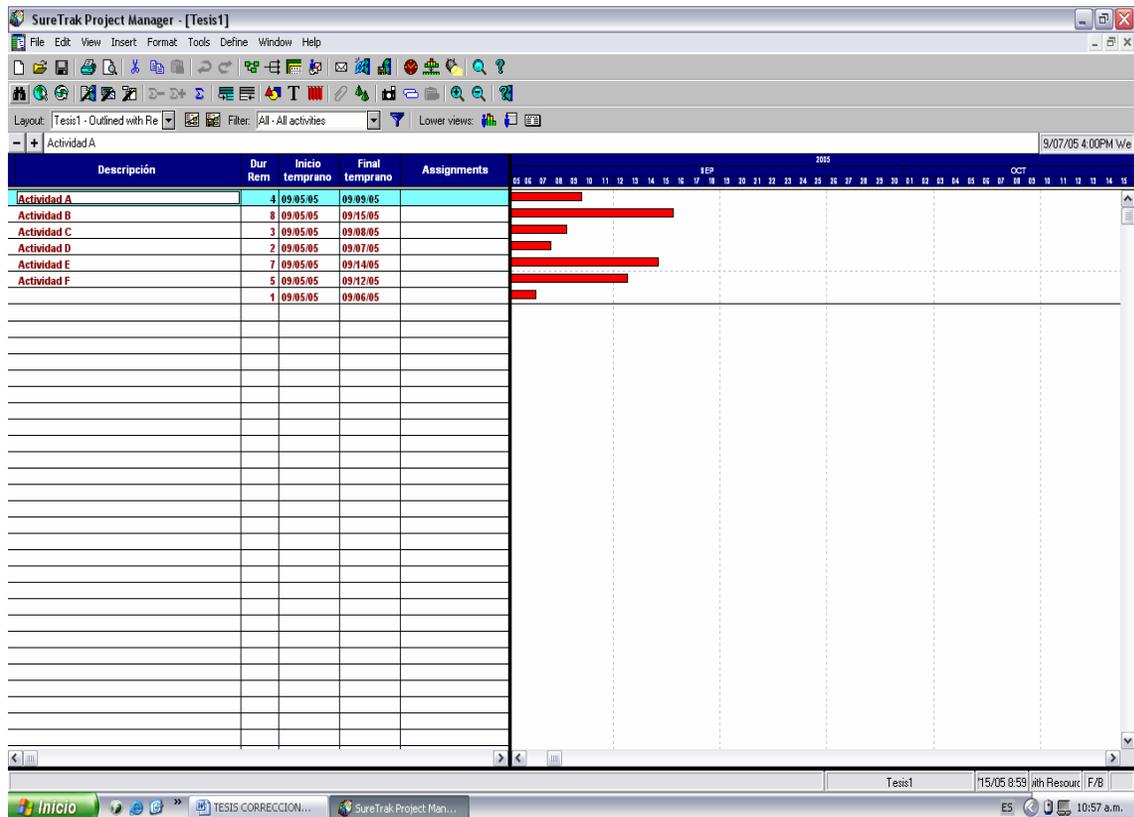
- Puede comparar su proyecto con proyectos del programa que sirvan como guía.
- Nombrar encargados dentro del proyecto.
- Posibles obstáculos.
- Asignar a los encargados anteriormente enlistados a cada actividad.
- Revisar las listas de actividades, agregar duraciones y notas.

La siguiente figura muestra los cuestionamientos anteriormente citados:

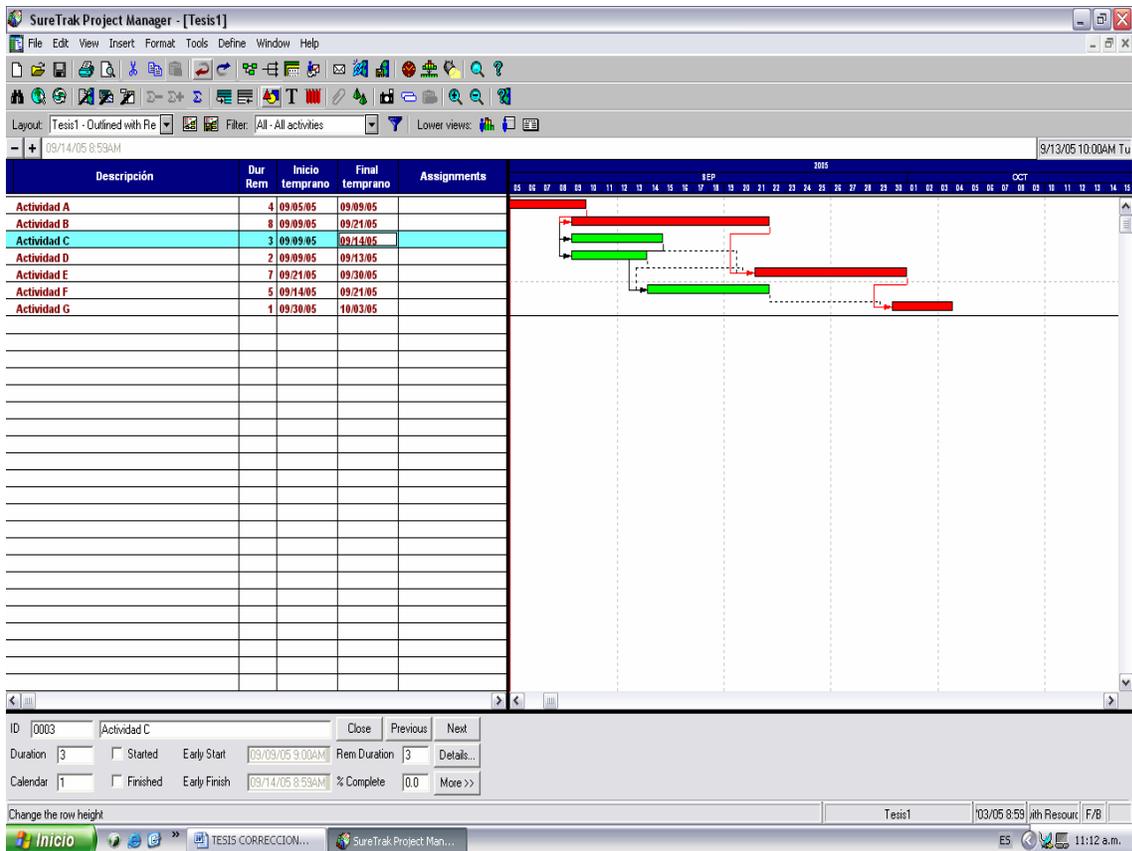


Una vez que se le han dado los datos preliminares al programa se genera un diagrama de barras en donde se observan las actividades que se han dado al programa con sus respectivas duraciones. En la siguiente figura se muestra esta etapa: (El diagrama que se

observa en el programa es el mismo ejercicio que se utilizó para realizar el cálculo de ruta crítica en el tema III.4).

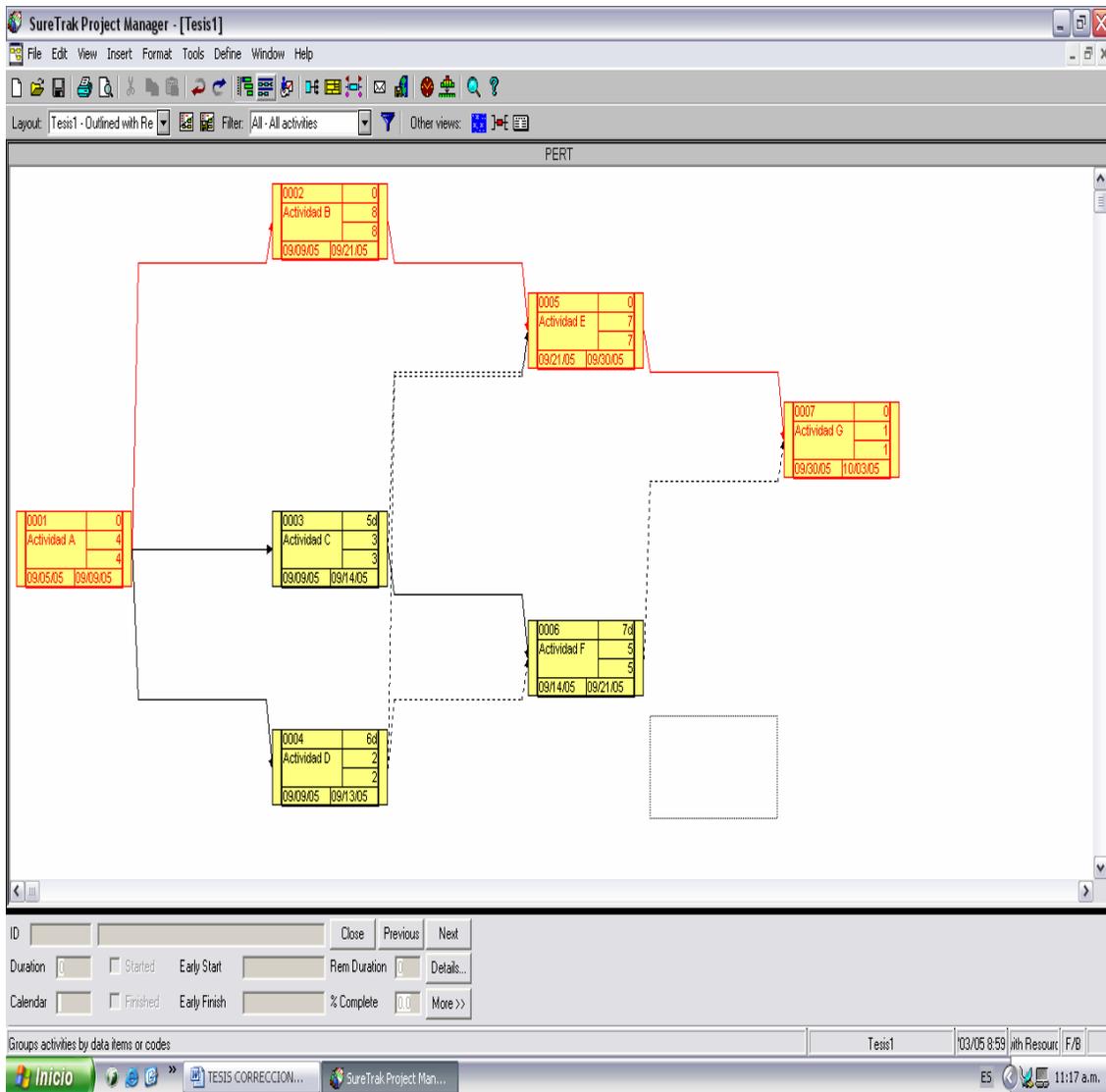


Ahora es necesario determinar las relaciones existentes entre actividades para obtener la ruta crítica.

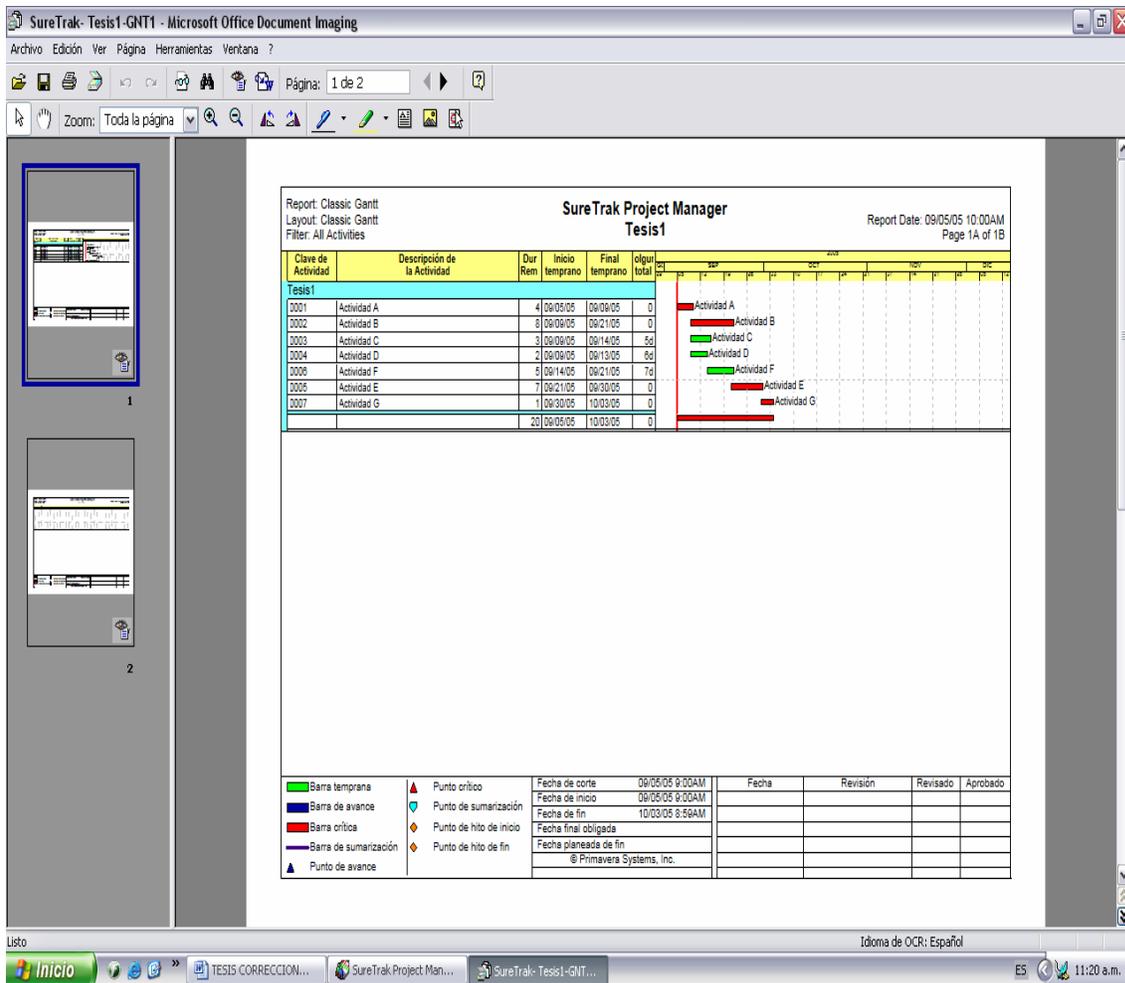


Se observa que al generar la relación entre actividades la ruta crítica y las holguras se calculan de manera instantánea teniendo así, en barras rojas las actividades críticas y en verdes las actividades con holguras. También al ver los detalles de cada actividad se observaran sus inicios tempranos y tardíos, así como sus diferentes holguras.

Este diagrama también se puede generar en diagrama de Pert, para observar más detalladamente los cálculos:



Y por último se pueden obtener diferentes reportes con los resultados obtenidos para el seguimiento y revisión del proyecto:



## Project.

Este programa de Microsoft, también está enfocado a la planeación y programación de proyectos.

De manera muy sencilla se pueden enlistar las diferentes actividades a analizar, definir la duración de cada una de ellas y determinar los enlaces entre actividades. Para ello existe un asistente que permite planear y programar las tareas del proyecto, los datos que pide este asistente son los siguientes;

Definir el proyecto: aquí se estipula la fecha estimada de comienzo del proyecto.

Definir periodos laborales generales: se selecciona un periodo laboral, establecen días festivos y libres, y se definen unidades de tiempo (horas por jornada, semanas y días laborales por mes).

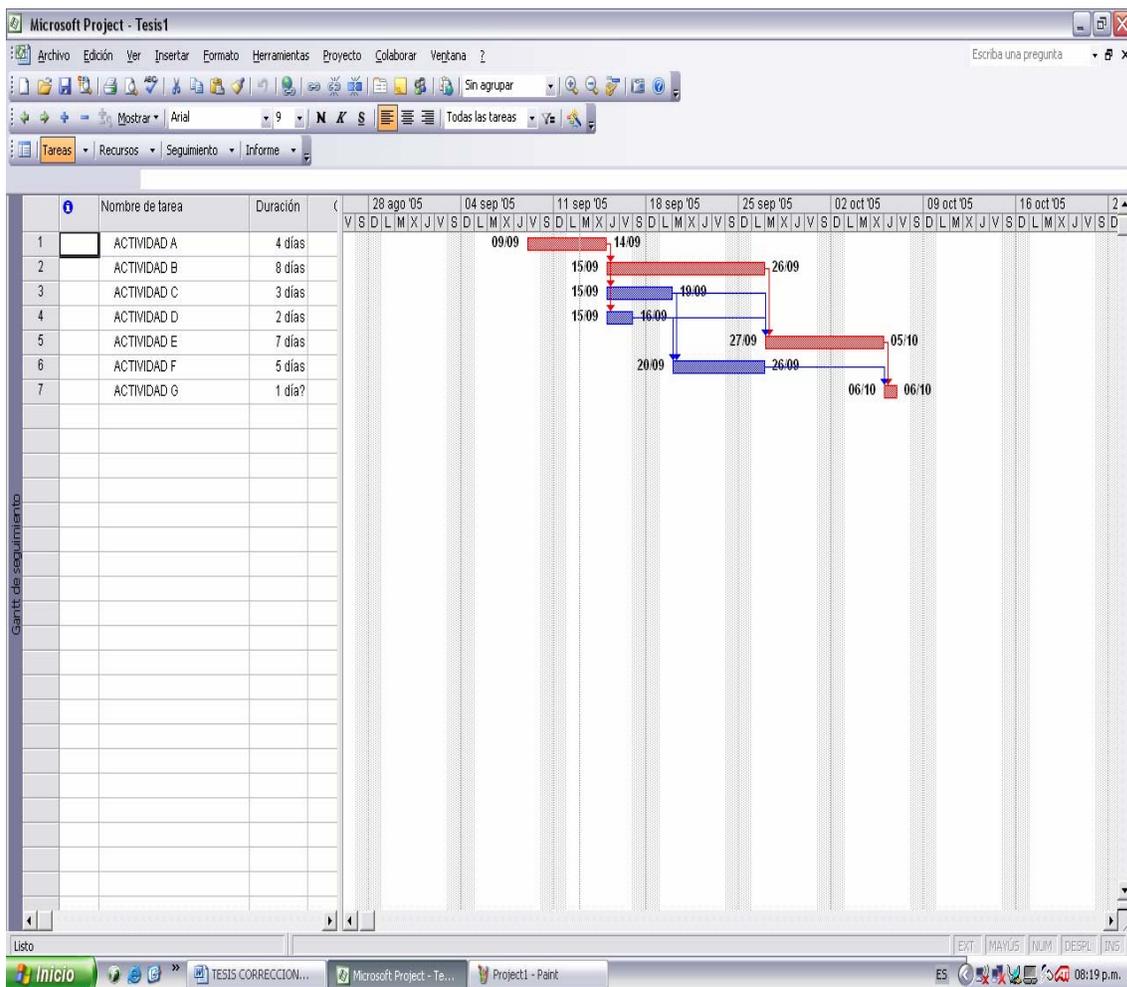
Crear una lista de tareas del proyecto: se crea una lista de tareas, misma que se puede obtener de documentos ya generados, y dar duración a cada una de estas tareas.

Organizar las tareas en fases: se organiza el proyecto mediante la creación de una jerarquía.

Programar tareas: sirve para vincular cada una de las tareas.

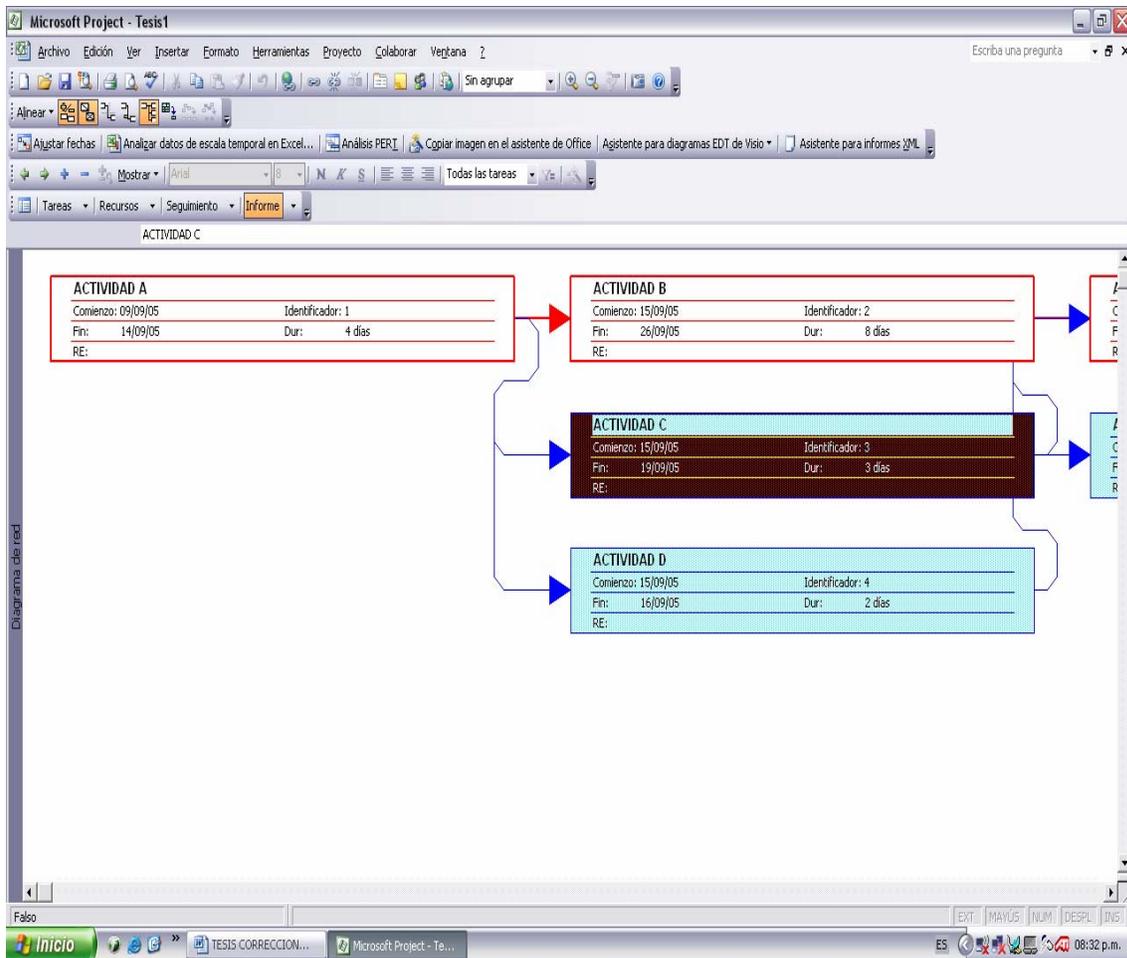
Establecer fechas límite y delimitar tareas: se establecen fechas límite de vencimiento sin restringir la programación.

En la siguiente figura se muestra el ejercicio del tema III.4, desarrollado en Project:



En la figura se muestran los resultados obtenidos, una vez que se han capturado los datos del ejercicio en el asistente anteriormente mencionado.

Se puede observar las actividades críticas en rojo y las actividades con holguras en azul, también podemos obtener el diagrama de Pert y otros gráficos.



Además dentro de las ventajas señaladas, Project ofrece: Cortes de seguimiento del programa, líneas base del programa, programas de flujo, recursos asociados al programa y reprogramaciones a partir de avances del proyecto a cortes determinados, entre otros.

Al generar todos estos diagramas podemos analizar fácilmente cada una de las actividades del proyecto y poder llevar a cabo la programación del proyecto.

## VI. CONCLUSIONES.

La planeación ocupa un lugar importantísimo en la construcción de una obra, ya que mediante un proceso de planeación donde se tengan conocimientos de los objetivos, se escogerán los procedimientos y métodos para llevar a cabo estas metas, tomando en consideración la experiencia, toma de decisiones y la creatividad.

Resulta esencial tomar decisiones intuitivas y analíticamente para tomar el camino adecuado de una serie de alternativas, así como, llevar controles administrativos y de calidad para verificar que lo ejecutado va de la mano con lo planeado.

Gracias a la planeación los trabajadores, maquinaria y materiales están listos para realizar sus tareas asignadas antes de empezar con cada uno de los trabajos, esto simplifica la improvisación y solo llegarán a existir correcciones por situaciones inesperadas.

Por lo tanto la planeación es vital para obtener una obra terminada con los parámetros de calidad, costo y tiempo deseado.

Existen muchas formas de combinar los recursos de una obra y por lo tanto muchos procesos constructivos, por ello, es necesario comparar y seleccionar las alternativas que más beneficios ofrezcan, teniendo siempre en cuenta el criterio económico.

Será también necesario, realizar una adecuada planeación financiera mediante un flujo de caja, en donde se determinen los importes involucrados en función del tiempo, y así, calcular la necesidad de financiamiento y el costo que esta genera, recurriendo a un financiamiento externo si es necesario.

En general en una obra participan tres elementos fundamentales que son: el cliente (residente), la supervisión (auxiliar de la residencia) y el contratista (superintendente). Cada una de estas partes debe ser integrada por personas que tengan los conocimientos suficientes, habilidades experiencias y capacidades para realizar cada una de las tareas asignadas. De estos tres elementos, el superintendente es la persona que tiene más contacto con la obra, por lo que, sus funciones y responsabilidades son mayores, ya que él será el encargado de resolver cualquier dificultad en el desarrollo de los trabajos.

Hay que tener en cuenta que no solo es necesario enfocarse en las actividades directas de una obra, también existen actividades complementarias para el desarrollo de la misma, ya que la correcta instalación y funcionamiento ya sea de una oficina, almacén o taller nos facilitará el control y la solución de las dificultades en sus áreas correspondientes.

La seguridad que hay que tener en toda obra, es un aspecto que nunca se debe de menospreciar, debido a que el riesgo con el que se juega son las vidas humanas, y como sabemos, la construcción es una profesión en la que los riesgos son muy altos. Por lo tanto, es indispensable siempre estar dispuestos a contribuir con la seguridad de todos los

trabajadores y con la gente en general, basados en los diferentes reglamentos de seguridad tendremos diferentes obligaciones tanto del patrón como del trabajador, para minimizar los accidentes laborales ya que en cada una de las personas esta el disminuir el alto índice de riesgo.

Determinadas cada una de las actividades de todo el proyecto, es necesario analizar los recursos disponibles para dichas tareas, este análisis nos lleva a encontrar diferentes maneras para realizar dichos trabajos y así seleccionar la opción que más convenga. Asignados los recursos, definimos el periodo que tomará culminar dicha actividad, tomando en cuenta la relación entre número de recursos contra costo, y número de recursos versus tiempo, y por ende la duración de toda la obra.

Utilizando el método de la ruta crítica podemos planear, programar y controlar un proyecto, este método se basa en aplicar una red de flechas o de procedencias que representa la estructura de la obra, con la duración de cada actividad obtenemos los diferentes caminos para culminar los trabajos, el camino que necesite mayor tiempo nos dará la ruta crítica.

Los resultados obtenidos generalmente se representa por diagramas de barras, este tipo de representación es el que tiene más valores universales de comunicación para transmitir los resultados y además nos sirve para analizar todos los recursos humanos, equipos y materiales. También se realiza un programa de suministros que permite llevar control de los recursos necesarios para llevar en buen tiempo la ejecución de la obra.

Dibujando una distribución de recursos en cada espacio de tiempo, podemos totalizarlos sumando todo lo que requiere cada actividad que se ejecute en forma simultánea en el mismo periodo de tiempo. La distribución obtenida muestra los picos de recursos en las necesidades, por lo tanto, podemos obtener distribuciones más convenientes logrando el mismo trabajo con menor número de recursos, mejor utilizados. Las variaciones de la distribuciones esta limitada por las estructuras de las holguras que se obtienen de la ruta crítica.

La compresión de redes acota el tiempo de duración de un proyecto, determinado por la ruta crítica, pero su costo aumenta por utilizar un mayor número de recursos que aunque aumenta la producción, disminuye el rendimiento. Las actividades que se acortan, deben de formar parte de la ruta crítica y dentro de estas se deben disminuir las tareas de menor costo por día acortado, teniendo cuidado de no desaparecer la ruta crítica original, sin embargo, si se pueden producir varias rutas críticas además de la original.

Todo proyecto no puede completarse satisfactoriamente si solo nos enfocamos en el proceso de planeación y programación, adicionalmente es necesario un proceso conocido como control. Gracias a este proceso se evitan muchos problemas que puede conducir al caos, causar demoras e incluso el abandono de toda la obra.

Para poder tomar las acciones correctivas se lleva un seguimiento permanente del desarrollo de cada actividad. Para ello se utiliza el diagrama de barras que representa el programa de la obra, en dicho programa se realizan cortes periódicos para comparar los

avances reales con los planeados, al analizarlos sabemos la necesidad de aumentar, disminuir o mantener los rendimientos, para obtener así los resultados deseados.

Gracias a la gran variedad de programas de cómputo enfocados a manejar la ruta crítica, encontramos grandes ventajas para tomar el control total de la obra. Principalmente si tenemos obras de gran complejidad, que implique un gran número de actividades. Esto se convierte en una herramienta muy poderosa que junto con la experiencia y la habilidad del ingeniero llevara a tener mejores procesos de planeación y control en obras cada vez más sofisticadas.

**BIBLIOGRAFÍA.**

ANTILL y Woodhead.  
Método de la ruta crítica.  
Limusa. Noriega editores.

TAYLOR Bernard.  
Planeación estratégica.  
Éxito. S.A.

STEINER J.  
Planeación estratégica.  
Ed. CECSA. México.

HARRIS. Robert.  
Técnicas de redes de flechas y precedencias para construcción.  
Ed. Limusa.