



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"

"EL METODO CPM EN PROCESOS CONSTRUCTIVOS"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA

CARLOS FERNANDO FRANCISCO CONTRERAS

ASESOR M EN I. MARIO SOSA RODRIGUEZ

MEXICO 2014



FES Aragón



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

DEDICATORIA

Este, que es un logro realizado después de varios años en abandono, y que siempre estuvo ahí esperando, representa sacrificios, esfuerzos y anhelos. Pero también contiene la esencia de los seres queridos que me rodean, y por esa razón, para ellos con afecto y cariño.

A mis padres, Pascual Francisco Guerrero y Aurelia Contreras Lerma, porque también este fue su sueño e ilusión de hace algún tiempo, que en estos momentos nuevamente les pido me disculpen y perdonen, pero hoy es una realidad.

A mis hermanos, Fanny, Miryam, Cesar y aunque ya no este sé que estarías orgulloso de mi Agustín, porque juntos logramos este logro.

AGRADECIMIENTOS

A MI DIOS JEHOVÁ

Antes que nadie a ti por el amor que me has demostrado desde que te conocí de verdad, me has dado una mente de fotografía y otra tantas cualidades que sin ellas no hubiera podido, a veces me siento en deuda contigo tú me das todo y yo a veces te quedo mal, por eso este gran logro es para ti aunque sé que ni con esto quedo a mano pero bueno es para que veas lo mucho que te quiero muchas gracias.

A MIS PADRES

Cuando era un niño y hasta el día de hoy me han aguantado todo, me han criado y dado lo mejor que han podido, de verdad jamás les podré agradecer todo ese amor que han tenido por mí, y sin lugar a dudas en este objetivo ustedes han sido participes, a ti mamá por pararte todos los días allá sido la hora que allá sido ahí estuviste, cuando necesitaba palabras de apoyo y amor siempre me las diste, a ti papá porque en parte la mentalidad de

ser profesionalista fue tuya, me la inculcaste desde niño en mi corazón yo trate de cumplir tu sueño de que tuvieras un hijo profesionalista y aquí esta, gracias a los dos por todo.

A MIS HERMANOS

Por haber sido el más pequeño de la familia tuve mucho amor de todos ustedes, lo difícil es al ir creciendo mantener esa bonita relación y creo que en base en el respeto pero principalmente el amor que siempre ha existido ha hecho nuestra relación excelente, les estoy agradecido por haberme criado, aconsejado y cuando lo merecía haberme regañado sin todas esas cosas me hubiera sido imposible estar en este momento, les estoy inmensamente agradecido.

A LA UNAM

Mi sueño más grande desde que era niño fue estudiar en tus aulas, sabes que no pude entrar desde el nivel medio superior nunca desistí y en el nivel superior por fin formaste parte de mí y yo de ti, saber que eres de las mejores universidades del mundo es una gran responsabilidad que estoy dispuesto a llevar a cualquier parte que vaya, el orgullo del azul y el oro los llevo no en la piel sino en el corazón todos los éxitos que vengan en mi vida serán por ti, desde que ingrese y hasta que me muera estaré dispuesto hacer lo que dice tu lema "por mi raza hablara el espíritu".

A MIS MAESTROS

Debo decir que nunca pensé que sería amigo de muchos de ustedes, ahora cada palabra, cada consejo, cada cátedra y todo en general de mi formación profesional ya pasaron a ser parte de mí y les agradezco haberme tenido tanta paciencia pero principalmente por no haber sido envidiosos y transmitirme su conocimiento, al final es por el progreso de nuestro gran país, a los que llegue a convivir más fue muy grato haber escuchado su experiencias laborales y personales lo cual fue un intercambio de estímulo y conocimientos que atesoro en mi corazón, gracias por todo.

A MI ASESOR

Gracias M en I. Mario Sosa Rodríguez tal vez nunca tuve la oportunidad de haber sido alumno suyo pero todo eso se queda atrás por haberme ayudado a escoger en primer lugar el tema, por haberme demostrado su apoyo incondicional a este humilde proyecto, es una persona muy inteligente pero por sobre todo una gran persona, siempre muy atenta y amable y disculpe si alguna vez no hice las cosas como me pidió pero sepa que siempre hice mi mejor esfuerzo, le agradezco su tiempo y dedicación hacia su servidor.

A MIS AMIGOS DE LA ESCUELA

Cinco años de estar juntos fue una etapa de mucho aprendizaje con ustedes pase más tiempo que con nadie de mi familia u otra persona, pasamos de jóvenes a adultos, perdónenme por decir tanta irreverencias o por haber molestado a alguien pero siempre lo hice para hacer más amena nuestra estancia en esta gran institución, los quiero y siempre los llevare en mi corazón aprendí mucho de ustedes y espero que de mí también.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	ii
I. Historia del método CPM.....	1
1.1 Antecedentes históricos.....	2
1.2 Ventajas del método CPM.....	5
1.3 Datos básicos para el método CPM.....	10
1.3.1 Metodología.....	12
1.3.2 Definición del proyecto.....	13
II. Otros tipos de programación.....	16
2.1 Método o diagrama de Gantt.....	17
2.2 Método de Flechas.....	24
2.3 Método Pert.....	30
III. Formas de CPM.....	36
3.1 Soluciones óptimas: compresión y descompresión.....	37
3.2 La curva de datos de tiempo-costo.....	41
3.3 Preparación de las curvas de tiempo-costo para las distintas actividades.....	46
3.4 Tiempos flotantes.....	51
IV. Toma de decisiones.....	58
Aspectos generales en la toma de decisiones.....	59
Conclusiones.....	61
Bibliografía.....	65

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se presenta una recopilación de métodos de administración y gestión de proyectos que sirve para la toma de decisiones, pero se enfocara en el método Critical Path Method (CPM), se inicia hablando de la historia del método, desde cómo se creó hasta la forma que se conocen hoy, hablara también de las ventajas y desventajas, esto es importante ya que pese a que esta tesis se centra en el método CPM, es importante conocerlas y a partir de ahí tomar decisiones en su uso.

Pese a que en este trabajo se enfoca en el que el mejor método de administración es el CPM también se verán otros métodos tal es el caso de GANTT, PERT y ADM, ya que si se va a usar el método CPM se debe comparar con otros métodos y estar seguro porque se elige, además de ver el alcance de los demás métodos. Por último se desglosara el método CPM, es decir sus aplicaciones en ejemplos simples pero solo en aspectos generales, nomenclaturas usadas y uso.

OBJETIVO.

Se encontraran con la historia y aspectos generales del método CPM, además conocerá otros métodos de administración y se verán las palabras más usadas o nomenclatura usual.

ALCANCE

Se mencionaran algunos ejemplos sencillos para ver el uso del método pero solo serán en aspectos generales y se busca que sea el inicio de una investigación más especializada por parte de algún alumno de ingeniería civil.

UTILIDAD.

Este método es usual en la toma de decisiones en cualquier obra de ingeniería civil que se busca realizarla en el menor tiempo y costo posible, pero no solo se podrá usar en la ingeniería civil, ya que en cualquier proceso que se tenga que tomar decisiones en puntos críticos se intenta hacer su trabajo mucho más rápido y eficiente.

Así en el capítulo I se presenta: Se presenta la historia del método CPM ya que se tiene que analizar un método se necesita saber sus orígenes y su transformación con el paso del tiempo, se vio las ventajas del método esto se hizo para demostrar que es el mejor sobre otros métodos y dimos datos básicos del método CPM para poder desarrollarlo es decir se dijo en aspectos generales como se lleva a cabo la metodología y definimos proyectos es decir cómo se decide las decisiones a partir de datos obtenidos.

En el capítulo II: Se ven tipos de programación diferentes al CPM, tal es el caso del método de ADM, PERT y GANTT, es importante saber sus generalidades ya que se compara con el CPM, se debe saber cómo se desarrolla y el alcance que se puede obtener, se demuestra que el alcance es mucho menor y en termino de tiempo de ejecución de los mismos es mayor, por lo tanto queda claro los procesos, nomenclaturas y uso de cada uno de los métodos de programación.

En el capítulo III: Se observa los pasos básicos para poder hacer el método CPM, se explica la curva tiempo-costo que al final de cuentas es lo más importante, ya que el tiempo de ejecución de cualquier obra de ingeniería civil se ve reflejado en el costo de la misma, se explica los tiempos flotantes es decir los tiempos críticos que se debe observar para un mejor funcionamiento del método y de ahí marcar la ruta crítica, y ya por ultimo tomar en base en todos los datos que se obtienen llegando al resultado.

CAPÍTULO 1

“HISTORIA DEL MÉTODO CPM”

1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Los proyectos en gran escala por una sola vez han existido desde tiempos antiguos; este hecho lo atestigua la construcción de las pirámides de Egipto y los acueductos de roma. Pero sólo desde hace poco se han analizado por parte de los investigadores operacionales los problemas gerenciales asociados con dichos proyectos.

El problema de la administración de proyectos surgió con el proyecto de armamentos del polaris, empezando 1958. Con tantas componentes y subcomponentes juntos producidos por diversos fabricantes, se necesitaba una nueva herramienta para programar y controlar el proyecto.

El PERT (evaluación de programa y técnica de revisión) fue desarrollado por científicos de la oficina naval de proyectos especiales. Booz, Allen y Hamilton y la división de sistemas de armamentos de la corporación Lockheed Aircraft. La técnica demostró tanta utilidad que ha ganado amplia aceptación tanto en el gobierno como en el sector privado.

Casi al mismo tiempo, la compañía Dupont, junto con la división univac de la remington rand, desarrolló el método de la ruta crítica (CPM) para controlar el mantenimiento de proyectos de plantas químicas de dupont. Dos son los orígenes del método del camino crítico: el método PERT (program evaluation and review technique) desarrollo por la armada de los Estados Unidos de América, en 1957, para controlar los tiempos de ejecución de las diversas actividades integrantes de los proyectos espaciales, por la necesidad de terminar cada una de ellas dentro de los intervalos de tiempo disponibles.

Fue utilizado originalmente por el control de tiempos del proyecto polaris y actualmente se utiliza en todo el programa espacial.

El CPM fue diseñado para proporcionar diversos elementos útiles de información para los administradores del proyecto. Primero, el CPM expone la "ruta crítica" de un proyecto. Estas son las actividades que limitan la duración del proyecto.

En otras palabras, para lograr que el proyecto se realice pronto, las actividades de la ruta crítica deben realizarse pronto. Por otra parte, si una actividad de la ruta crítica se retarda, el proyecto como un todo se retarda en la misma cantidad.

Las actividades que no están en la ruta crítica tienen una cierta cantidad de holgura; esto es, pueden empezarse más tarde, y permitir que el proyecto como un todo se mantenga en programa. El CPM identifica estas actividades y la cantidad de tiempo disponible para retardos.

El CPM también considera los recursos necesarios para completar las actividades. En muchos proyectos, las limitaciones en mano de obra y equipos hacen que la programación sea difícil. El CPM identifica los instantes del proyecto en que estas restricciones causarán problemas y de acuerdo a la flexibilidad permitida por los tiempos de holgura de las actividades no críticas, permite que el gerente manipule ciertas actividades para aliviar estos problemas.

Finalmente, el CPM proporciona una herramienta para controlar y monitorear el progreso del proyecto. Cada actividad tiene su propio papel en éste y su importancia en la terminación del proyecto se manifiesta inmediatamente para el director del mismo. Las actividades de la ruta crítica, permiten por consiguiente, recibir la mayor parte de la atención, debido a que la terminación del proyecto, depende fuertemente de ellas. Las actividades no críticas se manipularan y remplazaran en respuesta a la disponibilidad de recursos.

El método CPM (crítical path method), el segundo origen del método actual, fue desarrollado también en 1957 en los estados unidos de américa, por un centro de investigación de operaciones para la firma Dupont y Remington Rand, buscando el control y la optimización de los costos de operación mediante la planeación adecuada de las actividades componentes del proyecto.

Ambos métodos aportaron los elementos administrativos necesarios para formar el método del camino crítico actual, utilizando el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación, para buscar que el proyecto total sea ejecutado en el menor tiempo y al menor costo posible.

El método CPM es un proceso administrativo (planeación, organización, dirección y control) de todas y cada una de las actividades componentes de un proyecto que debe desarrollarse durante un tiempo crítico y al costo óptimo.

La aplicación potencial del método de la ruta crítica, debido a su gran flexibilidad y adaptación, abarca desde los estudios iniciales para un proyecto determinado, hasta la planeación y operación de sus instalaciones. A esto se puede añadir una lista indeterminable de posibles aplicaciones de tipo específico. Así, podemos afirmar que el método de la ruta crítica es aplicable y útil en cualquier situación en la que se tenga que llevar a cabo una serie de actividades relacionadas entre sí para alcanzar un objetivo determinado.

El método es aplicable en tareas tales como: construcción, estudios económicos, planeación de carreras universitarias, censos de población, estudios técnicos, etc.

Los beneficios derivados de la aplicación del método de la ruta crítica se presentarán en relación directa a la habilidad con que se haya aplicado. Debe advertirse, sin embargo, que el camino crítico no es una panacea que resuelva problemas administrativos de un proyecto. Cualquier aplicación incorrecta producirá resultados adversos. No obstante, si el método es utilizado correctamente, determinará un proyecto más ordenado y mejor balanceado que podrá ser ejecutado de manera más eficiente y normalmente, en menor tiempo.

Un beneficio primordial que nos brinda el método de la ruta crítica es que resume en un sólo documento la imagen general de todo el proyecto, lo que nos ayuda a evitar omisiones, identificar rápidamente contradicciones en la planeación de actividades, facilitando abastecimientos ordenados y oportunos; en general, logrando que el proyecto sea llevado a cabo con un mínimo de tropiezos.

En la práctica el error que se comete más a menudo es que la técnica se utiliza únicamente al principio del proyecto, es decir, al desarrollar un plan y su programación y después se cuelga en la pared el diagrama resultante, olvidándose durante el resto de la vida del proyecto.

El verdadero valor de la técnica resulta más cuando se aplica en forma dinámica. A medida que se presentan hechos o circunstancias imprevistas, el método de la ruta crítica proporciona el medio ideal para identificar y analizar la necesidad de replantear o reprogramar el proyecto, reduciendo al mínimo el resultado adverso de dichas contingencias.

Del mismo modo, cuando se presenta una oportunidad para mejorar la programación del proyecto, la técnica permite determinar fácilmente que actividades deben ser aceleradas para que se logre dicha mejoría.



Figura 1.1.1 El proyecto debe pensarse bien.

1.2. VENTAJAS DEL MÉTODO CPM

El método de ruta crítica es un proceso administrativo (planeación, organización, dirección y control) de todas y cada una de las actividades componentes de un proyecto que debe desarrollarse durante un tiempo crítico y al costo óptimo. La aplicación potencial del método de la ruta crítica, debido a su gran flexibilidad y adaptación, abarca desde los estudios iniciales para un proyecto determinado, hasta la planeación y operación de sus instalaciones.

A esto se puede añadir una lista indeterminable de posibles aplicaciones de tipo específico. Así, podemos afirmar que el método de la ruta crítica es aplicable y útil en cualquier situación en la que se tenga que llevar a cabo una serie de actividades relacionadas entre sí para alcanzar un objetivo determinado.

El método es aplicable en tareas tales como: construcción, estudios económicos, planeación de carreras universitarias, censos de población, estudios técnicos, etc. los beneficios derivados de la aplicación del método de la ruta crítica se presentarán en relación directa a la habilidad con que se haya aplicado.

Debe advertirse, sin embargo, que el camino crítico no es una panacea que resuelva problemas administrativos de un proyecto. Cualquier aplicación incorrecta producirá resultados adversos. No obstante, si el método es utilizado correctamente, determinará un proyecto más ordenado y mejor balanceado que podrá ser ejecutado de manera más eficiente y normalmente, en menor tiempo.

Un beneficio primordial que nos brinda el método de la ruta crítica es que resume en un sólo documento la imagen general de todo el proyecto, lo que nos ayuda a evitar omisiones, identificar rápidamente contradicciones en la planeación de actividades, facilitando abastecimientos ordenados y oportunos; en general, logrando que el proyecto sea llevado a cabo con un mínimo de tropiezos.

En la práctica el error que se comete más a menudo es que la técnica se utiliza únicamente al principio del proyecto, es decir, al desarrollar un plan y su programación y después se cuelga en la pared el diagrama resultante, olvidándose durante el resto de la vida del proyecto.

El verdadero valor de la técnica resulta más cuando se aplica en forma dinámica. A medida que se presentan hechos o circunstancias imprevistas, el método de la ruta crítica proporciona el medio ideal para identificar y analizar la necesidad de replantear o reprogramar el proyecto, reduciendo al mínimo el resultado adverso de dichas contingencias.

Del mismo modo, cuando se presenta una oportunidad para mejorar la programación del proyecto, la técnica permite determinar fácilmente que actividades deben ser aceleradas para que se logre dicha mejoría. La duración de la ruta crítica determina la duración del proyecto entero.

Cualquier retraso en un elemento de la ruta crítica afecta la fecha de término planeada del proyecto, y se dice que no hay holgura en la ruta crítica. Un proyecto puede tener varias rutas críticas paralelas.

Una ruta paralela adicional a través de la red con las duraciones totales menos cortas que la ruta crítica es llamada una sub-ruta crítica. Originalmente, el método de la ruta crítica consideró solamente dependencias entre los elementos terminales. Un concepto relacionado es la cadena crítica, la cual agrega dependencias de recursos. Cada recurso depende del manejador en el momento donde la ruta crítica se presente.

El CPM fue diseñado para proporcionar diversos elementos útiles de información para los administradores de proyectos. Este método expone la ruta crítica de un proyecto; esto es, las actividades que limitan la duración de un proyecto. En otras palabras, para lograr que el proyecto se realice pronto, las actividades de la ruta crítica deberán realizarse pronto.

Por otra parte, si una actividad de la ruta crítica se retrasa, el proyecto como un todo se retrasará en la misma cantidad. Las actividades que no están en la ruta crítica tienen una cierta cantidad de holgura; es decir, pueden empezar más tarde y permiten que el proyecto como un todo se mantenga conforme a lo programado. El CPM identifica estas actividades y la cantidad de tiempo disponible para retardos.

Maneja tiempos conocidos de las actividades del proyecto. Actualmente se ha tomado lo mejor de ambos métodos y se han vuelto uno solo, conocido como método de la ruta crítica. “que se desee el costo de operación de un proyecto más bajo posible dentro de un tiempo límite disponible.” Desarrollar una lista de actividades.

Predecesor inmediato: identifica las actividades que deben haberse terminado inmediatamente antes de iniciar una nueva actividad. La información del predecesor inmediato determina si las actividades se pueden terminar en paralelo (trabajar de manera simultánea), o en serie (terminar una antes de que empiece la siguiente).

Procedimiento para llevar a cabo el CPM la trayectoria más larga determina el tiempo total requerido para la finalización del proyecto. Si se retardan las actividades de la trayectoria más larga, la totalidad del proyecto también se retardará, por lo que la más larga es la “ruta crítica”. Las actividades de la ruta crítica se conocen como “actividades críticas”.



Figura1.1.2 Tener en cuenta la duración de la ruta crítica

La duración de la ruta crítica determina la duración del proyecto entero. Cualquier retraso en un elemento de la ruta crítica afecta la fecha de término planeada del proyecto, y se dice que no hay holgura en la ruta crítica. Un proyecto puede tener varias rutas críticas paralelas. Una ruta paralela adicional a través de la red con las duraciones totales menos cortas que la ruta crítica es llamada una sub-ruta crítica.

Originalmente, el método de la ruta crítica consideró solamente dependencias entre los elementos terminales. Un concepto relacionado es la cadena crítica, la cual agrega dependencias de recursos. Sin embargo, la elaboración de un proyecto en base a redes CPM y PERT son similares y consisten en:

- 1.- Identificar todas las actividades que involucra el proyecto, lo que significa, determinar relaciones de precedencia, tiempos técnicos para cada una de las actividades.
- 2.- Construir una red con base en nodos y actividades (o arcos, según el método más usado), que implican el proyecto.
- 3.- Analizar los cálculos específicos, identificando las rutas críticas y las holguras de los proyectos.

En términos prácticos, la ruta crítica se interpreta como la dimensión máxima que puede durar el proyecto y las diferencias con las otras rutas que no sean la crítica, se denominan tiempos de holgura. Esta técnica es muy útil para saber sobre que terreno pisas en cuanto a la entrega de un proyecto y no quedar mal con tu cliente.

El campo de acción de este método es muy amplio, dada su gran flexibilidad y adaptabilidad a cualquier proyecto grande o pequeño. Para obtener los mejores resultados debe aplicarse a los proyectos que posean las siguientes características:

- a. que el proyecto sea único, no repetitivo, en algunas partes o en su totalidad.
 - b. que se deba ejecutar todo el proyecto o parte de él, en un tiempo mínimo, sin variaciones, es decir, en tiempo crítico.
 - c. que se desee el costo de operación más bajo posible dentro de un tiempo disponible.
- dentro del ámbito aplicación, el método se ha estado usando para la planeación y control de diversas actividades, tales como construcción de presas, apertura de caminos, pavimentación, construcción de casas y edificios, reparación de barcos, investigación de mercados, movimientos de colonización, estudios económicos regionales, auditorías, planeación de carreras universitarias, distribución de tiempos de salas de operaciones, ampliaciones de fábrica, planeación de itinerarios para cobranzas, planes de venta, censos de población, etc., etc.



Figura 1.2.2 Debemos pensar en cuanto dinero repercutirá las decisiones.

1.3. DATOS BÁSICOS PARA EL MÉTODO CPM.

El método de CPM realiza los estimados de tiempo. supone que el tiempo para realizar cada una de las actividades es una variable aleatoria descrita por una distribución de probabilidad. También por otra parte, infiere que los tiempos de las actividades se conocen en forma determinísticas y se pueden vari

Cambiando el nivel de recursos utilizados.

La distribución para cualquier actividad se define por tres estimados:

- (1) el estimado de tiempo más probable, m ;
- (2) el estimado de tiempo más optimista, a ; y
- (3) el estimado de tiempo más pesimista, b .

La forma de la distribución se muestra en la siguiente figura. e1 tiempo más probable es el tiempo requerido para completar la actividad bajo condiciones normales.

Los tiempos optimistas y pesimistas proporcionan una medida de la incertidumbre inherente en la actividad, incluyendo desperfectos en el equipo, disponibilidad de mano de obra, retardo en los materiales y otros factores.

Con la distribución definida, la media (esperada) y la desviación estándar, respectivamente, del tiempo de la actividad para la actividad z puede calcularse por medio de las fórmulas de aproximación.

$$T_e(Z) = \frac{a + 4m + b}{6}$$

$$\sigma(Z) = \frac{b - a}{6}$$

El tiempo esperado de finalización de un proyecto es la suma de todos los tiempos esperados de las actividades sobre la ruta crítica. De modo similar, suponiendo que las distribuciones de los tiempos de las actividades son independientes (realísticamente, una suposición fuertemente cuestionable), la varianza del proyecto es la suma de las varianzas de las actividades en la ruta crítica. Estas propiedades se demostrarán posteriormente.



Figura 1.3.1 El tiempo en el método cpm es importante.

En CPM solamente se requiere un estimado de tiempo. Todos los cálculos se hacen con la suposición de que los tiempos de actividad se conocen.

A medida que el proyecto avanza, estos estimados se utilizan para controlar y monitorear el progreso.

Si ocurre algún retardo en el proyecto, se hacen esfuerzos por lograr que el proyecto quede de nuevo en programa cambiando la asignación de recursos.

1.3.1 METODOLOGÍA

El método de la ruta crítica consta básicamente de dos ciclos:

1. planeación y programación
2. ejecución y control

El primer ciclo termina hasta que todas las personas directoras o responsables de los diversos procesos que intervienen en el proyecto están plenamente de acuerdo con el desarrollo, tiempos, costos, elementos utilizados, coordinación, etc., tomando como base la red de camino crítico diseñada al efecto.

Al terminar la primera red, generalmente hay cambios en las actividades componentes, en las secuencias, en los tiempos y algunas veces en los costos, por lo que hay necesidad de diseñar nuevas redes hasta que exista un completo acuerdo de las personas que integran el grupo de ejecución.

El segundo ciclo termina al tiempo de hacer la última actividad del proyecto y entre tanto existen ajustes constantes debido a las diferencias que se presentan entre el trabajo programado y el realizado.

Será necesario graficar en los esquemas de control todas las decisiones tomadas para ajustar a la realidad el plan original. Con objeto de entender este proceso, se presenta la figura 1.

Considerando que el principal objetivo de este trabajo consiste en establecer la metodología de la construcción de la red del camino crítico se abarcará únicamente el primer ciclo, con objeto de presentar la elaboración de la red del camino crítico y entienda sus ventajas y limitaciones.

El primer ciclo se compone de las siguientes etapas: definición del proyecto, lista de actividades, matriz de secuencias, matriz de tiempos, red de actividades, costos y pendientes, compresión de la red, limitaciones de tiempo, de recursos económicos, matriz de elasticidad.

1.3.2 DEFINICIÓN DEL PROYECTO

Esta etapa aunque es esencial para la ejecución del proyecto no forma parte del método. Es una etapa previa que debe desarrollarse separadamente y para la cual también puede utilizarse el método de la ruta crítica. Es una investigación de objetivos, métodos y elementos viables y disponibles, lo que nos aclara si el proyecto va a satisfacer una necesidad o si es costeable su realización.

En la lista de actividades es la relación de actividades físicas o mentales que forman procesos interrelacionados en un proyecto total.

No es necesario que las actividades se listen en orden de ejecución, aunque si es conveniente porque evita que se olvide alguna de ellas. Sin embargo, las omisiones de las actividades se descubrirán más tarde al hacer la red correspondiente.

Es conveniente numerar progresivamente las actividades para su identificación y en algunos casos puede denominarse en clave, no es necesario indicar la cantidad de trabajo ni las personas que la ejecutarán.

En términos generales, se considerará actividad a la serie de operaciones realizadas por una persona o grupo de personas en forma continua, sin interrupciones, con tiempos determinables de iniciación y terminación.

La matriz de las secuencias existen dos procedimientos para conocer la secuencia de las actividades:

a) por antecedentes

b) por secuencias

En el primer caso se preguntará a los responsables de los procesos cuales actividades deben quedar terminadas para ejecutar cada una de las que aparecen en la lista. Debe cuidarse que todas y cada una de las actividades tenga cuando menos un antecedente. En el caso de ser iniciales, la actividad antecedente será cero.

En el segundo procedimiento se preguntará a los responsables de la ejecución, cuales actividades deben hacerse al terminar cada una de las que aparecen en lista de actividades. Para este efecto se debe presentar la matriz de secuencias iniciando con la actividad cero que servirá para indicar solamente el punto de partida de las demás.

Mediante esta matriz conocemos el tiempo de duración de cada actividad del proyecto. El método de la ruta crítica utiliza únicamente un tipo de estimación de duración, basada en la experiencia obtenida con anterioridad mediante una actividad x.

Para asignar el tiempo de duración de una actividad debemos basarnos en la manera más eficiente para terminarla de acuerdo con los recursos disponibles.

Tanto la matriz de secuencias como la matriz de tiempos se reúnen en una sola llamada matriz de información, que sirve para construir la red medida.

La representación visual del método de la ruta crítica es el diagrama de flechas o red de actividades, que consiste en la ilustración gráfica del conjunto de operaciones de un proyecto y de 4.

Sus interrelaciones. La red está formada por flechas que representan actividades y nudos o uniones que simbolizan eventos.

Cuando se encuentran varias flechas conectadas una tras otra es que existe una secuencia entre ellas; esa es la manera de ilustrar dicha dependencia. Los nudos o uniones de flechas, denominados eventos, se representan en la gráfica en forma de círculos y significan la terminación de las actividades que culminan en un evento determinado y la iniciación de las subsecuentes.

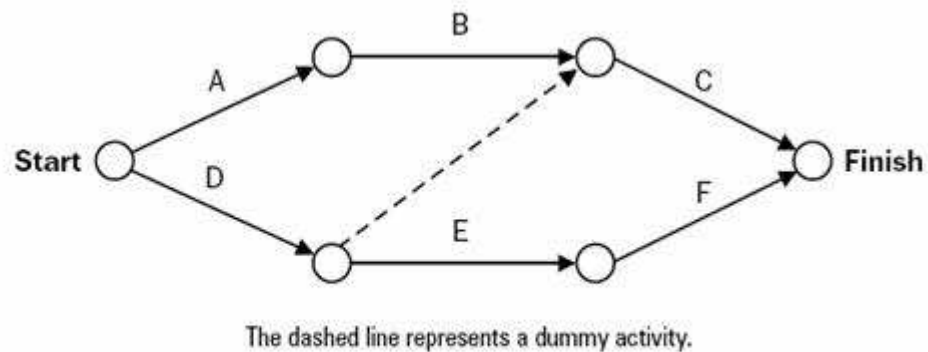


Figure 6-3. Network Logic Diagram Drawn Using the Arrow Diagramming Method

Figura 1.3.2 Representación del método de flechas.

CAPÍTULO 2

“OTROS TIPOS DE PROGRAMACIÓN”

2.1 MÉTODO O DIAGRAMA DE GANTT

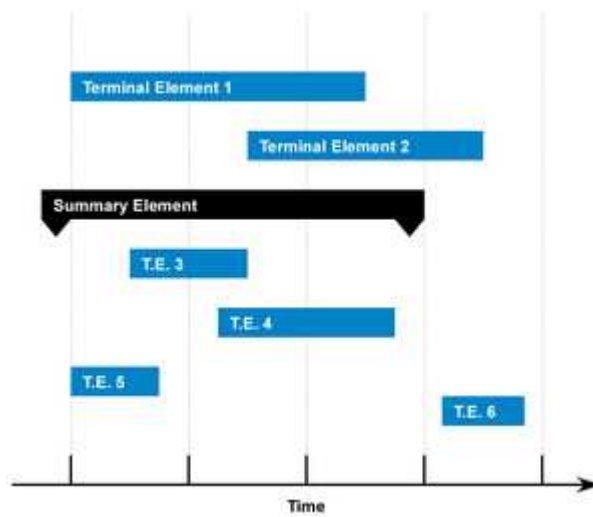


Figura 2.1.1 Representación del método de GANTT.

Introducción.

El diagrama de GANTT es una herramienta que le permite al usuario modelar la planificación de las tareas necesarias para la realización de un proyecto. Esta herramienta fue inventada por Henry I. Gantt en 1917.

Debido a la relativa facilidad de lectura de los diagramas de gantt, esta herramienta es utilizada por casi todos los directores de proyecto en todos los sectores. El diagrama de GANTT es una herramienta para el director del proyecto que le permite realizar una representación gráfica del progreso del proyecto, pero también es un buen medio de comunicación entre las diversas personas involucradas en el proyecto.

Este tipo de modelo es particularmente fácil de implementar con una simple hoja de cálculo, pero también existen herramientas especializadas, la más conocida es microsoft project. También existen equivalentes de este tipo de software que son gratis.

El diagrama de GANTT, gráfica de GANTT o carta GANTT es una popular herramienta gráfica cuyo objetivo es mostrar el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado.

A pesar de que, en principio, el diagrama de GANTT no indica las relaciones existentes entre actividades, la posición de cada tarea a lo largo del tiempo hace que se puedan identificar dichas relaciones e interdependencias.

Por esta razón, para la planificación del desarrollo de proyectos complejos (superiores a 25 actividades) se requiere además el uso de técnicas basadas en redes de precedencia como CPM o los gráficos PERT.

Estas redes relacionan las actividades de manera que se puede visualizar el camino crítico del proyecto y permiten reflejar una escala de tiempos para facilitar la asignación de recursos y la determinación del presupuesto. El diagrama de GANTT, sin embargo, resulta útil para la relación entre tiempo y carga de trabajo.

En gestión de proyectos, el diagrama de gantt muestra el origen y el final de las diferentes unidades mínimas de trabajo y los grupos de tareas (llamados *summary elements* en la imagen) o las dependencias entre unidades mínimas de trabajo (no mostradas en la imagen).

Desde su introducción los diagramas de GANTT se han convertido en una herramienta básica en la gestión de proyectos de todo tipo, con la finalidad de representar las diferentes fases, tareas y actividades programadas como parte de un proyecto o para mostrar una línea de tiempo en las diferentes actividades haciendo el método más eficiente.

Básicamente el diagrama está compuesto por un eje vertical donde se establecen las actividades que constituyen el trabajo que se va a ejecutar, y un eje horizontal que muestra en un calendario la duración de cada una de ellas.

Se puede producir un diagrama de GANTT con una hoja de cálculo de una manera muy sencilla, marcando determinadas celdas para formar la representación de cada tarea. Existen macros que automatizan esta elaboración en ms excel y openoffice calc.

Sin embargo, existen herramientas de gestión de proyectos dedicadas a la planificación y seguimiento de tareas, que tienen el diagrama de gantt como pantalla principal. Se introducen las tareas, sus informáticas capaces de producir una representación de tareas en el tiempo en un formato de gráfico de GANTT. También existen herramientas de licencia libre capaces de llevar a cabo la tarea de representar gráficos de progreso GANTT. Se deben valorar, por último, el uso de herramientas que usan una página web y el navegador para hacer seguimiento de proyectos.

En un diagrama de GANTT, cada tarea es representada por una línea, mientras que las columnas representan los días, semanas, o meses del programa, dependiendo de la duración del proyecto. El tiempo estimado para cada tarea se muestra a través de una barra horizontal cuyo extremo izquierdo determina la fecha de inicio prevista y el extremo derecho determina la fecha de finalización estimada. Las tareas se pueden colocar en cadenas secuenciales o se pueden realizar simultáneamente.



Figura 2.1.2 En el método GANTT se pueden realizar actividades simultáneas.

Si las tareas son secuenciales, las prioridades se pueden confeccionar utilizando una flecha que desciende de las tareas más importantes hacia las tareas menos importantes. La tarea menos importante no puede llevarse a cabo hasta que no se haya completado la más importante.



Figura 2.1.3 En GANTT se deben tomar prioridades.

A medida que progresa una tarea, se completa proporcionalmente la barra que la representa hasta llegar al grado de finalización. Así, es posible obtener una visión general del progreso del proyecto rastreando una línea vertical a través de las tareas en el nivel de la fecha actual. Las tareas ya finalizadas se colocan a la izquierda de esta línea; las tareas que aún no se han iniciado se colocan a la derecha, mientras que las tareas que se están llevando a cabo atraviesan la línea. Si la línea está cubierta en la parte izquierda, ¡la tarea está demorada respecto de la planificación del proyecto!

Idealmente, un diagrama como este no debe incluir más de 15 ó 20 tareas para que pueda caber en una sola hoja con formato a4. Si el número de tareas es mayor, es posible crear diagramas adicionales en los que se detallan las planificaciones de las tareas principales.

Adicionalmente, es posible que los eventos más importantes, que no sean las tareas mismas, se muestren en la planificación como puntos de conexión del proyecto: estos se denominan acontecimientos.

Los acontecimientos permiten que el proyecto se realice en fases claramente identificables, evitando que se prolongue la finalización del mismo. Un acontecimiento podría ser la producción de un documento, la realización de una reunión o el producto final de un proyecto.

Los acontecimientos son tareas de duración cero, representadas en el diagrama por un símbolo específico, frecuentemente un triángulo invertido o un diamante.



Figura 2.1.4 Se debe evitar la prolongación del fin de cualquier obra.

La ventaja principal del gráfico de GANTT radica en que su trazado requiere un nivel mínimo de planificación, es decir, es necesario que haya un plan que ha de representarse en forma de gráfico.

Los gráficos de GANTT se revelan muy eficaces en las etapas iniciales de la planificación.

Sin embargo, después de iniciada la ejecución de la actividad y cuando comienza a efectuarse modificaciones, el gráfico tiende a volverse confuso.

Por eso se utiliza mucho la representación gráfica del plan, en tanto que los ajustes (replanificación) requieren por lo general de la formulación de un nuevo gráfico. Para superar esa deficiencia se crearon dispositivos mecánicos, tales como cuadros magnéticos, fichas, cuerdas, etc., que permite una mayor flexibilidad en las actualizaciones. Aún en términos de planificación, existe todavía una limitación bastante grande en lo que se refiere a la representación de planes de cierta complejidad. El gráfico de GANTT no ofrece condiciones para el análisis de opciones, ni toma en cuenta factores como el costo. es fundamentalmente una técnica de pruebas y errores. No permite, tampoco, la visualización de la relación entre las actividades cuando el número de éstas es grande.

En resumen, para la planificación de actividades relativamente simples, el gráfico de GANTT representa un instrumento de bajo costo y extrema simplicidad en su utilización. Para proyectos complejos, sus limitaciones son bastantes serias, y fueron éstas las que llevaron a ensayos que dieron como resultado el desarrollo del CPM, el PERT y otras técnicas conexas. Estas técnicas introdujeron nuevos conceptos que, asociados más tarde a los de los gráficos de GANTT, dieron origen a las denominadas redes-cronogramas.

En este tipo de gráfico se usa el eje vertical para representar actividades, en tanto que los recursos aplicados a cada uno indican, por medio de claves, sobre la línea que representan la duración de la actividad. Consiste, por lo tanto, en una inversión del caso anterior. El eje horizontal permanece como registro de escala de tiempo.

Este gráfico es semejante al de la distribución de actividad que tiene por objeto proporcionar el administrador una posición de carga total de trabajo aplicada a cada recurso.

Indica el periodo durante el cual el recurso estará disponible para el trabajo (representado por una línea fina) y la carga total de trabajo asignada a este recurso (representado por una línea gruesa de técnicas de programación).

Las técnicas de planificación se ocupan de estructurar las tareas a realizar dentro del proyecto, definiendo la duración y el orden de ejecución de las mismas, mientras que las técnicas de programación tratan de ordenar las actividades de forma que se puedan identificar las relaciones temporales lógicas entre ellas, determinando el calendario o los instantes de tiempo en que debe realizarse cada una.

La programación debe ser coherente con los objetivos perseguidos y respetar las restricciones existentes (recursos, costes, cargas de trabajo, etc...).

2.2 MÉTODO DE FLECHAS O ADM

Este documento sirve de guía para el proceso de planificación de proyectos. Describe desde la visualización de la secuencia de acciones a desarrollar en dichos proyectos (diagrama de flechas), hasta la evaluación de tiempos de realización de las mismas (PERT), y la evaluación de la relación entre dichos tiempos y los costes en que se incurre en su desarrollo.

Muestra, mediante múltiples ejemplos, la adecuación de cada una de estas herramientas a los objetivos que se persiguen con la planificación.

Definir las reglas básicas a seguir para la construcción y utilización del diagrama de flechas, del método PERT y del CPM, resaltando las situaciones en que pueden o deben ser utilizados. Es de aplicación a todos aquellos estudios y situaciones en las que se necesita planificar cualquier tipo de proyecto o esfuerzo, que se pueda descomponer en varias actividades sucesivas. Su utilización será beneficiosa para el desarrollo y el seguimiento de los proyectos abordados por los equipos y grupos de mejora y por todos aquellos individuos u organismos que estén implicados en la mejora de la calidad. Además, se recomienda su uso como herramienta de trabajo dentro de las actividades habituales de gestión.

La construcción de un diagrama de flechas se basa en las siguientes ideas clave:

- a) para pasar de un evento a otro, hay que completar la actividad que une los dos eventos.
- b) no puede terminarse ninguna actividad hasta que el evento que le precede haya tenido lugar.
- c) ningún evento puede considerarse como alcanzado hasta que todas las actividades que conducen al mismo estén terminadas.



Figura 2.2.1 Debe visualizarse la obra terminada.

Es importante identificar claramente para qué tipo de decisiones se utilizará el diagrama de flechas, puesto que el objetivo de la construcción influirá sobre el grado de detalle del diagrama, la elección de los puntos clave (hitos) del proyecto, y, naturalmente sobre la oportunidad de realizar un análisis PERT o CPM.

Determinar el evento inicial y el evento final del proyecto.

Los hitos han de ser puntos notables y significativos del proyecto, dependiendo su número del grado de detalle requerido. Hay que procurar mantener el mismo nivel de detalle en todo el diagrama, es decir en cada fase o área del proyecto.

Cada evento n se representará con un número en un círculo.

Aunque los números no representen el orden secuencial de los eventos, se procurará asignarlos de forma que cada uno tenga un número inferior a todos sus hitos sucesores.

El evento inicial se designará con 1.

Respecto a la disposición gráfica de los hitos, se debe considerar que el flujo lógico irá de izquierda a derecha. Se empezará entonces, dibujando en el extremo izquierdo de la hoja el primer evento del proyecto, disponiendo luego sus eventos sucesores a su derecha, y así sucesivamente. Eventos o cadenas de eventos independientes y paralelos se dispondrán uno debajo del otro.

Conectar cada evento con todos sus sucesores por medio de flechas. Las flechas indicarán el sentido de la secuencia lógica (hacia la derecha).

Cada actividad se identificará como "aij", sustituyendo "i" por el número correspondiente al evento de comienzo de la actividad y "j" por el número correspondiente al que finaliza la actividad.

Recopilar una lista-leyenda de las actividades, definiendo el trabajo al que corresponden.

Evidenciar las dependencias lógicas, que no comportan trabajo, conectando los dos eventos con una flecha discontinua.

a) comprobar, para cada evento, que sus eventos predecesores y las actividades que los conectan son efectivamente suficientes para alcanzarlo.

b) comprobar que el diagrama no contenga "mallas cerradas". Estas representan situaciones imposibles y anulan la utilidad del diagrama. El problema tiene su origen, en una mala identificación y/o definición de uno de los eventos o una de las actividades, que componen la "malla cerrada".

El diagrama de flechas se construirá como lo hemos indicado en el los puntos anteriores.

Para cada actividad se harán tres estimaciones acerca del tiempo necesario para llevarla a cabo:

- el tiempo optimista, t_o = es el mínimo periodo de tiempo posible necesario para realizar la actividad.
- el tiempo más probable, t_m = es la mejor estimación del periodo de tiempo necesario para llevar a cabo la actividad.
- el tiempo pesimista, t_p = es el máximo periodo de tiempo que podría tardarse en realizar la actividad.

Siendo, por tanto: $t_o < t_m < t_p$.

Hay que asegurar que todos los tiempos sean expresados en la misma unidad de medida (minutos, días, semanas, etc).

El tiempo estadísticamente esperado, t_e , es el tiempo promedio (media ponderada), que la actividad consumiría, si fuese repetida muchas veces.

Para cada actividad se calculará el tiempo esperado, aplicando a las evaluaciones de tiempo hechas para la actividad en cuestión.

El valor t_e es la base de todos los cálculos de tiempos en el diagrama de flechas del PERT, y se escribirá para cada actividad sobre la línea que la representa.

Si la varianza es grande, hay gran incertidumbre sobre el tiempo de terminación de la actividad. Si la varianza es pequeña, la evaluación de la duración de la actividad será bastante precisa, es decir, las estimaciones optimista y pesimista serán muy parecidas.

El t_e de un evento representa el tiempo más breve posible en que el evento puede tener lugar, y se calcula sumando los t_e de la secuencia de actividades necesarias para alcanzarlo.

Cuando hay más de un camino que conduce a un evento, el camino que consuma el mayor tiempo, determina el tiempo más breve posible en que puede esperarse alcanzar el evento en cuestión, dado que es necesario realizar las actividades de todos los caminos que llegan a ese evento.

El valor σ de un evento n indica el nivel de incertidumbre asociado a la estimación del tiempo t_e . Los valores t_e y σ de un evento n se calculan de la siguiente manera:

a) se empieza con el primer evento (su t_e y su d son iguales a cero) considerando luego, sus directos sucesores etc..., hasta llegar al último evento del proyecto. El valor t_e del último evento representa el tiempo mínimo esperado para finalizar el proyecto.

b) se identifican todos los eventos que preceden directamente al evento n .

c) para cada evento n , se añade al t_e del evento $n-1$ (predecesor) la duración esperada t_d de la actividad que le conecta con el evento n .

d) se elige entre los resultados así obtenidos el mayor, es decir el valor máximo.

Este será el único t_e del evento n . los demás valores obtenidos son irrelevantes y no se volverán a considerar.

e) se suma al valor d del evento predecesor resultante del punto c, la varianza d^2 de la actividad que le conecta con el evento n . El resultado será el único valor d correspondiente al evento n . Los valores t_e así obtenidos se escribirán en el diagrama de flechas, por encima del evento correspondiente.

El t_l de un evento representa el tiempo máximo en que debe alcanzarse dicho evento para poder seguir el proyecto tal y como ha sido planificado, siendo el t_l del último evento el tiempo establecido para finalizar el proyecto.

El valor t_l de un evento n se calcula de la siguiente manera:

a) se empieza con el último evento (= fin del proyecto), operando en sentido inverso hasta el primero. El t_l del último evento se considera aquí como un dato "externo", ya establecido. (Deseo del cliente, compromiso, fecha "orientativa" interna, a menudo el valor t_e obtenido en el paso 5 para el evento final del proyecto, etc...)

b) para cada evento n , se identifican todos los eventos sucesores inmediatos del mismo.

c) se resta del t_l del evento sucesor al evento n la duración esperada t_d de la actividad que le conecta con el evento n .

d) se elige entre los resultados así obtenidos el menor. Este será el único t_l del evento n . los demás valores obtenidos son irrelevantes y no se volverán a considerar. Los valores t_l así obtenidos, se escribirán en el diagrama de flechas debajo del respectivo evento.

La holgura de un evento es la diferencia entre el tiempo máximo permisible y el tiempo esperado (tiempo mínimo posible) para alcanzarlo.

La holgura de un evento puede ser positiva, igual a cero o negativa. El camino crítico es aquella secuencia de actividades, desde el primer evento hasta el último, en el que los eventos tienen la holgura mínima.

Se identificará en el diagrama de flechas el camino crítico, marcando las actividades que lo constituyen con líneas más gruesas. Esta probabilidad se puede calcular tanto para el último evento (final de proyecto), como para cualquier otro evento del diagrama de flechas considerado lo suficientemente importante como para que se le asigne una fecha de terminación propia. La fecha asignada se indicará con t_s , y la probabilidad de cumplir con ella se determina de la siguiente manera:

a) se calcula el valor del factor de probabilidad:

donde z es el factor de probabilidad, t_e y 2 los valores correspondientes al evento para el cual se ha establecido el tiempo de terminación t_s .

b) se determina la probabilidad de cumplir con la fecha establecida, p_r , leyendo el valor correspondiente al obtenido para z en la tabla de valores de la distribución normal (valores z y p_r).

Para el seguimiento del proyecto, se establecerán fechas o eventos asociados a una revisión del diagrama.

Se sustituirán, con el fin de actualizar el diagrama, los tiempos esperados para las actividades que se hayan ya realizado, por los tiempos ciertos alcanzados. Si resulta oportuno se revisarán también los tiempos para las demás actividades. En base a estos datos se volverán a calcular todos los tiempos máximos y mínimos, las holguras y el camino crítico.



Figura 2.2.2 Se deben calcular tiempos máximos y mínimos.

2.3 MÉTODO PERT

El método pert permite planificar y controlar el desarrollo de un proyecto. A diferencia de las redes CPM, el método PERT trabaja con tiempos probabilísticas. Normalmente para desarrollar un proyecto específico lo primero que se hace es determinar, en una reunión multidisciplinaria, cuáles son las actividades que se deberá ejecutar para llevar a feliz término el proyecto, cuál es la precedencia entre ellas y cuál será la duración esperada de cada una. Para definir la precedencia entre actividades se requiere de una cierta cuota de experiencia profesional en el área, en proyectos afines. Estos tres principios deben respetarse siempre a la hora de dibujar el método PERT:

- principio de designación sucesiva: se nombra a los vértices según los números naturales, de manera que no se les asigna número hasta que han sido nombrados todos aquellos de los que parten aristas que van a parar a ellos.
- principio de unicidad del estado inicial y el final: se prohíbe la existencia de más de un vértice inicial o final. sólo existe una situación de inicio y otra de terminación del proyecto.
- principio de designación unívoca: no pueden existir dos aristas que tengan los mismos nodos de origen y de destino. normalmente, se nombran las actividades mediante el par de vértices que unen. si no se respetara este principio.

Para estimar la duración esperada de cada actividad es también deseable tener experiencia previa en la realización de tareas similares. En planificación y programación de proyectos se estima que la duración esperada de una actividad es una variable aleatoria de distribución de probabilidad beta unimodal" de parámetros (a, m, b) donde:

t_a = se define como el tiempo optimista al menor tiempo que puede durar una actividad.

t_m = es el tiempo más probable que podría durar una actividad

(este corresponde al tiempo cpm, asumiendo que los cálculos son exactos).

t_b = éste es el tiempo pesimista, o el mayor tiempo que puede durar una actividad.

t_e = corresponde al tiempo esperado para una actividad.

Nota: se supone que cada tarea, sigue una ley de distribución de b de euler, el valor (o tiempo) esperado en esta distribución. Esta se expresa en la siguiente fórmula:

$$t_e = \frac{t_a + 4t_m + t_b}{6}$$

Cuya varianza está dada por:

$$\sigma^2 = \left(\frac{t_b - t_a}{6} \right)^2$$

y una desviación estándar:

$$\sigma = \frac{t_b - t_a}{6}$$

En un dibujo del método pert podemos distinguir nodos y arcos. Los nodos representan instantes en el tiempo. Específicamente, representan el instante de inicio de una o varias actividades y simultáneamente el instante de término de otras varias actividades. Los arcos por su parte representan las actividades, tienen un nodo inicial y otro de término donde llega en punta de flecha. Asociada a cada arco está la duración esperada de la actividad. Más información de un diagrama de actividades son éstas con una valoración de complejidad para minimizar el efecto de *cuello de botella*.

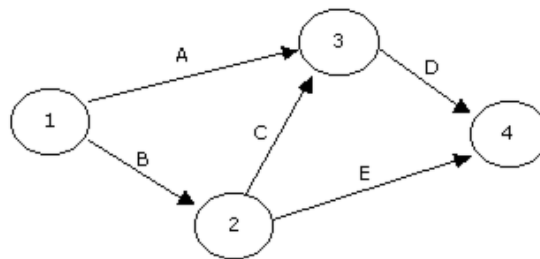


Figura 2.3.1 Representación del método PERT.

Existen dos metodologías aceptadas para dibujar una malla PERT, la de “actividad en el arco” y las de “actividad en el nodo”, siendo ésta última la más utilizada en la actualidad en atención a que es la que usan la mayoría de las aplicaciones computacionales especializadas en este tema. Cada nodo contiene la siguiente información sobre la actividad:

- nombre de la actividad
- duración esperada de la actividad (t)
- tiempo de inicio más temprano (es = earliest start)
- tiempo de término más temprano (ef = earliest finish)
- tiempo de inicio más tardío (ls = latest start)
- tiempo de término más tardío (lf = latest finish)
- holgura de la actividad (h)



Figura 2.3.2 Holgura de actividad.

Por convención los arcos se dibujan siempre con orientación hacia la derecha, hacia el nodo de término del proyecto, nunca retrocediendo. El dibujo de una malla pert se comienza en el nodo de inicio del proyecto.

A partir de él se dibujan las actividades que no tienen actividades precedentes, o sea, aquellas que no tienen que esperar que otras actividades terminen para poder ellas iniciarse. A continuación, se dibujan las restantes actividades cuidando de respetar la precedencia entre ellas.

Al terminar el dibujo de la malla preliminar, existirán varios nodos ciegos, nodos terminales a los que llegan aquellas actividades que no son predecesoras de ninguna otra, es decir aquellas que no influyen en la fecha de inicio de ninguna otra, éstas son las actividades terminales y concurren por lo tanto al nodo de término del proyecto.

El tiempo de inicio más temprano “es” (early start) y de término más temprano “ef” (early finish) para cada actividad del proyecto, se calculan desde el nodo de inicio hacia el nodo de término del proyecto según la siguiente relación:

$$ef = es + t$$

Donde (t) es el tiempo esperado de duración de la actividad y donde es queda definida según la siguiente regla:

- regla del tiempo de inicio más temprano:

El tiempo de inicio más temprano, es, de una actividad específica, es igual al mayor de los tiempos ef de todas las actividades que la preceden directamente.

El tiempo de inicio más temprano de las actividades que comienzan en el nodo de inicio del proyecto es cero (0).

La duración esperada del proyecto (t) es igual al mayor de los tiempos ef de todas las actividades que desembocan en el nodo de término del proyecto.

El tiempo de inicio más tardío “ls” (latest start) y de término más tardío “lf” (latest finish) para cada actividad del proyecto, se calculan desde el nodo de término retrocediendo hacia el nodo de inicio del proyecto según la siguiente relación:

$$ls = lf - t$$

Donde (t) es el tiempo esperado de duración de la actividad y donde lf queda definida según la siguiente regla:

- regla del tiempo de término más tardío:

El tiempo de término más tardío, lf, de una actividad específica, es igual al menor de los tiempos ls de todas las actividades que comienzan exactamente después de ella.

El tiempo de término más tardío de las actividades que terminan en el nodo de término del proyecto es igual a la duración esperada del proyecto (t). La holgura de una actividad, es el tiempo que tiene ésta disponible para, ya sea, atrasarse en su fecha de inicio, o bien alargarse en su tiempo esperado de ejecución, sin que ello provoque retraso alguno en la fecha de término del proyecto. La holgura de una actividad se calcula de la siguiente forma:

$$h = l_f - e_f$$

o bien

$$h = l_s - e_s$$

- actividades críticas

Se denomina actividades críticas a aquellas actividades cuya holgura es nula y que por lo tanto, si se retrasan en su fecha de inicio o se alargan en su ejecución más allá de su duración esperada, provocarán un retraso exactamente igual en tiempo en la fecha de término del proyecto.

- rutas críticas

Se denomina rutas críticas a los caminos continuos entre el nodo de inicio y el nodo de término del proyecto, cuyos arcos componentes son todas actividades críticas. Las rutas críticas se nombran por la secuencia de actividades críticas que la componen o bien por la secuencia de nodos por los que atraviesa. Nótese que un proyecto puede tener más de una ruta crítica pero a lo menos tendrá siempre una. La duración esperada del proyecto (t) es una variable aleatoria proveniente de la suma de otras variables aleatorias, las duraciones esperadas de las actividades de la o las rutas críticas del proyecto y por lo tanto su variabilidad dependerá de la variabilidad de todas las actividades críticas del proyecto. Se tiene entonces que la varianza y la desviación estándar de la duración esperada del proyecto está dada por: varianza de todas las actividades del proyecto



Figura 2.3.3 Se debe asumir la duración de las actividades.

CAPÍTULO 3

“FORMAS DE CPM”

3.1. SOLUCIONES ÓPTIMAS: COMPRESIÓN Y DESCOMPRESIÓN

El método optativo se utilizaría si se tradujera en un costo directo más bajo para el proyecto. De manera similar, cualquier alternativa correspondiente a otras actividades puede examinarse hasta que se obtenga la solución normal, de forma independiente de la duración del proyecto. En algún punto entre la solución normal y las soluciones llevadas al límite de falla, sin embargo, se encuentra la solución económica óptima para el proyecto. Ahora se debe obtener esta solución si la planeación ha de obtener la máxima ventaja de los métodos de la ruta crítica.

También puede encontrarse que se ha estudiado una serie de *soluciones óptimas*, seguida de un análisis de costo del proyecto. Una solución óptima requiere la obtención del costo directo más bajo para el proyecto correspondiente a una duración específica; en otras palabras una solución óptima suministra las coordenadas correspondientes a un punto en algún lugar de la curva de costo directo-tiempo correspondiente al proyecto.

El cálculo de una serie de soluciones óptimas suministra, de esta manera, la curva de costo directo-tiempo para la construcción que se planea.

Al aumentar la cantidad de recursos disponibles, como mano de obra y equipo, para la solución normal de manera diferente, se obtiene una serie de puntos en la curva; estos puntos muestran como cada aumento en la cantidad de recursos disponibles (aun cuando aumenta el costo directo) reduce el tiempo de terminación del proyecto en cierta cantidad.

En otras palabras, se hace un análisis del efecto de llevar al límite de falla una serie de actividades independientes.

Se puede continuar la búsqueda de soluciones óptimas consecutivas hasta que no resulte posible acelerar más el proyecto. Este procedimiento se le conoce como *compresión de la red*.

Con base en los datos de tiempo-costo, que muestran los tiempos viables de terminación y en el correspondiente efecto sobre los costos de cada actividad resulta fácil calcular la *pendiente de costo* de cada una de las actividades del proyecto.

Es evidente que la pendiente de costo también puede cambiar al disminuir la duración. Puede ser necesario, por lo tanto, calcular un número de pendiente de costo para una actividad correspondiente a los intervalos en las reducciones de tiempo, ya que es esencial conocer las pendientes de costo real de cada actividad que pudiera ser necesario llevar al límite de falla mientras se determina la solución óptima.

Aun cuando esto puede parecer una tarea formidable, se realiza con facilidad en una calculadora, ya que es sólo la diferencia en costo directo dividida entre el tiempo ahorrado.

La tabulación de las pendientes relevantes de costo forma de esta manera parte de los datos de tiempo-costo requeridos para llevar a cabo los cálculos de la compresión.

Una vez que se introduce la importancia de los costos y los datos de costo para cada actividad han quedado incluidos en la red, el diagrama se transforma (por definición) en un modelo de red.

En otras palabras, la representación visible esquemática del proyecto presenta ahora toda la información relevante en tiempo y costo necesaria para calcular las soluciones óptimas; por ello se convierte en un modelo matemático real del trabajo de construcción que se analiza.

Si el modelo de red correspondiente a la solución normal se estudia cuidadosamente, resultará aparente que una reducción en la duración del proyecto sólo es posible a través de llevar actividades al límite de falla, una a una, a lo largo de la ruta crítica; por otra parte, la compresión más económica se obtiene al acelerar, en primer lugar, la actividad con la pendiente de costo más barata (es decir la más plana).

La compresión del proyecto, por lo tanto, implica la selección de las actividades críticas que pueden comprimirse de manera individual o combinadas al costo mínimo por unidad de tiempo, hasta que alcanzan su límite de falla o hasta que se desarrollan otras rutas críticas adicionales en la red; los costos directos totales y la nueva duración del proyecto se registran para cada compresión de la red.

De esta manera, cada etapa de los cálculos de la compresión proporciona las coordenadas para una solución óptima, con lo que se hace posible la elaboración de la gráfica de la curva real de costo directo óptimo del proyecto contra su duración.

En esta curva de costo directo-tiempo se puede ahora sobreponer la curva de costos indirectos contra duración del proyecto.

Al sumar estas dos curvas se logra la curva de costos totales contra duración del proyecto. El resultado se ve en la gráfica, que muestra en forma inmediata la solución general económica óptima del proyecto.



Figura 3.1.1 Curva de costos totales.

Por el momento, sólo es necesario que el lector comprenda que a partir de dos programaciones (la de normalidad y la de límite de falla) y de los datos intermedios de actividad apropiados, correspondiente a cada una, el planificador de la construcción puede obtener la curva costo-tiempo del proyecto y la solución de construcción económicamente óptima.

Tal vez esta técnica de compresión no esté garantizada en trabajos de construcción reducidos, pero se puede asegurar que vale la pena en los proyectos de mayor tamaño y complejidad. Con mucha frecuencia, la solución normal de un proyecto, con una o dos compresiones, brindará el plan general menos costosos; si los resultados completos se representan en el diagrama costo-tiempo después de cada etapa.

Existe otro método para lograr las soluciones óptimas del problema. Si el planeador tiene los datos costo-tiempo correspondiente a la solución normal y a la de límite de falla es cuestión relativamente simple generar cualquier punto en la curva de costo directo-tiempo iniciando los cálculos correspondientes a la solución de falla y realizando en reversa el procedimiento de compresión. Esto se conoce como *descompresión*.

Resulta muy útil cuando es claro que la duración especificada del proyecto demanda un esfuerzo cercano al límite de falla de otra manera, sería esencial realizar los cálculos de compresión a partir de la solución normal hacia la solución de mínimo tiempo, con lo que se desperdiciaría una cantidad de cálculos matemáticos.

Por último, una combinación de descompresión y compresión realizada en forma alternada, podrá adoptarse para encontrar la solución óptima cuando se comienza con una estimación viable no óptima. Esta técnica se denomina *optimación de la solución de partida*. Su principal ventaja consiste en que se puede comenzar los cálculos a partir de cualquier estimación viable no óptima, basada en una duración del proyecto que se aproxima sólo a la especificada y se usa el procedimiento para mejorar el plan original de construcción; en cada etapa, el nuevo plan resulta mejor que el anterior, de forma que no se desperdician cálculos, como podría suceder si se empleara sólo la compresión a partir de la solución normal o sólo la descompresión a partir de la solución de falla. La compresión y la descompresión, aun cuando constituyen un proceso repetitivo puramente mecánico, conducen a una compresión mayor de los problemas implícitos en el proyecto.

Para los proyectos con un número de actividades que se encuentran entre 200 y 300, es habitualmente practicable y ventajoso realizar los procedimientos de solución óptima por métodos manuales. En los casos de trabajos de construcción mayores y más complejos, sin embargo, el uso de la compresión manual se evita con frecuencia porque es complicado y puede requerir algún tiempo para una plena compresión; se recurre entonces, a la computadora.



Figura 3.1.2 En el proyecto debe pensarse en lo más óptimo.

3.2. LA CURVA DE DATOS DE TIEMPO-COSTO

Una característica interesante de los métodos de ruta crítica es que si al inicio se suministra un conjunto viable de datos de tiempo-costos, no sólo se obtienen soluciones óptimas en función del tiempo y del costo para la totalidad del proyecto, sino que se obtienen especificaciones completas en cuanto al tiempo y al costo de cada actividad. Es importante, por lo tanto que los datos de tiempo-costos, bajo la forma de tiempo de terminación y de costos directos, se proporcionen para cada actividad de la construcción.

Con estos datos es posible trazar una curva que demuestre la relación entre el costo directo y el tiempo de terminación (duración) de cada una de las operaciones de la construcción.

Los puntos de la curva son, y deberán ser siempre, los costos directos mínimos para completar las actividades en las duraciones dadas.

La curva de costo directo divide el área tiempo-costos en dos regiones: la región arriba de la curva representa el área de las soluciones tiempo-costos posibles o viables en cuanto a la terminación de una actividad; el área debajo de la curva representa las soluciones físicamente imposibles.

Deberá observarse que tanto la curva teórica como la práctica son cóncavas, cuando se observan desde la región de las soluciones viables y que la inclinación de la curva aumenta su magnitud en forma negativa con la reducción en el tiempo de terminación de la actividad.

El matemático diría que la pendiente de costo aumenta monótonamente con la disminución en duración de la actividad. Si los datos de tiempo-costos son, en realidad, tales que la curva resulta en parte convexa, se deberá realizar una aproximación para producir una curva cóncava, o por lo menos una línea recta entre los valores de solución normal y de límite de falla.

En la figura 3.11 se muestra una curva común de actividades de datos de tiempo-costos. Por convención, cualquier actividad se denota como a_{ij} ; los sufijos "ij" identifican la actividad representada por la flecha del diagrama de red cuyo cabo es el evento i y cuya cabeza es el evento j .

En los proyectos de construcción, los datos de tiempo-costo toman, por lo general, la forma de curvas de tiempo-costo, o más específicamente el costo directo c_{ij} para completar la actividad a_{ij} en el tiempo t_{ij} .

En este caso particular se han calculado cuatro métodos para completar la actividad utilizando recursos diferentes, titulados a, b, c y d.

Puede ser que existan muchas opciones entre a y d; si es así, las líneas rectas ab, bc y cd representan una aproximación a la curva completa intermedia; y cualquier punto que se encuentre en dichas líneas rectas en cualquier lugar entre a y d se considera una solución válida (y óptima) para el tiempo particular de terminación t_{ij} que se estudia.

Sin embargo, si los puntos a, b, c y d representan los únicos métodos opcionales posibles para terminar la actividad; todos los puntos que se encuentran en las líneas ab, bc y cd excepto los cuatro puntos dichos, carecen de significado físico y no son válidos.

Es importante, sin embargo, suponer al inicio que la curva abcd es continua para llevar a cabo cálculos de compresión más adelante, es obvio que por último se deben tomar pasos para obtener sólo soluciones válidas.

Los puntos a y d son de interés particular, ya que se refieren a dos métodos en particular importantes para terminar la actividad a_{ij} . El punto "normal" a tiene las coordenadas t_{ij}^n y c_{ij}^n y representa el método de costo mínimo para completar la actividad.

Este punto a señala el método normal, en el que no hay disminución en el ritmo de trabajo de las cuadrillas de obreros y el trabajo se realiza en forma eficiente; si ocurren disminuciones en el ritmo de trabajo éste se hace con ineficiencia, se obtienen puntos que se encuentran en la línea af o arriba de la misma. Al otro extremo de la curva, el punto de límite de falla d tiene coordenadas t_{ij}^c y c_{ij}^c y representa de tiempo mínimo para terminar la actividad. Este punto indica por lo tanto el método más rápido posible cuando el costo no supone obstáculos y se utilizan sus recursos disponibles; es claro que se eliminan los costos innecesarios en la determinación de c_{ij}^c ; de otro modo se obtienen puntos en la línea de.

Los puntos a y d, el de tiempo normal-costo normal y el de tiempo límite de falla-costo límite de falla, son tan importantes que se identifican mediante los sufijos n y c respectivamente en cualquier curva de tiempo-costo.

Los puntos identificables restantes (en este caso b y c) se especifican mediante un sufijo numérico adecuado.

Con frecuencia, es conveniente indicar que tan cerca se encuentra una actividad de terminarse en el tiempo límite de falla; por convención, esto se expresa como “porcentaje de falla”.

Si t_{ij}^n tiene un porcentaje de falla nulo, y t_{ij}^c tiene un porcentaje de falla de 100, el porcentaje de falla de un tiempo de terminación t_{ij}^x se obtiene del tiempo $t_{ij}^n - t_{ij}^x$ expresado como porcentaje del tiempo $t_{ij}^n - t_{ij}^c$ por lo tanto:

$$t_{ij}^n - t_{ij}^x$$

$$\text{Porcentaje de falla de } t_{ij}^x = \text{-----} \cdot 100$$

$$t_{ij}^n - t_{ij}^c$$

Otro concepto importante en los cálculos de compresión y descompresión de los métodos de la ruta crítica es la pendiente de la curva tiempo-costo.

Esta se define como “pendiente de costos”, y se denomina mediante como s_{ij} ; sólo expresa la magnitud de la pendiente de la curva en el tiempo t_{ij} .

Físicamente representa el incremento de costo requerido para la reducción unitario en el tiempo de terminación de la actividad.

Variará, por supuesto, según las diferentes partes de la curva de utilidad. Matemáticamente, para las líneas ab, bc y cd, las pendientes de costo son:

$$s_{ij}^1 = \frac{c_{ij}^2 - c_{ij}^n}{t_{ij}^n - t_{ij}^2} = \text{--} \frac{c_{ij}^2 - c_{ij}^n}{t_{ij}^2 - t_{ij}^n}$$

$$s_{ij}^2 = \text{--} \frac{c_{ij}^3 - c_{ij}^2}{t_{ij}^3 - t_{ij}^2}$$

$$s_{ij}^3 = \frac{c_{ij}^c - c_{ij}^3}{t_{ij}^c - t_{ij}^3}$$

Es natural que en cualquier punto a lo largo de la línea ab, la pendiente de costo sea constante e igual a s_{ij}^1 . en el punto b, una reducción unitaria en la duración de la actividad cuesta una cantidad adicional s_{ij}^2 , en tanto que un aumento unitario en la duración de la actividad permite un ahorro en costo igual a la cantidad s_{ij}^1 ; sucede en forma análoga en el punto c, en donde la pendiente de costo cambia de s_{ij}^2 a s_{ij}^3 .

Surgen casos especiales cuando sólo hay uno o dos caminos para completar una actividad. Si, por ejemplo, sólo hay dos excavadoras disponible para excavar una determinada zanja (considérese dos palas de tiro de $\frac{1}{2}$ yarda cúbica y de 4 yardas cúbicas), el tiempo y el costo normales se refieren entonces al uso de una excavadora, y el tiempo y el costo de falla se refieren a la otra.

Pueden emplearse varios turnos de mano de obra para producir un número de puntos en la curva intermedia de esta actividad, pero esto será válido solo si se obtiene una curva cóncava similar a la anterior; es mucho más probable.

Sin embargo, que ambos costos de la excavación con máquinas resulten más bajos que con turnos de mano de obra, y así se obtendría una curva convexa. Por ello, es necesario producir curvas separadas de tiempo-costo cuando se piensa en métodos distintos de construcción; se adopta el método más barato por razones obvias. Los únicos datos de tiempo-costo válidos en este caso son los puntos relacionados con las dos excavadoras.

Cuando sólo hay una manera para completar una actividad, la totalidad de la curva de tiempo-costo se reduce a un solo punto; las soluciones de duración normal y de límite de falla son iguales.

Los datos de tiempo-costo corresponden a las actividades ficticias se hacen cero en forma automática, ya que no se necesita ni tiempo ni recursos para completar una actividad ficticia. En forma análoga, las actividades artificiales que requieren tiempo, pero no costo, no pueden contar con datos de tiempo-costo válidos.



Figura 3.2.1 NO DEBE HABER ERRORES.

3.3. PREPARACIÓN DE LAS CURVAS DE TIEMPO-COSTO PARA LAS DISTINTAS ACTIVIDADES

El costo total de completar terminación de una actividad incluye 1) los costos de material, la mano de obra y equipo, y 2) los cargos por administración y supervisión, los gastos de instalación y los pagos de intereses y multas.

Los costos de primer grupo son los que de manera directa se relacionan, y por lo general varían, con la duración de la actividad individual; por ello se clasifican como costos directos. El segundo grupo comprende los costos indirectos; se evalúan para la totalidad del proyecto y no guardan relación con las duraciones de las actividades individuales; varían en general en forma lineal con el tiempo del proyecto.

Ya se ha hecho énfasis en que las curvas de tiempo-costos son exclusivas de los costos directos y, por lo tanto, incluyen la mano de obra, el material, los gastos de planta; todos estos gastos se grafican contra el tiempo para completar alguna actividad siguiendo alguno de los métodos de que se dispone. Por lo regular, sólo habrá que preparar curvas completas de tiempo-costos para una porción reducida de las actividades del proyecto, como se verá más tarde, al estudiar los cálculos de compresión.

La experiencia mostrará al planificador cuantos son los datos de tiempo-costos que requiere para el análisis de cualquier proyecto determinado. Cuando se necesiten, los datos de tiempo-costos se preparan con facilidad como a continuación se discute.

Considérese una actividad simple, como la excavación de una zanja para tubería. Se dispone de varios métodos de construcción, entre ellos el del trabajo manual por sí solo, así como diversos medios mecánicos para la excavación.

Supóngase que, en este caso, que la tubería es corta, con muchos cambios de dirección y que sólo se considera practicable el trabajo manual.

El primer paso consiste en evaluar en forma correcta la magnitud del trabajo: los volúmenes de tierra, la cantidad de madera requerida, el tamaño óptimo de cuadrillas y así sucesivamente.

Estas estimaciones en las cantidades y las capacidades de trabajo adecuadas permiten realizar una estimación razonablemente firme y precisa acerca de la “duración normal” y del “costo directo normal”. El tiempo normal de trabajo es de 8 horas por día y 5 días por semana.

Supóngase que en este caso la situación requiere 300 días-hombre de trabajo y que el número de hombres en la cuadrilla de diez. Si el salario normal es de 4 unidades monetarias por cada-hombre de 8 horas, entonces:

La duración normal $t^n = 300/10 = 30$ días de trabajo

El costo normal $c^n = 10 \times 30 \times 4 = 1\ 200$ unidades

Si se utilizan dos turnos de diez hombres, y el segundo turno tiene un salario obligado de una unidad de costo extra, entonces serán necesarios más recursos para la misma cantidad de trabajo. De esta manera:

La duración con dos turnos $= 300/10 = 15$ días hábiles

El costo con dos turnos= 1er. turno, $10 \times 15 \times 4 = 600$ unidades

2do. turno, $10 \times 15 \times 5 = \underline{750 \text{ unidades}}$

total = 1 350 unidades

En forma parecida, si se utilizan tres turnos, cada uno de diez trabajadores, con un salario obligatorio de dos unidades extra de costo para el tercer turno, entonces:

La duración con tres turnos es de 10 días hábiles

El costo de los tres turnos es de 1 500 unidades

Hay por supuesto, muchas otras posibilidades, como trabaja tiempo extra cada día con los salarios correspondientes, trabaja los fines de semana con otros salarios correspondiente, una producción más eficaz de trabajo mediante la oferta del pago de incentivos, etc. Supóngase ahora que es esencial una duración mucho menor de 10 días de trabajo. La primera consecuencia será la necesidad de más trabajadores para cada uno de los tres turnos (ya que se seleccionaron diez trabajadores como el tamaño óptimo de cuadrilla), lo cual producirá algunas ineficiencias. Estas ineficiencias aumentará base en la experiencia previa y habrá algún límite inferior en el tiempo en que el trabajo pueda hacerse físicamente. Por ejemplo, sería imposible tener 300 trabajadores trabajando durante un día. Cuando la duración mínima es esencia, la disponibilidad de los recursos afecta la solución, la importancia de los costos se vuelve secundaria. En este caso, pueden ocurrir que haya disponibles 90 trabajadores en tres cuadrillas de 30 trabajadores cada una; la actividad, debido a la ineficiencia, puede estimare ahora como de 360 días-hombre. De esta forma los datos de tiempo-costo para el análisis del tiempo mínimo invertido son:

$$360$$

La duración de límite de falla $t^c = \frac{360}{3 \times 30} = 4$ días de trabajo

$$3 \times 30$$

El costo de límite de falla $c^c = 1$ er. turno, $30 \times 4 \times 4 = 480$ unidades

2do. turno, $30 \times 4 \times 4 = 600$ unidades

3er. turno, $30 \times 4 \times 4 = \underline{720 \text{ unidades}}$

total = 1 800 unidades

Esta información acerca de costo-tiempo que da la curva de datos de tiempo-costo correspondientes a esta actividad. Las pendientes de costo pueden ahora calcularse; dado que es posible que la duración sea de entre 4 y 30 días, esta curva puede utilizarse para cualquier tiempo intermedio de terminación.



Figura 3.3.1 Ver el costo-tiempo

La duración de la actividad se expresó en días hábiles. Si no se ha de trabajar los fines de semana, la duración normal de 30 días de trabajo, comenzando en un lunes, cubrirá 10 días de fin de semana, requiriéndose de esta forma un tiempo total de 40 días de calendarios; si se comienza a media semana, sin embargo, se cubrirán 12 días de fin de semana, de manera que el tiempo que transcurre para terminar la actividad se convierte en 42 días de calendario. De esta forma el número de días de calendario se vuelve dudoso, a menos que se cuente con un tiempo flotante, de manera que la actividad pueda comenzar en un día determinado de la semana. Por esta razón, la duración que se muestra en un diagrama de red o en un modelo se expresa *siempre* en días de trabajo (o turnos, horas, etc.). Además, cualquier periodo de 30 días de trabajo comprenderá inevitablemente algunos días en los que no se requiere para completar la actividad será todavía mayor. El punto importante es que *las pendientes de costo no resulten afectadas siempre y cuando los días que no se trabaje no causen ningún costo directo adicional*. Los pagos por conceptos como Los vigilantes, el desagüe y clima húmedo pueden incluirse entre los costos indirectos del proyecto.

Si la actividad de excavación de la zanja para la tubería se ha analizado antes que pudieran llevarse a cabo en forma opcional con una excavadora y 3 hombres en 12 días normales, y si el costo directo del equipo es de 120 unidades monetarias por 8 horas diarias de trabajo, entonces los datos de tiempo-costo de construcción serían los siguientes:

La duración normal $t^n = 12$ días hábiles

El costo normal $c^n = \text{maquina } 12 \times 120 = 1\,440$ unidades

+ mano de obra $3 \times 12 \times 4 = \underline{144 \text{ unidades}}$

Total = 1 584 unidades

La duración con dos turnos = 6 días hábiles

El costo de los:

Dos turnos = máquina, $12 \text{ turnos} \times 120 = 1\,440 \text{ unidades}$

Mano de obra, $3 \times 6 \text{ turnos} \times 4 = 72 \text{ unidades}$

+ $3 \times 6 \text{ turnos} \times 5 = \underline{90 \text{ unidades}}$

Total m = 1 602 unidades

La duración con tres turnos = 4 días hábiles = t^c

El costo de los:

Tres turnos = máquina, = 1 440 unidades

Mano de obra, = 180 unidades

Total m = 1 602 unidades = c^c

En este caso la operación con tres turnos representa un límite de falla total, porque la máquina debe trabajar sin cesar para completar el trabajo en 4 días.

A menos que se adopten turnos escalonados de trabajo, la curva de actividad no será continua, ya que sólo será practicable la operación de uno, dos o tres turnos; este es un ejemplo de los datos de tiempo-costo discretos.

3.4 TIEMPOS FLOTANTES

Aunque las actividades críticas deben terminarse tan pronto como sea posible, para evitar que el proyecto prolongue su duración, esto no es aplicable en el caso de las actividades no críticas, ya que éstas cuentan con más tiempo para su terminación que el estrictamente necesario.

De esta manera, sus tiempos de iniciación y de terminación limitados, por supuesto, por los tiempos de iniciación y de terminación de sus eventos, pueden alterarse sin afectar la duración del proyecto; estas actividades y cadenas no críticas pueden “flotar” dentro de los tiempos disponibles para su ejecución.

En la teoría lineal de gráficas, la expresión “flotante” se relaciona con los conceptos de árbol y de las ramas y circuitos de enlace. El exceso de tiempo disponible con respecto al que es en realidad para su ejecución, se denomina “tiempo flotante total”.

En la siguiente figura, la actividad 8-11, que en forma normal requiere 6 días para terminar, dispone en realidad de 14 días. Esto es consecuencia de los tiempos correspondientes a los eventos 8 y 11: $t_8 = 104$, y $t_{11} = 118$. La actividad 8-11 tiene por lo tanto un tiempo flotante de 8 días. De nuevo, la cadena no crítica de actividades 1-3, 3-6 y 6-8 cuenta con 94 días disponibles para hacer un trabajo de 60 días; esta cadena tiene un tiempo flotante de 34 días. En forma análoga puede verse que la cadena 1-6-8 tiene un tiempo flotante de 56 días, en tanto que la cadena 1-3-5 tiene 18 y la cadena 5-6-8 tienen 6.

En las cadenas no críticas se puede usar el tiempo flotante antes de comenzar cualquier actividad de la cadena, puede conservarse hasta que todas las actividades se hayan acabado, o pueden intercalarse entre las diferentes actividades de la cadena, según convenga a la planificación.

Es evidente que existe cierta interdependencia en los tiempos flotantes disponibles para las cadenas no críticas que pasan por el evento 6, como se ha de ver más adelante.

Como los tiempos flotantes pueden usarse como márgenes de seguridad, para retrasar la canalización de recursos, para equilibrar las necesidades de mano de obra, etc., no es sorprendente que exista una extensa variedad en tipos de mediciones de los tiempos flotantes, entre ellas el tiempo flotante total (tft), el tiempo flotante libre (tfl), el tiempo flotante interferente (tfi), el tiempo flotante independientemente (tfind), y el tiempo flotante programado (tfp).

Tiempo flotante total

$$\begin{aligned} \text{tft} &= t_j^l - (t_i^e + t_{ij}) \\ &= \text{tmt}_{ij} - \text{tmp}_{ij} \\ &= \text{tit}_{ij} - \text{tpi}_{ij} \end{aligned}$$

Obsérvese que el contexto de la anotación de flechas, las entidades con un solo subíndice (por ej. t_j) se refieren a cantidades nodales, en tanto que las de dos subíndices (por ej. t_{pij}) se refieren a cantidades de flechas, es decir, tiempos de actividad.

El tiempo flotante total es el tiempo adicional máximo de que puede disponerse para completar una determinada actividad, y que no puede excederse sin demorar el proyecto. De esto se deduce que las actividades críticas tienen un tiempo flotante total igual a cero; de hecho las rutas críticas pueden definirse como las cadenas de actividades que tienen un tiempo flotante total igual a cero. Las cadenas no críticas contendrán siempre un tiempo flotante total; cuando mayor sea el número de actividades en la cadena, y menos el tiempo flotante total, tanto más se acercará la cadena a ser una cadena crítica.

Las cadenas no críticas con tiempo flotante total reducido deberán vigilarse cuidadosamente durante la construcción; éstas se conocen como *rutas casi críticas*.

Por ejemplo: la actividad 5-6 tiene un tiempo flotante total de 6 días que se calculó como sigue:

$$\begin{aligned} \text{tft}_{5-6} &= t_6^l - (t_5^e + t_{5-6}) \\ &= 94 - (68 + 20) = 6 \end{aligned}$$

En forma semejante, la actividad 6-8 tiene también un tiempo flotante total de 6 días.

Considérese ahora la cadena 5-6-8. Tienen un flotante total de 6 días, porque los 6 días de tiempo flotante total de la actividad 5-6 son los mismos 6 días de tiempo flotante total de la actividad 6-8.

De esta manera, si la actividad 5-6 consume el total de 6 días de tiempo flotante disponibles para la cadena 5-6-8, la actividad 6-8 no tendrá más tiempo flotante y se convertirá en crítica. En otras palabras, el tiempo flotante total disponible para la cadena puede usarse una sola vez. Puede consumirse en forma parcial por cada actividad, si así se desea, pero no puede usarse por separado por ambas, ya que sólo hay disponibles un periodo total de 6 días.

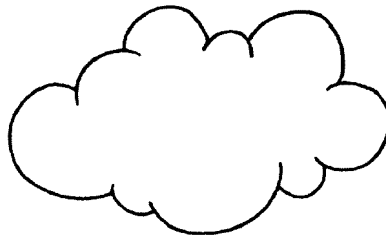


Figura 3.4.1 Tener en cuenta el tiempo flotante.

Tiempo flotante libre

$$\begin{aligned} \text{tfl} &= t_j^e - (t_i^e + t_{ij}) \\ &= \text{tit}_{j^*} - \text{tpt}_{ij} \end{aligned}$$

En donde tit_{j^*} es el tiempo más cercano de iniciación de las siguientes actividades.

El tiempo flotante libre es el tiempo adicional disponible para completar una actividad, suponiendo que todas las demás actividades comiencen y terminen tan pronto como sea posible. Puede hacerse un uso pleno del tiempo flotante libre sin perturbar las siguientes actividades, que pueden todavía comenzar en sus tiempos más próximos.

De esta manera, los tiempos flotantes libres parecen habitualmente concentrados al extremo de las actividades o cadenas no críticas, en donde se convierten en un margen de seguridad para compensar cualquier retraso inevitable.

El tiempo flotante libre puede distribuirse sólo entre actividades anteriores dentro de la cadena y es aquella cantidad del tiempo flotante total que puede consumirse sin afectar las actividades siguientes. Como las actividades críticas no tienen tiempo flotante total, su tiempo flotante libre es en forma automática igual a cero.

Además de los flotantes totales, indica los tiempos flotantes libres disponibles en el diagrama de flechas para la red de tuberías. Por ejemplo, el tiempo flotante libre de la actividad se calculó de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{tfl} &= t_6^e - (t_3^e + t_{3-6}) \\ &= 88 - (50 + 10) = 28 \end{aligned}$$

Los tiempos flotantes libres aparecen en la figura en los extremos de las cadenas no críticas o actividades no críticas, con un símbolo de evento ficticio (un círculo punteado) para indicar la posibilidad de ocurrencia más próxima del evento (hasta donde lo permite la cadena considerada). Los tiempos flotantes libres son, por lo tanto, útiles como los tiempos flotante totales, pues permiten saber qué tan cerca de ser crítica se halla una cadena que ahora no es.

Los tiempos flotantes libres son una característica de la gran importancia en los cálculos de compresión de una red. El tiempo flotante libre de una cadena no crítica que termina en una actividad ficticia puede indicarse en la actividad misma.

Por ejemplo, la cadena 1-3-5 tiene 18 días de tiempo flotante libre, lo que aparece en la actividad final 3-5 (actividad ficticia) en la forma común.

En los casos en que la cadena no crítica termina en forma lógica por medio de dos actividades ficticias en dos cadenas diferentes y más críticas, se asignarán dos tiempos flotantes libres diferentes a dichas actividades ficticias, y al menos de los flotantes libres será el único disponible para la cadena precedente. La ecuación 4.10 sigue siendo válida. La determinación de las cadenas conectadas adecuadamente se hace estudiando los tiempos flotantes libres. En la cadena 1-3-6-8 la actividad 3-6 tiene un tiempo flotante libre de 28 días, y el evento 6 se encuentra con la actividad 6-8, que tiene solo 6 días de tiempo flotante libre. Este tiempo flotante libre de la actividad 6-8 está limitado por la duración normal de la actividad 5-6 en la cadena casi crítica más cercana a ser crítica 5-6-8; por ello, depende más de la actividad 5-6 que de la cadena 1-3-6. Por lo tanto, es más correcto clasificar la actividad 6-8 con la 5-6 y delinear 5-6-8 como una cadena, terminando la cadena 1-3-6-8 en el evento 6.

Tiempo flotante interferente

$$t_{fi} = t_{ft} - t_{fl}$$

El tiempo flotante interferente es la diferencia entre el tiempo flotante total y los tiempos flotantes libres correspondiente a cualquier actividad. Si una actividad se retrasa un tiempo mayor que su tiempo flotante libre, pero menos que o igual a su tiempo flotante, la tardanza de esta actividad no demorará el proyecto; sin embargo, interferirá con el inicio de alguna actividad posterior. Así si se consume alguna parte del flotante interferente, será necesario replantear todas las actividades que siguen a dicha cadena.

Si se usa totalmente el tiempo flotante interferente, las actividades siguientes de la cadena no volverán críticas; si se usa más tiempo que el flotante interferente, aumentará la duración del proyecto.

Puesto que la actividad 1-3 tiene un tiempo flotante total de 18 días, y ningún flotante libre, el flotante interferente es de 18 días. Si esta actividad consume cualquier tiempo flotante el tiempo t_3^e de 50 días se alterará y por ello interferirá con la libertad de programar la actividad 3-6.

Para esta última actividad $ft_{3-6} = 34$ y $fl_{3-6} = 28$, de manera que su tiempo flotante interferente es de 6 días; si esta actividad consume un tiempo flotante superior a 28 días (su tiempo flotante libre), se interferirá con la programación de la actividad 6-8.

Tiempo flotante independiente

$$t_{\text{find. f}} = t_j^e = t_j^l - (t_i^l + t_{ij})$$

El tiempo flotante independiente es la cantidad de tiempo que una actividad puede retrasarse o desplazarse sin importar el estado de las actividades que le preceden o que le sigan en el proyecto y si afectan la duración del mismo.

El tiempo flotante independiente de una actividad no puede compartirse con ninguna otra actividad.

La actividad 1-3 no tienen tiempo flotante independiente, pero la actividad 3-6 tiene un tiempo flotante independiente de 10 días 1-6 tiene 50 días y 8-11 tiene 8 días.

El tiempo flotante independiente existe en las actividades no críticas aisladas que se inician y terminan en eventos críticos (por ej. la actividad 8-11) o en las actividades finales de cadenas no críticas que terminan en otras cadenas más críticas (por ej. las actividades 1-6 y 3-6)

Las relaciones entre los distintos tipos de tiempos flotantes aparecen en la figura bajo un formato de diagrama de barras.

Tiempo flotante programado. El tiempo flotante programado es aquella cantidad de tiempo flotante que el planificador asigna a una actividad para una programación adecuada del proyecto después de disponer sus recursos en forma satisfactoria por medio del "ajuste de las actividades".

Puede ser arbitrario, pero no puede exceder al tiempo flotante total, o se prolongará la duración del proyecto.

El tiempo flotante programado se usa sobre todo en el procesado por computadora y sólo aparece cuando se asignan tiempos específicos a los eventos (de manera que los tiempos más próximos y más remoto de terminación de un evento se reemplazan con un simple tiempo programado).

CAPÍTULO 4

“TOMA DE DECISIONES”

ASPECTOS GENERALES A CONSIDERAR EN LA TOMA DE DECISIONES

En las decisiones se deben tomar en cuenta todos los resultados que se vean en el método CPM y se tenga mucho cuidado para que no se tengan problemas de retraso y que a eso equivalga más gastos dentro de la obra civil, también es bueno que en base a la experiencia de otras obras similares proveer y dar soluciones preventivas y correctivas optimas del método CPM.

Se debe tener en cuenta que sería bueno que la toma de decisiones fuese entre varios personas pero al final el responsable de la obra tenga la última palabra, recordando que la formación académica de los ingenieros civiles y en este caso los especialistas en construcción es de trabajar en equipo y siempre será bueno saber la opinión de otros respecto a qué hacer en caso de eventualidades, ya que el costo de detalles o cosas no contempladas pudieran subir el tiempo de obra y el costo final de la obra civil.

Si nos damos cuenta regularmente en las primeras actividades que se marcan se da una letra para identificarlas, no se tiene contemplada en la ruta crítica en el método CPM regularmente y es casi idéntico en las actividades finales, por lo tanto será casi un hecho que en las actividades intermedias se marque la ruta crítica.

Por lo que se pondrá principal atención en estas actividades aunque no vamos a dejar a la ligera las iniciales y finales porque hay casos donde la ruta crítica apunta a ellas.

Debemos mencionar que la planeación que es otro de los ramos de la ingeniería civil se tiene que trabajar en conjunto porque la planeación nos dará una visión preventiva ya que mediante ella nos equivocaremos menos posible siempre debiendo ser preventivo y tratar de no ser correctivo.

Se optimizara el tiempo y costo dentro de las obras civiles ya que es algo muy común que se busca para el beneficio de empresarios y clientes.

Tomar en cuenta los métodos constructivos para así mejorar aún más el uso del método CPM, para hacer que optimice y no tener tantos puntos críticos en la construcción de las obras, esto desde luego se da mediante la experiencia en campo.

Se mencionaron varios métodos de programación solo en teoría y al final demostrar que el método CPM es el mejor en base a pros y contras de los demás.

Se mencionaron sus antecedentes históricos del método CPM y las ventajas de usarlo así como mencionamos los datos básicos o la introducción en su aplicación.

Vimos los términos más comunes y la forma de cómo llegar a la obtención de la ruta crítica así como mencionar algunos aspectos importantes en su uso.

En conclusión la ruta crítica demostró ser la mejor forma de hacer que las obras se reduzca el tiempo y el costo, en base a otras formas de programación que se vieron y mostrando en términos generales las características de cada una de ellas se vio las ventajas y desventajas, en el caso de la ruta crítica y ver ejemplos por lo que su aplicación fue la mejor forma de darse cuenta que es la mejor opción, se buscó que fuese el primer gran paso para que sea tomada más en cuenta ya que no es tan común su aplicación en muchas obras.



Figura 4.1.1 El método CPM es el mejor.

CONCLUSIONES

Las conclusiones que en este tema de investigación se vio fue que el tiempo en términos generales es muy importante, por lo cual se solucionaran y reducirán en lo mayor posible el tiempo de las ejecuciones de las obras civiles, nos dimos cuenta que el método CPM en comparación con otros métodos de programación es el mejor ya que su alcance es mayor, se dio a conocer el tema dentro de los alumnos de ingeniería civil ya que desde mi experiencia escolar solo se menciona el tema en clase pero no se da más información. Se demostró que su uso es muy fácil y por lo tanto promover el uso cotidiano.

Se buscó que esta información sea útil a los compañeros en el ámbito laboral, no solo de ingeniería civil ya que se demostró que pueden reducirse tiempos y costos que tanto las empresas como los clientes buscar reducir y que esto sea el principio de la investigación más profunda del tema por parte de otros compañeros ya que esta recopilación es solo en aspectos generales.

Aprendimos que el método CPM es un proceso administrativo (planeación, organización, dirección y control) de todas y cada una de las actividades que componen un proyecto que debe desarrollarse durante un tiempo crítico y al costo óptimo. Aplicamos el método CPM, debido a su gran flexibilidad y adaptación se pudiera dar en un proyecto determinado, la planeación y operación de sus instalaciones.

A esto pudimos añadir una lista indeterminable de posibles aplicaciones de tipo específico. Así, pudimos afirmar que el método CPM es aplicable y útil en cualquier situación en la que se tenga que llevar a cabo una serie de actividades relacionadas entre sí para alcanzar un objetivo determinado.

El método es aplicable en tareas tales como: construcción, estudios económicos, planeación de carreras universitarias, censos de población, estudios técnicos, etc. Los beneficios derivados de la aplicación del método CPM se presentarán en relación directa a la habilidad con que se haya aplicado.

Debe advertirse, sin embargo, que el camino crítico no es una panacea que resuelva problemas administrativos de un proyecto. Cualquier aplicación incorrecta producirá resultados adversos. No obstante, si el método es utilizado correctamente, determinará un proyecto más ordenado y mejor balanceado que podrá ser ejecutado de manera más eficiente y normalmente, en menor tiempo.

Un beneficio primordial que nos brinda el método CPM es que resume en un sólo documento la imagen general de todo el proyecto, lo que nos ayuda a evitar omisiones, identificar rápidamente contradicciones en la planeación de actividades, facilitando abastecimientos ordenados y oportunos; en general, logrando que el proyecto sea llevado a cabo con un mínimo de tropiezos. En la práctica el error que se comete más a menudo es que la técnica se utiliza únicamente al principio del proyecto, es decir, al desarrollar un plan y su programación y después se cuelga en la pared el diagrama resultante, olvidándose durante el resto de la vida del proyecto.

El verdadero valor de la técnica resulta más cuando se aplica en forma dinámica. A medida que se presentan hechos o circunstancias imprevistas, el método CPM proporciona el medio ideal para identificar y analizar la necesidad de replantear o reprogramar el proyecto, reduciendo al mínimo el resultado adverso de dichas contingencias.

Del mismo modo, cuando se presenta una oportunidad para mejorar la programación del proyecto, la técnica permite determinar fácilmente que actividades deben ser aceleradas para que se logre dicha mejoría. La duración del método CPM determina la duración del proyecto entero. Cualquier retraso en un elemento del método CPM afecta la fecha de término planeada del proyecto, y se dice que no hay holgura en la ruta crítica. Un proyecto puede tener varias rutas críticas paralelas.

Una ruta paralela adicional a través de la red con las duraciones totales menos cortas que el método CPM es llamada una sub-ruta crítica. Originalmente, el método CPM consideró solamente dependencias entre los elementos terminales.

Un concepto relacionado es la cadena crítica, la cual agrega dependencias de recursos. Cada recurso depende del manejador en el momento donde la ruta crítica se presente.

El CPM fue diseñado para proporcionar diversos elementos útiles de información para los administradores de proyectos. Este método expone la ruta crítica de un proyecto; esto es, las actividades que limitan la duración de un proyecto. En otras palabras, para lograr que el proyecto se realice pronto, las actividades de la ruta crítica deberán realizarse pronto.

Por otra parte, si una actividad del método CPM se retrasa, el proyecto como un todo se retrasará en la misma cantidad.

Las actividades que no están en la ruta crítica tienen una cierta cantidad de holgura; es decir, pueden empezar más tarde y permiten que el proyecto como un todo se mantenga conforme a lo programado. El CPM identifica estas actividades y la cantidad de tiempo disponible para retardos.

Maneja tiempos conocidos de las actividades del proyecto. Actualmente se ha tomado lo mejor de ambos métodos y se han vuelto uno solo, conocido como Método de la Ruta Crítica o CPM “Que se desee el costo de operación de un proyecto más bajo posible dentro de un tiempo límite disponible.”

Desarrollar una lista de actividades. Predecesor inmediato: Identifica las actividades que deben haberse terminado inmediatamente antes de iniciar una nueva actividad. La información del predecesor inmediato determina si las actividades se pueden terminar en paralelo (trabajar de manera simultánea), o en serie (terminar una antes de que empiece la siguiente).

Procedimiento para llevar a cabo el CPM La trayectoria más larga determina el tiempo total requerido para la finalización del proyecto. Si se retardan las actividades de la trayectoria más larga, la totalidad del proyecto también se retardará, por lo que la más larga es la “ruta crítica”. Las actividades del método CPM se conocen como “actividades críticas”.

Sin embargo, la elaboración de un proyecto en base a redes CPM consisten en:

- Identificar todas las actividades que involucra el proyecto, lo que significa, determinar relaciones de precedencia, tiempos técnicos para cada una de las actividades.
- Construir una red con base en actividades, que implican el proyecto.
- Analizar los cálculos específicos, identificando las rutas críticas y las holguras de los proyectos.

En términos prácticos, el método CPM se interpreta como la dimensión máxima que puede durar el proyecto y las diferencias con las otras rutas que no sean la crítica, se denominan tiempos de holgura. Esta técnica es muy útil para saber sobre que terreno pisas en cuanto a la entrega de un proyecto y no quedar mal con tu cliente.

El campo de acción de este método es muy amplio, dada su gran flexibilidad y adaptabilidad a cualquier proyecto grande o pequeño. Para obtener los mejores resultados debe aplicarse a los proyectos que posean las siguientes características:

a. Que el proyecto sea único, no repetitivo, en algunas partes o en su totalidad.

b. Que se deba ejecutar todo el proyecto o parte de él, en un tiempo mínimo, sin variaciones, es decir, en tiempo crítico.

c. Que se desee el costo de operación más bajo posible dentro de un tiempo disponible.

Dentro del ámbito aplicación, el método se ha estado usando para la planeación y control de diversas actividades, tales como construcción de presas, apertura de caminos, pavimentación, construcción de casas y edificios, reparación de barcos, investigación de mercados, movimientos de colonización, estudios económicos regionales, auditorías, planeación de carreras universitarias, distribución de tiempos de salas de operaciones, ampliaciones de fábrica, planeación de itinerarios para cobranzas, planes de venta, censos de población, etc., etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Método de la ruta crítica, James M. Antill, Ronald W. Woodhead. Limusa, 1986.
- Fundamentos de preparación y evaluación de proyectos, Nassir Sapag Chain y Reynaldo Sapag Chain. MC. Graw-Hill, 1985.
- Apuntes de las materias de construcción de estructuras, planeación, recursos de la construcción y organización de obras de la carrera de ingeniería civil, de la universidad nacional autónoma de México, en la facultad de estudios superiores Aragón, generación 2006-2010.
- Tesis: Criterios Administrativos y de Seguridad Para Control de Obras Civiles, Jesús Antonio Peiro Sánchez, 1979
- Tesis: Requisitos de Dirección y Supervisión de una Obra Civil. Carlos Andrés Ortiz Campillo, 1979.
- Tesis: Control Administrativo de Obras Civiles. Gustavo Valdez Mochabee, 1975.
- Plazola Tomo 1: Normas y Costos de Construcción. Alfredo Plazola Cisneros y Alfredo Plazola Anguino. Ed. Limusa, Mex 1976.

REFERENCIAS ELECTRONICAS DE INTERNET

- <http://rutacritica.mex>
- <http://andradeivan.com>.
- <http://www.slideshare.net>
- <http://www.eoi.es>