

INTRODUCCIÓN

El objeto del presente trabajo es un análisis acerca de la evolución en la programación y control de la construcción de la Universidad del Tec. Milenio Campus Puerto de Veracruz.

Esta obra inició el día 5° de Junio y tuvo su culminación el día 29 de Julio del 2006, con una duración de 48 días laborales.

La obra tuvo un costo aproximado de once millones quinientos mil pesos. Este trabajo de obra fue ejecutado por la empresa constructora Gutiérrez de Velasco S.A. de CV, la cual comprendió solo los trabajos de albañilería y estructura.

El objetivo principal de este trabajo es aplicar las técnicas y conocimientos de programación, planeación y control de obra obtenidos en los cursos de la licenciatura en Ingeniería Civil.

Para lograr una mejor comprensión de los conceptos, el desarrollo del primer capítulo consiste en presentar el marco teórico referente al concepto de un proyecto, la planeación del mismo, el concepto de programación de un proyecto incluyendo las técnicas usadas en la programación.

En el segundo capítulo se describe el planteamiento para la construcción de la Universidad del Tec. Milenio Campus Puerto de Veracruz, incluyendo el proyecto de

obra, actividades a desarrollar, las especificaciones y normas, y el procedimiento constructivo de los trabajos de albañilería y estructura.

El tercer capítulo se enfocará al control y programación de la construcción de la Universidad del Tec. Milenio Campus Puerto de Veracruz en lo referente a los trabajos de albañilería y estructura.

En el cuarto capítulo se presentarán una serie de recomendaciones para un proyecto futuro con base en las fallas que presentó el proyecto.

Por último se presentan una serie de conclusiones, elaboradas con base en el desarrollo de este proyecto, desde el punto de vista de la administración de proyectos

1.1 QUE ES UN PROYECTO

Se define como proyecto al intento de lograr un objetivo específico mediante un grupo exclusivo de tareas interrelacionadas y la utilización efectiva de los recursos.¹

A continuación se presentan los atributos necesarios para llevar a cabo un proyecto:

- La definición de un objetivo, así como el resultado esperado es un atributo fundamental para un buen desarrollo del proyecto.
- Un proyecto se lleva a cabo mediante una serie de tareas interdependientes, que básicamente son un número de tareas que es necesario realizar en un cierto orden con el fin de llegar al objetivo esperado del proyecto.
- Con base en las diferentes actividades antes mencionadas es necesario la utilización de distintos recursos, como lo son las distintas personas con diferentes responsabilidades, equipos, materiales e instalaciones.
- El proyecto debe de tener un margen de tiempo específico (inicio-término).
- Al tener un proyecto se tiene un cliente el cual puede ser una persona, una compañía, una asociación, una organización etc. Y que es aquella que aporta los fondos necesarios para la elaboración del proyecto.

¹ Gido. Clements. (2003) *Administración exitosa de proyectos*, segunda edición. Editorial Thomson. Pág 4.

- Una buena comunicación y planeación son fundamentales para evitar problemas que vean afectado el objetivo principal del proyecto.
- Por último un proyecto supone un nivel de incertidumbre, por lo que a partir de esto se debe de tener plan, el cual será la base para ciertos supuestos y estimados.

Un proyecto consta de un cliente, un contratista y un usuario final. El cliente es aquella persona, organización o asociación que se encarga de proporcionar o conseguir los fondos necesarios para lograr la realización del proyecto. Un contratista es una empresa especializada en el proyecto a realizar y que deben constar con ciertos atributos como lo son experiencia, un nivel de calidad en sus trabajos y un compromiso para con el cliente. Y por último un usuario final el cual le da una funcionalidad al proyecto final.

El éxito del objetivo del proyecto, se limita por los siguientes factores:

- Alcance
- Costo
- Programa
- Satisfacción del cliente

El alcance de un proyecto o también conocido como alcance de trabajo, es el trabajo que debe hacerse, es decir el conjunto de actividades que se realizarán a lo largo del mismo cumpliendo con los requisitos especificados por el cliente.

El costo del proyecto es la cantidad tanto de recursos que el cliente se compromete a pagar para la realización del proyecto. El costo se basa principalmente en un presupuesto que incluye una estimación de los costos relacionados con todas y cada una de las actividades que se van a realizar. Esto incluye los materiales, mano de obra, subcontratistas, suministros, honorarios, entre otros.

El programa de un proyecto es el plan para lograr el alcance es decir la esquematización de la serie de actividades a realizar especificando el inicio y fin de cada una de ellas y las interrelaciones entre ellas.

Una vez comenzado el proyecto, se deben contemplar diferentes circunstancias externas al mismo y que podrían dificultar el desempeño de las diferentes actividades del proyecto, dichas actividades pueden ser tales como:

- Mal tiempo en la zona donde se esta realizando el proyecto.
- Cambios en el costo de materiales, de acuerdo a los acordados en la estimación inicial

El objetivo de un proyecto es su realización total bajo la satisfacción del cliente habiendo cumplido las fechas de entregas y bajo el presupuesto acordado.

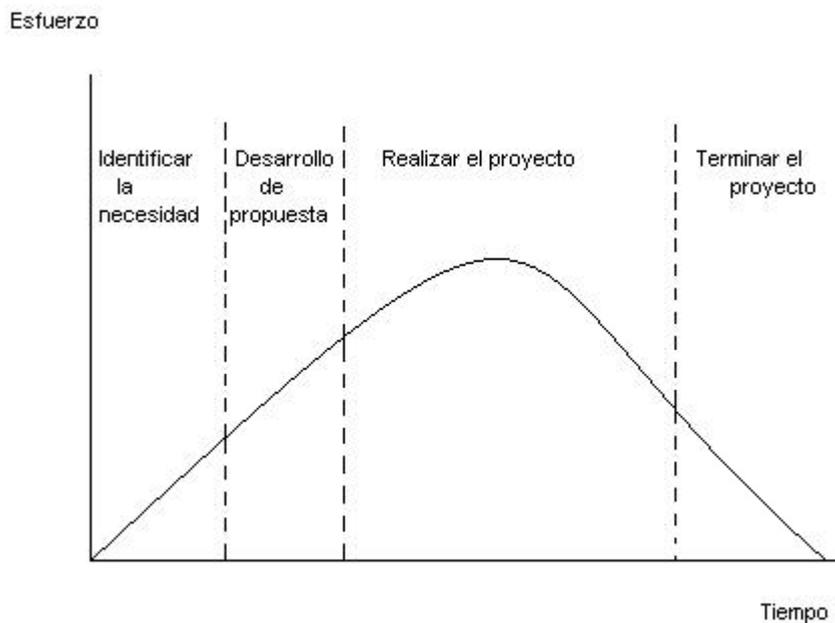


Figura 1.1 Ciclo de vida del Proyecto.²

El ciclo de vida del proyecto abarca toda la serie de actividades que debido a su complejidad varía la duración del mismo que puede ir desde unas cuantas semanas hasta varios años. Con base en la planificación del proyecto es necesario dividirlo en una serie de etapas tales como: identificación de las necesidades, desarrollo de una propuesta, realización del proyecto y termino del proyecto. Todo esto con base en la relación esfuerzo-tiempo.

1. Identificación de las necesidades.

La primera de las tres fases, donde se llevan a cabo una serie de estudios para el descubrimiento de la necesidad, o la problemática del proyecto. Para esto el cliente

² Ibidem 1. Pág. 7.

realiza una solicitud de propuesta, en la cual pide a diferentes contratistas que presenten posibles soluciones a su problema junto con el costo y programa correspondiente y les presenta los requisitos que exige.³

2. Desarrollo de la propuesta.

Esta fase consiste en la obtención de una solución a la necesidad o al problema planteado en la primera fase tomando en cuenta la solicitud de propuesta entregada por el cliente. En esta fase es indispensable el esfuerzo del contratista. Para la obtención de las posibles soluciones es probable que se requieran varias semanas para detallar todas las especificaciones requeridas como lo son la estimación y las cantidades de recursos necesarios y el tiempo destinado para cada actividad. Esta propuesta es entregada de manera escrita al cliente.⁴

Una vez entregada la propuesta el cliente realiza una evaluación de todas las posibles propuestas entregadas tomando la que más le convenga. Después de la evaluación y elección de la ganadora el cliente realiza un contrato con el fin de legalizar el acuerdo.

3. Realización del proyecto.

Esta parte consiste en poner en práctica todo lo que se estableció anteriormente. Esta fase es también conocida como ejecución del proyecto, y como su nombre lo menciona consiste en darle vida a la propuesta, donde se planea de manera detallada el proyecto

³ Idem 2. Pág. 8.

⁴ Idem 3. Pág. 9.

para posteriormente ponerlo en marcha.⁵ La ejecución de todas y cada una de las actividades establecidas en el proyecto.

4. Terminación del proyecto.

Última de las fases del proyecto, la cual consiste en terminarlo. Donde una vez terminado el proyecto se realizan una serie de actividades denominadas de cierre en las que consisten en verificar que todo se haya hecho de acuerdo a lo pactado con anterioridad, y tomar ciertas recomendaciones sobre ciertas mejorías que se pudieran aplicar en un futuro.⁶

⁵ Idem 4. Pág. 9.

⁶ Idem 5. Pág. 10.

1.2 PLANEACIÓN DEL PROYECTO.

La planeación de un proyecto se define como la asignación de diferentes tareas para lograr un objetivo.

Para llevar a cabo una buena planeación es necesaria la elaboración de un plan de trabajo, un programa y un presupuesto. Esto da como resultado un plan de línea base, que consiste en mostrar en forma gráfica o de tablas para cada periodo ya sea semanal o mensual, desde el inicio hasta el fin del proyecto.

Una vez que se ha decidido el objetivo del proyecto, el siguiente paso es determinar qué actividades del trabajo son necesarias para lograrlo. Esto requiere elaborar una relación de todas las actividades, por lo que es mejor crear una estructura de división del trabajo. La estructura de división del trabajo divide un proyecto en piezas o partidas manejables para ayudar a asegurar que se identifiquen todos los elementos que se necesiten para completar el alcance del trabajo del proyecto. Es un árbol jerárquico de partidas de trabajo que logrará o producirá el equipo durante el proyecto. El logro o la producción de todas estas partidas constituyen la terminación del alcance del trabajo. Los criterios para decidir el detalle o los niveles que se deben colocar en la estructura de división del trabajo son: 1) el nivel en el cual a una persona individual o una organización se le puede asignar la responsabilidad de realizar el paquete de trabajo y 2) el nivel al que se desea controlar el presupuesto, supervisar y recopilar información de costos durante el proyecto. No existe una estructura de división del trabajo única.⁷

⁷ Idem 6. Pág. 12.

La planeación determina qué se necesita hacer, quién lo hará, cuánto tiempo se llevará y cuánto dinero costará.⁸

La planeación del proyecto comprende los siguientes elementos:

- Definir el objetivo del proyecto.
- Dividir el proyecto en piezas
- Definir actividades específicas.
- Realizar un programa de actividades
- Estimar la duración de cada actividad
- Estimar el costo de cada actividad
- Calcular un programa y un presupuesto.

La definición del objetivo del proyecto consiste en la aceptación tanto del cliente como del contratista para la elaboración del proyecto.

La división del proyecto en piezas consiste en armar paquetes de trabajo para las diferentes actividades a realizarse durante el proyecto así como también asignar las diferentes responsabilidades para cada una de ellas, es decir llevar a cabo una estructura de la división del trabajo.

Para estimar la duración de cada actividad es necesario determinar los tipos de recursos y la cantidad que se requiere de cada uno de ellos para terminar cada actividad dentro de lo planeado.

⁸ Idem 7. Pág. 12.

En cuanto al costo estimado para cada actividad se verá condicionado a las cantidades de recursos que se ocuparán para cada actividad.

Y por último el cálculo de un programa y un presupuesto para el proyecto es de gran utilidad para determinar si se puede lograr dentro del tiempo requerido, con los fondos asignados y con los recursos disponibles.

Una vez que se ha realizado el plan se procede a iniciar el proyecto, procurando llevar a cabo la supervisión de las diferentes actividades para que todo marche conforme a lo que se planeó. Es importante que el presupuesto se logre dentro de lo acordado comparando los resultados prácticos con los establecidos en el proyecto y con esto evitar problemas.

La clave para el control efectivo del proyecto es medir el progreso real y compararlo con el planeado oportuna y periódicamente y, si es necesario, realizar la acción correctiva de inmediato.

1.3 PROGRAMACIÓN

El programa consiste en determinar la duración de cada actividad y estimar la duración total del proyecto. La estimación de los tiempos puede determinarse en base a tres factores: la experiencia, la cantidad de trabajo a realizar y los recursos asignados.⁹

Por lo que la ejecución total del proyecto es el resultado de efectuar diversas actividades a través de una secuencia ordenada.

La programación y la planeación son piezas esenciales y se realizan antes de comenzar el proyecto.

La programación es un proceso que consiste en adaptar un proyecto a una secuencia de actividades con base en una calendarización con el fin de lograr un objetivo.

Los elementos con los que se logrará una programación exitosa son los siguientes: orden, ambiente de trabajo, tiempo, seguridad, equipo, personal y un cuidado al medio ambiente.

Un programa de construcción debe de ser muy específico en el desarrollo de sus actividades para tener mayor precisión y tener el menor número de errores en la estimación de la duración del proyecto. Para esto es necesario que desde que se haga el plan para lograr el alcance se haga una división del proyecto en paquetes de trabajo.

⁹ Idem 8. Pág. 144.

Los paquetes de trabajo envuelven los recursos necesarios (materiales, equipos, personal de trabajo) y la duración planeada para cada actividad todo esto con el fin de lograr que las actividades se lleven a cabo durante el tiempo programado.

Es fundamental contar con la mayor información posible para la elaboración del programa de obra, tener un anteproyecto, trabajos a ejecutar, especificaciones, normas y procedimientos constructivos. En dado caso que no se tenga dicha información, algunas actividades necesitarán más tiempo del calculado, otras se harán en menos tiempo y algunas se realizarán exactamente de acuerdo con la duración estimada. Sin embargo, durante la vida de un proyecto que incluya muchas actividades, estas demoras o adelantos tenderán a compensarse entre sí.¹⁰

¹⁰ Idem 9. Pág. 144.

1.3.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN

Algunos de los métodos y técnicas más usadas en la programación son las siguientes:

- Diagrama de Barras o diagrama de Gantt.
- Diagramas de Precedencias
- Pert
- Simulación

1.3.1.1 Diagrama de barras o diagrama de Gantt.¹¹

El diagrama de Gantt es un diagrama de barras horizontales en el cual la lista de actividades va debajo del eje vertical y las fechas se colocan a lo largo del eje horizontal.

En el eje horizontal corresponde al calendario, o escala de tiempo definido en términos de la unidad más adecuada al trabajo que se va a ejecutar: hora, día, semana, mes, etc. En el eje vertical se colocan las actividades que constituyen el trabajo a ejecutar. A cada actividad se hace corresponder una línea horizontal cuya longitud es proporcional a su duración en la cual la medición efectúa con relación a la escala definida en el eje horizontal conforme se ilustra.

Las actividades que comienzan más temprano se localizan en la parte superior del diagrama, y las que comienzan después se colocan de modo progresivo, empezando por la que empiece primero, en el eje vertical. De este modo, el diagrama parece la vista

¹¹ <http://www.gestiopolis.com/recursos2/documentos/fulldocs/eco/adproyectanto.htm>

lateral de una corriente que fluye de una montaña, lo cual explica por qué los diagramas de Gantt también se conocen como diagramas en “cascada”. Además, el flujo desde la parte superior izquierda hacia la parte inferior derecha puede dar la idea de secuencia al colocar el número o la letra de la actividad precedente inmediata a la izquierda del extremo de la barra que representa la actividad. En la figura 1.2 se muestra un ejemplo de un diagrama de Gantt.

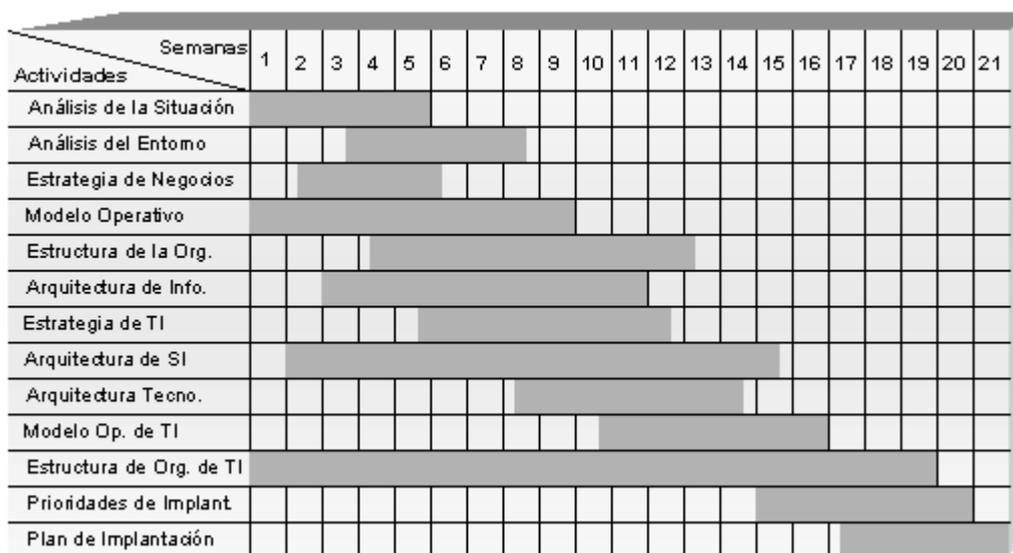


Figura 1.2 Diagrama de Gantt.¹²

Los diagramas de Gantt son herramientas prácticas muy utilizadas en la administración de proyectos porque no sólo son económicas y fáciles de aplicar, sino que también son fáciles de interpretar por cualquiera y presentan gran cantidad de información, donde el administrador puede descubrir de inmediato cuáles actividades van adelantadas en la programación y cuáles están atrasadas.

¹² <http://www.revista.unam.mx/vol.3/num1/art1/imagenes/09.gif>

En general, cuanto más grande sea el proyecto, más difícil será desarrollar y mantener actualizados los diagramas de Gantt. Sin embargo, en los grandes proyectos, pueden ser útiles para representar las diversas tareas en que se descompone la actividad o dar una idea amplia del proyecto. Otra desventaja más grave es que no presenta las interrelaciones entre actividades por lo que no se sabe cuáles actividades pueden retardarse o dilatarse sin que se afecte la duración del proyecto.

1.3.1.2 Diagrama de precedencias o de red.¹³

Cuando el proyecto se ha dividido en un conjunto de actividades y se han creado los paquetes de trabajo, los planeadores del proyecto desarrollan un programa preliminar. Para poder desarrollarlo, es necesario establecer las relaciones de precedencia entre las actividades del proyecto. Estas relaciones indican qué actividades deben completarse antes de comenzar otras, y cuáles deben ejecutarse al mismo tiempo.

Dentro de los diagramas de precedencias se encuentra el diagrama de nodos.

1.3.1.2.1 Nodos.

En un diagrama de red de actividad en nodo cada actividad se representa mediante un cuadro o un nodo. Las flechas entre los nodos indican el orden en que deben ejecutarse las actividades. Cabe destacar que es el método más usado en la actualidad por los distintos software sobre programación de proyectos.

¹³ <http://www.gestiopolis.com/recursos2/documentos/fulldocs/eco/adproyectanto.htm>

1.3.1.3 Ruta Crítica.

El diagrama de la red de actividades representa el trabajo realizado con base a una serie de tareas interrelacionadas para elaborar un proyecto, ayuda a que las personas comprendan y mejoren el plan para alcanzar el resultado mediante la combinación, simplificación, reordenamiento o eliminación de tareas.

La red en un caso general comprende un conjunto de trayectorias dentro de las cuales, la que comprenda el mayor recorrido y necesite el mayor tiempo para recorrerla será denominada como ruta crítica (Figura 1.3).

La ruta crítica es la trayectoria que necesita el mayor tiempo para recorrer la red.¹⁴

Una manera de determinar cuáles actividades se podrán integrar a la ruta crítica consiste en encontrar cuáles son las que tienen la menor holgura, es decir que sean cero o que tengan valores negativos.

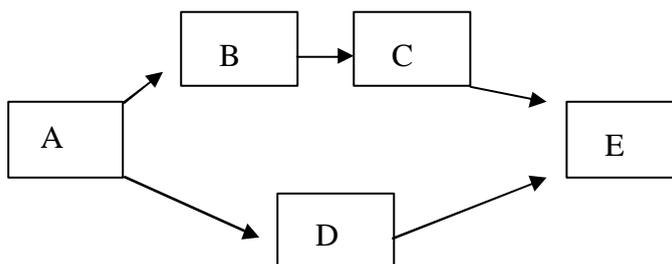


Figura 1.3 Diagrama de la ruta crítica de un proyecto.

¹⁴ <http://www.gestiopolis.com/recursos2/documentos/fulldocs/eco/adproyectanto.htm>

1.3.1.3.1 Cálculo de la ruta crítica.¹⁵

Para calcular la ruta crítica de una red, se calcula la siguiente información:

- Tiempos de inicio y terminación más tempranos.
 1. Tiempo de inicio más temprano (ES, por sus siglas en inglés Earliest Start Time) es lo más pronto en que se puede iniciar una actividad en particular, y calculada sobre la base del tiempo de inicio estimado del proyecto y de las duraciones estimadas para las actividades precedentes.
 2. Tiempo de terminación más temprano (EF por sus siglas en inglés, Earliest Finish Time) es lo más pronto en que se puede terminar una actividad en particular y se calcula sumando la duración estimada de la actividad al tiempo de inicio más temprano de la misma como se indica en la ecuación 1.1:

$$EF = ES + \text{duración estimada} \dots \text{Ecuación 1.1}$$

Los tiempos EF Y ES (Figura 1.4) se determinan calculando hacia delante, es decir, trabajando a través del diagrama de red desde el inicio del proyecto hasta el final del mismo. Al hacer esto hay que seguir ciertas reglas.

¹⁵ Gido. Clements,(2003) *Administración exitosa de proyectos*, segunda edición. Editorial Thomson. Pág. 147.

Regla 1: EL tiempo de inicio más temprano de una actividad particular es el mayor tiempo de terminación más temprano de todas las precedentes inmediatas a esa actividad.

- Tiempos de inicio y terminación más tardíos.
 1. Tiempo de terminación más tardío (LF) es lo más tarde que se puede completar una actividad en particular para que todo el proyecto se concluya en la fecha acordada.
 2. Tiempo de inicio más tardío (LS) es la fecha más tardía en que se puede iniciar una actividad en particular para que todo el proyecto se complete en su fecha de terminación requerida. Y se calcula restando la duración estimada de la actividad, del tiempo de terminación mas tardío como se muestra en la ecuación 1.2:

$$LS = LF - \text{duración estimada} \dots \text{Ecuación 1.2}$$

Los tiempos LS y LF (Figura 1.4) se determinan calculando hacia atrás, es decir, trabajando a través del diagrama de red desde el final del proyecto hasta el inicio.

Regla 2: El tiempo de terminación más tardío para una actividad en particular es el menor de los tiempos de inicio más tardíos de todas las actividades que surgen directamente de ésta en particular.

- Holguras

1. Holgura total (TS) El tiempo máximo que se puede retrasar una actividad sin afectar la duración total del proyecto. Si la holgura total es positiva, representa la cantidad máxima de tiempo que se puede demorar las actividades de una ruta sin poner en peligro el proyecto en su tiempo de terminación. Por otra parte si es negativo, representa la cantidad de tiempo que tiene que apresurar la actividad de una ruta con el fin de completar el proyecto en su tiempo de terminación requerido. Se calcula con la expresión 1.3:

$$\text{Holgura total} = \text{LF} - \text{EF} \text{ u } \text{Holgura total} = \text{LS} - \text{ES} \dots \text{Ecuación 1.3}$$

2. Holgura libre (FS) es la cantidad de tiempo que se puede demorar una actividad en particular sin retrasar las actividades que le siguen.

Las unidades de la duración de las actividades de un proyecto puede ser (horas, días, semanas, meses, años) pero la unidad que se elija para una deberá ser la misma para el resto de las actividades del diagrama (Figura 1.5).

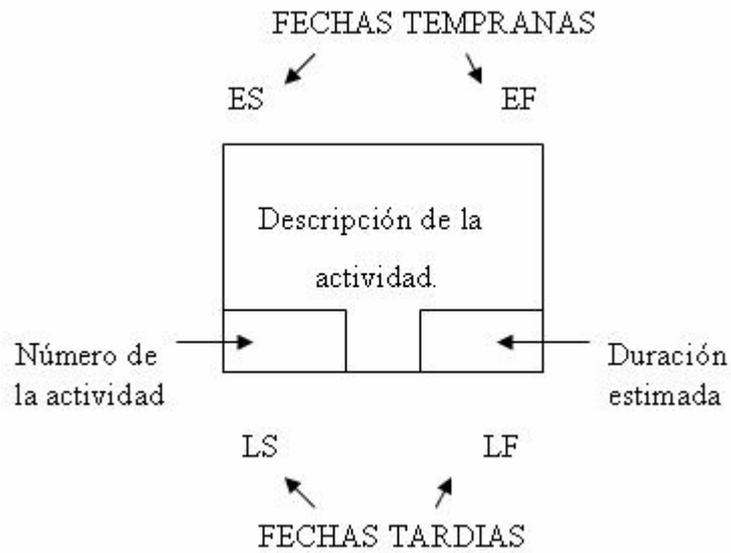


Figura 1.4 Formato de actividad en cuadro con fechas.¹⁶

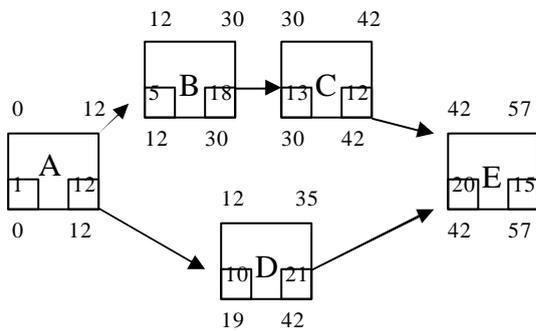


Figura 1.5 Diagrama de Red con duraciones de actividades.

¹⁶ Ibidem 15 Pág. 159.

1.3.1.4 PERT¹⁷

PERT (técnica de evaluación y revisión de programas). Originalmente los sistemas tipo PERT se aplicaron para evaluar la programación de un proyecto de investigación y desarrollo, también se usan para controlar el avance de otros tipos de proyecto especiales. El objetivo de los sistemas tipo PERT consiste en ayudar en la planeación y el control, por lo que no implica mucha optimización directa. Algunas veces el objetivo primario es determinar la probabilidad de cumplir con fechas de entrega específicas.

También identifica aquellas actividades que son más probables que se conviertan en cuellos de botella y señala, por ende, en que puntos debe hacerse el mayor esfuerzo para no tener retrasos. Un tercer objetivo es evaluar el efecto de los cambios del programa. Por ejemplo, se puede valorar el efecto de un posible cambio en la asignación de recursos de las actividades menos críticas a aquellas que se identificaron con cuellos de botella.

Otra aplicación importante es la evaluación del efecto de desviarse de lo programado. Todos los sistemas tipo PERT emplean una red de proyecto para visualizar gráficamente la interrelación entre sus elementos. Esta representación del plan de un proyecto muestra todas las relaciones de procedencia, respecto al orden en que se deben realizar las actividades.

Esta técnica ha demostrado ser una herramienta efectiva en el diseño, desarrollo y defensa de proyectos. Tiene cierta ventaja sobre el Diagrama de flechas y las redes,

¹⁷ Ahuja (1983), *Project Management – Techniques in Planning and Controlling Construction Projects*, Wiley Series Edition Pág 46.

cuando el logro de los objetivos es incierto. Permite el cálculo probabilístico de la duración de las actividades implementando tres posibles duraciones.

Estas tres posibles duraciones son la duración óptima, la duración media, y la duración pesimista de cada actividad. Estas duraciones son probables en base a los registros de proyectos similares realizados con anterioridad.

1.3.1.5 Simulación

La simulación es un método de programación que envuelve la creación de un modelo sustraído de una situación real y con base en esto hacer experimentos con el modelo.

Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo.¹⁸

Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema.¹⁹

¹⁸ Rivera, R. (2000). *Paquete de Simulación de Tres Técnicas de Programación de Obra*. Tesis de Licenciatura, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de las Américas-Puebla. Pág. 34

¹⁹ Ibidem 18. Pág 35.

Pasos para realizar la simulación:

- Definición del sistema.
- Formulación del modelo.
- Colección de datos
- Implementación del modelo en la computadora.
- Validación del modelo.
- Experimentación.
- Interpretación.
- Documentación.

Como conclusión cabe mencionar que la técnica de la simulación presenta una serie de ventajas tales como, la simulación de sistemas complejos para su mayor entendimiento, nos ayuda para estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema y también puede ser utilizada como un instrumento pedagógico para enseñar a estudiantes habilidades básicas en análisis estadístico y teórico entre otros.

Actualmente un estudio de simulación es muy recomendable y eficaz para la programación de proyectos.