



Apuntes

**Planación y Evaluación
de Proyectos**

7o. Semestre
Licenciatura en
Ingeniería Civil

M. I. José Francisco Grajales Marín
Agosto 2013

íNDICE

	Introducción	1
1	Planeación	2
1.1	Variables estratégicas del proyecto	7
1.2	Fases del ciclo de vida de los proyectos	9
2	Planeación del proyecto (WBS)	10
2.1	Desarrollo de la WBS	13
2.2	Paquetes de trabajo	15
2.3	Secuencia de los paquetes de trabajo	17
2.4	Estimación del costo y control en la WBS	18
3	Técnicas de programación de proyectos	20
3.1	CPM (Critical Path Method)	20
3.2	Ejemplo con CPM	24
3.3	PDM (Precedence Diagramming Method)	27
3.4	Ejemplo con PDM	29
3.5	PERT (Program Evaluation and Review Technique)	32
3.6	Ejemplo con PERT	35
3.7	RASP (Repetitive Activity Scheduling Procedure)	36
3.8	Ejemplo con RASP	39
	Bibliografía	42

INTRODUCCIÓN

Estos apuntes se elaboraron para el curso de *Evaluación de Proyectos* que se cursa en el 1er. Semestre de la Maestría en Ingeniería, y se estructuraron de la siguiente manera: en el capítulo 1 de *Antecedentes* se plantean algunas preocupaciones de la época que están relacionadas con el agotamiento de los recursos naturales, el crecimiento exponencial de la población y por ende de vivienda y otros espacios que hacen necesario en la actualidad procurar una mejor evaluación de los proyectos de infraestructura.

El capítulo 2, *Evaluación Económica* se orienta a plantear alternativas de solución, el horizonte de planeación de los proyectos y las condiciones de factibilidad que deben cumplir para mejorar la calidad de vida de la población. En el capítulo 3, *Ingeniería Económica* se enfoca en establecer los principios de la evaluación numérica de los proyectos mediante el análisis numérico de beneficios y costos asociados a un proyecto considerando las tasas de interés y las matemáticas financieras de los factores de descuento.

El capítulo 4 se integra con las diferentes técnicas de evaluación y finalmente, en el capítulo 5 se expone la *Técnica Electre I* como una metodología que permite la evaluación de un conjunto de alternativas bajo diferentes criterios de evaluación.

OBJETIVO

El alumno conocerá los costos y beneficios asociados a un proyecto de infraestructura, las pruebas de factibilidad que deben aprobar para ser considerados como un bien común y las técnicas de evaluación para establecer las diferencias entre ellos que permitan ordenarlos y emitir un juicio favorable o desfavorable para su ejecución.

M. I. José Francisco Grajales Marín

marinj@unach.mx

1 Planeación

La responsabilidad más importante de un administrador de proyectos son la planeación, la integración y la ejecución de los planes. Casi todos los proyectos, muchos proyectos, debido a su duración muy corta o a la prioridad en su ejecución requieren de una planeación de detalle. La integración de las actividades de planeación es necesaria porque cada unidad funcional puede desarrollar su propia planeación.

La planeación, en general, puede ser descrita como la función de seleccionar los objetivos de la empresa y establecer las políticas, procedimientos y programas necesarios para lograr estos objetivos. La planeación en el ambiente de los proyectos puede ser descrita como la actividad tendiente a establecer un determinado curso de acción dentro de un ambiente pronosticado. La planeación tiene que ver con la toma de decisiones a partir de un ambiente en que se plantean diversas alternativas de acción.

La clave para el éxito del proyecto recae en el administrador del proyecto. Es deseable que el AP esté involucrado desde la concepción del proyecto hasta la ejecución. La planeación debe ser *sistemática*, *flexible* lo suficiente para manejar actividades únicas, *disciplinada* acerca de la revisión y el control y capaz de aceptar entradas *multifuncionales*. Los AP exitosos realizan la planeación como un proceso iterativo y debe ser realizado durante la vida del proyecto.

Uno de los objetivos de la planeación es la definición de todo el trabajo requerido de manera que se identifique a cada uno de los participantes del proyecto. Esto es necesario en el ambiente del proyecto porque:

- Si una tarea está bien definida su prioridad para ser realizada, mucho de este trabajo puede ser preestablecido.
- Si la tarea no está entendida, entonces durante la ejecución de la tarea se adquiere el conocimiento.
- Cuánto más incertidumbre existe acerca de una tarea, es mayor la cantidad de información que debe ser procesada para asegurar una ejecución efectiva.

Estas consideraciones son importantes porque cada proyecto puede ser diferente de otros, requiriendo de una variedad de recursos diferentes, pero que tienen que ser realizados bajo restricciones de tiempo, costo y ejecución, con pequeños

márgenes de error. La figura 1.1 identifica los tipos de planeación requerida para establecer un monitoreo y control efectivo del sistema. Los cajones en la parte superior de la curva representan las actividades de planeación y los de la parte inferior identifica al *seguimiento* o monitoreo de las actividades.

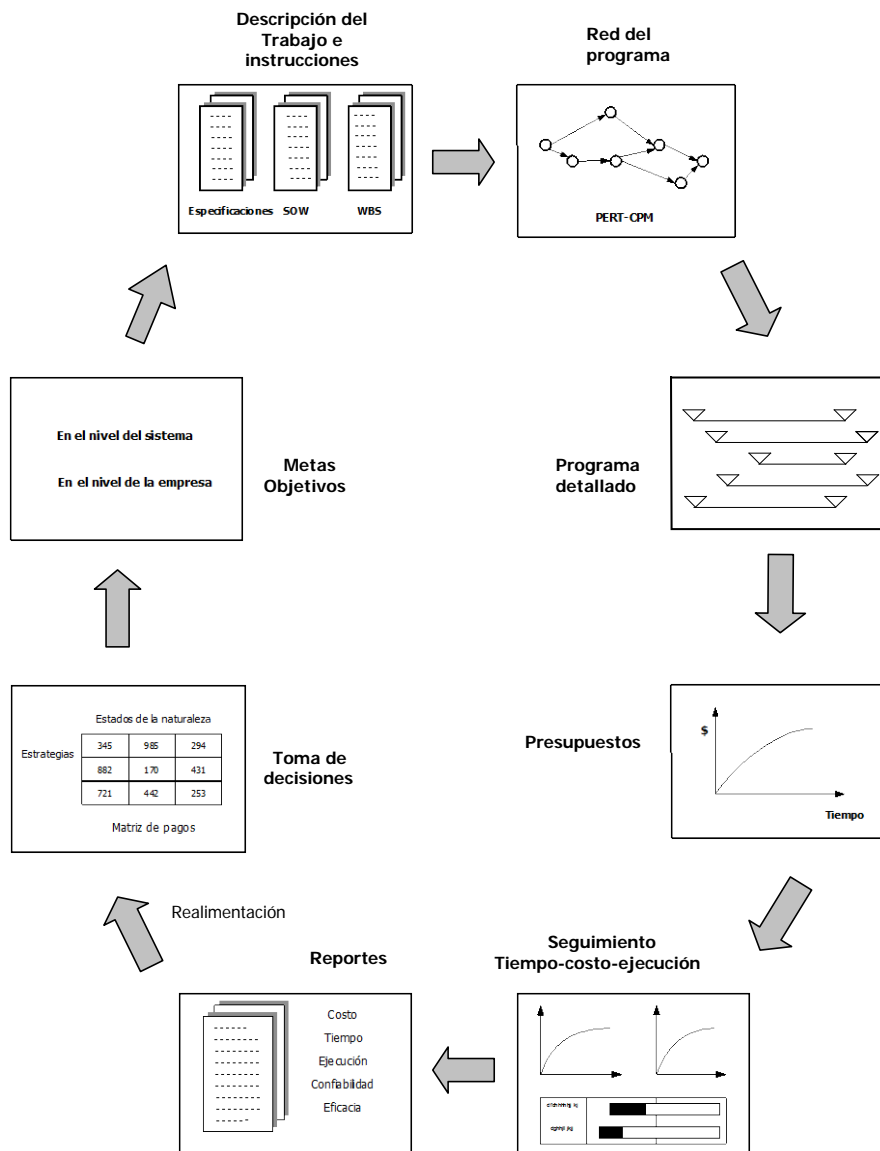


Figura 1.1 Planeación del proyecto y sistemas de control

En la lista siguiente aparecen los resultados típicos de una planeación pobre:

- Iniciación del proyecto
- Entusiasmo desordenado
- Desilusión
- Caos
- Búsqueda de culpables

- Castigo de inocentes
- Promoción de no participantes
- Definición de los requerimientos

Obviamente, la definición de los requerimientos debe ser el primer paso.

Hay cuatro razones básicas para la planeación del proyecto:

- Para eliminar o reducir la incertidumbre
- Para mejorar la eficiencia en la operación
- Para entender mejor los objetivos
- Para proveer una base para el monitoreo y control

La planeación es determinar *qué* necesita hacerse, *por quiénes* y *cuándo*, para cumplir totalmente con la responsabilidad. Hay nueve componentes principales en la fase de planeación:

- Objetivo: una meta que debe ser alcanzada en un cierto tiempo
- Plan: la estrategia a seguir y las principales acciones a considerar para alcanzar o exceder los objetivos
- Programa: plan que muestra cuando las actividades puedan ser iniciadas o terminadas
- Presupuesto: costos que se requieren para alcanzar o exceder los objetivos
- Pronóstico: una proyección de lo que debe suceder en cierto tiempo
- Organización: diseño del número y clase de puestos, con sus correspondientes funciones y responsabilidades, requeridas para alcanzar o exceder los objetivos
- Política: una guía general para la toma de decisiones y acciones individuales
- Procedimiento: un método detallado de alguna de las políticas
- Estándar: un nivel de realización individual o de grupo, definido como adecuado o aceptable

Varios de estos factores requieren de comentario adicional. El pronóstico a veces no es fácil, especialmente si se requiere de predicción de reacciones ambientales. Por ejemplo, normalmente, la planeación es definida como estratégica, táctica u operacional. La planeación estratégica es para cinco años o más, la táctica puede ser para uno a cinco años y la operacional para seis meses a un año. El pronóstico requiere una comprensión de los esfuerzos como se encuentran en:

- Una situación competitiva

- El mercado
- Investigación y desarrollo
- Producción
- Financiamiento
- Personal
- La estructura administrativa

Si la planeación es estrictamente operacional, es tos factores pueden estar claramente definidos. Sin embargo, si es estratégica o de largo plazo, entonces el futuro económico puede variar y entonces es necesario un replanteamiento, ya que pueden cambiar las metas y objetivos.

Los últimos tres factores: políticas, procedimientos y estándares pueden variar de un proyecto a otro, por sus propias características. Cada administrador de proyectos debe establecer las políticas. Éstas son cursos de acción o guías basadas en los siguientes principios:

- Las políticas subordinadas son suplementarias de las políticas superiores
- Están basadas en principios conocidos en las áreas operativas
- Deben ser definibles, entendibles y preferentemente por escrito
- Deben ser flexibles y estables
- Deben ser razonablemente comprensibles en su alcance

Las políticas a veces son similares de un proyecto a otro, en cambio los procedimientos pueden ser drásticamente diferentes.

La planeación varía en cada nivel de la organización. En un nivel individual, la planeación requiere solamente de una decisión antes de que tomar una decisión irrevocable sea tomada. En un trabajo de grupo o nivel funcional, la planeación debe incluir:

- Convenir en el propósito
- Asignación y aceptación de responsabilidad individual
- Coordinación de las actividades
- Aumentar el compromiso de las metas del grupo
- Comunicación lateral

En el nivel organizacional, la planeación debe incluir:

- Reconocimiento y resolución de conflictos en grupo

- Asignación y aceptación de responsabilidades de grupo
- Aumentar la motivación y el compromiso de las metas de la organización
- Comunicación vertical y lateral
- Coordinación de actividades entre grupos

La lógica de la planeación requiere contestar a varias preguntas para abarcar las alternativas y restricciones. Una lista parcial de preguntas debe incluir:

- Preparar el ambiente de análisis
 - ¿Dónde estamos?
 - ¿Cómo y por qué estamos aquí?
- Conjunto de objetivos
 - ¿Es aquí donde queremos estar?
 - ¿Dónde nos gustaría estar? ¿en un año? ¿en cinco años?
- Listar las alternativas
 - ¿Dónde estaremos de continuar así?
 - ¿Es a donde queremos ir?
 - ¿Cómo podríamos ir a donde queremos?
- Listar amenazas y oportunidades
 - ¿Qué se puede prevenir?
 - ¿Qué ayuda se puede brindar?
- Preparar pronósticos
 - ¿A dónde somos capaces de ir?
 - ¿Qué necesitamos hacer para ir a donde queremos?
- Seleccionar estrategias
 - ¿Cuál es el mejor curso de acción?
 - ¿Cuáles son los beneficios potenciales?
 - ¿Cuáles son los riesgos?
- Preparar los programas de acción

¿Qué necesitamos hacer?

¿Cuándo necesitamos hacerlo?

¿Cómo debe hacerse?

¿Quién debe hacerlo?

- Monitoreo y control

¿Estamos en lo normal? Si no, ¿porqué?

¿Qué debemos hacer para estar en lo normal?

¿Podemos hacerlo?

1.1 Variables estratégicas del proyecto

Para proyectos de largo plazo o estratégicos, el AP debe monitorear el ambiente externo para desarrollar un programa que pueda permanecer de pie bajo presión. Estos factores del ambiente juegan una parte integral en la planeación. El AP debe ser hábil para identificar y evaluar estas variables estratégicas en términos de la posición futura de la organización con respecto a las restricciones de los recursos existentes.

En el ambiente del proyecto, la planeación estratégica del proyecto es realizada en un nivel jerárquico horizontal, con la aprobación final del administrador del nivel superior; son tres las guías básicas para la planeación estratégica:

- La planeación estratégica debe ser realizada *por* administradores, no *para* ellos
- Es muy importante que el administrador en un nivel superior mantenga una participación cerrada con los equipos del proyecto, especialmente durante la fase de planeación
- Una planeación exitosa debe definir la autoridad, responsabilidad, y los roles del personal

Para que un proyecto tenga éxito, todos los miembros del equipo en el nivel horizontal deben estar conscientes de estas variables estratégicas que pueden influir en el éxito o el fracaso del proyecto. El análisis comienza con el ambiente, subdividido en *interno*, *externo* y *competitivo*, como se muestra:

- Ambiente interno

1. Administradores mañosos
 2. Recursos y salarios bajos
 3. Congelamiento del trabajo
 4. Grupos minoritarios
 5. Suspensiones
 6. Pronósticos de ventas
- Ambiente externo
 7. Legal
 8. Político
 9. Social
 10. Económico
 11. Tecnológico
 - Ambiente competitivo
 12. Características de la industria
 13. Requerimientos y metas de la compañía
 14. Historia competitiva
 15. Actividad competitiva actual
 16. Planeación competitiva
 - Retorno de la inversión
 - Mercado compartido
 - Tamaño y variedad de las líneas de trabajo
 17. Recursos competitivos

Sólo hasta que las variables están definidas, el proceso de planeación continúa con lo siguiente (Análisis FODA: fortalezas, oportunidades, debilidades, amenazas)

- Identificación de fortalezas y debilidades de la compañía
- Comprensión de los valores personales del administrador
- Identificar oportunidades
- Definición de los productos del mercado
- Identificación de ejes de competencia
- Establecer metas, objetivos y estándares
- Identificación del despliegue de recursos

1.2 Fases del ciclo de vida del proyecto

La planeación del proyecto tiene lugar en dos niveles. El primer nivel es la cultura corporativa y el segundo nivel es el individual. La cultura de la corporación divide el proyecto en fases del ciclo de vida, lo cual se traduce en una metodología de uniformidad en el planeación del proyecto, como se muestra en la figura 1.2:

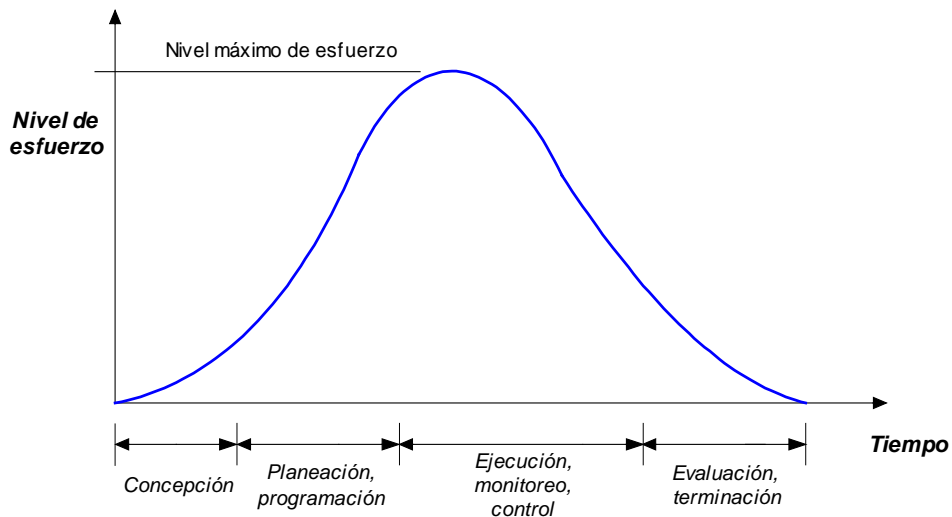


Figura 1.2 Ciclo de vida del proyecto

Otro beneficio de estas fases es el control. Al final de cada fase hay una reunión entre el AP, responsable, jefe del proyecto y aún el cliente, para valorar los logros de esta fase del ciclo de vida y continuar con otra. Como resultado de estas reuniones al término de una fase, se pueden identificar las decisiones:

- Proceder a la próxima fase con un nivel aprobado de fondos
- Proceder a la próxima fase con objetivos modificados o nuevos
- Posponer la aprobación para proceder, con base en la necesidad de información adicional
- Terminar el proyecto

2 Planeación del proyecto (WBS)

El primer paso en la programación es entender los objetivos del proyecto. Éstos deben desarrollarlos expertos en las diferentes áreas, para volverse competitivos, para modificar lo existente, o simplemente para seleccionar el personal.

Los objetivos generalmente no son independientes; están interrelacionados, implícita y explícitamente. Muchas veces no es posible satisfacerlos. En este punto, la administración debe priorizar los objetivos, en cuanto cuáles son estratégicos y cuáles no lo son. Los problemas típicos al desarrollar objetivos son los siguientes:

- Los objetivos y metas del proyecto no están convenidos por todas las partes
- Son demasiados rígidos para acomodarse a los cambios
- El tiempo es insuficiente para definir bien los objetivos
- Los objetivos no están suficientemente documentados
- Falta de coordinación entre cliente y personal del proyecto
- Rotación alta de personal

Sólo hasta que los objetivos están claramente definidos, se deben considerar cuatro cuestiones:

- ¿Cuáles son los principales elementos del trabajo requerido para satisfacer estos objetivos, y cómo están interrelacionados estos elementos?
- ¿Cuál división funcional debe asumir la responsabilidad para lograr los objetivos?
- ¿Están disponibles los recursos administrativos de la corporación?
- ¿Cuáles son los requerimientos de flujo de información para el proyecto?

Una planeación efectiva no se puede lograr a menos que esté disponible toda la información necesaria para el inicio. La información requerida incluye:

- La descripción del trabajo (SOW)
- Las especificaciones del proyecto
- Los eventos importantes del programa
- La estructura de descomposición del trabajo (WBS)

El SOW es una descripción narrativa del trabajo para el proyecto. Incluye a los objetivos del proyecto, la descripción breve del trabajo, la restricción de fondos, las especificaciones y el programa. El programa incluye:

- Fecha de inicio

- Fecha de terminación
- Eventos relevantes
- Reportes

La complejidad del SOW es tá d eterminada p or el A P, p or el cliente o p or los usuarios.

La planeación del proyecto tiene que ver con los conceptos de un objetivo y un alcance del trabajo definiendo el producto que se obtendrá. El presupuesto consiste de planes y especificaciones que establecen el alcance del trabajo a realizar. Para ser administrado, el alcance del trabajo debe ser dividido en sus componentes, los cuales definen los elementos de trabajo o bloques de construcción los cuales necesitan realizarse para alcanzar el objetivo final. Esto significa asumir que el proyecto es la suma de sus sub-elementos.

Es muy importante la definición de los sub-elementos ya que determinan cómo el proyecto será realizado en el campo. Los sub-elementos también son llamados *paquetes de trabajo*. El conjunto de paquetes de trabajo se muestra como una estructura jerárquica llamada *Estructura de descomposición del Trabajo (WBS, Work Breakdown Structure)*. La figura 2.1 es un ejemplo de una WBS para un pequeño proyecto de construcción:

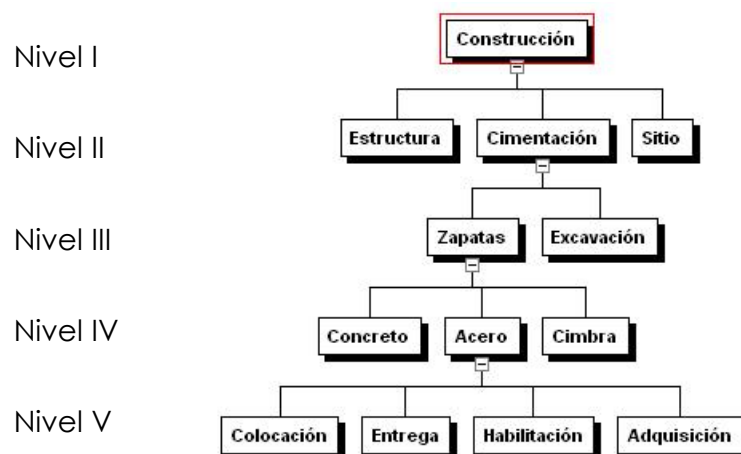


Figura 2.1 Ejemplo de WBS

Construcción definida en el nivel I está sub-dividida en sus principales sub-sistemas, en el nivel II. La *Cimentación* es a su vez dividida en sus principales componentes en el nivel III. Similarmente, la actividad *Zapatas* consiste de *Concreto*, *Acero* y *Cimbra*.

El desarrollo de la WBS requiere del conocimiento del alcance del trabajo. La experiencia en construcción es clave para establecer una WBS funcional. La WBS y la jerarquía de los paquetes de trabajo de los cuales está compuesta son utilizados para determinar el estado del proyecto y administrarlo desde la perspectiva de tiempo, costo y calidad.

La planeación puede ser como la definición y la secuencia de los paquetes de trabajo dentro de un proyecto dado. Esto es:

$$\text{PLANEACIÓN} = \text{WBS} + \text{SECUENCIA DEL TRABAJO}$$

La planeación lleva a un refinamiento del alcance del trabajo como se establece en los contratos. Un buen plan reduce la incertidumbre y mejora la eficiencia. La WBS también asiste en la dimensión de la planeación. Esto es, define el nivel de planeación requerida. Por ejemplo, si se viaja a una ciudad, ciertos elementos principales del viaje deben ser planeados. Si se viaja por aire, se necesita adquirir un boleto. Se debe determinar qué llevar, es necesario un alojamiento, reservar en un hotel. En un nivel más bajo de la jerarquía, se debe determinar cómo ir del aeropuerto al hotel. Si el tiempo es crítico, se debe rentar un vehículo y que espere en el aeropuerto; de otra manera se debe resolver. En efecto, el desarrollo de la WBS y la definición de los paquetes de trabajo es un ejercicio de *anticipar las cosas*. Esto mejora los mecanismos que facilitan la planeación. El detalle de la WBS debe variar según la situación y complejidad del proyecto.

La planeación de un proyecto mediante una WBS permite desarrollar una estructura para la ejecución del proyecto, el monitoreo y control. Se minimiza la incertidumbre, aclara los sub-objetivos dentro del objetivo general y ayuda a establecer la secuencia de las actividades y a evitar crisis en la administración.

Sin embargo, la planeación es una tarea en curso y continúa así durante la vida del proyecto. El General Dwight D. Eisenhower alguna vez dijo: *Los planes son nada, la planeación es todo*. La planeación al inicio es inevitablemente impactada por eventos que inducen cambios en el plan. En la búsqueda del éxito en un proyecto, el administrador está obligado a utilizar su agilidad para identificar desviaciones del plan y resolver problemas planteados por éstas. La figura 2.2 refleja el ciclo de planeación en términos de un diagrama de flujo. Cuando la WBS ha sido desarrollada, se mejora la estructura dentro de la cual la planeación puede influir

en todo el ciclo de vida del proyecto. Se vuelve al vehículo para identificar desviaciones, valorar su impacto, y hacer las correcciones al plan. Sólo entonces, *la planeación es todo*.

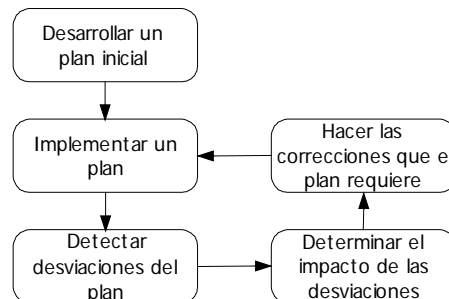


Figura 2.2 Ciclo planeación-administración

2.1 Desarrollo de la WBS

Los paquetes de trabajo constituyen los elementos últimos de la WBS. Deben estar definidos para apoyar al administrador en la determinación del estado o nivel de avance del proyecto. Una definición de la WBS sería: *es la descomposición progresiva y jerárquica del proyecto en piezas más pequeñas hasta un nivel en el cual el costo es aplicado*.

Cuando se monitorea y controla un proyecto, el costo y el tiempo son las áreas de interés. La WBS es extremadamente útil en el desarrollo de los planes de tiempo y costo.

Para crear la WBS se debe considerar la guía siguiente:

- 1) Los paquetes de trabajo deben ser claramente distintos unos de otros
- 2) Cada paquete de trabajo debe tener una sola fecha de inicio y terminación
- 3) Cada paquete de trabajo debe tener un solo presupuesto
- 4) Deben ser lo suficientemente pequeños para que sea posible medir con precisión el avance del proyecto

Por ejemplo, en la figura 2.1 un paquete de trabajo en el nivel IV puede ser el trabajo asociado con la instalación del acero de refuerzo en las zapatas. Este paquete de trabajo (1) está claramente definido y separado de otros paquetes de trabajo, (2) tiene una fecha de inicio y de terminación, y (3) tiene un costo, el cual es único y es lo suficientemente pequeño que permite medir el avance. Los

paquetes de trabajo en el nivel V se vuelven más genéricos y más difíciles de distinguir como únicos. Por ejemplo, las tareas como corte e instalación del acero son muy cortas y dificultan la asignación de un costo. Entonces, los paquetes de trabajo del nivel V en la figura 2.1 pueden verse como sub-tareas que pueden ser prorrateadas en los paquetes de trabajo del nivel IV.

En la construcción, los aspectos que contribuyen a la descomposición del trabajo en paquetes son:

- 1) Procedimientos de construcción
- 2) Técnicas
- 3) trabajadores
- 4) Equipo

La definición de los paquetes de trabajos se puede facilitar usando cuatro categorías que ayudan para establecer el nivel. Estas categorías son:

- 1) Localización dentro del proyecto (cimentación-zapata)
- 2) Tipo de material (concreto, acero, etc.)
- 3) Método de colocación (excavación)
- 4) Recursos de organización (mano de obra y equipo necesario)

En un proyecto de edificación, la construcción requiere de una *cimentación* para soportar la carga de la superestructura. La cimentación debe pensarse como una localización (así como un sistema estructural de soporte). La *localización* o *área* del trabajo es la parte física de la construcción. Esto es, se puede percibir la localización del paquete. Un paquete definiendo la losa de piso en la sección A en el 3er. Piso de un edificio es algo que puede ser localizado con facilidad. El hecho de que la losa sea de concreto es otro parámetro importante.

La *localización* y el *tipo de material* pueden influir en el método de instalación o colocación. El *método de colocación* y el *tipo de material* pueden determinar los esfuerzos humanos y equipo necesarios. El *método de colocación* o instalación determina el *tipo de recursos* requeridos, esto diferencia un paquete de otro. Por ejemplo, en un caso se puede colocar concreto mediante una bomba y en otra situación puede ser transportado de una planta. En cada caso, los recursos de mano de obra y equipo, el presupuesto, y la productividad de la colocación del concreto puede ser diferente.

2.2 Paquetes de trabajo del proyecto

Se desarrolla un conjunto de paquetes de trabajo para el proyecto. Primero, deben determinarse las localizaciones relacionadas con los paquetes de trabajo. Como se menciona anteriormente, la cimentación puede ser considerada como una localización. Es importante si el alcance del trabajo incluye el estacionamiento. Para los propósitos del proyecto de edificación, se puede asumir que está dentro del alcance de la tarea. La *localización* de los paquetes de trabajo pueden ser los siguientes:

1. Estacionamiento
2. Cimentación
3. Construcción de muros
4. Construcción de techos
5. Pisos interiores/losas (separados de la cimentación)
6. Acabados interiores
7. Acabados exteriores
8. Sistema eléctrico
9. Sistemas hidráulico-sanitario

Agregando la categoría de *tipo de material* se expande el número de paquetes de trabajo. Aunque esta lista no está completa, indica el nivel de detalle que puede ser considerado aún en un proyecto pequeño (cuando solo se han definido dos niveles).

Si se incluye el sistema hidráulico para cubrir la localización, tipo de material, métodos y recursos; se pudiera agregar la siguiente lista en la WBS:

- 1) Excavación del sistema de drenaje
- 2) Instalación de drenaje
- 3) instalación de fosa séptica
- 4) Líneas de tubería de agua
- 5) Instalación de sanitarios
- 6) Instalación de agua caliente

Resumiendo, se pueden establecer los siguientes paquetes de trabajo:

- 1) Concreto en banquetas y guarniciones
- 2) Pavimentación en estacionamiento

- 3) Muros prefabricados
- 4) Muros
- 5) Techos
- 6) Tubería de drenaje
- 7) Instalación agua caliente
- 8) Sanitarios
- 9) Fosa séptica
- 10) Tubería de drenaje
- 11) Excavación de drenaje
- 12) Pisos
- 13) Albañilería interior
- 14) Pintura
- 15) Puertas
- 16) Fachada
- 17) Vidrios
- 18) Puertas
- 19) Piso interior
- 20) Sistema eléctrico

Estos paquetes de trabajo se observan en la figura 2.3:

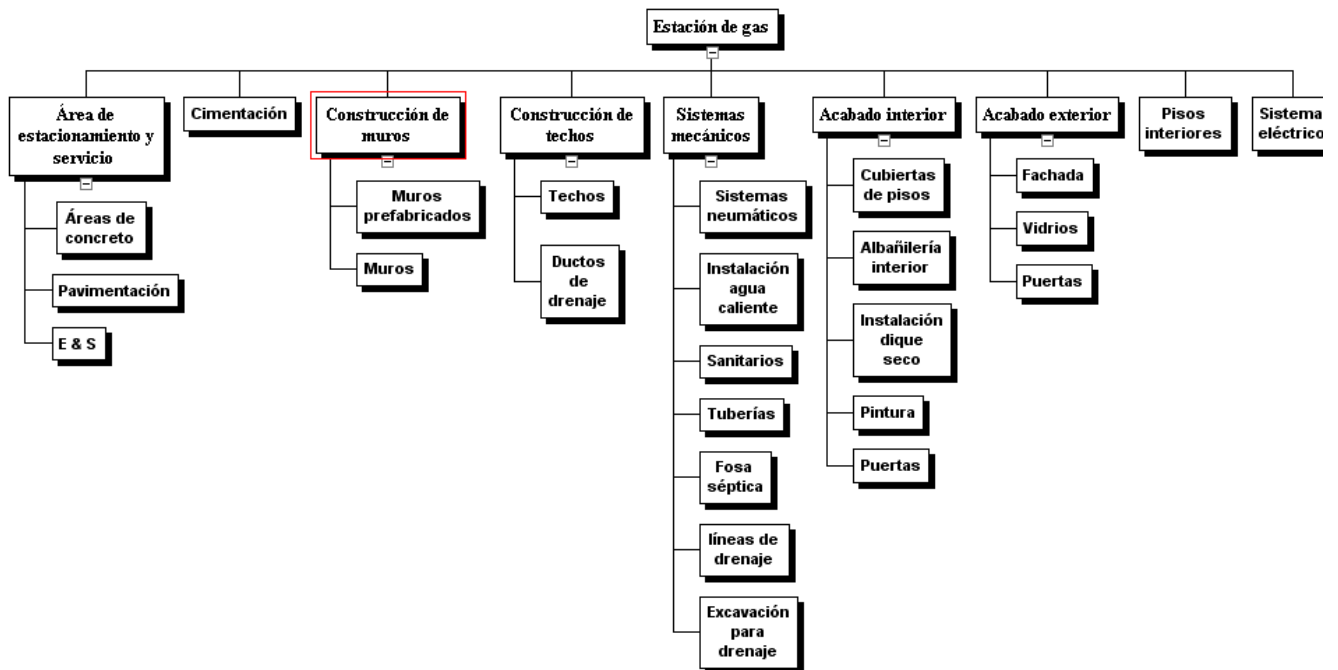


Figura 2.3 WBS del proyecto

2.3 Secuencia de los paquetes de trabajo

Cuando ya se ha descompuesto el proyecto en sus paquetes de trabajo, pueden definirse las actividades y su secuencia para facilitar la administración y el control. La palabra *actividad* es generalmente usada cuando se discute el control o la programación para referirse a una tarea que aparece en el programa en una secuencia lógica.

En el arreglo de la secuencia de los paquetes de trabajo para efecto del control, los criterios de (1) *localización* (2) *material* (3) *método* y (4) *recursos requeridos* deben ser reconsiderados desde la perspectiva de cómo estos criterios impactan en la secuencia de las actividades. Por ejemplo, la localización puede determinar la secuencia. Es normal terminar la estructura para el 1er. piso de un edificio antes de iniciar el trabajo sobre la estructura del 2º. Esta se puede considerar como una restricción *física* ya que el 2º. piso no puede ser apoyado hasta que el 1º. esté terminado. La restricción *física* o *lógica física* son comunes en la construcción. Aspectos de localización de un paquete de trabajo puede determinar la secuencia

En algunos casos, los requerimientos físicos no determinan la secuencia. En trabajos relativos a los acabados de las recámaras, muebles fijos como lavabos, cómodas o divisiones deben instalarse. Muros y acabados de pisos deben ser terminados. Esta no es una restricción física, es una decisión de la administración si es hecho primero el muro y pisos primero o los muebles fijos se instalan primero. En este caso, la situación es controlada por una decisión administrativa (el mueble fijo está disponible primero) y la secuencia es manejada por la *lógica de la administración*.

Una secuencia preliminar de los paquetes de trabajo se muestra en la figura 3.4. Una actividad está definida para la mano de obra, material, y equipo en el sitio y la preparación del sitio. Luego el área de localización es ordenada en la secuencia comenzando con la cimentación y terminando con los acabados interiores y exteriores y el sistema eléctrico, los cuales pueden elaborarse al mismo tiempo (en paralelo). Esta secuencia preliminar proporciona la estructura para el desarrollo del programa.

Siguiendo a la preparación del sitio, las zapatas de la cimentación deben alcanzar suficiente resistencia, para erigir la estructura. Debe notarse que, en este caso, la losa de piso de la sala de aparadores, y áreas de oficina así como los sanitarios no

son instalados hasta que la estructura no se ha construido. Como la cimentación incluye una zapata perimetral y zapatas individuales que soportan a los muros y columnas, la armazón y pisos pueden ser terminados antes de repartir las losas de piso al rededor del edificio. Cuando el piso ha terminado y la estructura se ha cerrado, se puede proceder a la construcción dentro sin perjuicio del clima.

Conforme se desarrolla el plan, se debe considerar dar o tro tiempo a las actividades, las cuales no necesariamente se identifican usando los criterios de localización, método, y recursos:

- 1) Las acciones administrativas tales como inspecciones, permisos, etc. deben ser considerados en el desarrollo de la secuencia lógica
- 2) La entrega de materiales también son factores del programa
- 3) Finalmente, ciertas actividades vinculadas a las propiedades físicas de los materiales o procedimientos requeridos (por ejemplo, curado del concreto, mezcla de materiales de compactación, et c.) deben ser incluidos en el programa

Una WBS bien definida facilita el desarrollo del programa preliminar y del programa detallado.

2.4 Estimación del costo y control en la WBS

La WBS facilita el control del costo durante la ejecución del proyecto¹. Los paquetes de trabajo son definidos como que tienen su propio y único presupuesto. Cuando se hace referencia a los paquetes de trabajo en el contexto de control del costo, la terminología *cantidades de control* o *control de cantidades* son usados con frecuencia. Durante el proceso del presupuesto, el contratista prepara una estimación del costo, el cual se vuelve la base para el presupuesto firmado para los propósitos del proyecto. Si es aceptada, la estimación de detalle es convertida en un *presupuesto* que sirve como línea base para controlar el gasto durante la ejecución del proyecto.

¹ Si se emplea una WBS, los elementos principales son los paquetes de trabajo y las cantidades del control son los sub-elementos del paquete de trabajo.

El control del presupuesto se prepara en base a un refinamiento del presupuesto. La estructura del presupuesto está vinculada a la descomposición del proyecto en sus principales elementos de costo.

Para proyectos pequeños y simples, tal como la pavimentación de una calle, la descomposición del presupuesto puede consistir en pocos elementos (mano de obra, materiales, y equipo). Para proyectos grandes y complejos, la estructura y nivel de detalle de la descomposición del costo es clave para un control efectivo de los gastos. En el caso del proyecto mostrado, deben desarrollarse los presupuestos para cada uno de los paquetes de trabajo indicados en la figura 2.3. El resumen de estos presupuestos de los paquetes individuales de trabajo se utilizan en el seguimiento total del proyecto y determina el estado del proyecto en cualquier tiempo durante la construcción.

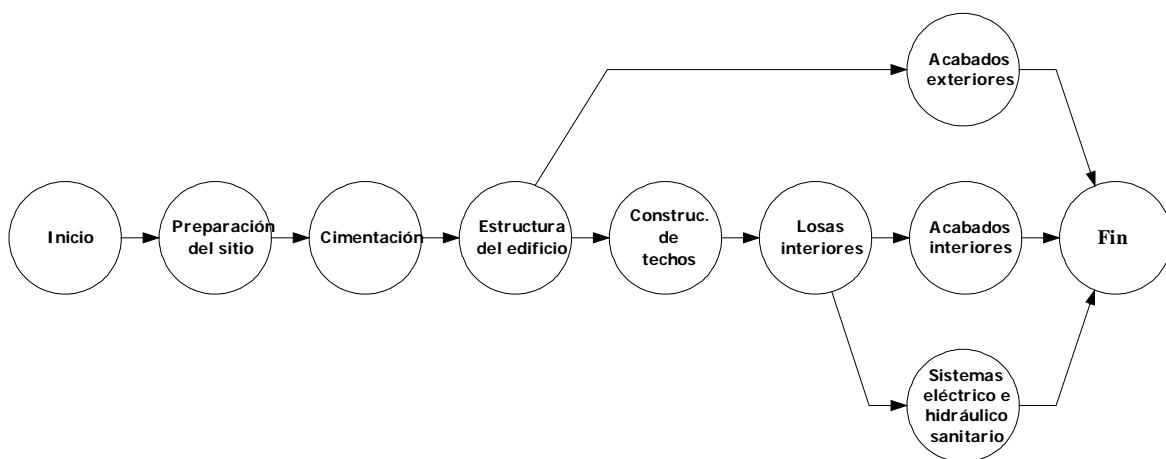


Figura 2.4 Descomposición preliminar del proyecto

En proyectos complejos (edificios grandes, plantas de manufactura, et c.) se requiere una WBS más completa. Literalmente miles de paquetes deben ser definidos y referirse en un sistema consistente y confiable de la descomposición del trabajo. Para aportar consistencia y estructura a la administración de los sistemas de control, se emplea un *código de cantidades* como una guía para definir y catalogar los centros de costo en el proyecto.

3 Técnicas de programación de proyectos

En esta sección se consideran a aquellas técnicas que han contribuido de manera importante a la cultura de la programación de proyectos. Entre estas, se considera a *CPM* (*Critical Path Method*, Método de la Ruta Crítica) por ser la precursora de las demás y se considera también a *PDM* (*Precedence Diagramming Method*, Método del Diagrama de Precedencias) que es una técnica más actual y que en especial favorece a la programación de proyectos que se presentan en la ingeniería civil. Se expone el *PERT* (*Program Evaluation and Review Technique*, Técnica de Evaluación y Revisión de Programas) por su aplicación en proyectos de investigación y desarrollo, y a que considera la aleatoriedad en la duración de las actividades. También se presenta el *RASP* (*Repetitive Activity Scheduling Procedure*, Procedimiento de Programación con Actividades Repetitivas) por su aplicación en proyectos de ingeniería con características lineales. También se empleará en la exposición de las técnicas el *diagrama de nodos*, ya que es más práctico que el diagrama de flechas, en lo que a la forma de la red se refiere, ya que a veces es necesario utilizar actividades ficticias; otra razón de peso es que el software de más difusión para programar proyectos, como puede ser el *Project de Microsoft®* y el *Primavera Project Planner®* utilizan los diagramas de nodos.

3.1 CPM (Critical Path Method)

CPM (*Critical Path Method*, Método de la Trayectoria Crítica) fue desarrollado en el periodo diciembre de 1956 a febrero de 1959 por la compañía Dupont y por Remington Rand Univac. El objetivo del equipo de investigación fue determinar como reducir el tiempo requerido para realizar algunas rutinas de producción, mantenimiento y trabajos de construcción.

Las etapas básicas que se utilizan en CPM son:

- 1) Identificar todas las tareas o actividades asociadas con el proyecto. En esta etapa de planeación del proyecto, es fundamental la utilización de *SOW* (*Statement Of Work*, Descripción del Trabajo) y de *WBS* (*Work Breakdown Structure*, Estructura de descomposición del Trabajo), ya que son las herramientas que permiten, por una parte, describir el proyecto en una forma narrativa y general, lo que facilita la comprensión acerca del proyecto a todas

las personas o instituciones asociadas con él; y por otra, permite establecer las actividades, su secuencia y el presupuesto del proyecto.

- 2) Identificar las relaciones de precedencia inmediata para todas las actividades. Esta etapa es muy importante, ya que todos los cálculos futuros y los programas finales del proyecto dependen de esas actividades y sus relaciones.

Para una actividad determinada, deben determinarse todas las precedencias inmediatas antes de poder comenzar esa actividad. Con frecuencia, la identidad de las relaciones de precedencia puede resultar evidente pero es importante que sean completas y precisas. La omisión, así como la inclusión de una actividad precedente puede distorsionar en gran medida las relaciones generales entre las actividades. En lugar de las relaciones de precedencia, también puede utilizarse una matriz de secuencias. En esta matriz se indican:

- a) Qué actividades deben seguir inmediatamente de una actividad.
 - b) Qué actividades deben terminarse antes de que esta actividad pueda comenzar.
 - c) Qué actividades deben efectuarse simultáneamente con esta actividad.
- 3) Dibujar la red que representa al proyecto. Para representar a un proyecto por medio de una red, se debe conocer que actividades componen al proyecto, y para cada actividad, cuales son sus predecesores (y/o sucesores). Una actividad puede estar en cualquiera de las formas siguientes: (1) puede tener un sucesor (es) pero no predecesor (es), (2) puede tener un predecesor (es) pero no tener sucesor (es), y (3) puede tener ambos, predecesores y sucesores. La primera es una actividad que inicia a la red. La segunda termina la red. La tercera es una actividad intermedia.

- 4) Estimar el tiempo de duración para cada actividad. Para evaluar el tiempo de ejecución de cada actividad, se puede utilizar:

$$JG=CO/RG$$

donde, JG = jornadas por grupos

CO = cantidad de obra

RG = rendimiento del grupo

Por lo que la duración de cada actividad, dependerá del número de grupos que eficientemente puedan asignarse a la actividad en estudio, tomando muy en cuenta las limitaciones de espacio y de personal; así, la duración normal de una actividad (DN) será:

$$DN=JG/NG$$

donde DN = jornadas necesarias por grupo

NG = número de grupos que pueden trabajar simultáneamente

Resumiendo y de forma tabular se puede utilizar la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Cálculo de la duración de una actividad

Actividad	Descripción de la actividad	Unidad	Cantidad de obra	Grupo	RG	JG	NG	DN	DN
A	Excavación	M3	25	1	2	1	3	4.16	4

- 5) En el diagrama de nodos de la red, se procede a calcular los tiempos próximos de inicio (TPI) y los tiempos próximos de terminación (TPT) de todas las actividades, en una revisión hacia adelante en la red. Para el cálculo del TPI, se iniciará con cero en todas las actividades de la red que no tienen precedencia y el TPT será la suma de este TPI más la duración de la actividad. Para las siguientes actividades se trasladará este TPT de la actividad anterior como su TPI; cuando una actividad tenga más de una actividad precedente, se seleccionará la marca de mayor valor.
- 6) En esta etapa se revisa la red hacia atrás; se asigna como tiempo lejano de terminación (TLT) la última marca determinada en la revisión hacia adelante (duración del proyecto), a todas las actividades finales del proyecto y se calcula el tiempo lejano de inicio (TLI) restando a este valor de TLT la duración de la actividad. Para obtener el TLT de la actividad precedente, se trasladará este TLT; en el caso de poder marcar con más de una actividad, se seleccionará la marca de menor valor
- 7) Calcular las holguras de cada actividad. La holgura total (HT) será la diferencia entre TPI y TLI de cada actividad (una actividad crítica tiene HT=0 y HL=0). Para calcular la holgura libre (HL) de una actividad i, se considerará la expresión:

$$HL(i) = TPI(j) - D(i) - TPI(i)$$

donde j es la actividad delante de la actividad i.

En el caso que la actividad j sea más de una, se considerará el TPI(j) de menor valor.

- 8) Identificar la ruta crítica del proyecto. La ruta crítica está compuesta por todas las actividades críticas del proyecto. Una actividad es crítica cuando su holgura total es igual a cero (y obviamente también es cero su holgura libre).

- 9) La información obtenida se debe reflejar en una tabla de resultados que contenga los tiempos y las holguras de cada actividad y en un diagrama de Gantt o de barras que permitirá tener una representación gráfica para efectos de control del proyecto.

3.2 Ejemplo con CPM

Programar el siguiente proyecto de construcción de una bodega, en que se especifica la matriz de precedencias y la duración de las actividades del proyecto.

Tabla 3.2 Matriz de precedencias

ACTIVIDADES INMEDIATAS PRECEDENTES	ACTIVIDADES INMEDIATAS SIGUIENTES																	
	A Preparativos	B Excavación	C Cimentación	D Estructura de concreto	E Muro de tabique	F Fabricación de estructura de acero	G Montaje de estructura de acero	H Entrega de lámina de asbesto	I Fabricación de herrería	J Colocación de herrería	K Colocación de lámina de asbesto	L Colocación de vidrios	M Instalación eléctrica	N Aplanado de muros	O Relleno y compactación para pisos	P Pisos de concreto	Q Pintura	R Limpieza
A Preparativos	X																	
B Excavación		X																
C Cimentación			X															
D Estructura de concreto				X	X													
E Muro de tabique					X				X			X		X				
F Fabricación de estructura de acero						X												
G Montaje de estructura de acero												X		X				
H Entrega de lámina de asbesto										X								
I Fabricación de herrería								X										
J Colocación de herrería										X								
K Colocación de lámina de asbesto											X					X		
L Colocación de vidrios												X						
M Instalación eléctrica													X					
N Aplanado de muros														X				
O Relleno y compactación para pisos															X			
P Pisos de concreto																X		
Q Pintura																	X	
R Limpieza																		X

Tabla 3.3 Proyecto de construcción de una Bodega

CÓDIGO	ACTIVIDAD	DURACIÓN, DÍAS
A	Preparativos	8
B	Excavación	6
C	Cimentación	10
D	Estructura de concreto	30
E	Muro de tabique	25
F	Fabricación de estructura de acero	45
G	Montaje de estructura de acero	11
H	Entrega de lámina de asbesto	25
I	Fabricación de herrería	30
J	Colocación de herrería	6
K	Colocación de lámina de asbesto	9
L	Colocación de vidrios	4
M	Instalación eléctrica	8
N	Aplanado de muros	12
O	Relleno y compactación para pisos	6
P	Pisos de concreto	6
Q	Pintura	10
R	Limpieza	5

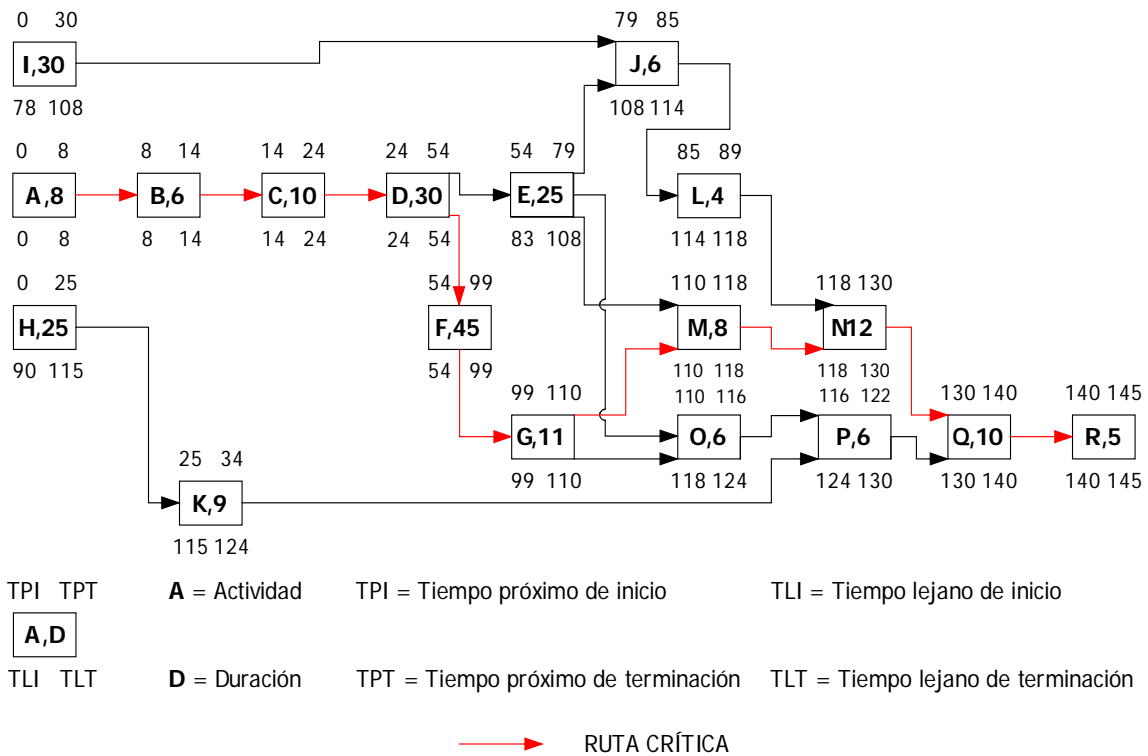


Figura 3.1 Diagrama de nodos con aplicación de CPM

Tabla 3.4 Resumen de resultados

ACT.	PRECEDENCIA	DURACIÓN DÍAS	TIEMPO PRÓXIMO		TIEMPO LEJANO		HOLGURA	
			INICIO	TÉRMINO	INICIO	TÉRMINO	LIBRE	TOTAL
A	-	8	0	8	0	8	0	0
B	A	6	8	14	8	14	0	0
C	B	10	14	24	14	24	0	0
D	C	30	24	54	24	54	0	0
E	D	25	54	79	85	110	0	31
F	D	45	54	99	54	99	0	0
G	F	11	99	110	99	110	0	0
H	-	25	0	25	90	115	0	90
I	-	30	0	30	78	108	49	78
J	E,I	6	79	85	108	114	0	29
K	H	9	25	34	115	124	82	90
L	J	4	85	89	114	118	29	29
M	E,G	8	110	118	110	118	0	0
N	L,M	12	118	130	118	130	0	0
O	E,G	6	110	116	118	124	0	8
P	K,O	6	116	122	124	130	8	8
Q	N,P	10	130	140	130	140	0	0
R	Q	5	140	145	140	145	0	0

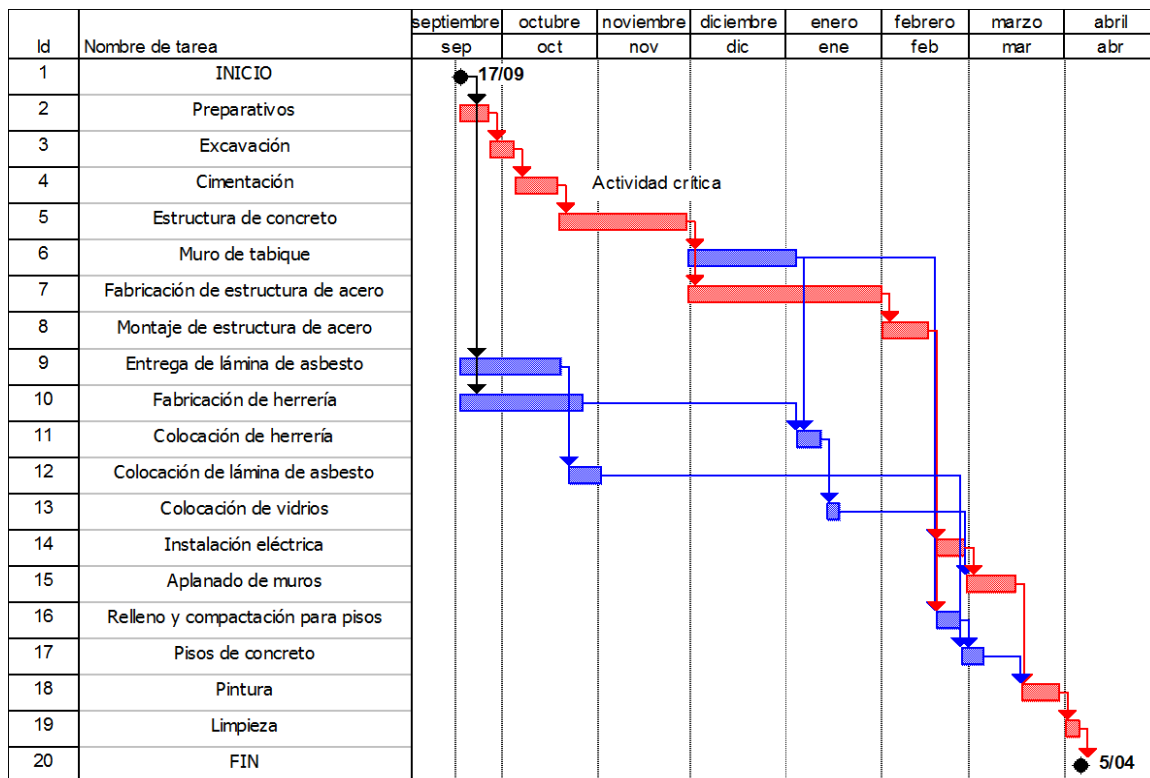


Figura 3.2 Diagrama de Gantt del proyecto (Project de Microsoft®)

3.3 PDM (Precedence Diagramming Method)

En 1961, John W. Fondahl (Universidad de Stanford) introdujo la técnica línea-círculo-conexión que a hora se conoce como *diagrama de precedencias*. Esta ventaja satisfizo una de las deficiencias al eliminar el uso de actividades ficticias y redujo el número de actividades requeridas. H. B. Zachry Company de San Antonio, Texas, en colaboración con IBM Corporation realizaron intentos para superar las restricciones impuestas por la división de las actividades. Posteriormente, J. David Craig y Ponce-Campos, ampliaron el método para incluir las posibles relaciones de traslape y desde entonces simplificaron la presentación de diagramas y el algoritmo de computadora para sus soluciones.

Inicialmente J. W. Fondahl, introdujo el concepto de *Retraso (lag)* asociado con las relaciones entre actividades y se utilizaba una matriz de *precedencias*. Posteriormente, en 1964 estos conceptos se utilizaron en un manual de usuario de la IBM acerca de un programa de computadora para procesar redes, uno de los principales autores de este manual fue J. David Craig.

En proyectos de construcción, en particular, es muy común que ocurran las siguientes restricciones:

- La actividad B no puede iniciarse antes de que la actividad A tenga un avance de al menos (Figura 3.3 a)
- La actividad A debe terminarse antes de terminar la actividad B (Figura 3.3 b)
- La actividad B no puede iniciar antes de un tiempo de terminar A (Figura 3.3 c)
- La actividad B no puede terminarse antes de un tiempo del inicio de A (Figura 3.3 d)

Se pueden distinguir cuatro diferentes relaciones entre actividades:

Relación (Fin-Inicio)

Relaciona el final de la actividad precedente A con el inicio de la actividad siguiente B. Indica que la actividad siguiente no puede iniciar hasta que la precedente haya concluido. Si se requiere, se coloca la duración en el arco para indicar que la actividad siguiente no inicia hasta que no pase un tiempo dado después de que la precedente haya terminado.

Relación (Inicio-Inicio)

Relaciona el inicio de la actividad precedente A con el inicio de la actividad siguiente B. Indica que la actividad siguiente no puede iniciar hasta que ha transcurrido un tiempo desde el inicio de la actividad precedente más cualquier duración dada. La duración en el arco denota el retraso entre el inicio de las actividades A y B.

Relación (Fin-Fin)

Relaciona el final de la actividad precedente A con el final de la actividad siguiente B. Indica que la actividad siguiente no puede terminar hasta que termine la actividad precedente más cualquier otra duración dada. El tiempo próximo de inicio de la actividad siguiente B no es necesariamente afectado por esta estación.

Relación (Inicio-Fin)

Relaciona el inicio de la actividad precedente A con el final de la actividad siguiente más cualquier duración dada. El tiempo próximo de inicio de la actividad siguiente B no será afectado por la relación. Una duración en el arco indica que la actividad B no puede terminar hasta que inicie A más la duración dada. La figura 3.3 permite visualizar estas relaciones:

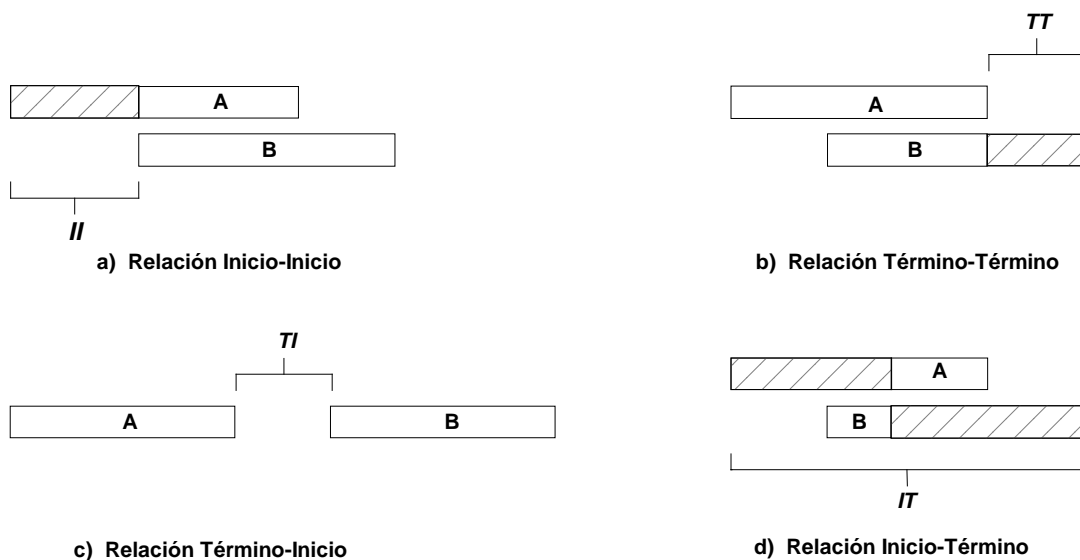


Figura 3.3 Convenciones en un diagrama de precedencias

El diagrama de precedencias utiliza una *red con actividades en nodos*, que permite el adelanto y el retraso de las actividades en la red, lo cual significa un agregado en flexibilidad y en la programación de detalle que no se encuentra en otra técnica de programación.

El algoritmo de cálculo es muy parecido al utilizado en *CPM (Critical Path Method)*; es decir, el *algoritmo de caminos de valor máximo* en redes, pero considerando el adelanto o retraso establecido en las actividades.

3.4 Ejemplo con PDM

En la tabla siguiente se presenta la información de un proyecto y se requiere programarlo y determinar la ruta crítica, utilizando la técnica de PDM (*Precedence Diagramming Method*):

Tabla 3.5 Información del proyecto

Actividad		Duración, días	Precedencia	Condiciones de precedencia	Relación	Retraso
Código	Descripción					
A	Trazo	2	-	-	-	-
B	Excavación en zanja en todo tipo de material	19	A	Se inicia hasta que termina la actividad A	FS	0
C	Plantilla apisonada con material producto de la excavación	4	B	Puede iniciar de después de 16 días de iniciada la actividad B	SS	16
D	Instalación de tubería de concreto	7	C	Puede iniciar inmediatamente después de terminar C	FS	0
			K	Puede iniciar después de 2 días de iniciar K	SS	2
E	Pozo de visita, h=1.5 m	8	D	Inicia 2 días después de terminar la actividad D	FS	2
F	Relleno compactado con material de banco	10	D	Puede iniciar 3 días después de iniciada la actividad D	SS	3
G	Carga a máquina y acarreo a 1 km, de material de excavación	4	C	Deben emplearse 5 días entre que termina la actividad G y termina C	FF	5
H	Suministro de tubería de concreto	15	-	-	-	-
I	Suministro de tapa y brocal	25	-	-	-	-
J	Instalación de tapa y brocal	3	E	Puede iniciar después de terminar E	FS	0
			I	Deben emplearse 25 días entre iniciar I y terminar J	SF	25
K	Localización de tubería en el área	5	H	Se puede iniciar a los 12 días de iniciada H	SS	12

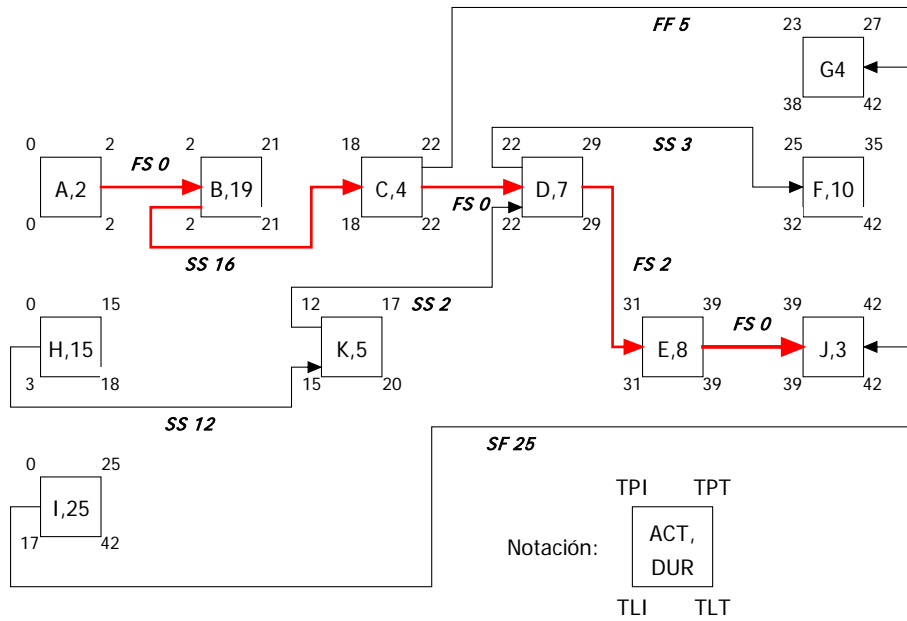


Figura 3.4 Red del proyecto con la aplicación de PDM y la ruta crítica

Tabla 3.6 Resumen de resultados

ACT	PREC	DUR, DÍAS	TIEMPO PRÓXIMO		TIEMPO LEJANO		HOLGURAS	
			INICIO	TÉRMINO	INICIO	TÉRMINO	LIBRE	TOTAL
A	-	2	0	2	0	2	0	0
B	A	19	2	21	2	21	0	0
C	B	4	18	22	18	22	0	0
D	C, K	7	22	29	22	29	0	0
E	D	8	31	39	31	39	0	0
F	D	10	25	35	32	42	7	7
G	C	4	23	27	38	42	15	15
H	-	15	0	15	3	18	0	3
I	-	25	0	25	17	42	14	17
J	E, I	3	39	42	39	42	0	0
K	H	5	12	17	15	20	5	5

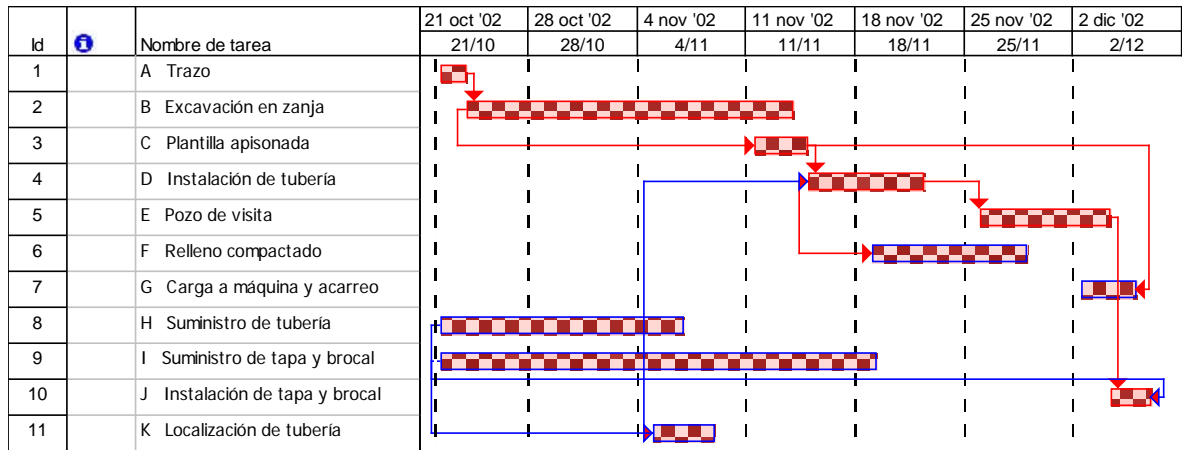


Figura 3.5 Diagrama de Gantt (Microsoft® Project)

3.5 PERT (Program Evaluation and Review Technique) Técnica de Revisión y Evaluación de Programas

El desarrollo de PERT inicia cuando la Marina de Estados Unidos se encuentra ante el desafío de producir el sistema de misiles Polaris en un tiempo record en 1958. En estos proyectos militares observaron que los costos resultaban ser 30 o 40 % mayores que los costos calculados inicialmente, y que la duración del proyecto era 40 o 50 % mayor que la duración calculada al inicio.

En el programa Polaris, el tiempo fue la variable de más atención, la investigación estuvo enfocada a la planeación y control. Se obtuvo un mayor logro de PERT al introducir la teoría de probabilidad en la toma de decisiones en la administración. Los sistemas de programación, tradicionalmente se basaban en la idea de tiempos fijos para cada tarea. En el PERT es necesario estimar tres tiempos para cada actividad: un tiempo optimista, un tiempo más probable y un tiempo pesimista. Este rango de tiempos es una medida de la incertidumbre asociada con el tiempo requerido para realizar la actividad algunas veces en el futuro. Con PERT es posible calcular la probabilidad de que un proyecto pueda ser terminado antes o después de una fecha especificada.

PERT también enfatiza la fase de control en la administración de proyectos con varias formas de reportes periódicos. Originalmente el equipo de investigación se extendió al área de planeación y control de costos, y en menor grado a áreas de la implantación o a la calidad.

Se puede establecer la metodología de PERT de la manera siguiente:

- 1 Construir la red que representa al proyecto
- 2 Calcular los tiempos esperados de terminación

Éste se calcula utilizando las tres estimaciones de tiempo (optimista, más probable y pesimista), los cuales son una expresión del riesgo asociado con los tiempos requeridos para cada actividad.

Se asume que todos los posibles tiempos para una actividad específica pueden ser representados por una distribución de probabilidad asimétrica como la mostrada en la figura 3.6:

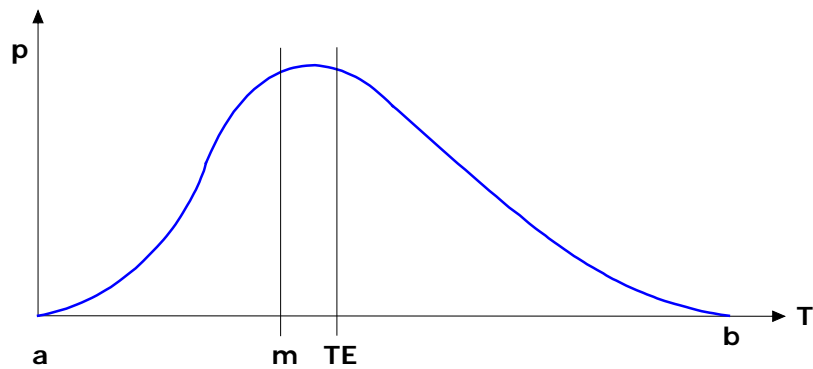


Figura 3.6 Distribución de las duraciones posibles de una actividad

El tiempo más probable, m , para la actividad es el *modo* de esta distribución. En teoría, el tiempo *optimista* y el *pesimista* son obtenidos de la siguiente manera. Cualquiera que pretenda estimar a y b , se pregunta cómo seleccionar a de manera que el tiempo requerido por la actividad pueda ser a o mayor el 99 % de las veces. Similarmente, b es estimado de manera que el 99 % de las veces la actividad pueda durar b o menos.

El tiempo esperado (TE) se puede calcular con:

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

donde :

a =estimación de tiempo optimista

b =estimación de tiempo pesimista

m =estimación de tiempo más probable (modo)

Esta fórmula está basada en una distribución *Beta* de probabilidad. Se emplea más ésta que una distribución normal, porque es muy flexible en su forma y puede tomar en los extremos los valores $a=m$ o $b=m$.

TE es una estimación de la media de la distribución. Es un promedio pesado de a , m y b con los pesos 1-4-1 respectivamente. Aquí, se hace énfasis en que éste mismo método puede ser usado para determinar el nivel esperado de recursos usados, considerando las estimaciones apropiadas del *modo* de los recursos, así como las estimaciones optimistas y pesimistas.

3 Cálculo de la variancia y de la desviación estándar

Se incluyen en los cálculos como una medida de la incertidumbre para la duración de cada actividad, la variancia, σ^2 , que es:

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

y la desviación estándar, σ , está dada por:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

El cálculo de σ está basado en la suposición de que la desviación estándar de una distribución *beta* es aproximadamente 1/6 de su rango: $(b-a)/6$.

4 Cálculo de la probabilidad de terminar en un tiempo específico un proyecto
 Si se asume que las actividades son estadísticamente independientes de otra, entonces la variancia de un conjunto de actividades es igual a la suma de variancias de las actividades individuales que comprenden el conjunto. Recordando que la variancia de una población es una medida de la dispersión de la población y que es igual al cuadrado de la desviación estándar de la población; entonces, las variancias que interesan son las variancias de las actividades en la ruta crítica.

Para calcular la probabilidad de terminar un proyecto en un tiempo dado, se puede utilizar:

$$Z = \frac{(D - \mu)}{\sqrt{\sigma_{\mu}^2}}$$

donde:

D =tiempo deseado de terminación de un proyecto

μ =tiempo crítico del proyecto; la suma de los tiempos esperados de las actividades en la ruta crítica

σ_{μ}^2 =variancia de la ruta crítica; suma de las variancias de las actividades en la ruta crítica

Z =número de desviaciones estándar de una distribución normal (desviación normal estándar)

PERT tiene una ventaja sobre CPM, que es el enfoque probabilístico; esto permite programar proyectos en que existe la incertidumbre acerca de la duración de las actividades. Sin embargo, también plantea una limitación, ya que en ciertas áreas, como puede ser la construcción, la estimación de la duración de las actividades de un proyecto, es más bien, (o se considera) determinística.

La aplicación de PERT se encuentra más propiamente en proyectos de investigación y desarrollo.

3.6 Ejemplo con PERT

En la tabla se presentan las actividades de un proyecto, la incertidumbre acerca de la duración de sus actividades representada con sus estimaciones de tiempo y sus precedencias; se requiere hacer un análisis con PERT:

Tabla 3.7 Información del proyecto

Actividad	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>	Predecesores
A	1	4	7	-
B	2	2	2	-
C	2	5	8	A
D	3	4	5	A
E	4	6	8	C, B
F	0	0	6	C, B
G	3	6	9	D, E

Se requiere:

- 1 Representar el proyecto con una red
- 2 Determinar tiempo esperado, variancia y holguras de todas las actividades
- 3 Determinar ruta crítica y el tiempo esperado de terminación del proyecto
- 4 La probabilidad de que el proyecto pueda ser terminado en 23 días
- 5 El tiempo de terminación correspondiente a un 95 % de probabilidad

Solución:

- 1 La red del proyecto:

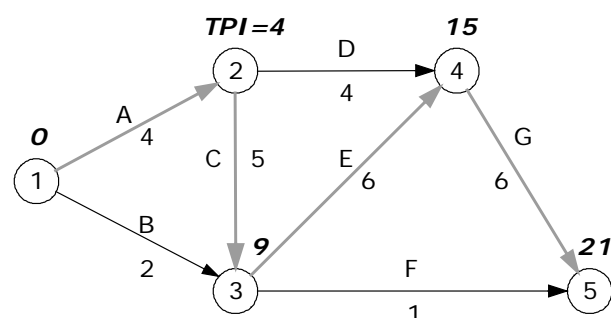


Figura 3.7 Red con tiempos esperados (TE) de actividades y la ruta crítica

2 Tiempo esperado, variancia y holguras

Tabla 3.8 Cálculos de PERT

Actividad	TE	σ^2	Holgura
A*	4	1.00	0
B	2	0	7
C*	5	1.00	0
D	4	0.11	7
E*	6	0.44	0
F	1	1	11
G	6	1	0

3 La ruta crítica es A-C-E-G con una duración esperada del proyecto de 21 días

4 $Z = (23-21) / \sqrt{3.44} = 1.078$ para una probabilidad de 85.9 % (de la tabla de áreas bajo la curva normal estándar)

5 $P=0.95$ corresponde a una $Z=1.65=(T-21)/1.855$, o $T=24.06$ días

3.7 RASP (Repetitive Activity Scheduling Procedure)

Procedimiento de Programación con Actividades Repetitivas

El antecedente de esta técnica es el método de la *Línea de Balance* (LOB, Line of Balance) y se usó para programar proyectos lineales en que se asumía que los procesos de producción eran lineales con respecto al tiempo. Basándose en investigación se determinó que este criterio no era correcto, ya que existen curvas de producción que pueden ser lineales o no.

En una revisión de proyectos de diversos tipos con actividades repetitivas se observó que muchos constructores y compañías usaban los diagramas de barras como una herramienta primaria de programación; este estudio indicó que existía un vacío entre la técnica de CPM y los diagramas de barras, por lo que era necesario desarrollar una técnica que pudiera emplearse con CPM en proyectos con actividades repetitivas. El resultado fue la opción de RASP, que puede trabajar con CPM y combina los méritos de línea de balance y la simplicidad del diagrama de barras.

RASP consiste de dos componentes principales. El primer componente es un componente de entrada. Éste contiene tres elementos: una WBS (Work Breakdown Structure) estructura de descomposición del trabajo, una red CPM, y una hoja de

cálculo. El segundo es un componente de salida que contiene dos elementos: un diagrama de barras en barricada y una carta objetivo. En la figura 3.8 se muestran los componentes y las relaciones entre sus elementos:

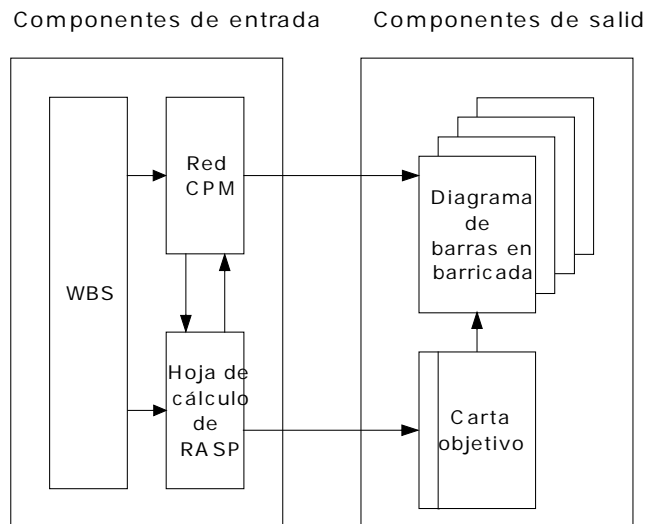


Figura 3.8 Componentes y elementos de RASP

El primer paso en el desarrollo del componente de entrada de RASP es establecer una WBS que refleje el alcance y los objetivos del proyecto. La estructura de descomposición del trabajo es la columna vertebral de CPM y de la hoja de cálculo.

Red CPM

En la estructura de descomposición del trabajo (WBS) se define el nivel de detalle que se empleará en CPM y qué actividades de naturaleza repetitiva se considerarán en el RASP.

Hoja de cálculo

La hoja de cálculo es suplementaria a la WBS y está basada en las actividades de CPM. Todos los segmentos de la WBS relacionados con trabajos repetitivos están listados en la hoja de cálculo. La hoja utiliza los mismos datos de CPM, como los tiempos próximos y lejanos, y de inicio y término para el cálculo de duraciones, para planear los recursos e identificar las etapas de trabajo. En trabajos repetitivos, la duración es función del número de personal, del tipo de equipo, y de la tasa de

producción. La información de la hoja de cálculo también es empleada para reportar avances y calcular porcentajes del trabajo terminado.

La salida de RASP como un suplemento de las salidas gráficas de CPM, aporta una salida gráfica del plan del proyecto y una curva de avance que muestra el plan y el avance para cada una de las etapas de la actividad, por cantidad y área en cualquier periodo. Los componentes de salida son dos: la carta objetivo y los diagramas de barras en barricada.

Carta objetivo

La carta objetivo es una gráfica de *tiempo* (eje x) versus *localización* (eje y). El eje vertical muestra áreas, cantidades, y número de unidades en cada área. Usando la hoja de cálculo, el planeador decide un lugar de *inicio* para comenzar el trabajo.

La etapa de la actividad es luego dibujada usando las duraciones obtenidas en la hoja de cálculo. Cada actividad es una línea cuya pendiente y posición son un indicador del trabajo productividad, y de congestión en el área de trabajo. Una línea horizontal entre actividades indica un retraso en el inicio de la próxima actividad.

Diagrama de barras

Sólo hasta que la carta objetivo está terminada, el segundo elemento, el diagrama de barras en barricada, puede dibujarse. Esta contiene los datos acerca de cada etapa de actividad con varios niveles de detalle. Usando la carta objetivo como guía, el programador determina la secuencia de operaciones entre cada etapa y en las áreas.

Entre sus características se puede mencionar la importancia que tiene para la técnica el empleo de la WBS, de CPM y los diagramas de barras, como técnica de planeación y como técnicas de programación respectivamente, lo cual fortalece técnicamente a la metodología, a la vez que permite una excelente representación gráfica.

Es obvio que su utilidad y sus limitaciones están marcadas por su aplicación en proyectos con actividades repetitivas, que son frecuentes en el campo de la ingeniería civil, como pudieran ser proyectos de abastecimiento de agua,

proyectos de red de tuberías para la petroquímica, carreteras, sistemas de vivienda de interés social, entre otros.

RASP representa una dimensión adicional en la programación y una solución única a los problemas asociados con el nivel de detalle, las tasas variables de producción, la fragmentación de recursos y los avances.

3.8 Ejemplo con RASP

Un sistema de agua potable, para efectos de planeación, tiene la siguiente WBS (estructura de descomposición del trabajo), que se muestra en la figura 3.9:

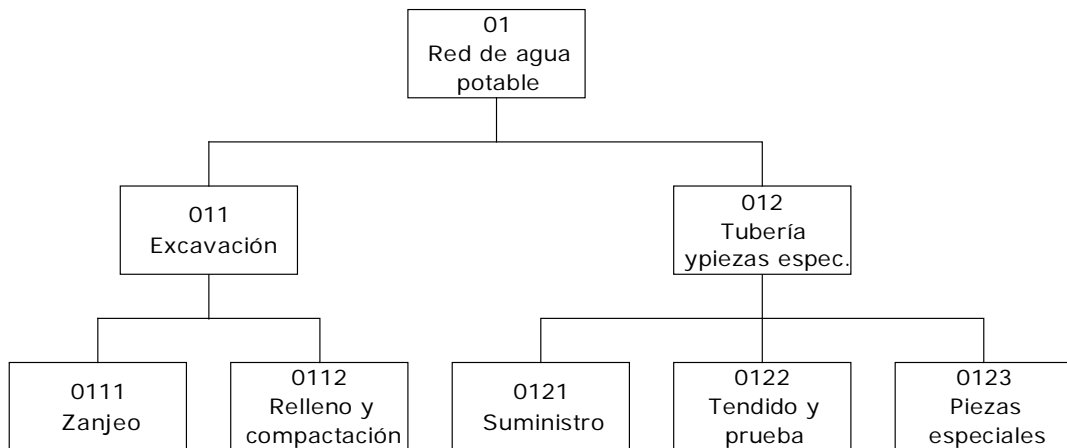


Figura 3.9 WBS de un sistema de agua potable

El siguiente paso en el componente de entrada de una RASP es la red de CPM (Figura 3.10) que muestra la secuencia lógica de las actividades y que se repetirán en todos los tramos del proyecto:

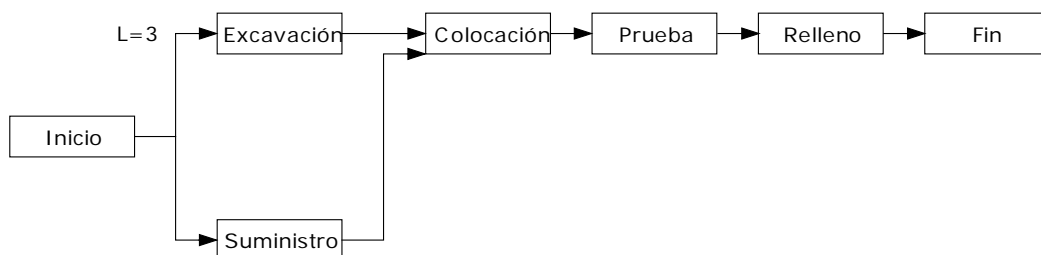


Figura 3.10 Red de CPM del proyecto para cada tramo

En la figura 3.11 se muestra el programa de actividades repetitivas para tres tramos del proyecto:

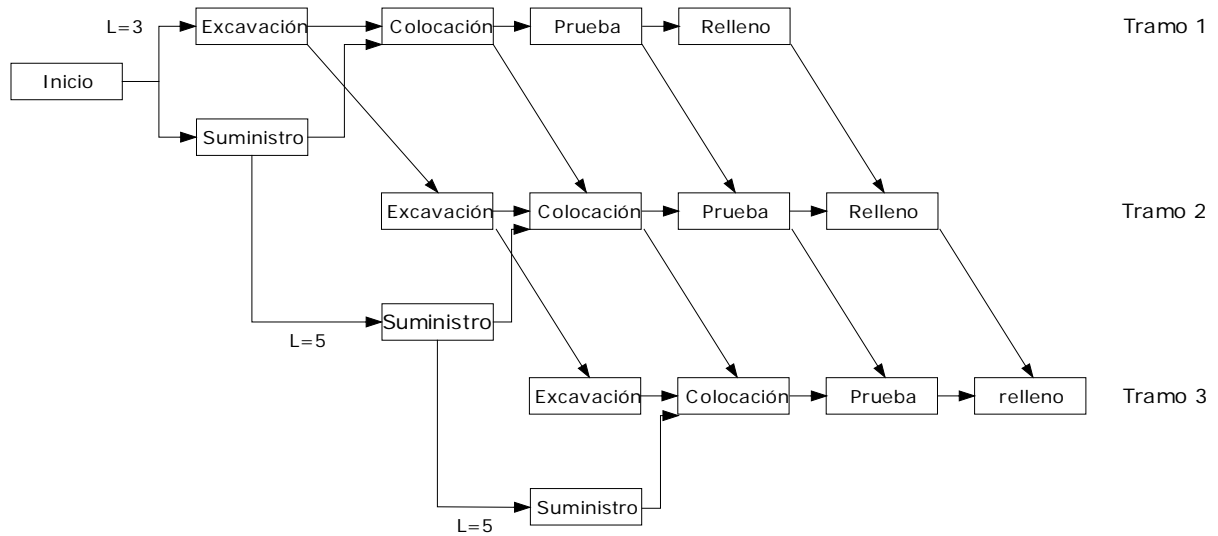


Figura 3.11 Programa de actividades repetitivas

Con esta información, se procede a programar el proyecto en una hoja de cálculo, como se muestra en la figura 3.12:

ACTIVIDAD	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3			
	VOLUMEN=100 M	VOLUMEN=100 M	VOLUMEN=100 M			
	TPI	TPT TPI	TPT TPI	TPT		
SUMINISTROS	0	5	10	15	20	25
	20 M/DÍA		20 M/DÍA		20 M/DÍA	
EXCAVACIÓN	3	12	12	21	21	30
	11.1 M/DÍA		11.1 M/DÍA		11.1 M/DÍA	
COLOCACIÓN	12	21	21	30	30	39
	11.1 M/DÍA		11.1 M/DÍA		11.1 M/DÍA	
PRUEBA	21	23	30	32	39	41
	50 M/DÍA		50 M/DÍA		50 M/DÍA	
RELLENO	23	32	32	41	41	50
	11.1 M/DÍA		11.1 M/DÍA		11.1 M/DÍA	

Figura 3.12 Hoja de cálculo de RASP

Como componente de salida de programación con RASP, en la figura 3.13 se muestra la *carta objetivo* o gráfica, cuya estructura favorece el seguimiento y el control del proyecto.

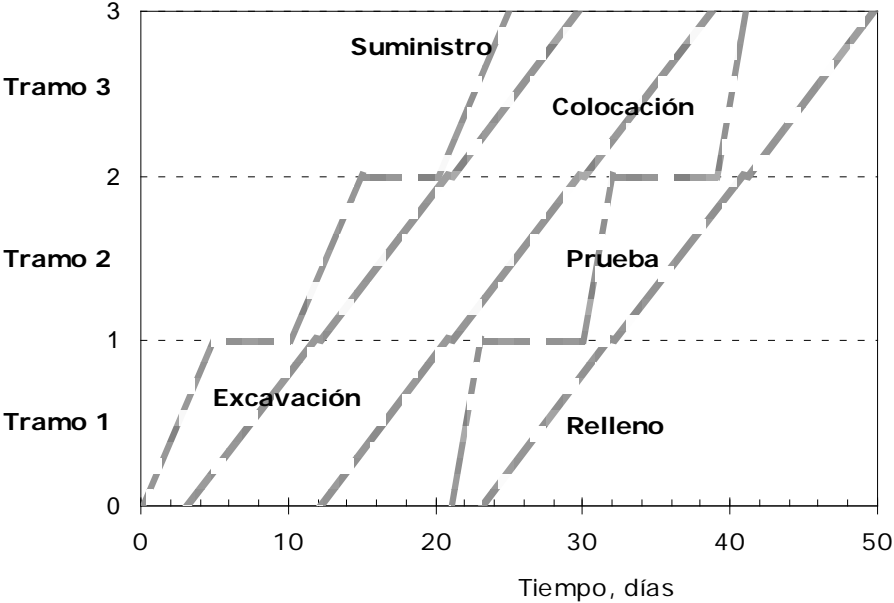


Figura 3.13 Carta objetivo

Bibliografía

- 1 Helweg, Otto; 1992. 1ª. Edición
Recursos hidráulicos, Planeación y Administración
Grupo Noriega editores, S. A. de C. V., México
- 2 Ackoff, Russell, L.; 1998. 12ª. Edición
Planificación de la Empresa del Futuro
Grupo Noriega editores, S. A. de C. V., México
- 3 Ackoff, Russell, L.; 1998. 12ª. Edición
El Arte de Resolver Problemas
Grupo Noriega editores, S. A. de C. V., México
- 4 Meredith, Jack R.; Mantel, Samuel J.; 2000. 4a. Edición
Project Management. A Managerial Approach
John Wiley & Sons; U. S. A.
- 5 Marmel, Elaine; 2003.
Microsoft Project 2002, La Biblia
Ediciones Anaya Multimedia (Grupo Anaya S. A.), España
- 6 Cruz Arellano, Gregorio, 2001
Apuntes para el curso de Planeación y Evaluación de Proyectos
Facultad de Ingeniería, UNACH
- 7 Grajales Marín, José Francisco; 1999
Evaluación de proyectos de Ingeniería Civil
Facultad de ingeniería, UNACH