CAPITULO V

PLANEACION Y PROGRAMACION DE PROYECTOS

5.1 Introducción

La planeación es el conjunto de actividades que se desarrollan antes de iniciar cualquier proyecto para garantizar que se cumplan los objetivos dentro del tiempo fijado previamente, con el costo óptimo y la mejor calidad posible. La planeación de un proyecto básicamente está dividida en la determinación de las necesidades del cliente, donde este define cuáles son los objetivos del proyecto, cuál es el producto final deseado y cuáles serán las limitantes del proyecto, incluyendo los recursos disponibles; así mismo, durante el desarrollo de las actividades planeadas, se harán cumplir los objetivos del proyecto y se deberán realizar planes funcionales para la ejecución del mismo en forma detallada, los cuales darán la seguridad de que el proyecto se pueda realizar en el tiempo determinado y con el presupuesto establecido.

5.2 Definición del proyecto.

Debido a que un proyecto puede ser un estudio de factibilidad, desarrollo de ingeniería de proyecto, construcción y arranque de una planta de proceso, para un proyecto en específico debe definirse qué fases se desarrollarán y qué actividades involucrará cada una de ellas, para lo cual se debe definir el alcance del proyecto, el cual se describe a continuación.

5.2.1 Alcance del Proyecto.

Al iniciar la planeación de un proyecto, es fundamental haber establecido previamente el alcance del mismo. En el Alcance del Proyecto el cliente debe definir con exactitud las actividades que desarrollará la compañía de ingeniería, indicando además el límite de responsabilidad, ya que pueden existir actividades que la compañía de ingeniería o el cliente controlen.

En el desarrollo del proyecto de una planta industrial, el alcance debe incluír los siguientes puntos:

A. Ingeniería Básica.

Se debe definir si el paquete de ingeniería básica lo va a proporcionar un licenciador en específico, o si la compañía de ingeniería va a ser responsable de adquirirla o desarrollarla. En caso de que la firma de ingeniería suministre el paquete, se deberá elaborar el desglose de la información que incluirá el paquete mencionado.

B. Ingeniería de Detalle.

En la ingeniería de detalle se indica el inicio de diseño de los planos constructivos de las diferentes especialidades, como son: diagramas de tubería e instrumentación, diseño mecánico de recipiente, diseño térmico y mecánico de cambiadores de calor y equipo de combustión directa, diseño de tubería, ingeniería eléctrica, diagramas de servicios auxiliares, etc., definiendo el alcance que tenga cada departamento funcional.

C. Adquisición de Equipo y Materiales.

En los casos en que la compañía de ingeniería intervenga en la adquisición de equipo y materiales que se utilizan en la etapa de construcción, definirá cuál será la responsabilidad de la compañía en lo referente a la emisión de requisiciones para concurso, selección de fabricante, expeditación de dibujos, dibujos de taller, inspección y embarque.

D. Asistencia Técnica en la Construcción y Arranque.

Durante esta fase se planea la construcción, la entrega del equipo de proceso en campo, se definen los subcontratistas encargados de la construcción, así como se establecen las necesidades de tiempo, de monitoreo de programas y costos con re-evaluaciones temporales.

5.3 Fase de Planeación.

La planeación adecuada del proyecto posee una importancia básica en el desarrollo del proyecto, e implica un análisis y toma de decisiones con los siguientes propósitos:

- Dirigir el proyecto, identificando claramente sus objetivos y metas, y cualquier influencia o restricción en el alcance del mismo. Los objetivos son los resultados finales del proyecto, mientras que las metas son las especificaciones de ejecución pretendidos (relación de costo a tiempo de ejecución).
- Identificar las acciones, riesgos y responsabilidades en el proyecto. Estos requerimientos se traducen en la determinación de actividades y asignaciones de recursos para el proyecto, con el propósito de dividir el proyecto en segmentos controlables y comprensibles para los responsables de la ejecución del mismo.
- Guiar el desarrollo de las actividades que permitirán alcanzar las metas y objetivos establecidos, identificándolas y estableciendo procedimientos de trabajo.
- Preparar al proyecto para cambios futuros. El plan del proyecto debe tener suficiente flexibilidad para adaptarse a los cambios y aún así mantener las cualidades de integridad y durabilidad.

5.3.1 Estructura de Desglose del Trabajo.

El propósito principal de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) es el

de dividir todo el proyecto en pequeños elementos de tamaño adecuado que permitan estimar y controlar su duración así como su costo con precisión y de la manera más sencilla, asegurando un adecuado control del proyecto. Un segundo propósito es asegurar que todas las pequeñas unidades de trabajo representen tareas que puedan ser totalmente terminadas dentro de su costo y programa. La EDT es un instrumento de planeación, estimación y control de actividades y del costo, que proporciona el soporte sobre el cual se estructura el proyecto.

La EDT permite:

- Describir al proyecto como una suma de elementos subdivididos, identificando y definiendo el trabajo que va a efectuarse.
- Realizar el proceso de planeación.
- Identificar a los responsables de realizar el trabajo.
- Integrar las tareas con sus respectivos costos y programas de ejecución.
- Vincular de manera lógica los objetivos del proyecto con los recursos de la compañía.
- Formar la estructura para la integración de costos y presupuesto.
- Establecer redes de actividades del proyecto, programas de ejecución y procedimientos de reporte de avance.
- Proporcionar la base de los sistemas de control.

La figura 5.1 muestra una EDT muy simple. El sistema de numeración no es único, cada compañía suele desarrollar su propia codificación. El primer número representa el proyecto global (en este caso 01); el segundo número representa el proyecto, y el tercer número identifica la tarea.

Resumiendo, la EDT a través de sus paquetes de trabajo, suministra la base para:

- Preparar la matriz de responsabilidades.
- Elaborar los programas y redes del proyecto.
- Preparar el estructurado del costo y el presupuesto.
- Definir la estructura organizacional del proyecto.
- Coordinar los objetivos y las metas del proyecto.
- Controlar el avance del proyecto.

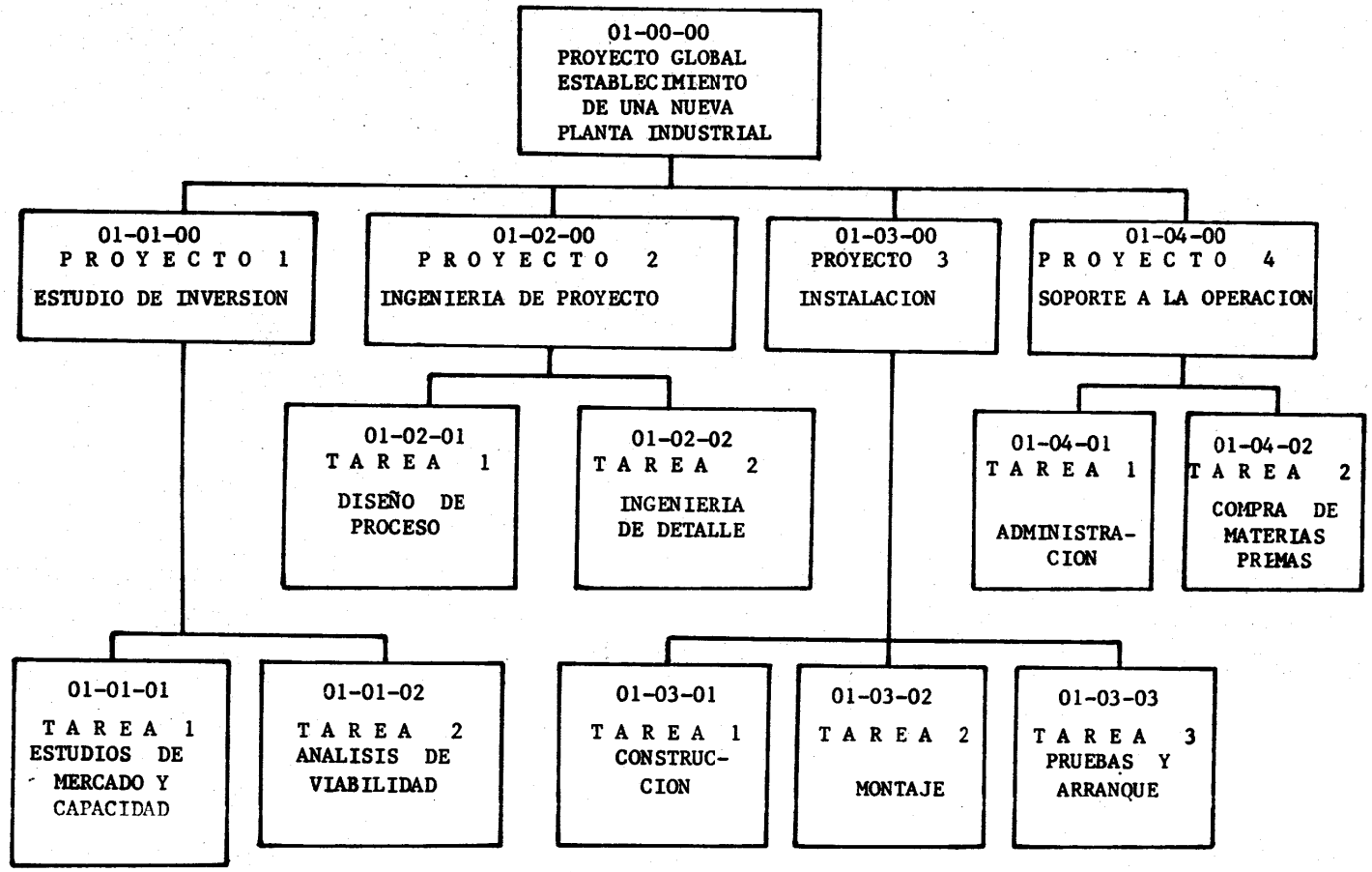


Fig. 5.1 ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO (EDT) DESARROLLADA HASTA EL TERCER NIVEL PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UNA NUEVA PLANTA INDUSTRIAL.

5.3.2 Elementos Constitutivos del Plan del Proyecto.

Una vez que la estructura de desglose del trabajo ha quedado definida, el paso siguiente es identificar los elementos escenciales que deben ser incluídos en el plan del proyecto. A continuación se da una lista de tales elementos los cuales pueden ser combinados, cambiados y complementados para satisfacer los requerimientos específicos:

- Resumen del proyecto. Este documento debe identificar los objetivos, las metas y las restricciones del proyecto. El objetivo será el resultado esperado y propósito del proyecto. Por ejemplo: una nueva industria o una ampliación a las instalaciones ya existentes.

  Las metas definen el tamaño y forma del proyecto visualizando el trabajo técnico que será requerido. Las restricciones modelan al proyecto y establecen los parámetros para los procedimientos, ubicación del equipo, tipos de personal, requerimientos técnicos, presupuestos y programas.
- Especificaciones. Definen las características y cualidades del producto final.
- Alcance del proyecto. Describe el trabajo por ejecutar y con el cual se estructura el plan del proyecto, especificando el camino mediante el cual se alcanzarán las metas y objetivos.
- Programa de Ejecución del Proyecto. Este programa establece la relación de las tareas con un calendario de ejecución. Para un proyecto sencillo el programa puede consistir de un simple diagrama de Gantt; mientras que para un proyecto completo puede necesitar el uso de redes de proyecto y de técnicas de programación más complejas. Un programa de esta naturaleza debe contener la siguiente información:
  - El nombre de las tareas y paquetes de trabajo enlistados en la estructura de desglose del trabajo.
  - Los nombres de las personas responsables de cada tarea.
  - La fecha de inicio de cada tarea.
  - La duración esperada de cada tarea.
- Guía de procedimientos. Este documento comprende las reglas y prácticas que se observarán durante el desarrollo del proyecto, para establecer lineamientos y normas para conducir a éste de la mejor manera. Estos proce

dimientos son en su mayoría prácticas administrativas relativas a las distintas funciones del proyecto, entre las cuales pueden mencionarse: contratación de personal, pago de salarios, trámites y autorización de viajes en comisión, definición del estilo en los dibujos de ingeniería, señalar al personal autorizado para la firma de correspondencia y documentos técnicos, etc.

- Sistema de control de Presupuesto y Costo. Este proporcionará al administrador el estado del costo, el programa y el avance. La integración de este sistema estará vinculado con el costo y el presupuesto suministrando información de las partidas en una misma "línea", incluyendo presupuestos, gastos semanales o mensuales, gastos acumulados, porcentaje del presupuesto erogado, y estimado de costos para concluír el trabajo.
- Sistema de Adquisición y Control de Equipo y Materiales. Este sistema debe incluír aquellos procedimientos y herramientas para administrar el ciclo completo de la adquisición de equipos y materiales, desde la preparación de la requisición e invitación a cotización, hasta la recepción del equipo o material en campo.
- Plan de Organización del Proyecto. Este plan tiene el propósito de dar a conocer la organización del proyecto y establecer las responsabilidades clave, indicando además una breve descripción de éstas.
- Procedimiento de Reporte y Revisión. Tiene como finalidad implementar el control del proyecto definiendo qué reportes, juntas y documentos de proyecto son requeridos para determinar los logros generales y/o particulares del proyecto; además tiene como objetivo mantener al personal informado del progreso, problemas o modificaciones que surjan en el proyecto.

5.3.3 Dimensionamiento de Actividades.

El estimado del tiempo en Horas-Hombre (H-H) constituye uno de los aspectos más importantes de la planeación, ya que con este estudio se determinarán los recursos que deban asignarse a cada actividad. Esta estimación se hace para cada una de las disciplinas del proyecto, haciendo uso en la mayoría de los casos de información estadística de proyectos similares ejecuta-

dos con anterioridad, involucrando actividades de Ingeniería, Procura, Construcción y Puesta en Marcha.

El estimado de H-H se puede definir como el conjunto de métodos empíricos basados en experiencias anteriores, que se utilizan para pronosticar la demanda de Horas-Hombre requeridas para llevar a cabo un proyecto. El estimado de H-H se clasifica de acuerdo a la información disponible para elaborarlo, y de la certeza con que se efectúen estas estimaciones depende en gran parte el tener un mínimo de desviaciones durante el desarrollo del proyecto. - Entre los tipos de estimado más comunes se encuentran los siguientes:

A. Estimado de Orden de Magnitud.

Este estimado proporciona la magnitud de las H-H requeridas para el desarrollo de un proyecto, principalmente para la toma de decisiones sobre la factibilidad de realizar el proyecto, o para efectos de propuesta preliminar. La exactitud de este estimado varía entre un ± 30%. - La forma de realizarlo es por comparación de H-H invertidas en plantas similares de la misma capacidad que la nueva planta; en el caso de que la capacidad sea diferente a la de los datos existentes, los estimados se deberán afectar por diferentes factores de corrección resultados -- del análisis de los datos estadísticos existentes.

La información necesaria para elaborar este estimado es:

- Tipo y capacidad de la planta.
- Características de operación.
- Diagrama de flujo y planos de diseño preliminares.
- Alcance preliminar del proyecto.
- Programa del proyecto: programa condensado, diagrama de barras.

B. Estimado Preliminar.

La aproximación de este estimado varía entre un ± 15 a ± 20%. Se elabora en la etapa intermedia de la ingeniería básica, y se utiliza para asignar presupuesto tanto para compra de equipo y materiales como para construcción de la planta. En su elaboración intervienen las H-H de -

cada especialidad de acuerdo a las funciones principales, bien sea por la cantidad de planos que emiten, equipo que diseñen o actividades específicas que desarrollan.

Se requiere de la siguiente información para su elaboración:

- Diagrama de flujo de proceso.
- Diagrama de servicios auxiliares.
- Lista de equipo considerando partes de repuesto.
- Plano de localización general.
- Alcance revisado del proyecto.
- Programa condensado de trabajo.

C. Estimado Detallado.

Este tipo de estimado se prepara en la etapa inicial de la ingeniería de detalle, y su objetivo es establecer el ajuste de contratos y de -- presupuestos. Para su elaboración se toman en consideración las actividades y planos específicos a realizar en función de las estadísticas de Horas-Hombre. El grado de aproximación varía entre un ± 5-10%. Entre la información requerida para su elaboración están:

- Lista de equipo definitiva.
- Programa de trabajo detallado.
- Alcance del proyecto definitivo.
- Conocimiento del número de planos que emite cada especialidad.
- Diagramas de tubería e instrumentación (DTI's) aprobados para diseño.
- Planos y diseños aprobados para construcción.

5.3.4 Planeación del Tiempo.

El trabajo de ingeniería, al igual que la mayoría de los otros tipos de trabajos, sigue un proceso lógico: ciertas tareas deben realizarse antes que otras puedan iniciar o completar. El diagrama lógico de ingeniería indica de una manera muy simplificada las actividades principales de diseño de ca-

da disciplina, de ingeniería y sus interacciones importantes con la construcción.

A. Secuencia de actividades-Red Lógica.

El objetivo es establecer una secuencia lógica de las actividades, incluyendo todas las entidades que participan en el proyecto. Cuando se define esta secuencia y sus interrelaciones con otros grupos, se obtiene una "Red Lógica" que define qué es lo que hay que hacer. La red lógica no define fechas ni duración de las actividades, y es de utilidad en la programación detallada.
Un ejemplo de red lógica se presenta en la figura 5.2.

5.3.5 Planeación de los Recursos Humanos.

La administración efectiva de los recursos humanos implica el pronosticar los requerimientos de éstos desde el plan inicial, comparando éstos con la mano de obra disponible y con los perfiles de requerimientos establecidos en la práctica.

La manera más general de representar un plan de recursos humanos es constituyendo una curva de control, es decir, una gráfica de mano de obra contra tiempo, derivándola del diagrama de barras o de un programa de redes. Esta curva de personal puede construírse para especialidades o grupos específicos y aún para el personal conjunto del proyecto. La curva de requerimientos de personal puede mostrar el número estimado de personal requerido a lo largo del proyecto, así como el número de personas utilizadas a una fecha dada. Esta curva tiene la ventaja de ser muy sensible a los efectos de un inadecuado manejo de los recursos. En contrapartida, presenta la desventaja de que no muestra el efecto de los cambios o adiciones en el alcance del trabajo, y que es tan precisa como lo sean los estimados de recursos humanos y de su productividad asociada.

La figura 5.3 muestra una Curva de Personal típica en un proyecto.

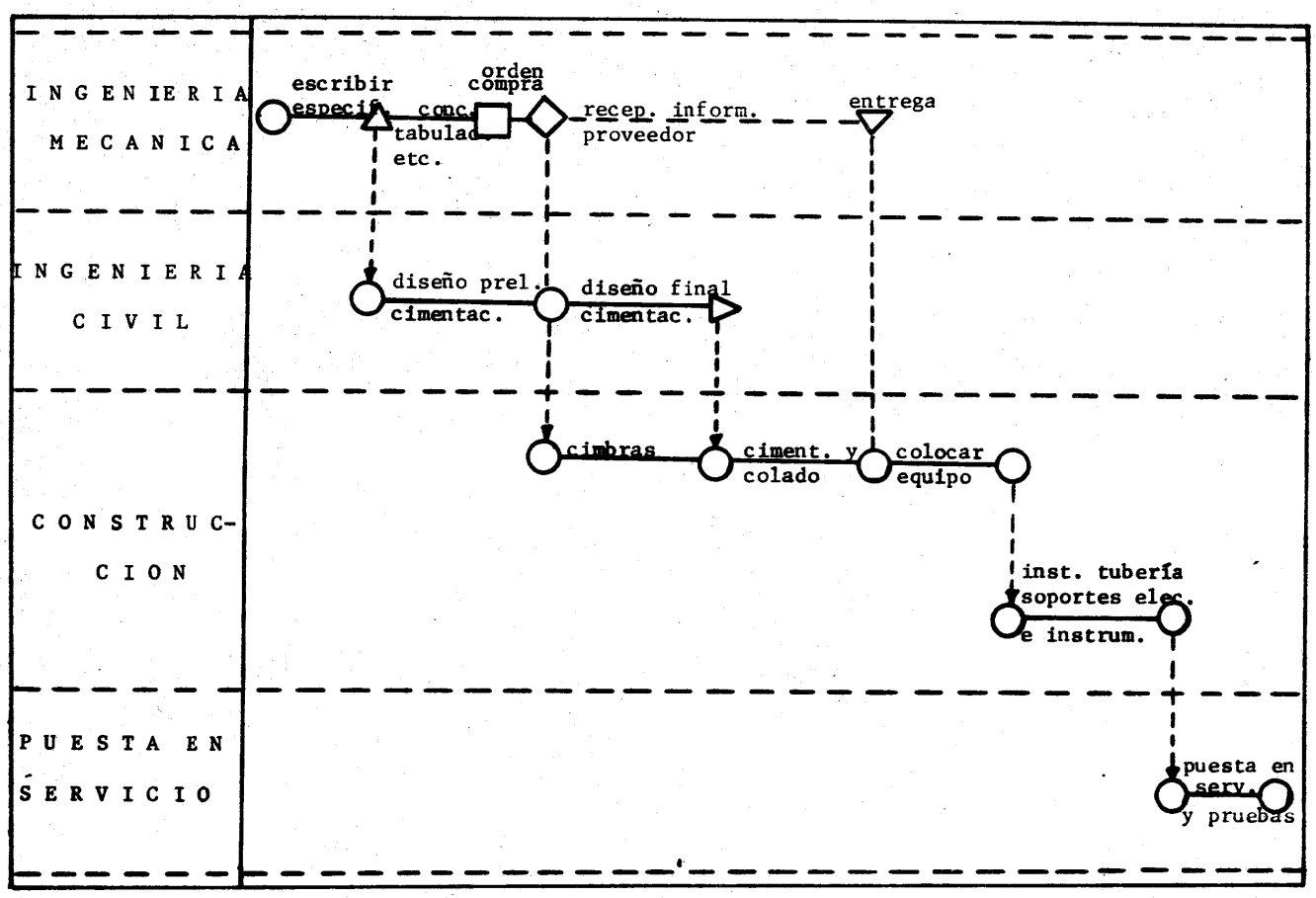


Fig. 5.2 RED LOGICA EN INGENIERIA.

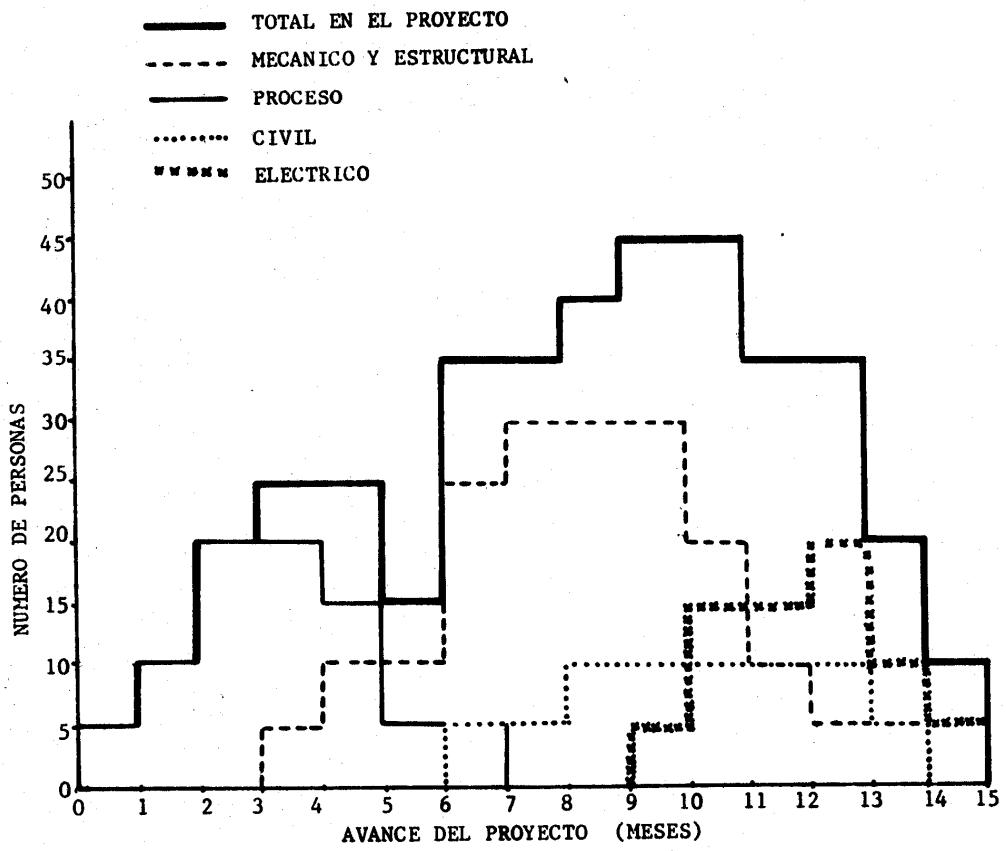


Fig. 5.3 CURVA DE PERSONAL ASIGNADO AL PROYECTO, TOTAL Y POR DISCIPLINA.

5.4 Programación del Proyecto.

La emisión de programas de ejecución del proyecto se prepara en base a la - Estructura de Desglose del Trabajo, pudiendo éstos presentarse en forma gráfica, tabular o como un listado mecanizado.

5.4.1 Objetivo de los programas.

Los programas del proyecto se elaboran con el fin de establecer un procedimiento para coordinar la ejecución de la ingeniería, las adquisiciones, necesidades de personal, las erogaciones, la construcción y puesta en servicio de la planta, sobre bases que permitan establecer un sistema de control para verificar el seguimiento de estas actividades, así como proporcionar - la información necesaria para la toma de decisiones correctivas en caso de desviaciones de los programas establecidos.

5.4.2 Programa Maestro del Proyecto.

La elaboración del Programa Maestro o Programa General del Proyecto afecta las decisiones tomadas desde el inicio hasta el arranque de una planta. -- Dentro del Programa General del Proyecto, se contempla:

- El programa de ejecución de actividades, el cual muestra la fecha de inicio y terminación de cada actividad, asociando la persona o especialidad funcional responsable de su realización.
- Programa de erogaciones, el cual asocia a cada actividad su presupuesto - y la fecha en que se efectuará la erogación, así como la naturaleza del costo: mano de obra directa, por equipo, por materiales, indirectos e ingeniería. A este programa suele anexarse un análisis de variación del -- presupuesto indicando costos reales, costos acumulados, presupuesto ejercido o por ejercer, así como presupuesto proyectado a futuro.
- Programa de adquisiciones de equipo y materiales. Este programa suele -- asociarse al de ejecución de tareas; este alertará sobre todo lo relativo a las actividades de adquisición (preparación de especificaciones, requi-

siciones, salida a concurso, recepción de cotizaciones y preparación de tablas comparativas, aprobación y colocación de órdenes de compra, recepción y aprobación de dibujos de fabricante, y recepción del equipo y materiales). Este programa servirá también para resaltar aquellas actividades que sean críticas o de tiempos largos de entrega.

Generalmente, el Programa Maestro del Proyecto se representa en diagramas de barras o en la Red General del proyecto. El diagrama de barras muestra para cada actividad el inicio, período en el que se desarrolla el trabajo y la terminación, todo dentro de un calendario; sin embargo, no muestra claramente la relación entre las actividades. La red tiene la ventaja de que en ella se aprecia una secuencia de eventos así como las actividades que pueden realizarse en paralelo.

5.4.3 Programa de fechas clave.

El programa de fechas clave representa la coordinación final y la integración de las diferentes disciplinas o entidades comprometidas. Este programa no contiene suficientes detalles, sin embargo, proporciona los elementos clave que determinan la buena consecución del proyecto. Este programa incluye las fechas clave del proyecto, las cuales determinan las etapas más importantes del mismo. Estas fechas clave son:

- Bases de diseño para ingeniería básica.
- Terminación de ingeniería básica.
- Bases de diseño para ingeniería de detalle.
- Recepción del estudio de mecánica de suelos.
- Información para inicio de construcción.
- Terminación de ingeniería de detalle.
- Cierre de ingeniería de proyecto.
- Recepción de equipo crítico en campo.
- Recepción de material crítico en campo.
- Final de construcción.

5.4.4 Programas Detallados.

Los programas detallados se emplean como base para el trabajo diario, y representan un desglose detallado de tareas y actividades a realizar por el personal del proyecto. Estos documentos se describen a continuación:

A. Diagrama de Barras.

En estos programas, también conocidos como diagramas de Gantt o diagramas de actividades múltiples, el plan de trabajo se representa con barras que representan el período de tiempo estimado requerido para completar cada actividad, basadas en el programa de fechas clave.

La figura 5.4 presenta un Diagrama de Barras típico en el desarrollo de un proyecto. Estos diagramas presentan las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Proporciona un modelo gráfico del proyecto.
- Puede ser utilizado para mostrar el avance del proyecto dibujando una segunda barra para cada actividad, para representar cuando fué ejecutado el trabajo en la realidad, o alternativamente, el porcentaje de avance de la actividad.
- Puede ser utilizado en la planeación de los recursos humanos, marcando en ella el número de personas que se requieren de las distintas especialidades en cada actividad para cada período de tiempo.

Desventajas:

- No muestra las interrelaciones entre actividades, lo que puede conducir a problemas de coordinación.
- No resulta fácil enfrentar cambios o actualizaciones frecuentes, cada cambio requiere ser dibujado en el diagrama.

El método del diagrama de barras, cuando se usa por sí solo, limita la planeación detallada de grandes proyectos; esto ha obligado al uso progresivo de los métodos de análisis de redes.

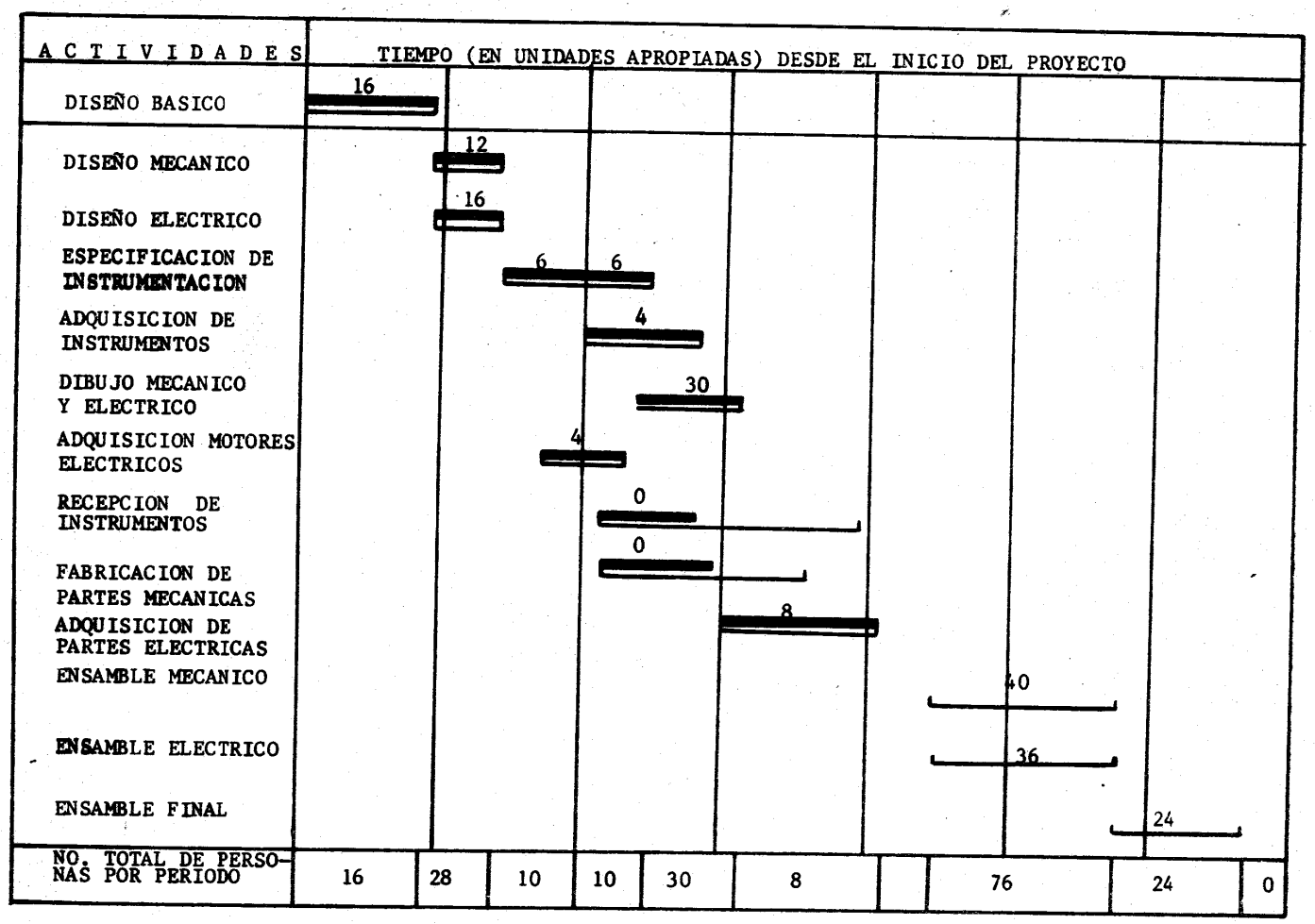


Fig. 5.4 DIAGRAMA DE BARRAS.

B. Análisis de Redes (CPM/PERT).

El método de análisis o programa de redes se utiliza para manejo de -- proyectos grandes y complejos. Presenta las siguientes ventajas:

- Maneja las interrelaciones entre actividades, facilitando la determinación de recursos humanos, materiales y económicos.
- Identifica las actividades que resulten ser críticas para terminar - el proyecto, y muestra el tiempo excedente, o flotación en las otras actividades. Estas actividades constituyen la Ruta Crítica: al -- atrasar su tiempo de duración, atrasan la terminación del proyecto.
- Resulta ser una herramienta ágil para evaluar el efecto de los cambios en el proyecto. Suministra a los administradores un medio para evaluar alternativas.
- Puede manejar proyectos muy grandes y complejos.

Las redes se componen de eventos y actividades. Un evento se define - como el inicio o final de un grupo de actividades; una actividad es el trabajo que se realiza para pasar de un evento a otro. La red puede - ser considerada como un mapa de caminos para un proyecto en particular, en el que todos los elementos principales (eventos) han sido completamente identificados, así como su interrelación.

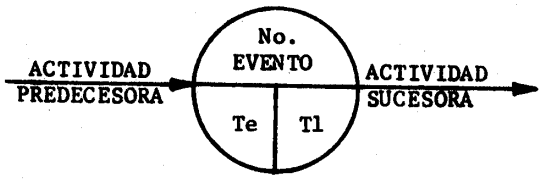
La nomenclatura para las redes se identifica con círculos que representan eventos: éstos se enlazan conflechas que representan actividades- y su sentido de ejecución. El número en el círculo identifica a un -- evento específico. Un número sobre la flecha especifica el tiempo necesario (horas, días, semanas) para pasar de un evento a otro.

La ruta o camino crítico es vital para el control del proyecto:

- Primero, porque no existe holgura o flotación en uno solo de los -- eventos de esa ruta, y cualquier retraso causa un correspondiente retraso en la fecha de terminación del proyecto.
- Segundo, porque los eventos en esta ruta son los más críticos para - el éxito del proyecto.

Utilizando la técnica CPM/PERT se pueden identificar las fechas más -- tempranas posibles en que se puede esperar ocurra un evento, o las más

tardías. La diferencia en tiempo entre la fecha de terminación programada y la fecha requerida para cumplir con la ruta crítica se denomina "holgura". En la aplicación de ésta técnica deben considerarse las siguientes definiciones:



Te: Fecha más temprana o tiempo más próximo en el cual puede esperarse ocurra un evento; es la cifra mayor de la suma de los tiempos esperados predecesores de las diferentes actividades que llegan al evento. En una red se calcula de izquierda a derecha.

El Te en el evento final indica el tiempo esperado para la terminación temprana del proyecto. En el nodo inicial Te=Tl= 0 .

Tl: Fecha más tardía o tiempo más lejano en el que el evento toma lugar sin alargar la fecha de terminación del proyecto (o tiempo límite). Resulta de restar el tiempo límite menor del evento o eventos que le suceden del tiempo esperado de la actividad que une a ambos eventos en una red. Se calcula de derecha a izquierda.

En el evento final Te = Tl = 0 .

Todos los eventos en los que Te = Tl se encuentran en la ruta crítica; lo anterior quiere decir que en el momento de terminar la última actividad predecesora a un evento, las actividades que le suceden deben iniciar inmediatamente. Las actividades críticas no cuentan con holgura.

Holgura: Este término se emplea en las actividades que cuentan con más tiempo disponible entre los eventos, que el que requieren para terminar, las cuales en determinado momento pueden retrasarse hasta cierto límite sin afectar la duración total del proyecto. Holgura= Tl - Te .

Holgura total: Este tipo de holgura indica el tiempo que la actividad puede atrasarse sin afectar la terminación del proyecto total; es - decir, una actividad puede programarse para que se realice - entre el tiempo más próximo de iniciación del evento que le precede (Te), y terminarse en el tiempo más lejano de iniciación del evento que le sucede (Tl). Para aplicar este con-- cepto debe considerarse que todas las actividades preceden-- tes se han iniciado lo más tempranamente posible y que todas las actividades posteriores empezarán lo más tardíamente -- posible.

Holgura libre: Este tipo de holugra indica el tiempo con el cual una actividad puede retrasarse sin afectar el tiempo más próximo de iniciación de las actividades que le suceden. Se puede considerar que es la suma de tiempo que puede detenerse una - actividad sin interferir con el trabajo subsecuente.

Comprensión de la Red.

La red del proyecto obtenida inicialmente, proporcionará la duración del proyecto mediante la ruta crítica; también a partir de ella se - podrá efectuar una cuantificación de los recursos que es necesario - asignar. Sin embargo, en esta etapa de la programación pueden hacerse los ajustes necesarios para disminuír la duración total del pro-- yecto cuando así se requiera, es decir, asignando más recursos disminuirá la duración de las actividades.

Esta asignación mayor de recursos normalmente se efectúa en las actividades que conforman la ruta crítica. Esto indica que la duración del proyecto y la asignación de recursos son mutuamente dependientes y se pueden manipular hasta lograr un equilibrio tanto como se requiera y sea posible.

Se presenta enseguida un ejemplo de aplicación de la técnica CPM/PERT incluyendo Lista de Actividades, Matriz de Precedencias y la construcción de la red.

A continuación se presenta la secuencia para elaborar una red:

1.- Elaborar la lista de actividades.
2.- Definir el alcance de cada actividad.
3.- Estimar el tiempo consumido por cada actividad.
4.- Determinar las actividades predecesoras para cada actividad, construyendo la matriz de precedencias correspondiente.
5.- Construír la red numerando los eventos.
6.- Calcular la holgura libre y total para cada actividad.
7.- Determinar la ruta crítica y las actividades que se encuentren en ella.

La utilización de la técnica CPM/PERT presenta las siguientes desventajas:

- Es más complicada que el diagrama de barras, y es difícil entender cuando se trata de proyectos muy grandes.
- No presenta una manera de mostrar el avance contra lo planeado; normalmente se analiza la red contra los recursos para actualizarla y replanear las actividades cuando se hace necesaria.
- Generalmente no es considerado como un plan o programa operacional, porque no indica quienes hacen qué y cuándo, solo muestra:
  - Las tareas que constituyen la ruta crítica con sus fechas de inicio y terminación.
  - Las holguras de las otras tareas.
  - Las interrelaciones entre actividades.
  - Supone una disposición infinita de recursos y no reconoce limitaciones en los recursos humanos.

5.5 Planeación del Costo. Programa de Erogaciones

El objetivo de un programa de erogaciones es definir con oportunidad las necesidades económicas del proyecto con objeto de llevar a cabo la planeación

TABLA I. LISTA DE ACTIVIDADES (EJEMPLO).

	ACTIVIDAD PREDECESORA	ACTIVIDAD SUCESORA	DURACION (DIAS)
	Inicio del Proyecto	01	--
01	Junta de Arranque	02	2
02	Diagramas de flujo de proceso	03/04/05	42
03	Hojas de Datos de Equipo	11/14	42
04	Plano de Localización General	06/18/24/26	45
05	Diagramas de tubería e instrumentos	06/26	54
06	Estudios de tubería aérea	07/08	279
07	Planos de tubería	29	50
08	Isométricos de tubería	09/28	96
09	Lista de Materiales	29	236
11	Diseño Mecánico de Recipientes	12/19	45
12	Adquisición de Recipientes	13	129
13	Fabricación de Recipientes	29	135
14	Selección de Equipo mecánico	15	98
15	Adquisición de Equipo Mecánico	16	92
16	Recepción de información del fabricante de equipo mecánico	17/25	87
17	Fabricación de Equipo Mecánico	29	168
18	Estudios de Mecánica de suelos	19/21	20
19	Diseño de Cimentaciones	07/23	73
21	Diseño de Edificios	25	20
23	Distribución de Fuerza y alumbrado	29	41
24	Planos eléctricos	29	30
25	Diseño de Cimentaciones finales	29	42
26	Hojas de especificaciones, Diagramas e Indices de Instrumentos	27	76
27	Adquisición de Instrumentos	28	79
28	Diseño de Ingeniería de instrumentos	29	82
29	Integración de la información generada (Libro de Proyecto)	30	85
30	Terminación del Proyecto	--	88

ACTIVIDADES SUCESORAS

ACTIVIDADES PREDECESORAS	01	02	03	04	05	06	07	08	09	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21	23	24	25	26	27	28	29	30
01		X																									
02			X	X	X																						
03										X			X														
04						X											X				X		X				
05						X																	X				
06							X	X																			
07																										X	
08									X																		
09																										X	
11											X							X									
12												X															
13																										X	
14														X													
15															X												
16																X						X					
17																										X	
18																		X	X								
19							X													X							
21																						X					
23																										X	
24																										X	
25																										X	
26																								X			
27																									X		
28																										X	
29																											X
30																											

Fig. A MATRIZ DE PRECEDENCIAS (EJEMPLO).

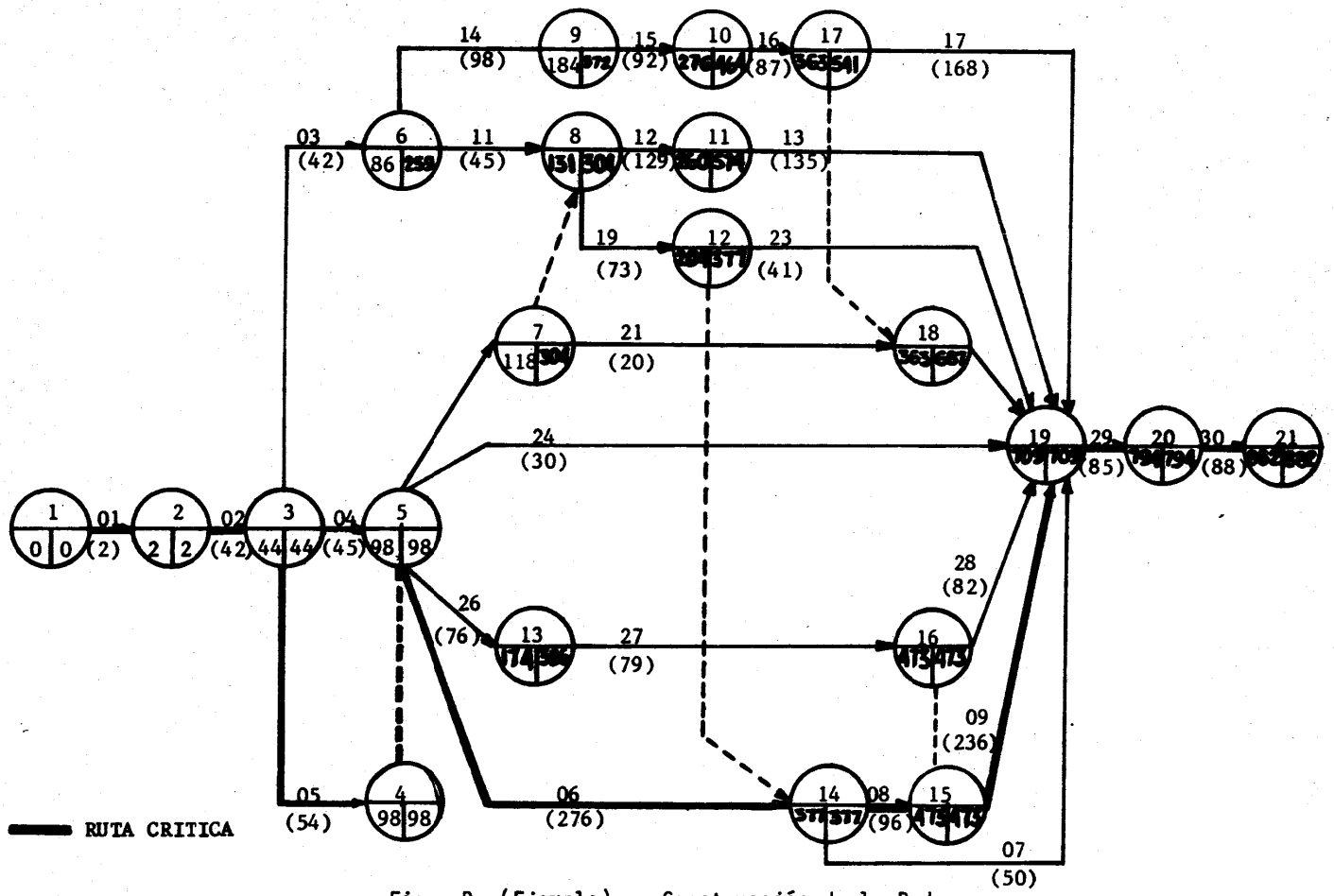


Fig. B (Ejemplo). Construcción de la Red para un proyecto industrial.

financiera. Dentro de esta planeación administrativa financiera del proyecto se incluye la preparación del estimado del costo, el presupuesto, la proyección y el control del costo del proyecto.

La diferencia entre un estimado y un presupuesto es que el primero es una tabla mas o menos simple de los costos estimados para las actividades del proyecto. El presupuesto, por otra parte, es un plan financiero detallado asociado al calendario del proyecto, el cual se integra a un nivel de tareas o paquetes de trabajo. Mientras que un estimado muestra solo una suma asignada a cada actividad, un presupuesto mostrará la erogación esperada en cada período de tiempo para cada actividad o centro de costo. La base del presupuesto está constituída por el programa del proyecto y el estimado del costo.

En esta sección se tratará el estimado del costo, dejando el control del costo para el capítulo siguiente.

El programa de erogaciones asocia a cada actividad su presupuesto y la fecha en que se efectuará la erogación, así como la naturaleza del costo: mano de obra directa, por equipo, por materiales, o indirecto. En ocasiones, suele anexarse un análisis de variación del presupuesto, indicando los costos reales, costos acumulados, presupuesto ejercido o por ejercer, así como presupuesto proyectado a futuro.

El estimado del costo es una evaluación de la totalidad de los costos de los elementos de un proyecto con un alcance preestablecido. En la preparación de un estimado, los costos se clasifican en directos e indirectos, así como gastos generales. Los costos directos resultan de los componentes físicos de un proyecto así como su instalación y comprenden: costo de equipo y materiales, mano de obra del personal de todas las especialidades que intervienen en el proyecto, así como el costo de previsión social. Los costos indirectos resultan de los servicios que se requieren para la ejecución del proyecto, como son: viáticos, procesamiento electrónico, reproducciones, materiales de consumo (oficina, dibujo, modelos a escala, talleres, etc.), comunicaciones (teléfono, télex, correos, fletes, etc), honorarios a terceros (estudios, asesoría, subcontrataciones).

También dentro del estimado se incluyen los gastos generales o de administración también conocidos como "overhead" y que representan un porcentaje sobre algunos conceptos del costo directo. Aquí se incluyen: depreciaciones (edificios, mobiliario, etc), gastos por dirección y administración, gastos por vigilancia, gastos por mantenimiento de instalaciones, impuestos, seguros, imprevistos, etc. La selección entre un tipo de estimado y otro depende de factores tales como: objetivos del estimado del costo, de la información disponible, y de la disponibilidad de tiempo para elaborar el estimado. A continuación se describen los tipos más comunes de estimado de costo. En la figura 5.5 se muestra un Programa de Erogaciones para un proyecto.

5.5.1 Estimado de Orden de Magnitud.

El estimado de orden de magnitud generalmente se prepara cuando aún no se cuenta con datos detallados de ingeniería, pero se cuenta con datos de costos de equipos y plantas con características similares pero de diferente capacidad.

En este tipo de estimado la información con la que se realiza es del tipo de proceso, cantidades totales aproximadas de las alimentaciones o productos que se van a manejar; hay que definir también si la planta es nueva, un duplicado o una ampliación.

Por estas razones, este estimado tiene una variación entre más 50% o menos de 30%. El resultado dentro del límite de error es consecuencia de los datos proporcionados.

El propósito de este estimado es de que se tomen decisiones sobre la factibilidad de un proyecto, y se decida si se justifica un estudio más detallado.

5.5.2 Estimado de Estudio.

Cuando existe una mayor información de los datos del equipo y planta a estimar, se hace uso de este estimado; para ésto es necesario obtener la varia--

PROGRAMA DE EROGACIONES
(MILES DE PESOS)

SECCION: LICUEFACCION Y COMPRESION
CAPACIDAD 60 T/D

CONCEPTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	48
EQUIPO						73,130			170,637						243,768			
MATERIALES							8,971	9,361	15,232	19,718	29,469	38,187	39,864	27,909	6,319			
MANO DE OBRA DIRECTA										8,076	9,831	17,205	22,623	36,868	42,134	31,601	7,022	
INDIRECTOS CONSTRUCCION										4,261	5,168	9.078	12,043	19,455	22,234	16,675	3,706	
INGENIERIA BASICA	589	1,102	2,054	2,749	1,057													
INGENIERIA DE DETALLE			1,861	2,648	4,252	6,775	9,263	7,865	2,185									
T O T A L	589	1,102	3,915	5,397	5,309	79,905	18,234	17,226	188,054	32,055	44,488	64,470	74,730	84,232	314,455	48,276	10,728	

BASE: MARZO 1986.

NOTA: LAS CONTINGENCIAS SE ENCUENTRAN DISTRIBUIDAS ENTRE TODOS LOS CONCEPTOS QUE INTEGRAN LA INVERSION.

Fig. 5.5 PROGRAMA DE EROGACIONES PARA UN PROYECTO DE PLANTA INDUSTRIAL.

ble que será utilizada como referencia en las gráficas características de cada equipo.

La desviación de este tipo de estimado se ve afectada por factores de diseño y presión que aplican en casos específicos, como en hornos donde el tipo y proceso, así como su presión de operación dan como resultado una mayor exactitud. El rango en el cual se encuentra este estimado es ± 25% a ± 40%.

5.5.3 Estimado Preliminar.

El estimado preliminar se prepara cuando existe la suficiente información como diagramas de flujo, detalles de equipo, hojas de datos, necesidades estimadas de servicios auxiliares, índice preliminar de instrumentación, etc. Dentro de estos estimados la desviación que se puede tener es de ± 10% a ± 25%. Además, los factores que se aplican en el estimado de estudio también son factibles de utilizar.

La finalidad del estimado espoder utilizar los fondos asignados a un proyecto en específico.

La tabla 5.I muestra algunas variables requeridas para el estimado de costos.

5.5.4 Estimado Detallado.

El estimado detallado normalmente se elabora cuando se tiene información más específica del equipo, se cuenta con las hojas de cada equipo, diagramas de tubería e instrumentación, lista de materiales, índice de instrumentos, el avance del proyecto es sensible, se tiene bien definido el alcance del proyecto, y se cuenta con la lista de equipo completa y con planos preliminares para construcción.

Este estimado posee un porcentaje de error del ± 5% al ± 10%, y se utiliza primordialmente para concertar financiamiento para adquisiciones y construcción, así como para establecer el precio de un contrato.

TABLA 5.I

VARIABLES REQUERIDAS PARA EL ESTIMADO DE COSTOS

E Q U I P O	V A R I A B L E
Hornos	Carga térmica Materiales de importación Materiales nacionales
Torres, Recipientes, Reactores	Temperatura de diseño Presión de diseño Materiales Recubrimiento Peso
Internos de Torres y Recipientes	Tipo Material Diámetro
Cambiadores de Calor	Tipo Area de transferencia Material de tubos Material de coraza Presión de diseño de tubos Presión de diseño de coraza Tubos: longitud/diámetro/ arreglo
Bombas, Compresores, Turbinas	Tipo Potencia / RPM Materiales Capacidad
Motores	Tipo Potencia / RPM

5.6 Métodos para la elaboración de un estimado.

Existen varias técnicas de estimación de costo en ingeniería con distinto grado de exactitud, que dependen en su mayoría del tipo de planta por evaluar. A continuación se indican los métodos más utilizados para la elaboración de un estimado de costos.

5.6.1 Regla de los seis décimos o exponencial.

Este método es uno de los más usados y se emplea básicamente en los estimados de orden de magnitud. Consiste en usar relaciones de capacidades de diseño de equipo teniendo en cuenta los precios por precisiones inflacionarias y sistemas de proceso. Se basa en multiplicar el costo de un equipo de proceso o planta por la relación de capacidades elevada a un exponente. La fórmula es la siguiente:

$$\text{Costo A} = \text{Costo B} \left[\frac{\text{Capacidad A}}{\text{Capacidad B}}\right]^{X}$$

Costo A = Costo del equipo a estimar
Costo B = Costo del equipo conocido
X = Exponente de acuerdo al tipo de equipo

Los valores de X pueden variar de 0.2 a 0.8; se recomienda usar el exponente específico para cada equipo o planta determinados en la literatura o por experiencia. En caso de no contar con dicho exponente el valor recomendado es 0.6

En la tabla 5.II se indican diferentes exponentes típicos para distintos equipos.

TABLA 5.II

EXPONENTES TIPICOS PARA EQUIPOS DE PROCESO

DESCRIPCION	EXPONENTE
Hornos	0.85
Torres Fraccionadoras	0.73
Torres Empacadas	0.65
Recipientes Verticales	0.65
Recipientes Horizontales	0.60
Tanques Atmosféricos	0.30
Esferas de Almacenamiento	0.70
Secadores	0.60
Filtros	0.53
Cambiadores	0.65
Soloaires	0.60
Bombas Centrífugas/Motor	0.52
Bombas Centrífugas/Turbina	0.55
Bombas Reciprocantes	0.70
Compresores de Gas	0.82
Compresores de Aire	0.28
Calderas	0.50
Torres de Enfriamiento	0.60
Cristalizadores	0.68
Filtro Prensa	0.58
Secadores Rotatorios	0.63
Discos Rotatorios	0.78

5.6.2 Método del Factor de Lang.

Este método consiste básicamente en la aplicación de un factor al costo total del equipo, el cual varía según la naturaleza de la planta y el proceso de que se trate.

La expresión es la siguiente:

$$Ct = Fl \times E$$

Donde:

Ct = Costo total
Fl = Factor de Lang
E = Costo total del equipo

Factores de Lang:

Procesamiento de Sólidos	3.10
Procesamiento de sólidos y fluídos	3.63
Procesamiento de fluídos	4.74

5.6.3 Método de Detalle.

Con pequeñas variaciones, se utiliza para obtener estimados definitivos -- ($\pm$ 10%) o detallados ($\pm$ 5%). La información requerida es la siguiente:

- Equipo. Es necesario obtener cotizaciones preliminares o en firme de -- los proveedores. La mano de obra de instalación se calcula en base a - H-H o tomando costos unitarios de equipos similares de otras plantas.
- Materiales. Se obtienen cantidades aproximadas y se valúan. Los pre--- cios unitarios deben estar de acuerdo con las especificaciones. La mano de obra se calcula igual que para equipo.
- Edificios. Se obtienen las cantidades aproximadas de concreto, acero estructural, acabados, etc. y se valúan en base a precios unitarios. Se - valúan detalladamente los accesorios. Se aplican factores por localización y tiempo, si es necesario.