



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**PROGRAMACION Y EVALUACION DE
PROYECTOS PETROQUIMICOS O
DE REFINACION MEDIANTE
EL USO DE PERT.**

Tesis

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

Antonio Vargas y Vargas

MEXICO, D. F.

1977



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

... Tesis 1977
... M- 
... EGHA
... RDC 396
... 5

+



QUIMICA

PRESIDENTE: PROF. CARLOS DOORMANN MONTERO

VOCAL: PROF. ROBERTO ANDRADE CRUZ

SECRETARIO: PROF. RAFAEL GARCIA NAVA

1ER. SUPLENTE: PROF. ARTURO LOPEZ TORRES

2DO. SUPLENTE: PROF. ALFONSO MONDRAGON MEDINA

Sitio donde se desarrolló el Tema: INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

SUSTENTANTE: ANTONIO VARGAS Y VARGAS

ASESOR DEL TEMA: ING. RAFAEL GARCIA NAVA

Con agradecimiento a

Ing. Carlos Doormann Montero

Ing. Roberto Andrade Cruz

por la ayuda, facilidades y atenciones que me otorgaron

Agradecimiento al

Ing. Rafael García Nava

*por la dirección del presente trabajo, por su
colaboración activa en mi enseñanza y por la
amistad que me ha brindado*

Con toda mi estimación y agradecimiento a

Ing. Nora Luz Flores de G.

por su amistad

A mis Padres

Antonio Vargas Frausto

Carmen Vargas de Vargas

*con cariño y agradecimiento porque su apoyo,
comprensión y sacrificio me dieron el aliento
para lograr mi formación profesional*

A mis hermanos

Jorge

Teresa

Bertha

Socorro

Fco. Arturo

con todo mi cariño

A Margarita García Franco

*con todo mi cariño porque su ejemplo y su apoyo
sirvieron de impulso a mi realización*

*A todos mis condiscípulos y amigos
con la estimación de siempre*

A mis tíos

A mis sobrinos

Antonio

Carlos

Ma. del Carmen

Marianna

*que este sea un estímulo para
su futura formación*

CONTENIDO

I. INGENIERIA DE PROGRAMACION DENTRO DEL DESARROLLO DE UN PROYECTO	
I) Diferentes fases en el desarrollo de un proyecto	14
II) Importancia de la Ingeniería de Programación	28
II. ORGANIZACION Y FUNCIONES EN UNA COMPAÑIA DE INGENIERIA DE PROYECTO	
I) Formas de organización	31
II) Organización tipo departamental: objetivos y funciones	35
III) Actividades a desarrollar en proyectos del tipo petroquímico o refinación	42
III. PERT: HERRAMIENTA PARA PROGRAMAR Y EVALUAR EL PROGRESO DE PROYECTOS PETROQUIMICOS	
I) Métodos de evaluación de redes	70
1) PERT	71
2) CPM	87
3) PDM	97
4) Comparación y selección	101
IV. EJEMPLO DE APLICACION	
A) Construcción de la red	106
B) Evaluación por computadora	110
C) Tipos de reporte de programa	111
CONCLUSIONES	120
BIBLIOGRAFIA	121

INTRODUCCION

En una compañía de Ingeniería de Diseño de Proyectos existe una variedad de especialidades en las que se puede desarrollar un Ingeniero Químico dado que tiene conocimientos, en mayor o menor grado, de las disciplinas que se desempeñan normalmente durante la etapa de Ingeniería de un proyecto del tipo industrial como son, por ejemplo: las operaciones unitarias en todas sus variedades, la Ingeniería de Procesos, Simulación de procesos, Economía Industrial, Optimización, Diseño de Equipo, Ingeniería Mecánica y Eléctrica y otras. Todas ellas forman parte de la preparación que se imparte en los últimos semestres de la carrera del Ingeniero Químico. Pero existe otra disciplina en la que se puede desarrollar preferentemente el Ingeniero Químico que es la Ingeniería de Programación de Proyectos de la cual el egresado de la Facultad o Escuela Superior tiene un conocimiento casi nulo, de lo que significa la programación de proyectos y los métodos de la que ésta se vale para la creación de calendarios de proyecto, una de sus características, y de la importancia que representa para la Ingeniería de Proyectos. La causa de esta deficiencia consiste en que los planes de estudio de la carrera no se incluye la enseñanza, métodos disponibles, e importancia de la programación como auxiliar altamente necesaria para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto: planeación, ingeniería, construcción de plantas industriales, proyectos militares y gubernamentales, etc.

Actualmente en México se puede recibir enseñanza de Programación de Proyectos sólo mediante cursos de post-grado como en algunas especialidades o maestrías. Por otro lado, la literatura disponible en el país es, en su gran mayoría, extensa en el tratamiento de temas como: funcionamiento y aplicaciones de los diferentes métodos empleados para la programación; algoritmos nuevos o modificación de los existentes para aplicaciones particulares realizados en los Estados Unidos para compañías

privadas, para el gobierno, o para la marina. En la mayoría de estas publicaciones no se enfoca a la Programación dentro del desarrollo de un proyecto industrial ni dan la justificación del empleo de determinada técnica para el tipo de proyecto que se piense controlar. Algunas publicaciones en revistas de ingeniería han estudiado los principales métodos de evaluación de redes de proyectos y dado a conocer las diferencias y similitudes en sus principales características.

Uno de los principales objetivos de este trabajo es en suma dar el enfoque adecuado a la Programación, haciendo resaltar la importancia que representa para una buena coordinación y un buen control de las funciones de la Organización durante el desarrollo del proyecto.

Ha sido un hecho notable que en los últimos años la Ingeniería de Proyectos ha venido destacando como uno de los campos más fructíferos para el desempeño de la profesión del Ingeniero Químico. El inconveniente es que el conocimiento que tiene el egresado de la carrera, acerca del funcionamiento, organización y objetivos de una Compañía de Ingeniería durante el desarrollo de un proyecto, es casi nulo.

Al escribir este trabajo se tiene también el propósito de proporcionar al estudiante o egresado de la carrera que lo consulte, se familiarice, al menos en parte con la organización, funciones, terminología y documentación técnica de que hace uso una Compañía de Proyectos en el desarrollo de la Ingeniería de un Proyecto, campo que tiene un alto índice de crecimiento y en el que cada vez más interviene el Ingeniero Químico.

Finalmente, esperamos que sin tener que enfrentarse con el complicado tratamiento que se da en los libros y revistas disponibles, pueda consultarse este trabajo y entenderse el principio de funcionamiento y aplicación de las principales técnicas de programación y evaluación de proyectos.

En el Capítulo I se describen las etapas por las que pasa un proyecto industrial desde su nacimiento hasta su arranque y operación. De estas etapas, la de Ingeniería es la que reclama mayor interés desde el punto de vista de la programación de proyectos. Se intenta hacer énfasis en la intervención de la programación efectuada por el ingeniero programador y lo importante que ésta resulta para lograr el mejor desarrollo de las actividades de la Ingeniería de Proyectos llevada a cabo en una Compañía de Proyectos.

En el Capítulo II se trata de dar a conocer, con la extensión que permite un trabajo de esta naturaleza, el funcionamiento de una compañía de proyectos. Para ello hacemos mención de las opciones que existen como formas de organización para la compañía; de las funciones y objetivos a cumplir por cada departamento de la misma cuando asume una organización del tipo departamental, que se considera la adecuada para proyectos del tipo petroquímico; y de las actividades que se desarrollan en cada departamento para proyectos de este tipo, sus significados e interrelaciones, información básica para la creación del plan de trabajo y su programación.

En el Capítulo III se analiza la información publicada acerca de las técnicas de evaluación de redes de proyecto para poder expresar qué es, para qué fue creada y cómo funciona cada una de las técnicas tratadas.

Estas técnicas son las que actualmente gozan de mayor aceptación para proyectos industriales. En la parte final de este capítulo se presenta un resumen de las características, ventajas y desventajas de las técnicas frente a diversas consideraciones como son: sistemas de redes, programas de computadora, y requerimientos generales del proyecto. Del análisis de este resumen resulta la justificación del empleo del PERT para programar los proyectos petroquímicos y de refinación en una Compañía de Proyectos cuya organización sea del tipo departamental, características que reúnen varias de estas compañías en el país, una de las cuales es el Instituto Mexicano del Petróleo, sitio donde se desarrolló este trabajo.

En el Capítulo IV se muestra el mecanismo de la construcción de la red y los reportes que brinda la computadora, respecto al análisis de tal red, para facilitar la vigilancia, coordinación y control del proyecto.

CAPITULO I

Ingeniería de Programación dentro del desarrollo de un proyecto.

- I) DIFERENTES FASES EN EL DESARROLLO DE UN PROYECTO.

- II) IMPORTANCIA DE LA INGENIERIA DE PROGRAMACION.

I) DIFERENTES FASES EN EL DESARROLLO DE UN PROYECTO.

Básicamente, el objetivo del proyecto de una planta industrial consiste en: diseño, desarrollo y erección de una planta nueva; el diseño y erección de una anexa a una planta ya instalada ó, el arreglo y modernización de una planta que ya existía. El proyecto nace en el momento en que los ejecutivos de la empresa productiva, denominados como "Cliente" a lo largo de este trabajo, deciden que se debe estudiar el posible futuro del proyecto y se encarga a alguien para investigarlo. Se hace entonces un estudio preliminar y, si parece conveniente, se hacen análisis más detallados. De aquí toma el Cliente los datos necesarios para tomar una decisión sobre la conveniencia de autorizar tiempo, hombres y dinero para la ejecución del proyecto.

Para la mejor ejecución del proyecto debe contarse con la ayuda de la programación de proyectos que, mediante calendarios de proyecto y reportes de avance de la obra, entre otras cosas, ayudan a que se efectúe un control adecuado sobre todas las especialidades que laboran para el proyecto enfocándose principalmente sobre aquellas actividades que se reportan críticas para el proyecto. Con esto se logra obtener una mayor posibilidad de efectuar el trabajo en forma óptima y cumplir con la fecha propuesta de terminación. El programa de trabajo debe mostrar la evolución lógica del proyecto abarcando desde la investigación del proceso hasta el arranque de la planta.

La evolución lógica de un proyecto se lleva a cabo a través de las siguientes etapas:

1. Ingeniería Básica.
2. Ingeniería de Detalle.
3. Construcción.
4. Pruebas y Arranque.

A su vez la Ingeniería Básica se desarrolla en los siguientes pasos:

- 1.1. Investigación del proceso.
- 1.2. Evaluación comercial.
- 1.3. Desarrollo del proceso.
 - a) Estudio preliminar de ingeniería.
 - b) Planta piloto.
 - c) Planta semicomercial.
- 1.4. Adaptación a nivel comercial.

En seguida presentamos una descripción de cada una de las etapas mencionadas indicando la intervención de la programación, especialmente en aquellos puntos en que nos interesa hacerla resaltar de acuerdo con los objetivos de este trabajo.

1. INGENIERIA BASICA

1.1. Investigación del proceso.

La concepción de la idea del Cliente de crear una unidad productiva puede ser probada en su solidez mediante el uso de datos existentes pero frecuentemente es necesario llevar a cabo una investigación química para obtener una base más cuantitativa para la evaluación económica del proceso. En general, el objeto de la investigación del proceso es el de encontrar mediante investigación bibliográfica y trabajo de laboratorio si se puede fabricar el producto y cuales son los rendimientos.

El objetivo práctico de la investigación del proceso consiste en obtener datos científicos que permitan el diseño racional de un proceso de fabricación, con un gasto mínimo de tiempo y equipo en los estudios de planta piloto y en la operación del proceso final, bajo las condiciones más favorables y económicas con respecto a todas las variables tales como: la composición de la alimentación, espacio-velocidad, recirculación, calor y energía necesarios, y gradientes de temperatura. El objetivo es reducir el tiempo y gasto del traslado del proceso desde la idea hasta la construcción y arranque de la planta.

1.2. Evaluación de una posible comercialización.

El primer paso en muchos proyectos es un análisis económico y de ingeniería de los datos disponibles, antes de intentar cualquier trabajo de laboratorio. El objetivo de este análisis es determinar la potencialidad de un proyecto para la investigación y el trabajo de desarrollo subsiguientes y para una explotación eventual. En muchos casos, una comparación entre el precio de las materias primas y el producto terminado puede decidir un proceso.

La segunda etapa se alcanza después de que se ha completado parte o el total de trabajo de laboratorio planeado inicialmente. La evaluación de la ingeniería de los proyectos en la etapa de investigación se lleva a cabo por los siguientes motivos: 1) Hacer un análisis económico del proyecto, 2) Delinear las operaciones unitarias y los procesos químicos implicados en las operaciones, proyectadas para la fabricación, y 3) Saber qué información adicional será necesaria para completar el diseño del proceso y del equipo para una planta. Al completarse la evaluación hasta este punto se tendrá la base para una decisión respecto a la conveniencia de seguir adelante con trabajo de laboratorio adicional, o con el desarrollo del proceso y el trabajo de planta piloto.

La razón principal de preparar evaluaciones económicas y de ingeniería de un proyecto en estado de investigación es el de determinar, tan pronto como sea posible, si el proyecto es impracticable y sin bases. En el caso de que sean factibles dos o más procesos para la fabricación de un producto químico, la evaluación puede mostrar cual de los procesos es el más conveniente, pudiéndose concentrar el trabajo de investigación sólo sobre él. El análisis económico y de ingeniería se deben comenzar tan pronto como se disponga de un balance de material digno de confianza y se hayan delineado los detalles del proceso. Si las evaluaciones de ingeniería y económicas demuestran que el proyecto es interesante, se pueden indagar detalles sobre el costo de fabricación y sugerir métodos para reducirlo.

Requerimientos para la investigación y desarrollo. La evaluación señala que los estudios se deberían llevar a cabo en el desarrollo de un proceso para obtener del laboratorio de investigación y de la planta piloto información para el diseño del proceso. Se debe disponer de balances

de material y de energía de exactitud razonable, así como de las propiedades físicas de los materiales que se vayan a manejar. En general, el grupo de investigación del proceso presentará datos sobre las siguientes propiedades:

- a) Peso molecular.
- b) Punto de ebullición.
- c) Punto de fusión.
- d) Presión de vapor.
- e) Temperatura crítica.
- f) Presión crítica.
- g) Densidad.
- h) Relaciones de entalpía.
- i) Relaciones de mezclas líquido-vapor.
- j) Relaciones de Temperatura-entropía.
- k) Conductividades térmicas.
- l) Viscosidad.

1.3 Desarrollo del proceso.

a) Estudios preliminares de ingeniería.—Con objeto de poner en operación el proceso en consideración, se deben especificar tanto el equipo físico como las instalaciones necesarias. En el laboratorio se puede trabajar con aparatos de vidrio o con aparatos improvisados de pequeñas dimensiones mientras que la planta comercial necesitará equipo de grandes dimensiones y de materiales de construcción tales como metales de aleaciones especiales, materiales cerámicos o aceros recubiertos de vidrio. Los estudios de ingeniería se pueden dirigir hacia el desarrollo de equipos especiales que no sean comerciales y hacia las pruebas de este equipo, así como a la integración del equipo normal en el proceso completo. Esta es una de las funciones de la planta piloto.

b) Planta piloto.—Las plantas piloto son unidades de proceso, completas, de escala intermedia, que contienen todos los elementos esenciales para la fabricación del producto e incluyen los instrumentos de regulación.

La conversión de los datos de laboratorio proporcionados por el grupo de investigación en datos para el diseño de la planta es tan sólo una

de las funciones de la planta piloto. Esta labor necesita del establecimiento de un programa definido que incluye una investigación completa de las reacciones básicas y los reactivos, de los factores de temperatura, tiempo, concentración, catálisis, un estudio de materias primas, de las operaciones necesarias, de las especificaciones de regulación y de los riesgos de seguridad y salud. La planta piloto se debe utilizar para la selección del equipo y los materiales adecuados, proporcionar información para un estudio de la recuperación de subproductos y de los problemas que pueda presentar el deshacerse de los desperdicios.

Instrumentación.—Cuando el diseño de la planta piloto y su operación son parte del desarrollo del proceso es particularmente importante prestar atención a los problemas de regulación. Las necesidades de regulación del proceso son: 1) Balance de material, 2) Balance de energía, 3) Condiciones de calidad y 4) Condiciones de economía. La incorporación de la instrumentación del proceso debe ser realizada al inicio del desarrollo del proceso. La planta piloto cumple un papel muy importante al probar la instrumentación y la regulación automática. A su vez, la instrumentación proporciona los medios para obtener datos para el diseño del proceso.

c) Planta semicomercial.—La planta semicomercial, mayor que la planta piloto, tiene el propósito primordial de producir cantidades suficientes del nuevo producto para poder vender pequeñas cantidades. Sin embargo, todavía tiene un carácter experimental y sus propósitos son los mismos que los descritos para la planta piloto. La planta semicomercial presenta bastante utilidad en los casos de productos que son enteramente nuevos en el mercado. Cuando es éste el caso, se diseña una planta semicomercial mayor que la necesaria para una planta piloto puramente experimental y lo bastante grande como para permitir una producción económica, de forma que el producto se pueda vender al costo de fabricación. Esto permite al cliente profundizarse en el conocimiento de los costos de operación. La producción de la planta semicomercial se introduce en el mercado mediante un grupo encargado del desarrollo del mercado, grupo que está especializado en esta labor. A medida que crece la demanda, la planta semicomercial es operada a un porcentaje cada vez mayor de su capacidad; cuando se alcanza la capacidad máxima, se hacen preparativos para trasladar la producción a una planta comercial.

1.4. Planta comercial.

Si el proceso sobrevive a las pruebas de operación anteriores y si las estimaciones indican que el costo de producción será suficientemente bajo, el paso final del desarrollo —la planta comercial de gran capacidad— se puede llevar a cabo con la seguridad de que todos los riesgos, tanto técnicos como económicos, se han llevado a un mínimo.

Para seguir adelante con el proyecto se hace necesario contar con un equipo de personal suficientemente experimentado en el desarrollo de la ingeniería de proyectos industriales y dedicados a tiempo completo en ello. Otra posibilidad es que decida el Cliente relegar tal trabajo a una Compañía de Proyecto especializada. Supongámonos el caso más sencillo y lógico: el cliente no posee equipo de personal para la ingeniería ni para la construcción. Se decide entonces por convocar a concurso a varias Compañías de Proyecto y, tiempo más tarde, a convocar firmas constructoras para el trabajo de construcción. En las Compañías de Proyecto convocadas entra de inmediato en funciones el grupo de estimación de costos y el grupo de programación de proyectos, cuando se ha realizado un estudio de la propuesta del Cliente y ya se tiene idea de la magnitud del trabajo a realizar. El propósito de los dos grupos mencionados es hacer el estimado de costo total aproximado y el estimado de la duración total aproximada teniendo en cuenta que la magnitud y dificultad del trabajo a realizar consumiría un cierto número de horas-hombre cotizadas a un costo determinado en cada compañía, y para el estimado de la duración se requiere saber además las cargas de trabajo actuales y a futuro de acuerdo a los calendarios o programas de trabajo para los contratos que se tengan asignados.

El Cliente seleccionará entre los que le propongan los mejores estimados en costos y en tiempos, tomando en cuenta la experiencia de la Compañía en el ramo industrial requerido y el prestigio que haya logrado a través de tal experiencia.

Una vez que se ha hecho la selección, se proporciona a la firma de ingeniería elegida toda la información pormenorizada acerca del proceso que se propone, el sitio, disponibilidad y medios de transporte para materias primas y servicios de que se dispone y sus especificaciones, proporcionando también lo referente a lo que se requiere en productos y

deshechos: especificación, estado físico, volumen, etc. Para esta información existe un documento llamado "Bases de Diseño", que proporciona el Cliente y los jefes de departamento y jefe de proyecto discuten solicitando mayor información en los puntos que no estén suficientemente claros.

Una vez aceptado tal documento y en base a él, el primero en iniciar trabajos es el departamento de Proceso empezando por dibujar un esquema del proceso disponible para someterlo a depuración y editar de él una edición que debe aprobar el cliente. Esta última edición comprende las líneas principales del proceso, los equipos de proceso y la descripción del servicio que prestan, con la identificación de cada uno en clave, y los resultados del balance de materia y energía realizado en forma paralela. Con los comentarios del cliente se hacen las correcciones necesarias al diagrama y se edita una lista del equipo resultante en tal edición.

Esta es la información que necesita el personal de Programación para elaborar un programa calendario de trabajo llamado comúnmente Programa Parcial de Proyecto, puesto que sólo incluye hasta la terminación de esta etapa que es la Ingeniería Básica. También con esta información el personal de Costos emite un estimado más aproximado que el preparado para concurso. Por otro lado se edita un documento en que se programan los inicios y terminaciones del trabajo de cada uno de los departamentos involucrados y se definen las fechas de los eventos clave que servirán como base para monitorear y controlar el avance de la obra y pueden ser, por ejemplo, Fin de Ingeniería Básica, Fin de Ingeniería de Detalle, Fin de adquisiciones de equipo, Fin de adquisiciones de materiales, Inicio de construcción y Fin de construcción.

La Ingeniería Básica la llevan a cabo básicamente entre los departamentos de Proceso y de Ingeniería de Sistemas y se da por terminada cuando se tienen los siguientes documentos en edición aprobada para diseño de detalle.

- Diagrama de flujo de proceso,
- Diagramas de tuberías e instrumentación,
- Diagrama de balance de servicios auxiliares,
- Plano de localización general,
- Hojas de datos de equipo.

Estas ediciones de los documentos mencionados forman la base para el inicio de trabajos en la Ingeniería de Detalle y cayendo las demás ediciones de estos documentos dentro de la Ingeniería de Detalle. De estos documentos se toma la fecha que marca el fin de la Ingeniería Básica y puesto que no terminan en la misma fecha, se marca con la más tardía de éstas ediciones.

2. INGENIERIA DE DETALLE

Esta es la etapa realmente fuerte dentro de la ingeniería de un proyecto puesto que en la mayoría de los proyectos presenta una infinidad de partidas a realizar por parte de especialidades muy diversas, lo que le confiere a esta parte del proyecto una complejidad mayor que en las demás etapas del proyecto. Es necesario que la Compañía cuente con personal que conozca el trabajo de todas las especialidades que se encargue de canalizar el flujo de toda la información generada hacia sus manos a fin de revisar y llevar un control y registro de dibujos editados, de los estados de las adquisiciones de equipos y materiales, y se responsabilice de la coordinación del trabajo. Este grupo de ingenieros coordinadores actúa bajo el mando de un Jefe de Proyecto quien efectúa la toma de decisiones cuando se detectan atrasos en el trabajo, principalmente cuando se trata de actividades críticas, o cualquier otra desviación que amerite cambios en los planes, sea por prevenir o por corregir.

Al inicio de la Ingeniería de Detalle se debe elaborar el programa detallado de trabajo que ahora recibe el nombre de Programa General de Proyecto, que expresa la distribución en el tiempo de las partidas del proyecto en base a la evaluación de la red que se construye para el proyecto siendo consistente con sus requerimientos y los recursos disponibles. La construcción de tal red es necesaria puesto que no todas las actividades pueden empezar simultáneamente, debido a limitaciones técnicas y de recursos, y deben ser colocadas en una secuencia lógica ligadas mediante actividades ficticias para cumplir con los requisitos de la evaluación de redes de las técnicas modernas de programación. El uso de la red como herramienta básica de planeación permite al jefe de proyecto la identificación de los eventos clave. Identificando esos eventos clave y las interrelaciones indicadas por sus actividades asociadas, se especifica el procedimiento para alcanzar objetivos y, como consecuencia, los recursos que

serán necesarios. El paso previo a la programación es el estimado de tiempos a consumir por actividad. Estos estimados se obtienen del personal que ha de efectuar el trabajo, tomando en cuenta los recursos asignados, los datos estadísticos de plantas similares y todos los factores conocidos que afecten la terminación de la actividad bajo condiciones normales. El estimado de tiempos no considera los ajustes necesarios para adaptar a cada actividad dentro de un plan integral.

El primer ajuste es necesario si el tiempo requerido para completar el programa, según la ruta crítica de la red, excede al tiempo disponible. Debe hacerse una revisión de las actividades críticas, estudiar la posibilidad de reducciones en duración y/o realizar cambios en la estructura de la red mediante modificación en las interrelaciones. Este análisis lo efectúa el ingeniero de programación ya que es quien conoce la estructura original de la red, por haberla armado, y puede hacer uso de la computadora y la técnica de programación adecuada para identificar, evaluar y seleccionar alternativas buscando la reducción de la duración total del programa mediante la simulación mecanizada.

El segundo ajuste trata con la nivelación de recursos. Con el asesoramiento del ingeniero de programación, el jefe de proyecto debe considerar:

- a) La disponibilidad de recursos requeridos (material y humano) durante periodos específicos del proyecto,
- b) La secuencia general del proyecto,
- c) Los requerimientos de recursos por otros proyectos presentes o futuros,
- d) Demandas conflictivas y no conflictivas de los mismos recursos,
- e) La integración, mediante la programación, de varios planes empleando los mismos recursos,
- f) Verificar si es razonable el tiempo permitido para efectuar el trabajo, bajo las restricciones existentes,
- g) La posibilidad de autorizar horas extra al personal que haya de encarar restricciones técnicas.

Con los resultados de estos ajustes se procede a la asignación de fechas programadas a los eventos clave y a la modificación de interrelaciones. Cuando se ha logrado la consistencia deseada en la red se efectúa la corrida inicial definitiva imprimiendo y distribuyendo los programas

y reportes adicionales necesarios para que el trabajo se realice en forma coordinada y continua. Incluso, mediante programas complicados de computadora y un graficador adicionado a la computadora, es posible obtener gráficas de barra por partida localizadas contra fechas formando un programa-calendario del cual pueden obtenerse copias heliográficas y distribuirse a cada departamento, a coordinadores y a jefe de proyecto.

Durante la Ingeniería de Detalle de los proyectos se elabora el diseño de equipos, su dimensionamiento, especificación y compra, lo mismo que para materiales, componentes y partes de repuesto resultantes del diseño de la planta incluyendo material eléctrico, tuberías y sus accesorios. Por otro lado, se elaboran todos aquellos diagramas, planos y dibujos de detalle que sean necesarios para guiar eficazmente la fabricación, montaje y erección de equipos, sistemas y edificios que compondrán las instalaciones de la planta productiva y que sirvan, acompañados de manuales e instructivos, para base continua de referencia de operación y mantenimiento de la planta en funcionamiento.

En el siguiente capítulo se hace referencia detallada de cómo se desarrollan los diseños, dibujos, diagramas y demás actividades a que hicimos referencia.

Generalmente la actividad de la Ingeniería de Detalle empieza con el diseño de los equipos de proceso y de servicios puesto que de los datos de su diseño y dimensionamiento depende el inicio y desarrollo de muchas actividades y la terminación de las ediciones finales de algunos documentos iniciados en la Ingeniería Básica. De sus dimensiones y diseños dependen partidas como: Plano de localización general, arreglo y dimensiones del edificio de compresores, arreglo general de tuberías en la planta, diseño de soportes para tuberías, diseño de plataformas y escaleras, y de edificios y estructuras en general, cimentaciones de equipos y diseño de instrumentos.

Directa o indirectamente, con el diseño y dimensionamiento de los equipos de proceso y servicios, de las líneas de tubería y con los documentos de la Ingeniería Básica, inician y se desarrollan las actividades de las especialidades de Análisis de Esfuerzos, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Civil, Arquitectura y Automatización.

Una vez que se ha iniciado la obra y se cuenta con la versión revisada de la red y los programas, el siguiente paso es la actualización del programa, evaluación del avance logrado y ejercer la función de control.

La actualización del programa calendario consiste en reportar las fechas reales de inicio y terminación de las actividades incluyendo las reprogramaciones en caso necesario, con las consiguientes modificaciones del plan. El avance de la obra se expresa mediante curvas, que es el documento más ilustrativo, graficando curvas reales y programadas que se calculan en base a porcentajes de peso relativos para cada partida del proyecto, asignados de acuerdo a su importancia para el avance, afectadas por las horas-hombre autorizadas para cada una, tomando en cuenta el porcentaje por actividad dentro de cada partida. El procedimiento de cálculo del avance puede ser de muchas maneras, teniendo como parámetro aquél recurso que se considere como crítico o más importante, pudiendo ser el tiempo, el costo, las horas-hombre consumidas o una conjunción de todos ellos. Esta información actualizada se retroalimenta para su procesamiento, evaluación y su conversión a acción, directiva del jefe de proyecto. La evaluación continúa de los planes existentes mediante comparación con las condiciones reales proporciona al jefe de proyecto y al ingeniero de programación un medio continuo para checar las áreas críticas del programa y elaborar un estimado actualizado de la probabilidad de lograr los objetivos propuestos. Además, les permite consideraciones de tiempo y costo de las alternativas de acción para el control, y la evaluación de su impacto sobre los objetivos finales. Para lograr un control efectivo del programa, este ciclo regular de reporte, análisis, toma de decisiones y dirección debe empezar tan pronto en el programa como sea posible y debe ser continuo durante toda la vida del proyecto. Este control efectivo logrará que el proyecto marche de la manera más rápida y eficiente, lo cual representa un beneficio directo para el Cliente en su inversión y reperdute en el prestigio de la Compañía de Proyecto y, por supuesto, en la rentabilidad de la misma.

3. CONSTRUCCION

Para convocar a cotización a Firmas de construcción se tiene que contar con planos, diagramas y dibujos suficientes para que las firmas convocadas se den cuenta de la magnitud del trabajo a realizar, y conocer el estado real y programado de las adquisiciones de equipos y materiales para poder estudiar la propuesta y hacer estimados de tiempo y costo de la construcción de la planta. Los documentos a que hacemos mención pueden ser las ediciones definitivas del plano de localización general, el

plano general de cimentaciones, el plano de distribución de fuerza y el de tubería subterránea, entre otros. En el caso más general esta información se tiene disponible con varios meses de anticipación a la fecha prometida más temprana de entrega de equipo o material en la planta, debiendo ser un tiempo suficiente para que el cliente elija constructor y empiece la preparación del sitio de la planta.

Los aspectos más relevantes de la etapa de Construcción son como a continuación se describe:

Selección del contratista de Construcción:

La selección se lleva a cabo evaluando propuestas y prestigio de los contratistas concursantes. Se estudia la experiencia en el ramo industrial solicitado, experiencia en la zona elegida para la planta, monto de los trabajos elaborados en los últimos años, presupuesto y garantías ofrecidas, etc. Al contratista elegido se le exige seriedad y calidad de mano de obra puesto que en esta parte del proyecto, aún contando con el respaldo de la mejor calidad de Ingeniería y las más convenientes adquisiciones, cualquier retraso o decisión errónea es causa de gastos no previstos que no son factibles de diluir por ser, esta sola actividad, la causante de ello.

La labor del Contratista:

El contratista recibe la facilidad de elegir entre dos opciones:

- Emplear subcontratistas locales con mano de obra calificada para las diferentes actividades de la Construcción, siempre y cuando garantice un ritmo continuo de trabajo.
- Emplear su propio equipo de constructores con la ventaja de mantener un mejor control sobre la labor efectuada por cada empleado y, la de garantizar menores costos al emplear un equipo más reducido.

En ambos casos el personal del Contratista es quien realiza la coordinación y revisión de la Construcción.

El contratista cuenta con los dibujos elaborados en la fase de Ingeniería para planear la preparación del lugar y poder recibir equipo y materiales durante la erección de la planta.

La primera etapa de la Construcción es la preparación del sitio elegido. Después de que los topógrafos trazan los linderos de la planta y los puntos de referencia entran grandes máquinas a remover árboles, matorrales, piedras grandes, construcciones existentes y obstáculos subterráneos seguido de la nivelación del área. La preparación continúa con la construcción de locales provisionales habilitados para oficinas, almacenes, sanitarios, vestidores, dormitorios, etc., también hay que procurar agua y energía eléctrica para la construcción.

La construcción permanente inicia con las excavaciones, tanto para pilotes y cimentaciones, como para las instalaciones subterráneas eléctrica y de tubería, debiendo empezar el hincado de pilotes tan pronto como sea posible, para poder terminarlo antes de dar principio el trabajo de cimentación. De esta manera, puede evitarse el daño al concreto fresco; se sigue con la instalación de los cimientos de concreto, la instalación subterránea de tuberías y de conduit eléctrico.

Mientras esto se realiza, otras cuadrillas de trabajadores realizan desviaciones en carreteras y espuelas de ferrocarril para llevar el equipo grande a la obra, y calles para dar acceso a todas las partes de la obra a camiones y equipo de construcción.

La recepción del equipo puede iniciarse a partir de este momento y se puede comenzar con las estructuras de acero. El plan de trabajo debe estar basado en el montaje del equipo pesado y de los grandes recipientes. Es más sencillo instalar el equipo pesado antes que el equipo menor asociado; por tanto, después que se montan las estructuras de apoyo empieza la instalación del equipo principal. El montaje de las tuberías superficiales comienza después que se instala el equipo principal y continúa durante todo el periodo de construcción, junto con la instalación eléctrica. La secuencia a seguir en esta parte es: Primero la tubería de grandes dimensiones; seguido de tubería menor y la tubería de conducción de aire de instrumentos y, después, el trabajo eléctrico. Cuando ya se ha instalado buena parte de los equipos y la tubería, se inicia la labor de pintura y aislamiento de los mismos.

Los planes de Construcción, hechos de tal manera que se coordinara el trabajo de construcción con la entrega de equipo y materiales, deben revisarse y reajustarse continuamente debido a los cambios de condiciones experimentadas en el campo de construcción.

Cuando ya todo el equipo principal se encuentra colocado, se instala el equipo menor que se apoya en los aparatos más grandes. Los materiales más frágiles como instrumentos, aparatos eléctricos, y tuberías pequeñas se instalan también en las etapas finales para disminuir la posibilidad de que se dañen.

4. PRUEBAS Y ARRANQUE

Las operaciones preliminares de preparación para el arranque de la planta, inician antes que el personal de Construcción desaloje el área. El equipo se prueba a presión, se hacen pruebas de operación de equipos y tuberías, mientras el lugar se limpia y se pone en orden, se desmontan los edificios provisionales. Cuando el equipo de Construcción sale de la obra se ejecuta la prueba de arranque para checar el comportamiento de la unidad simulando operación definitiva, demostrando que la cantidad y calidad del producto pueden producirse con facilidad, posiblemente efectuando algunas correcciones, pero esta prueba significa, si se realiza con éxito, la aceptación de la unidad por el Cliente.

II) IMPORTANCIA DE LA INGENIERIA DE PROGRAMACION.

Para alcanzar el objetivo completo del desarrollo de un proyecto no es solamente importante el empleo de la mano de obra más competente y de las técnicas y los métodos más avanzados de diseño y cálculo, sino que es también muy importante que la obra se desarrolle en los tiempos y condiciones programadas, lo cual depende de una programación realista y suficientemente detallada.

La Ingeniería de Programación es una parte activa dentro del desarrollo de un proyecto y es de vital importancia para asegurar la completa coordinación de las actividades a efectuar y, por lo tanto, para alcanzar los mejores niveles de eficacia en la optimización del empleo de los elementos: humano, material y económico.

El cumplir con esta condición repercute no sólo en la satisfacción del cliente por la prontitud y calidad del trabajo recibido, también muestra importancia en el resultado económico-financiero de la obra, pues el hecho de realizarla de acuerdo con todas las especificaciones técnicas y en el tiempo prometido, dará prestigio a la compañía de proyecto, que desde luego redundará en beneficio futuro para la misma. Esto significa que se realicen los objetivos de la empresa, ya que es importante para sus propietarios el recibir una utilidad razonable en función de la inversión que tienen hecha. Así mismo, el personal de la compañía deseará estar en una organización cuyas utilidades vayan de acuerdo con la inversión y el volumen de obra que realicen, lo que desde luego repercute en su beneficio.

Estas son las razones principales que hacen indispensable que el jefe de proyecto se preocupe por vigilar el desarrollo de las operaciones desempeñadas en cada una de las disciplinas participantes y estar al

tanto del avance de las mismas comparando con el avance programado para que en base a esa información, se tenga la completa seguridad de que las medidas que se consideren necesarias, rendirán los efectos deseados al aplicarlas, se trate de medidas del tipo preventivo o del tipo correctivo.

El jefe de proyecto necesita ejercer una estrecha vigilancia del desempeño del proyecto, para ello debe recibir periódicamente los documentos elaborados por la Ingeniería de Programación, entre ellos:

- El programa de trabajo del proyecto actualizado a la fecha.
- El estado de las actividades críticas y semicríticas del proyecto.
- Una medida de la criticidad de cada una de las actividades del proyecto.
- El estado de avance o retraso de las actividades del proyecto relativo al estado programado en calendario.
- El consumo programado y real de horas-hombre, por especialidad y total.
- El porcentaje consumido de tiempo, avance en el trabajo y en las horas-hombre, con respecto al programado, por intervalo de tiempo (mes, semana, día, etc.), y acumulado hasta la fecha de reporte.

Toda esta información la genera el Ingeniero Programador en base a los datos obtenidos mediante contacto permanente con los especialistas de proyecto, los reportes periódicos de horas trabajados por contrato y por actividad, apoyado en alguna de las técnicas existentes para programación de proyectos y estudios estadísticos sobre proyectos ya terminados.

CAPITULO II

Organización y funciones en una Compañía de Ingeniería de Proyecto.

- I) FORMAS DE ORGANIZACION.
- II) ORGANIZACION TIPO DEPARTAMENTAL: OBJETIVOS Y FUNCIONES.
- III) ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN PROYECTOS DEL TIPO PETROQUIMICO O REFINACION.

I) FORMAS DE ORGANIZACION.

Es importante hacer mención de las formas de organización que puede adoptar una compañía de proyecto, puesto que de esa forma depende el tipo de trabajo que pueda desarrollar con mejor eficiencia y en el menor tiempo. Existen, principalmente, dos maneras en las que una compañía de proyecto puede firmar los contratos de trabajo, a saber:

- Contratos a precio alzado.
- Contratos a precio fijo.

De estos dos tipos se derivan un gran número de variantes que se adaptan a los requerimientos del cliente y posibilidades de la compañía y pueden adoptarse combinaciones entre estos casos extremos, por ejemplo: efectuar la Ingeniería Básica del proyecto a Precio Fijo y la Ingeniería de Detalle a Precio Alzado, esto es cuando se tiene bien definida la labor básica para la compañía y, sin embargo, no tener bien establecida la labor de detalle. En un contrato a precio alzado la negociación es rápida, pues no requiere la completa definición de los servicios ofrecidos los cuales pueden irse especificando durante el desarrollo del trabajo. Bajo éstos términos el cliente se reserva el derecho de intervenir en el proyecto en la corrección y/o aprobación de los documentos editados por la compañía, en la selección de fabricantes y proveedores, etc.

En el contrato a precio fijo la intervención del cliente se ve bastante restringida y toda la responsabilidad del diseño y adquisición queda en manos de la compañía. Este es el caso en que los servicios requeridos por el cliente están completamente definidos y, por lo tanto, se puede hacer una estimación bastante confiable del tiempo de terminación del trabajo y del costo derivado de su realización.

Organización Departamental:

Cuando el contrato se firma a Precio Alzado o alguna de sus variantes (como lo exigen los proyectos de Investigación y Desarrollo, entre ellos los petroquímicos puesto que difícilmente se tiene una definición completa del trabajo requerido cuando se firma el contrato) es necesario adoptar la organización del tipo departamental. En esta estructura el personal se organiza en grupos, tantos como disciplinas técnicas y administrativas se requieran. Como ejemplo, para proyectos Petroquímicos, se pueden mencionar los Departamentos: Ingeniería de Tuberías, Ingeniería de Sistemas, Instrumentación, Recipientes, Ingeniería Mecánica, Civil, entre otros. Cada grupo se hace responsable de su porción correspondiente de todos los contratos asignados a la compañía. Así, por ejemplo, el Depto. de Arquitectura se encarga de todo lo relacionado a diseños, planos y dibujos arquitectónicos para cada una de las plantas diseñadas en la compañía.

Cada departamento o grupo está encabezado por un jefe, que es quien se encarga de la asignación de personal al trabajo según instrucciones del jefe de proyecto y es quien está al tanto del estado de avance o retraso de cada uno de los contratos y en contacto con el personal del jefe de proyecto. Para la labor de coordinación y control del proyecto se cuenta con un jefe de proyecto auxiliado por un equipo de personal encargados de coordinar la correspondencia interdepartamental, previa revisión de documentos y chequeo de que se efectúen en las fechas programadas, sobre todo para aquellas partidas y/o actividades que constituyan la ruta crítica. Para efectuar las labores de control mediante acciones preventivas o correctivas se ponen en contacto con los jefes de departamento, y no directamente con el personal, mediante juntas.

Se han logrado detectar las siguientes ventajas y desventajas de esta forma de organización en compañías de proyecto:

Ventajas:

- 1.—Hay un contacto entre los especialistas de un área común o departamento.
- 2.—La experiencia ganada en proyecto, que se hace colectiva debido al contacto mencionado, puede aplicarse a trabajos posteriores.
- 3.—Todos los proyectos se benefician con la aplicación de las mejores técnicas disponibles.

Desventajas:

1.—El personal que labora en un departamento no puede asumir una responsabilidad definida en cuanto al progreso o retraso de un proyecto específico debido a que cumple para varios proyectos a la vez, lo único que debe respetar es el orden de prioridad asignado a los contratos en función.

2.—Debido a la centralización del trabajo no se puede esperar una respuesta rápida, mediante la aparición de los efectos deseados, a los cambios ordenados por el jefe de proyecto por vía del jefe de departamento. Esto puede ser fuente de fallas en el control del programa y costo del proyecto.

Organización por Grupo Especial (Task Force):

Para el tipo de contratos a precio fijo, en los cuales el tiempo de entrega generalmente es inaplazable, con grandes riesgos financieros, dependiente del cumplimiento de un programa, ha surgido la conveniencia de la creación del Grupo Especial como organización para el manejo de proyectos. Este sistema funciona asignando un grupo de personal al mando de un jefe de proyecto. En este caso las labores de coordinación y control las lleva a cabo el jefe de proyecto en forma personal mediante la asignación, a cada individuo, del trabajo propio de su especialidad; además, revisa la edición de documentos para el cumplimiento de las especificaciones y de los tiempos programados de terminaciones e inicios de las actividades de proyecto, poniendo especial atención en las actividades de la ruta crítica. Para las actividades de compras y dibujos, al igual que de programación, se designa personal especial para cada contrato y darle, a cada uno de los proyectos, total independencia para el desempeño de sus labores. El lugar de trabajo para cada grupo es una oficina o área delimitada separada de las demás.

Entre las ventajas y desventajas más notables de esta forma de organización podemos nombrar las siguientes:

Ventajas:

1.—El manejar cada proyecto como entidad diferente conduce a tener respuestas rápidas a los cambios y, por lo tanto, a un mejor control del proyecto.

2.—Este sistema se presta a que las relaciones con el Cliente sean mejores y más directas, características necesarias para los contratos a precio fijo.

3.—Si el cliente así lo desea, puede lograrse un manejo absolutamente confidencial de la información relacionada con el proyecto.

4.—El objetivo del trabajo es el proyecto en sí, eso conduce a lograr una mejor eficiencia.

Desventajas:

La total independencia con que trabaja cada grupo trae como consecuencia:

1.—Menores oportunidades de especialización del personal.

2.—El intercambio técnico dentro de la compañía se ve restringido.

3.—Involucra tiempos perdidos en la transferencia de personal de un contrato a otro.

4.—La fuerza técnica colectiva de la compañía tiende a reducirse a causa de la formación de grupos independientes.

Organización Combinada:

Para que una compañía de ingeniería pueda cubrir ambos tipos de contrato y sus variantes, combinando las ventajas que ofrecen los tipos de organización mencionados, conviene adoptar una forma de organización combinada. Mediante este sistema el proyecto sigue ejecutándose bajo la dirección de un jefe de proyecto con su personal de coordinación, control y programación como auxiliares, conservando al personal agrupado en departamentos al mando de su respectivo jefe de departamento. El jefe del departamento será el encargado de la designación del personal idóneo para un determinado proyecto en contrato a precio fijo, manteniéndose en contacto con el personal como consultor.

II) ORGANIZACION TIPO DEPARTAMENTAL: OBJETIVOS Y FUNCIONES.

En esta sección presentamos los objetivos de los departamentos y su intervención en la realización de los proyectos incluyendo un esbozo de las funciones que efectúan con el fin de que se tenga una visión global del desarrollo de un proyecto en el marco de una organización departamental.

Departamento de Investigación y Desarrollo de Ingeniería:

Objetivos: Alcanzar el nivel tecnológico necesario y dar a la compañía la capacidad de elaborar el diseño de la ingeniería básica de nuevas plantas industriales.

Funciones:

- Desarrollar mejores métodos de cálculo, que faciliten la elaboración de los balances de materia y energía de proceso.
- Estudiar el comportamiento de las plantas y equipos existentes, analizando los sistemas de control básico.
- Desarrollar métodos de cálculo mecanizados para dimensionar equipos de proceso.
- Buscar y desarrollar métodos para el cálculo de las propiedades termofísicas de componentes y de fracciones de petróleo multi-componentes.

Departamento de Proceso:

Objetivos: Lograr que el diseño de proceso cumpla con las características de ser adecuada y realizable, para lo cual es necesario aplicar los métodos más adecuados e ingeniería de la mejor calidad.

Funciones:

- Efectuar los balances de materia y energía del esquema del proceso que haya sido seleccionado como el mejor para los requerimientos establecidos.
- Calcular las dimensiones del equipo básico de proceso.
- Calcular los requerimientos de servicios para la planta.
- Participar en ciertas actividades de la compra de los equipos de proceso que así lo requieran.

Departamento de transferencia de calor:

Objetivos: Realizar todas aquellas actividades relacionadas con el equipo de transferencia de calor, desde el diseño hasta la adquisición.

Funciones:

- Diseñar los equipos de transferencia de calor que cumplan los requerimientos establecidos para cada proyecto.
- Dimensionar, con carácter de preliminar, todo el equipo de transferencia de calor requerido para los proyectos manejados por la compañía.
- Realizar el diseño termodinámico y mecánico del equipo de transferencia de calor, o revisar que se cumplan los requerimientos necesarios, si el diseño lo lleva a cabo el fabricante del equipo.
- Colaborar con la adquisición del equipo, elaborando sus especificaciones y evaluar las cotizaciones presentadas por los fabricantes.

Departamento de automatización:

Objetivos: Elaborar el diseño de los sistemas de control automático de los procesos, de tal manera que cumplan con las características de control deseadas por el Cliente.

Funciones:

- Colaborando con los Departamentos de Proceso y de Ingeniería de Sistemas, definir todo lo relacionado con diagramas, especificaciones, requisiciones, etc., para la instrumentación y componentes necesarios en cada proyecto.

Departamento de Ingeniería de Sistemas:

Objetivos: Completar el desarrollo de la Ingeniería Básica de los proyectos.

Funciones:

- Hacer el arreglo o acomodamiento del equipo en el área física disponibles.
- Elaborar los Diagramas de Tubería e Instrumentación para los sistemas requeridos para cada planta.
- Realizar el dimensionamiento de tuberías, válvulas de seguridad y de control.
- Diseñar los sistemas de desfogue y los sistemas de protección contra incendio de cada planta.
- Elaborar las especificaciones generales y revisar el cálculo hidráulico de las tuberías.

Departamento de Ingeniería de Tuberías:

Objetivos: Efectuar el diseño y arreglo de tuberías y accesorios, parte importantísima de las plantas industriales, utilizando los métodos y criterios más eficientes en calidad y tiempo, regidos por las normas y especificaciones aprobadas por el Cliente.

Funciones:

- De acuerdo a las características del fluido en las tuberías, seleccionar el material adecuado para los servicios requeridos.

- El diseño de tales tuberías deberá ser tal que se llenen los requisitos de seguridad, montaje, operación, mantenimiento y economía.
- Elaborar los dibujos de detalle y dibujos isométricos para taller que sean necesarios para que, tanto fabricación como montaje de tuberías sea lo más preciso y económico.

Departamento de Ingeniería Civil:

Objetivos: Desarrollar la Ingeniería Civil en el nivel necesario para hacer posible la ejecución de los contratos manejados por la compañía.

Funciones:

- Elaborar dibujos de detalle, especificaciones, lista de materiales de construcción, etc., como sean necesarios para la correcta ejecución de los elementos civiles (cimentaciones, estructuras y edificios) de las plantas industriales.

Departamento de Ingeniería Mecánica:

Objetivos: El desarrollo de la ingeniería de diseño de los equipos mecánicos. Así mismo, hacer la selección del mejor equipo mecánico.

Funciones:

- Llevar a cabo diseño, cálculos y dibujos para todo lo concerniente en los aspectos termodinámico, hidráulico y mecánico de los equipos que así lo requieran.
- Proponer partes de repuesto para los mismos y seleccionar al mejor fabricante.
- En caso necesario, elaborar los planos de la maquinaria.

Departamento de Ingeniería Eléctrica:

Objetivos: Desarrollar las técnicas más calificadas y competitivas en materia de Ingeniería Eléctrica.

Funciones:

- Llevar a cabo el diseño, cálculos y dibujos concernientes a la Ingeniería Eléctrica de las plantas, incluyendo: alumbrado, control, comunicaciones, sonido y teléfonos.
- Elaborar las especificaciones de equipo y materiales, su requisición, recibir cotizaciones, tabularlas y elaborar las órdenes de compra para equipo y materiales.

Departamento de Recipientes:

Objetivos: Desarrollar la Ingeniería de Detalle de los recipientes para las plantas industriales diseñadas en la compañía.

Funciones:

- Realizar el estudio de vientos y sismos de la región donde se erigirá la planta.
- Estudiar las cargas externas en cascarones y boquillas.
- Seleccionar el material de construcción adecuado. Calcular recipientes especiales.
- Participar en la selección del fabricante de recipientes, torres, reactores, y sus accesorios internos.

Departamento de Análisis de Esfuerzos y Dinámica de Rotores:

Objetivos: Hacer que los sistemas de tuberías de las plantas diseñadas por la compañía cumplan con los códigos adoptados sobre flexibilidad, soportería y efectos de impuestos sobre aquellos equipos a los cuales interconectan.

Funciones:

- Efectuar el análisis de los esfuerzos producidos en los sistemas de tuberías por efectos de temperatura, presión y peso propio.
- Hacer el diseño de juntas de expansión y soportes para tuberías.

- Efectuar la revisión técnica de resortes y juntas de expansión, y elaborar las órdenes de compra.
- Llevar a cabo estudios especiales como son: revisión de recipientes de pared gruesa, análisis dinámico de cimentación de equipo rotatorio y otros.

Departamento de Compras:

Objetivos: Obtener los mejores niveles de precios y calidad, así como tiempos de entrega, en la compra de los equipos y materiales necesarios para los proyectos de la compañía.

Funciones:

- Vigilar el cumplimiento de tiempos razonables en la obtención de información técnica y comercial.
- Mantener la coordinación con los proveedores para revisar que la fabricación del equipo adquirido a nombre del cliente cumpla con las especificaciones prefijadas.
- Elaborar y controlar las emisiones y recepciones de los documentos y la información técnica de los proveedores con que se tenga **contacto**.
- Reportar los estados mensuales del avance de fabricación de equipos y materiales solicitados.

Departamento de Arquitectura:

Objetivos: Desarrollar los diseños arquitectónicos necesarios para los proyectos mediante la elaboración de planos y documentos, basados en la utilización de las técnicas más avanzadas en la materia.

- Colaborar en la elaboración de bases para concurso.

Funciones:

- Elaborar los planos arquitectónicos de la planta, fachadas, cortes, detalles e instalaciones tanto sanitaria como hidráulica.
- Formular las especificaciones y documentos necesarios para la contratación de obras.

Departamento de Costos:

Objetivos: Lograr que las estimaciones de costos de realización de cada proyecto sean confiables dentro de los límites acordes a la información disponibles.

Funciones:

- Elaborar y actualizar los controles de costos de ingeniería, de equipos y materiales.
- Elaborar los informes de costos de ingeniería y los informes de adquisiciones.
- Actualizar los costos-horario de ingeniería.

Departamento de Programación:

Objetivos: Lograr la optimización en el empleo de recursos humanos, materiales y financieros, mediante la aplicación de las técnicas más adecuadas en el campo de la Programación.

Funciones:

- Planear y programar las actividades del Departamento.
- Elaborar un programa de trabajo para cada proyecto que se desarrolle en la compañía.
- Elaborar y actualizar los programas de los proyectos. Reprogramar los proyectos, cuando sea necesario.
- Elaborar y actualizar las Curvas de Avance de cada proyecto mostrando el avance del proyecto en relación a tiempo, trabajo y horas-hombre consumidas y comparar con las programadas.
- Estudiar la disponibilidad y programación de recursos.
- Asesorar al Jefe de Proyectos en la toma de decisiones pertinentes para seguir, lo más fielmente posible, el calendario de proyecto elaborado al inicio del mismo.

III) ACTIVIDADES A DESARROLLAR EN PROYECTOS DEL TIPO PETROQUIMICO O REFINACION.

En esta sección presentamos las más importantes de las actividades a realizar para un proyecto de Petroquímica o de Refinación como los que actualmente se vienen desarrollando en el INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO principalmente para PEMEX.

Con esto podemos darnos una idea de la magnitud y complejidad de las redes resultantes de proyectos industriales y entenderemos el porqué de efectuar una programación y control del progreso de la obra mediante técnicas de programación efectivas en este tipo de proyectos. A la par, se justifica el empleo de máquinas computadoras para la cantidad de cálculos que se han de efectuar al obtener los datos necesarios y en la presentación más útil, al analizar la red actual (real) o evaluar las alternativas resultantes de diferentes criterios de planeación dirigida hacia objetivos. Esto es comprensible dado el ahorro de tiempo y esfuerzo que brindan los programas de computadora ampliamente conocidos que generalmente se surten con cada máquina.

Las relaciones y restricciones técnicas entre partidas de un mismo proyecto se traducen en relaciones restrictivas y/o actividades ficticias a considerar en el armado de la red.

Dentro de la descripción de la partida y del documento que elabore se hace mención a los nombres que recibe cada actividad de acuerdo a su naturaleza. Las actividades a realizar dentro de un proyecto se pueden agrupar en dos tipos que son: Actividades de Diseño y Actividades de Adquisición. Las primeras se efectúan con el fin de establecer o seleccionar el mejor diseño, dimensiones óptimas respecto a costo y eficiencia, y definir las condiciones de trabajo requeridas por el proceso para, con

toda esta labor, proporcionar los documentos (diagramas, planos, dibujos, hojas de datos, etc.) que hagan falta para compra-fabricación en caso de equipos y materiales, y para construcción y erección-montaje en el caso de sistemas en general. También se han de analizar propuestas de los fabricantes y proveedores convocados a concurso respecto a equipos y materiales, hacer la selección y someterla a aprobación del Cliente, revisar los dibujos de taller para todos los equipos y materiales, haciendo las correcciones pertinentes para asegurar el correcto cumplimiento de las características necesarias, así como la mejor calidad de material y mano de obra.

Las Actividades de Adquisición son las efectuadas por el departamento de Compras de la Compañía consistentes en: elaborar las solicitudes de cotización, recibir cotizaciones, colocar órdenes de compra con el proveedor o fabricante seleccionado, así como recibir y distribuir los dibujos preliminares y certificados de fabricantes y proveedores.

Las claves que se asignan para identificación de las actividades de cada partida en los datos que se alimentan a la computadora son como sigue:

- 02 Cálculos de propiedades y/o dimensiones
- 03 Diseño del arreglo del sistema en cuestión
- 04 Dibujo preliminar del diseño
- 05 Juntas de depuración
- 06 Dibujo para aprobación
- 06D Dibujo aprobado para diseño de detalle
- 07 Dibujo o especificación aprobado para construcción
- 08 Preparación de los documentos de requisición para concurso
- 09 Solicitud de cotizaciones
- 10 Recepción de cotizaciones
- 11 Tabulación de cotizaciones
- 12 Aprobación por el cliente
- 13 Documentos de compras
- 14 Recepción de los dibujos preliminares del fabricante
- 15 Revisión de los dibujos preliminares del fabricante
- 16 Recepción de dibujos certificados del fabricante
- 17 Terminación de fabricación y embarque.

El agrupamiento que se observa en las partidas corresponde al departamento responsable de efectuarlas mientras que, el orden en que se presentan los departamentos es el que normalmente siguen en su intervención durante el desarrollo de la Ingeniería de los proyectos en la Compañía.

DEPARTAMENTO DE PROCESO

1.—**Diagrama de flujo de proceso.**—Se trata de la creación de la secuencia más adecuada para los requerimientos del proceso en la elaboración de productos a partir de las materias primas disponibles con el máximo de rendimiento.

Además de la secuencia de flujo se hace el balance de materia y energía del mismo que sirve para la evaluación de la cantidad de servicios necesarios y su naturaleza.

Todo esto, se expresa en un dibujo que contiene: equipo de proceso y líneas de flujo, las principales válvulas de control y la variable de control, equipo auxiliar, en cada línea se indica con una banderola las condiciones de temperatura y presión del fluido, con un hexágono se indica el porcentaje de vapor si es flujo a dos fases y un número de identificación en cada línea para referencia en el cuadro sinóptico del balance de materia y energía y análisis de las corrientes localizado en el extremo superior de este diagrama. En este cuadro se incluye para cada corriente: condiciones de operación (temperatura, presión y gasto), densidad, composición, peso molecular aparente o API. Para cada equipo se indica además el servicio que presta y la capacidad requerida.

Etapas: 02/03, 04, 06, 05, 06D, 07.

Información Contendida: 04 Arreglo de la secuencia de flujo, nombre e identificación del equipo. 06D Lo anterior en forma y dimensiones de diagrama incluyendo: balance de materia y energía, dimensionamiento preliminar del equipo y el análisis y condiciones de cada una de las corrientes de proceso. 07 Lo anterior más las modificaciones causadas por el dimensionamiento definitivo de los equipos con la información de los fabricantes.

2.—**Hojas de datos de equipo.**—Elaboración de las hojas de datos para todos los equipos incluidos en el diagrama de flujo de proceso, a excepción de las hojas de datos de bombas y de válvulas de control. En

estas hojas se anota el número requerido de unidades, las características del fluido y sus condiciones, la capacidad requerida y, en general, un dimensionamiento preliminar. Además se especifican detalles esenciales de diseño, por ejemplo superficie de transferencia en equipos de transferencia de calor, tipos de malla y su espesor para recipientes separadores, etc. Cada conjunto de hojas de datos de un mismo tipo de equipo, se considera una partida independiente pues cada equipo tiene un destino específico.

Etapas: 02 Incluye toda aquella información que extraída del Diagrama de flujo pueda utilizarse para el cálculo y especificación del equipo en cuestión.

3.—**Lista de equipo.**—Es una lista del equipo con su dimensionamiento preliminar y el servicio que presta, su información se toma del Diagrama de flujo para todos los equipos.

Etapas: 06, 07.

Información Contendida: 06 Nombre, identificación y dimensiones preliminares (longitud y diámetro o potencia o capacidad, etc.). 07 Se actualiza con las dimensiones definitivas calculadas por el especialista correspondiente.

4.—**Diagrama de balance de servicios auxiliares.**—Es el documento en que se indican las operaciones a efectuarse con vapor de proceso, vapor de calentamiento, vapor de fuerza, agua de enfriamiento, combustible, etc., las condiciones y gastos necesarios de cada uno de ellos y la identificación del equipo de proceso en que actúan.

Etapas: 02/06, 06D, 07.

Información Contendida: 02/06 Gastos y condiciones de los servicios, arreglo de las corrientes. 06D Lo anterior más las modificaciones que el Cliente considere necesarias. 07 Incluye las modificaciones en los gastos y/o condiciones motivadas por el dimensionamiento definitivo de los equipos.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE SISTEMAS

5.—**Plano de localización general.**—Plano que contiene la situación del área de la planta con el arreglo del equipo, la soportería de tubería, áreas de almacenamiento, cuartos de control de motores, cuarto de calderas, oficinas, calzadas, etc. Para localizar el equipo se debe contar con dimensiones del área de la planta, orientación y localización geográfica, principales vías de acceso al lugar como vías de ferrocarril, ríos, puertos marítimos, carreteras y la dirección de los vientos dominantes y reinantes, facilidades de servicios de agua, electricidad, combustibles y los sitios de acometida de los mismos. Todo lo localizado en el plano va en rigurosa escala, vista en planta, indicando coordenadas a centros de equipos en relación a los ejes norte-oriente de límites de batería.

Etapas: 04, 05, 06, 06D1, 06D2, 07.

Información Contendida: 04 Bosquejo del arreglo escogido. 06 Localización del equipo mayor con dimensiones preliminares y trayectoria de la soportería de tubería. 06D1 Correcciones por revisión interdepartamental y con jefes de departamentos. 06D2 Incluye dimensiones definitivas de los equipos excepto compresores y bombas. 07 Incluye compresores y bombas en dimensiones dadas por el fabricante y dimensiones definitivas de estructuras metálicas.

6.—**Diagrama de tubería e instrumentación (DTel's).**—También conocidos como Diagrama de Flujo Mecánico, presentan detalles de tipo mecánico de la planta que son base para el diseño mecánico de recipientes y tuberías, para ingenieros electricistas e instrumentistas y otras especialidades que no necesitan directamente de detalles de proceso. En este documento se resume la información resultante del dimensionamiento del equipo, dimensiones y tipo de todas las válvulas y todos aquellos detalles necesarios para asegurar una base común de trabajo para los varios grupos de diseño. La información básica de instrumentos se pasa del diagrama a las hojas de especificaciones de instrumentos y para la rotulación de los mismos. Para facilidad de interpretación, se elaboran DTel's para proceso, para servicios (vapor y condensados, agua de enfriamiento, combustibles, etc.) para el sistema de lubricación de compresores, para el sistema de desfogue y algunos otros sistemas particulares según lo requiera el tipo de planta. Dado que tantas personas de diferentes discipli-

nas se deben referir a él, la estandarización es esencial con objeto de evitar confusiones. Ninguna información importante debe ser omitida ni información inútil debe ser incluida.

Etapas: 03/04, 05, 06, 06D, 07.

Información Contendida: 03/04 Arreglo de los equipos y de las líneas correspondientes. 06 requerimiento de válvulas de control y de instrumentación en general. 06D Información de especificación de instrumentos y válvulas de control, dimensiones de líneas con número, material y fluido conducido, además de gastos y condiciones de los fluidos y los requerimientos de válvulas de seguridad en equipos. 07 Datos definitivos de dimensionamiento y especificación de bombas, hornos a fuego directo, dimensiones definitivas de líneas y accesorios de tubería corregidas de acuerdo a ediciones revisadas de isométricos.

7.—**Lista de líneas.**—Documento que resume toda la información referente a las líneas contenidas en todos los DTel's y diagrama de flujo de proceso cubriendo la totalidad de las líneas de la planta. Sirve como base de información para algunos grupos de diseño de detalle.

Etapas: 06 (una por cada DTel), 07.

Información Contendida: Número de línea de acuerdo a los DTel's, fluido que conduce y condiciones del mismo, gasto, temperatura y presión de diseño y de prueba, precedencia y destino de la línea, material, cédula, diámetro interior, aislamiento, servicios de aislamiento, cantidad, etc.

8.—**Hojas de datos de bombas.**—Documento que contiene las condiciones disponibles de fluidos en la succión y las requeridas en la salida, así como especificación y dimensiones de las tuberías correspondientes, información tomada de los DTel's.

Etapas: 02.

Información Contendida: Presión y temperatura en succión y descarga, NPSH disponible, gravedad específica, gasto normal y de diseño, etc.

9.—**Hojas de datos de instrumentos.**—Documentos que contienen la información necesaria para que se proceda a su especificación y requisición. Se elaboran con los datos que proporcionan los DTel's de proceso y servicios.

Información Contendida: Variable de medición, servicio requerido (indicación, control, registro o combinación), número de línea o identificación del equipo en que se instalará, material de éste último, brida o rosca, neumático o electrónico, en campo o en tablero, etc.

10.—Hojas de datos de válvulas de control.—Son las válvulas actua-das directamente por diafragma o por motor eléctrico para regular la aber-tura, tomando energía del medio que controlan. Se elaboran en base a la información de requerimientos y sus resultados se anotan en los DTel's de origen. Con estos datos se procede a especificación y requisición de las válvulas de control.

Etapas: 02/06.

Información Contendida: Tipo, servicio requerido, datos del fluído, rango de operación (presión), identificación de la línea, su diámetro y su material, especificaciones para material de cuerpo, asientos, brida o rosca, etc.

11.—Válvulas de Seguridad.—Válvulas empleadas para la protección de la planta en casos de falla de alguno o varios de los servicios, fallas mecánicas en los equipos, fuego o cualquier otra situación anormal. Pueden ser válvulas de disco de ruptura o de resorte calibrado de manera de actuar aliviando la presión parcial o totalmente al llegar esta a niveles de peligro, pudiendo desfogar o aliviar hacia la atmósfera o hacia cabezales especiales para desfogues. Las labores que comprende esta partida son de especificación, dimensionamiento y compra.

Etapas: 02/03, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17.

Información Contendida: Tipo de válvula, presión de abertura, materia-les de construcción para coraza e interiores y dimensiones según los gastos que se manejarían y/o según el diámetro de tuberías en que van montadas.

12.—Revisión de dibujos isométricos de tuberías.—Esta partida consi-ste en la revisión de los isométricos editados por el departamento de Tuberías. Checando que incluyan todos los elementos y accesorios neces-arios para cumplir con lo requerido en los DTel's, a la vez que se hace un chequeo hidráulico de cada línea para verificar que no exceda las caídas de presión permitidas. Esta es una actividad continua que inicia con los primeros isométricos editados y termina unas tres semanas después del

último. Se divide para fines de control y registro de avance en porcentajes en forma arbitraria y para tomarlas como precedencia para otras partidas como para el DTel de proceso en edición 07.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

13.—**Bombas.**—Partida que consiste en la selección de las bombas requeridas según las condiciones de operación en las líneas de proceso de la planta, elaborando las especificaciones para cada una y llevando a cabo su adquisición.

Etapas: 02, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17.

Información Contendida: 02 Tipo de bomba seleccionada, materiales, características de la coraza, diámetro calculado de impulsor y se calculan los rendimientos que garanticen el manejo requerido de fluidos. 12 Características ofrecidas por el fabricante seleccionado y aprobado. 14 Dibujos de las características que cumplirá el aparato requerido con las dimensiones de coraza. 16 Dibujos definitivos de dimensiones y formas con que se embarcará la bomba incluyendo tipos y dimensiones de bridas, así como su localización.

14.—**Compresores.**—Consiste en: selección de tipo de compresor para proceso y de paquetes de compresión de aire de instrumentos y de planta, se realiza el cálculo termodinámico y de rendimientos, y se hacen las recomendaciones de materiales de construcción, los accesorios requeridos y las partes de repuesto.

Etapas: Las mismas que de bombas.

Información Contendida: 02 Tipo de compresor seleccionado e impulsor requerido con su potencia y rendimientos.

12 Dimensiones preliminares de cotización para compresor e impulsor del proveedor seleccionado y aprobado. 14 y 16 arreglo y dimensiones preliminares y certificadas por el fabricante respectivamente, para compresor e impulsor incluyendo peso del sistema y el arreglo de boquillas.

15.—**Turbinas de gas y turbinas de vapor.**—Para las de gas se selecciona tipo y funcionamiento de quemadores, se calcula el gasto de combustible, potencia y rendimientos y se especifican detalles generales como controles y lubricación. Para las turbinas de vapor se calcula consumo y

nivel óptimo de vapor, condiciones de vapor a la entrada y a la salida. Cada tipo de turbinas se considera como una cadena independiente.

Etapas: Secuencia similar a la de la cadena de Bombas.

16.—**Grúas.**—Esta partida consiste en la selección y cálculo de la grúa viajera usada como auxiliar en el mantenimiento de compresores, dentro de la casa de compresores. Los principales factores que se consideran son: área de trabajo, área de mantenimientos, estructuras de apoyo y carga máxima.

Etapas: Misma secuencia que la de la cadena de Bombas.

Información Contendida: Dimensiones de columnas, claro entre centro de rieles, elevación de ganchos, velocidad de desplazamiento de carro y de levantamiento de gancho, materiales, etc.

17.—**Arreglo mecánico de la casa de compresores.**—En esta partida se elabora el dibujo de detalle que contiene: Disposición de las unidades y sus equipos auxiliares, áreas de acceso, zonas de mantenimiento, localización de las principales bridas de los equipos.

Etapas: 04, 06, 07.

DEPARTAMENTO DE RECIPIENTES

Las partidas de este departamento constan de todas las etapas para diseño y adquisición mencionadas al principio de esta sección y se desarrollan para equipos tales como recipientes, torres, reactores y sus internos, es decir, mallas separadoras, platos y soportes, baffles de distribución, respectivamente. Las especificaciones que se incluyen se guían con las especificaciones generales elaboradas entre el Cliente y la Compañía para el departamento de recipientes.

18.—**Recipientes, torres y reactores.**—En el desarrollo de su diseño mecánico se especifican materiales de fabricación, dimensiones interiores requeridas por el proceso, espesores de pared de acuerdo a sus dimensiones, presión de trabajo, velocidad de los vientos y actividad sísmica registrados en la región, etc. Se define asimismo, la localización y dimensiones de boquillas para tuberías y para instrumentos, de registros, etc.

19.—**Mallas separadoras e internos de torres y reactores.**—Estas actividades siguen la misma secuencia de los cascarones e igualmente se consideran por separado para la programación. En este caso se procede a la especificación, diseño y cálculos basados en los datos del diseño de cascarones o cuerpos en los que se van a instalar. Para estos elementos el diseño definitivo lo proporciona el fabricante.

DEPARTAMENTO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

20.—La secuencia seguida en las partidas de este departamento, comprenden desde el diseño, hasta la entrega en campo, y se aplica para equipos tales como: calentadores, cambiadores de calor, enfriadores por aire, calderas, torres de enfriamiento, condensadores, etc. La partida de cada equipo es completamente independiente de las demás de este departamento, y con diferentes tiempos de realización. Por estos equipos se especifica: material de construcción, arreglo interno de tuberías, tipo de carcasa, tipo y espaciamiento de baffles, etc.

DEPARTAMENTO DE TUBERIAS

21.—**Estudio de tubería aérea.**—Esta partida consiste en el estudio y definición de las rutas de las líneas aéreas para todas las plantas. En una copia del plano de localización general se van colocando las líneas generadas en los DTel's, desde su punto de partida hasta su destino, tratando de optimizar las longitudes de tubería, principalmente las que por sus grandes dimensiones o materiales especiales, resultan costosas.

El éxito de esta partida se refleja en la economía de material y costos de instalación y de mantenimiento.

Etapas: Diseño y dibujos continuos hasta finalizar las líneas y una etapa final de revisión, dividido en porcentajes.

Información Contendida: Estudio en planta de las rutas a seguir por cada línea de proceso y servicios, cada una con su identificación.

22.—**Orientación y localización de boquillas.**—El objetivo de esta partida es el de definir la orientación y localización más adecuada de boquillas y soportes para plataformas, escaleras y tubería en cascarones o cuerpos de recipientes, torres y reactores que sirven de base para el di-

seño de las grapas, apoyos y guías para tubería efectuados por el departamento de análisis de esfuerzos y los diseños de grapas para plataformas y escaleras elaboradas en el departamento de ingeniería civil, además son necesarios para la definición final de los croquis de requisición para cascarones.

Etapas: Emisión continua de dibujos dividido en porcentajes según las emisiones de la partida anterior.

23.—Estudio de puentes.—Estudio individualizado de las cargas de tuberías con el objeto de establecer el acomodo de las mismas en su trayectoria sobre los puentes de tubería y, dependiendo del número de las líneas y dimensiones, definir si se requiere cama doble o sencilla. Se colocan las líneas más pesadas cerca de los apoyos y las menores hacia el centro y de esta manera se optimiza el peralte de la viga requerida como travesaño.

Etapas: Estudio y dibujos en una etapa continua hasta cubrir todas las líneas.

Información Contendida: Arreglo de las líneas sobre los soportes. Numeración de las líneas de acuerdo a la lista de líneas.

nición de la disposición de las líneas de conexión para condensadores y para compresores. Este estudio es necesario dado que los condensadores se instalan en estructuras metálicas elevadas adyacentes a los domos de las torres, y para los compresores se destina un cuarto especial. El resultado se muestra mediante dibujos de detalle en planta y elevación.

24.—Estudio de edificios.—Partida que consiste en el estudio y definición de la disposición de las líneas de conexión para condensadores y para compresores. Este estudio es necesario dado que los condensadores se instalan en estructuras metálicas elevadas adyacentes a los domos de las torres, y para los compresores se destina un cuarto especial. El resultado se muestra mediante dibujos de detalle en planta y elevación.

Etapas: 03/04, 06.

Información Contendida: Arreglo de las líneas que entran y salen de los edificios de condensadores y compresores.

25.—Plano de líneas en límites de batería.—Como su nombre lo indica consiste en elaborar un plano en que se muestra la disposición de las líneas que entran y salen de la planta, se indican los detalles mencionados para los puntos en que haya entrada y/o salida de líneas. Se incluyen cuadros sinópticos en que se indica la identificación, dimensiones, servicio, fluido manejado y sus características de gasto, presión y temperatura, especificaciones de material de tubería y su localización exacta mediante coordenadas y su nivel sobre el piso y distancia, centro a centro entre tuberías.

Etapas: 04, 06, 12, 07.

26.—Dibujos de tubería en planta y elevación.—Esta actividad consiste en la elaboración de dibujos constructivos elaborados con todo detalle y la mayor precisión que sirven como base para el montaje de las tuberías durante la construcción de la planta, además de ser utilizados como base para elaborar los dibujos isométricos. En estos dibujos se muestra la posición exacta de las líneas de tubería con dimensiones de longitud y diámetro con exactitud de milímetros. Esta partida se realiza en una etapa continua hasta abarcar la totalidad de las líneas en cada edición.

Etapas: 04, 05, 07.

27.—Isométricos de tuberías.—Elaboración de los dibujos isométricos de las líneas que, por indicación de los departamentos de Ingeniería de Sistemas y de Análisis de Esfuerzos, se consideran críticas en base a las condiciones de operación en la línea, como pueden ser: temperaturas y/o presiones extremas, flujo a dos fases, succiones de bombas, succiones de compresor, etc. Acompañando a cada dibujo se edita una lista de material con características y especificaciones para: tubería, reducciones, bridas, juntas, válvulas, codos, etc., sujeta a correcciones por la revisión de sistemas y análisis de esfuerzos y por los dibujos preliminares de cambiadores de calor editados por el fabricante.

Etapas: Emisión continua de isométricos, dividido en porcentaje según el número total de los mismos.

28.—Sistema de tubería subterránea.—Es el estudio del arreglo de las rutas de tubería para drenajes incluyendo dimensionamiento y especificaciones de material, número de registros y sus características. Las etapas de este estudio se basan en acuerdos con personal del departamento de Ingeniería Eléctrica para definir las rutas para evitar interferencias entre los ductos eléctricos y la tubería subterránea, tanto en localización como en profundidad. El dimensionamiento de las líneas se basa en los datos de máxima precipitación pluvial en la región y/o el gasto máximo de agua contra incendio en el caso más grave.

Etapas: 03, 05, 06/07.

Información Contendida: 03 Estudio de rutas, 06/07 Arreglo definitivo de las tuberías localizadas mediante coordenadas.

29.—**Plano del sistema contra incendio.**—Es el plano que muestra la red de tubería contra incendio formando circuitos cerrados en las áreas y zonas a proteger, contando con sus respectivas salidas para hidrantes, monitores y sistemas fijos de aspersores y niebla, además de las estaciones necesarias de bombeo.

Etapas: 04, 05, 07.

Información Contendida: 04 Arreglo preliminar. 07 Arreglo definitivo aprobado por construcción.

30.—**Isométricos para fabricación.**—Partida que consiste en elaborar los dibujos que son base para la fabricación en taller de la tubería de proceso y servicios. La información contenida en cada isométrico es la siguiente: coordenadas y acotaciones, accesorios (codos, reducciones, etc.), cuadro sinóptico con especificaciones y dimensiones para tubería y accesorios a manera de lista de materiales.

Etapas: Edición de dibujos aprobados para todas las líneas de la planta y edición aprobada para construcción previa revisión hidráulica por sistemas, con porcentajes de emisión según el número total de isométricos a dibujar.

DEPARTAMENTO DE ANALISIS DE ESFUERZOS

31.—**Grapas para tuberías en recipientes y torres.**—Diseño y cálculo de las estructuras metálicas que soportan y guían a las tuberías conectadas a recipientes y torres para aliviar los esfuerzos provocados por su propio peso y del fluido que conducen. Generalmente se escogen varios tipos de grapas.

Etapas: 02/03, 07.

Información Contendida: 02/03. Dimensiones calculadas. 07 Dibujo detallado, en planta y elevación, de las grapas en cada recipiente según el tipo de grapa escogida.

32.—**Localización y dimensionamiento de loops de expansión.**—Dimensionamiento de los implementos necesarios en los puntos de la tubería en que se espera un esfuerzo mayor al que soporta el material de tubería, como en los casos de cambios de dirección y condiciones extremas de presión y temperatura.

Etapas: 02/03.

Información Contendida: Dimensiones para cada loop necesario identificando las líneas en que operan.

33.—Revisión de isométricos por Análisis de Esfuerzos.—Consiste en la revisión de los isométricos editados por el departamento de tuberías, con el objeto de verificar que los materiales especificados resisten los esfuerzos a que están sometidos.

Etapas: Una etapa continua de revisión que abarque todos los dibujos isométricos editados.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

34.—Plano de clasificación de áreas.—Consiste en la localización y clasificación de las diferentes áreas de la planta por sus grados de peligrosidad. La peligrosidad puede estar dada por las características de los fluidos manejados en los equipos de acuerdo a su grado de inflamabilidad y a la posibilidad de que los equipos del área sean capaces, en un momento dado de producir la energía (calor, chispas, etc.), necesaria para provocar un incendio o una explosión en los fluidos de la atmósfera de tal área.

Etapas: 03/06, 05, 07.

Información Contendida: 03/06 Clasificación de las áreas indicando su grado de peligrosidad y la altura a la que rige tal. Se marcan claramente los focos de peligro y su naturaleza. 07 Lo anterior con las modificaciones motivadas por comentarios y/o cambios en el plano de localización general.

35.—Diagrama Unifilar.—Conocido en inglés como "Single Line" es el dibujo que indica los circuitos que requiere la planta para suministro de energía eléctrica a todos los dispositivos eléctricos como son: motores de todos tipos, alumbrado y equipo eléctrico portátil y fijo incluyendo con que protección debe contar cada circuito y si es de acción manual o automática indicar los elementos de control. Para cada línea se anota: calibre, intensidad, voltaje, número de fases, número de hilos, etc. Incluye, además, la representación esquemática de los transformadores necesarios, sus accesorios, dimensiones, características. Con esto se tiene el diagrama de

todos los requerimientos de energía eléctrica en la planta y su alambreado esquematizado, abarcando desde la acometida de Límites de Batería hasta el último de los dispositivos eléctricos y todos los contactos necesarios por toda la planta. De aquí se elabora una lista de elementos y materiales eléctricos para su adquisición.

Etapas: Incluye todas las etapas desde cálculos hasta la de embarque.

36.—Arreglo de equipo eléctrico en la subestación y el cuarto de control.—Esta partida consiste en la localización exacta del equipo eléctrico y las líneas de conducción incluyendo detalles de registros, para casos de acometidas subterráneas. Generalmente el equipo eléctrico se instala en gabinetes y para ello se dimensionan y se localizan estos últimos. Esto se efectúa para la subestación y para el cuarto de control.

Toda esta localización se hace sobre una copia del dibujo a escala con forma y dimensiones del cuarto de control editado por el departamento de Arquitectura. Se incluyen los detalles en planta como en elevación y los cortes necesarios para aclarar todo lo relacionado a la colocación, dimensiones y arreglos exactos del cuarto así como de la subestación. Este es un plano constructivo, es decir, se emplea como guía en la etapa de construcción de la planta.

37.—Sistema de tierra y apartarrayos.—Esta partida consiste en el diseño, localización y dimensionamiento del sistema de tierras y apartarrayos formado por una red de cables que cubre toda el área de proceso cuya finalidad es la de canalizar cualquier tipo de descargas eléctricas peligrosas para el equipo y personal (provocadas por cargas estáticas o por descargas atmosféricas). Toda la corriente eléctrica captada por el sistema se dirige hacia varillas clavadas en el suelo de la planta, es decir, las cargas son manejadas a tierra. Todos los equipos y estructuras metálicas se conectan a este sistema de protección incluso las tuberías. Los datos resultantes de esta actividad se expresan en dibujos de los que se elaboran las listas de materiales para su adquisición.

Etapas: 02/03/07.

38.—Sistema de distribución de fuerza.—Es el diseño del sistema de distribución de energía eléctrica, generalmente por ductos subterráneos, a través de la planta, hasta cada uno de los equipos que la requieran

(indicados en el Diagrama Unifilar), partiendo del cuarto de control. Este diseño del arreglo se efectúa en contacto con el trabajo de los especialistas del departamento de Tuberías que trabajan en el Sistema de Tubería Subterránea para evitar interferencias de localización entre ductos y líneas tanto en profundidad como en situación. Esta partida incluye el diseño y dimensionamiento del arreglo de ductos subterráneos y sus especificaciones.

Etapas: 03, 06, 07.

39.—**Sistema de distribución de alumbrado.**—Esta partida consiste en el diseño de la situación de lámparas de alumbrado y, una vez logrado este arreglo, elaborar el cálculo de la potencia necesaria para cada una, así como sus especificaciones a cumplir en construcción según la clasificación de áreas mencionada con anterioridad para evitar al máximo los riesgos y para alargar la vida útil de las lámparas. Algunas de las más comunes especificaciones son: a prueba de intemperie, de humedad, de vapores, de explosión, etc. En esta partida se incluye el dimensionamiento y arreglo de las líneas de alimentación a las lámparas dimensionadas.

Etapas: 07.

40.—**Sistema general de teléfonos y sonido.**—Se trata de localizar en los lugares que indica el Cliente, la situación y tipo de teléfonos para planta y para las oficinas, así como la localización de las bocinas de sonido y el trazo de la ruta de cableado para los mismos indicando qué tramos del cableado son aéreos y cuáles subterráneos. En el dibujo que se edita, sobre copia del plano de localización, se incluyen los cortes y detalles necesarios para ilustrar la situación y colocación correcta de cables y aparatos de teléfono y bocinas, sobre todo en lugares como los diferentes niveles de plataformas y estructuras.

Etapas: 03/07.

DEPARTAMENTO DE ING. CIVIL

41.—**Mecánica de suelos.**—Actividad mediante la cual se elabora un documento con la información y en la presentación necesaria por el departamento de Ing. Civil. Este es un documento de consulta para los

especialistas de este departamento para que proceda al cálculo de las cimentaciones de equipos y estructuras. La información contenida le es solicitada al cliente en base a la localización preliminar del equipo en el área de proceso. Se trata de datos como: dureza y resistividad del suelo, nivel freático, etc.

Etapas: 03, 06.

42.—**Plano clave de cimentaciones.**—Es el plano en que se van resumiendo los resultados de cálculos y diseño de cimentaciones de equipos y estructuras. De esta manera en cualquier momento se cuenta con el documento que muestra el progreso en las partidas del departamento para consulta interna y de otros departamentos. Este plano se desarrolla en tres etapas. La primera es la localización preliminar de los cimientos en su totalidad; en la segunda etapa se cuenta ya con las dimensiones exactas de las cimentaciones menores en general. La tercera etapa contiene la totalidad de las cimentaciones de equipo menor, mayor y de las estructuras necesarias.

Etapas: 03, 06D, 07.

43.—**Estructuras metálicas.**—Es el estudio y definición final de dimensiones en las estructuras metálicas requeridas en la planta. Se especifican materiales de construcción, tipos de unión (remache, tornillos, soldadura), dimensiones de vigas, tipo de acabado, etc.

Etapas: 02/03, 06, 07.

44.—**Plataformas y escaleras.**—Es el diseño, dimensionamiento y dibujo de las plataformas y escaleras requeridas para permitir el acceso de personal a operación y mantenimiento en equipos como recipientes, torres y hornos.

Etapas: 02/03, 07.

45.—**Estudio civil del cuarto de control.**—Se trata del estudio desde el punto de vista de civil y el dibujo con los resultados como: detalles de los armados, detalles de apoyos y columnas, lista de varillas, detalles de muros, de las lozas superior e inferior, y la superestructura del armado de columnas con sus respectiva lista de varillas. Se incluyen las especificaciones para tipo de concreto y del acero de las varillas.

Etapas: 02/04, 03/06, 07.

46.—**Estudio civil de la casa de compresores.**—Es el estudio civil que comprende los mismos conceptos que se incluyen para el cuarto de control.

Etapas: Las mismas que para la partida del cuarto de control.

47.—**Soportería de tubería.**—Diseño, dimensionamiento y dibujo constructivo de los puentes desde el punto de vista de Ing. Civil. Cálculo de los espesores y dimensiones necesarias para soportar las líneas de tubería. En los dibujos se muestran los detalles de armado, se especifican y se hace una lista de los materiales de construcción.

Etapas: 02/03/04, 07.

48.—**Cimentaciones de equipos y puentes.**—Consiste en el diseño, dimensionamiento, especificación y dibujo de la cimentación requerida para recipientes, torres, equipo mecánico y puentes de tubería. Se elaboran dibujos de detalle para cada cimentación y contienen información de: dimensiones, arreglo y cantidad de varillas, su tipo y material, especificaciones de concreto, detalles de instalación de anclas y tornillos para fijar el equipo.

Etapas: 02/03, 04, 07.

Plano de pavimentos, cajas y registros. Plano en que se muestran las pendientes de los parteaguas, los tipos de registro (con tapa, con coladera, de visita con coladera), espesor de pavimento, número de varillas, etc. Asimismo se muestran los drenajes indicando elevación, pendientes y diámetros de tubería, a igual que el número y tipo de rejilla, tapas y sus materiales de construcción, incluyendo detalles y secciones de cajas y registros mostrando los armados con número de varillas especificando tipo, calibre, longitud, etc.

Etapas: 02/04, 06, 07.

DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA

50.—**Arquitectura de la casa de compresores.**—Esta partida consiste en el desarrollo del anteproyecto del edificio o casa de compresores. Se trata de elegir el arreglo general de la construcción, escaleras, tipo de techado, dimensionar columnas, etc. Se complementa con un dibujo de fachada, cortes y detalles y otros de plantas arquitectónicas, mostrando

los materiales de los techos, tipo de vigas, características de desagüe y tabla de acabados y especificaciones de impermeabilizantes.

Etapas: 02/03, 06, 07.

51.—**Arquitectura del cuarto de control.**—Es una partida similar a la anterior en que se generan los conceptos mencionados para la casa de compresores. Sin embargo, los dibujos para el cuarto de control incluyen la colocación de tableros de instrumentos, centros de control de motores, la subestación eléctrica, oficinas, sanitarios y cuarto de máquinas.

Etapas: Las mismas de la casa de compresores.

DEPARTAMENTO DE AUTOMATIZACION

52.—**Diagramas de instrumentación.**—Representación gráfica de un circuito de control y/o de medición. Se representa el circuito completo incluyendo todos los elementos que intervengan indicando, cada uno de ellos, si están instalados en campo o tablero local, en tablero principal parte posterior o tablero principal parte anterior. Para llegar a tal arreglo de componentes es necesario efectuar un estudio de los requerimientos de control establecidos por el proceso y apoyarse en la experiencia de los especialistas adquirida en el diseño de plantas similares.

Etapas: 04, 06, 07.

53.—**Índice de instrumentos.**—Es la relación detallada de los instrumentos y elementos resultante de los diagramas de instrumentación incluyendo números de identificación, descripción del servicio que prestará, partes que se requieren para repuesto y, finalmente, el número de la requisición en que se incluye el elemento en cuestión.

Etapas: 04, 07.

El resto de las partidas de este departamento consisten en seleccionar los instrumentos o paquetes requeridos según los DTel's y el diseño de sus accesorios de montaje. Se elaboran las especificaciones de funcionamiento (basadas en la información del Índice de Instrumentos) y de materiales de construcción e incluyendo en los casos necesarios el dimensionamiento del aparato en cuestión.

Las etapas que se siguen en cada una de las partidas que se mencionan más adelante son: 02/03, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17.

La lista de los principales elementos que se requieren como instrumentación para una planta petroquímica son los siguientes:

54.—Válvulas de control operadas por pistón y operadas por motor eléctrico.

Elementos primarios:

55.—Placas de orificio, tubos Dall, etc., (flujo).

56.—Transmisor de desplazador y tipo bola (nivel).

57.—Termopares y termopozos (temperatura).

58.—Instrumentos receptores, transmisores y convertidores.

59.—Válvulas de solenoide.

60.—Gabinetes de alarma.

61.—Interruptores por presión.

62.—Instrumentos analizadores: cromatógrafos, oxígeno, humedad, infrarrojo, etc.

Instrumentos de campo:

63.—Manómetros y termómetros.

64.—Vidrios de nivel.

65.—Rotámetros.

66.—Consola indicadora de temperatura.

67.—Tableros de instrumentos, principal y locales.

La parte final de este capítulo lo componen las Matrices de Precedencias para las partidas que acabamos de mencionar. El número que se les asignó anteriormente es el mismo que se utiliza en las partidas del proyecto en las matrices. Por ejemplo, la partida número uno (1) es el Plano de Localización General. Con cada número de partida se encuentra una o varias claves de actividades que le corresponden a la partida en cuestión, de acuerdo a las claves que les fueron asignadas.

En el margen izquierdo se colocan las partidas y sus actividades y en la parte superior van las partidas y sus actividades que preceden. Las relaciones de precedencia se marcan con una cruz (X) en el cuadro correspondiente. Estas precedencias son las que generalmente se cumplen en el desarrollo de los proyectos petroquímicos y que pueden ser modificadas de acuerdo a los requerimientos de planeación y control de cada proyecto en particular. A partir de las matrices modificadas se procede al armado de la red como se menciona en el Capítulo IV.

CAPITULO III

PERT: herramienta para programar y evaluar el progreso de proyectos petroquímicos.

I) METODOS DE EVALUACION DE REDES.

- 1) PERT
- 2) CPM
- 3) PDM
- 4) COMPARACION Y SELECCION

I) METODOS DE EVALUACION DE REDES.

Las redes representan al proyecto en términos de interrelaciones entre todos los elementos del proyecto. Estos dispositivos se construyen en base a los requerimientos tecnológicos y de tiempo de un proyecto de manera que se separan las funciones de planeación y programación. Esto permite la consideración de planes como alternativas. Cuando la programación se lleva a cabo en forma subsecuente, puede realizarse en base de la disponibilidad de recursos y las demandas de otros proyectos.

Cuando se emplean las técnicas tradicionales, se usa un formato lineal para el calendario. Esta situación obliga a que el programa sea simultáneamente preparado con el plan del proyecto. Los aspectos tecnológicos y de requerimientos de tiempo de la planeación de proyectos son desplazadas con los problemas de asignación de recursos de la programación. Como resultado, los planes alternativos se evalúan únicamente en función de sus programas. Además, dado que en estas técnicas, la planeación y programación se efectúa etapa por etapa, no se hace una evaluación simultánea para planeación y programación, evaluación que es necesaria para llegar a la selección correcta de las políticas a seguir en el desarrollo de proyectos.

Del gran número de las partidas y actividades de las realizadas en un proyecto industrial solamente un pequeño porcentaje es crítico para los requerimientos globales de tiempo para completar la mayoría de los proyectos. Más aún, las actividades que son críticas en un plan pueden no serlo en otro e igualmente, las actividades no críticas pueden llegar a ser críticas a causa de la manera que son programadas. Conociendo cuales actividades son críticas para un plan de proyecto facilita la programación y la asignación de recursos necesario para llevarlo a cabo. Programando primero las partidas críticas normales permite amplia holgura en la programación de las restantes.

En las técnicas de redes para planear y programar, el plan se preparará en forma de red o diagrama de flujo. Prefiriendo una red a un diagrama de barras (Gantt), se evitan los problemas asociados con planeación y programación, ya que el análisis de la red facilita que el grado de criticidad de cada actividad sea determinada de manera cuantitativa y realmente objetiva.

En este capítulo nos ocuparemos de describir las características más planear y programar proyectos industriales, que son el PERT, el CPM y el PDM. Trataremos de hacer notar aquellos aspectos que representen una diferenciación entre ellos, esto nos servirá para seleccionar una de éstas técnicas como la más conveniente para la programación de los proyectos petroquímicos.

relevantes de las técnicas de redes que gozan de mayor aceptación para

1) METODO PERT

PERT (Project Evaluation & Review Technique).—La técnica de evaluación y revisión de proyectos es un método de programación de recursos para cumplir con un proyecto predeterminado en la fecha planeada.

Elementos de PERT.—El primer elemento del sistema PERT fue la selección de eventos específicos e identificables que están planeados para la conclusión del proyecto. Estos eventos fueron llamados más tarde "milestones" o eventos clave en el lenguaje PERT. Esto resulta razonable considerando que el primer propósito del PERT fue el monitorear o evaluar y el énfasis se viene dando a la terminación del proyecto conduciéndolo por los eventos clave.

El énfasis en éstos eventos hace al PERT un sistema orientado a eventos, mientras que el CPM lo ha sido siempre hacia actividades. Esta diferencia no hace, sin embargo, incompatibles a estos dos sistemas.

El segundo elemento en el sistema PERT original fue el ligar los eventos planeados de tal manera que muestren gráficamente las interdependencias entre ellos. Estas conexiones de los eventos son el equivalente a las actividades del sistema CPM.

El tercer elemento original fue la estimación de los tiempos necesarios para avanzar de evento a evento junto con una medida de incertidumbre involucrada a tal estimación. Esta característica no difiere de la correspondiente al estimado de tiempo en el CPM. Sin embargo el PERT presenta algunas características adicionales en sus estimados de tiempo.

Se piensa que un sólo estimado de tiempo no es práctico para el trabajo de los proyectos de Ingeniería industriales. Se puntualiza que las circunstancias son muy flexibles en la Ingeniería de los proyectos industriales, a diferencia de los proyectos de construcción donde el tiempo puede ser estimado con certidumbre. Por esta razón el PERT utiliza tres estimados de tiempo:

- m*** — **Es el intervalo de tiempo más probable entre dos eventos.** Este es el mismo que el estimado que se haría para una actividad en CPM.
- a*** — **Es el tiempo optimista.** El intervalo de tiempo más corto que se esperaría entre los eventos. Una definición más informal es que hay una posibilidad en cien de que se cumpla este estimado.
- b*** — **Es el estimado pesimista.** Este es el tiempo entre eventos si todo resultara en la peor de las formas. Aquí la definición informal es que hay una posibilidad en cien de que las cosas marchen tan mal.

El sistema PERT asume que estos tres estimados caerán en una curva que se aproxima a una función de probabilidad beta.

Los creadores del PERT se encontraron, en el inicio, con el problema de encontrar un tipo particular de distribución de probabilidad que cumpliera con las siguientes características:

- 1) Pequeña probabilidad (1 en 100) de alcanzar el tiempo optimista, ***a***.
- 2) Pequeña probabilidad (1 en 100) de alcanzar el tiempo pesimista, ***b***.
- 3) Uno y solo un tiempo más probable que fuera libre de variar entre los dos extremos anteriores, ***m***.
- 4) Habilidad de medir la incertidumbre en el estimado.

Se escogió la distribución beta por cumplir con los cuatro atributos.

La fórmula usada para convertir los tres estimados a uno solo (t_e = tiempo o duración esperada), equivalente a la distribución beta es la siguiente:

$$t_e = \frac{a+4m+b}{6}$$

Las razones para el uso de ésta fórmula son, en primer lugar, al calcular un promedio pesado no damos el mismo peso al tiempo pesimista que al más probable. Hay mayores posibilidades de completar la actividad con un valor más cercano a m que a b . Por ello m debe ser considerado de mucho más peso que b . Por la misma razón se da más peso a m que a a .

Finalmente, hay la misma posibilidad (1 en 100) de cumplir tan tarde como expresa b , que de terminar en el tiempo que indica a , por ello no debe sorprendernos el hecho de que a los valores de a y b se les conceda el mismo peso en la fórmula algebraica. A través de esta fórmula, los tres estimados se reducen a uno para propósitos del cómputo de los tiempos de ocurrencia de los eventos.

El cuarto elemento en el sistema PERT fue un análisis, el cual revela la criticidad relativa de los eventos. Este cálculo es similar al cómputo de fechas para los eventos en el sistema CPM, que puede ser realizado ya sea manualmente o mediante computadora.

Con PERT se definen ciertos símbolos y cantidades para la red. Por definición de PERT, un evento es un punto discreto en el tiempo, que define el momento específico de inicio o terminación de una actividad o grupo de actividades. Los eventos no consumen tiempo o recursos.

Una actividad es una labor o trabajo a realizar, caracterizado por personas empleando recursos durante un período determinado de tiempo para cumplir un objetivo preestablecido progresando de un nodo a otro, progreso que es controlado por el jefe de proyecto.

Guías para la construcción de la red en el sistema PERT.—La mecánica a seguir para la construcción de la red es muy simple, y la metodología y lógica que la rigen son más bien observaciones de sentido común que reglas de procedimiento.

Construcción de la red hacia adelante y hacia atrás.—Al construir la red físicamente se puede proceder de dos maneras. La primera de ellas consiste en seleccionar un evento específico que marque el inicio del proyecto y proceder hacia adelante, estableciendo eventos y actividades en secuencia cronológica hasta llegar el evento final o terminal que marca la terminación del proyecto. A menos que se trate de un tipo de proyecto y/o planta perfectamente conocidos, esta manera de planear puede acarrear ciertas dificultades. Tales dificultades usualmente aparecen cuando se trata de establecer relaciones válidas de dependencia, ya que esta modalidad de construcción no está orientada hacia el evento final. En otras palabras; el ingeniero programador frecuentemente sólo sabe cual es el evento final ú objetivo, y puede tener dificultad en visualizar la manera de alcanzarlo.

La otra alternativa es la planeación hacia atrás, o iniciando con el evento final y procediendo en reversa, adicionando partidas y eventos que deben ser realizados antes de que el evento en cuestión pueda ocurrir. Este proceso continúa hasta alcanzar el evento inicial del proyecto. Se considera que este método tiene ventaja sobre el anteriormente citado, puesto que hace más fácil el desarrollo de una red más válida y objetiva.

La red PERT es una carta de flujo que identifica la secuencia, relaciones y restricciones del proyecto. La red debe ser comprensiva e incluir todas las interdependencias y las interacciones requeridas para la realización de todas las partidas del programa.

En la construcción de toda red hay que tomar en cuenta cinco principios básicos que son:

1) Todas las trayectorias de la red deben tener fin. Las actividades no pueden representar trayectorias alternativas de un evento a otro; más bien, deben representar obligatoriamente un trabajo que debe ser realizado antes de que el evento sucesor pueda ocurrir.

2) Un evento no puede ocurrir hasta que todas sus actividades precedentes hayan sido realizadas.

3) La actividad que parte de un evento, no puede iniciar hasta ocurrido tal evento.

4) Un evento no debe ocurrir dos veces, es decir, una trayectoria de actividades no puede cerrarse formando circuitos o "loops".

5) Solamente una actividad o restricción puede conectar cualquier par de eventos.

Términos y conceptos de la red:

Trayectorias en serie — Trayectorias en paralelo.—Una red puede ser vista como una combinación de trayectorias, en serie y en paralelo de actividades y eventos. Las trayectorias en paralelo pueden representar un medio para recortar el tiempo requerido para realizar un conjunto de labores. El ingeniero programador puede transformar lo que parece ser una serie de actividades como las mostradas en la Fig. 3.1 (a), en un arreglo en paralelo para la realización de la misma labor, Fig. 3.1 (b), con una duración total menor, mediante una revisión rigurosa de las relaciones reales de dependencia.

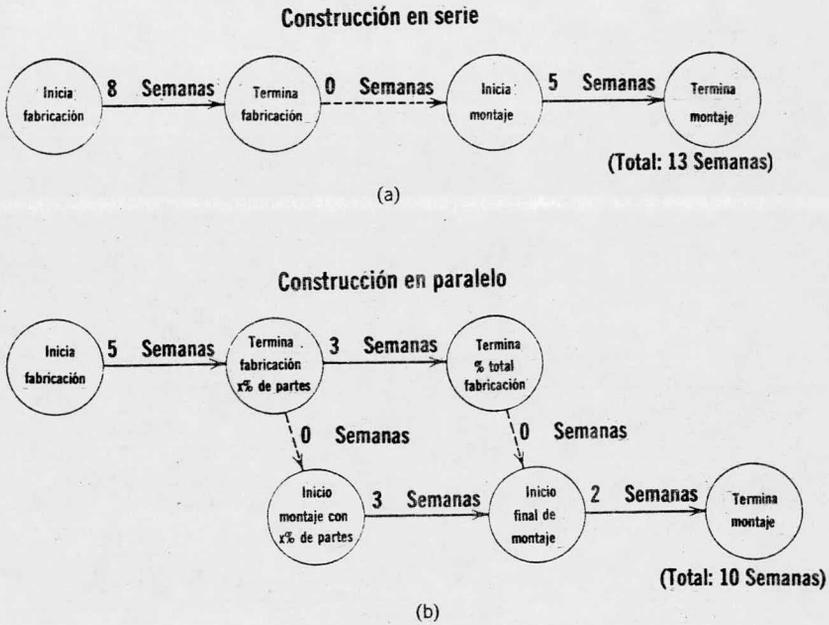


FIGURA 3.1

Restricciones: actividades ficticias.—Son una necesidad en el desarrollo de redes lógicas que reproducen las relaciones de dependencia reales y valederas. Una de tales actividades deberá introducirse entre dos eventos de una red para mostrar que existe la relación de dependencia, es decir, que el segundo evento no puede ocurrir hasta que lo haga el predecesor; sin embargo, tal actividad no representa trabajo real, no consume recursos ni tiempo. Las actividades ficticias se muestran en el inciso (b) de la Fig. 3.1 y en la siguiente:

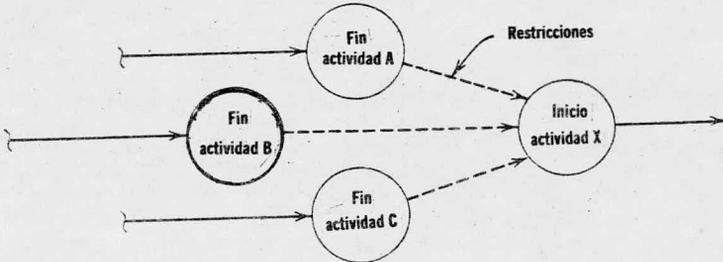


FIGURA 3.2

Dependencia parcial.—Uno de los errores más comúnmente encontrados en la lógica de la red es el conocido como "dependencia parcial", o descripción errónea en la dependencia entre actividades relacionadas sólo parcialmente. Por ejemplo, en la Fig. 3.3:

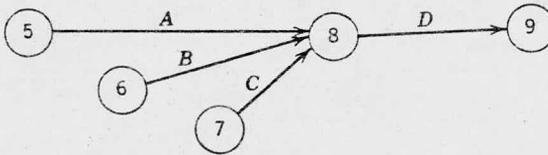


FIGURA 3.3

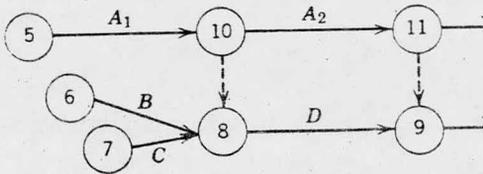


FIGURA 3.4

el inicio de la actividad D se muestra dependiendo de la terminación de las actividades A, B y C. Quizá si el ingeniero programador analiza a fondo las particularidades de cada actividad pueda descubrir que no toda la actividad A debe ser terminada antes de empezar D: Una vez que inicia A y se han realizado ciertas porciones de ella puede iniciar D, suponiendo que B y C han terminado. Entonces la D no es una actividad totalmente dependiente de A, como se mostraba, sino que es parcialmente dependiente de esa actividad. Por esta razón la red mostrada no presenta la verdadera situación. Esto se puede remediar redefiniendo la actividad A. La versión revisada se muestra en la figura 3.4.

La actividad A_1 representa aquella porción de la actividad original A que debe estar terminada antes de poder iniciar D; la actividad A_2 representa la porción restante. Redefiniendo la actividad A e introduciendo las restricciones entre los eventos 10 y 8, y eventos 11 y 9 se eliminó el error de la dependencia parcial y así se conserva la verdadera lógica de la red.

Otro uso de las restricciones es para los casos de una acción efectiva de vigilancia del progreso de la obra. Consideremos el caso de la Fig. 3.5:

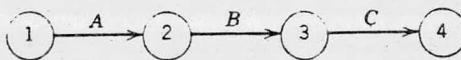


FIGURA 3.5

en que el progreso o avance se vigilará reportando las ocurrencias de los eventos. En tal caso, la ocurrencia del evento 2 marca la terminación de la actividad A y el inicio de la B. Si fuera real el hecho de que B inicia automáticamente al reportar cumplido el evento 2 (que significa terminación de la actividad A), no habría problema. Sin embargo, usualmente no se puede hacer tal suposición; esto nos dejaría sin saber si la ocurrencia del evento 2 marca o no el inicio de B. En cambio, incluyendo algunas actividades ficticias y eventos adicionales tendremos una versión más conveniente de la misma secuencia.

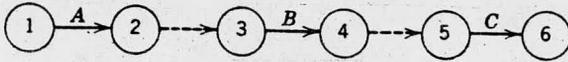


FIGURA 3.6

La terminación de la actividad A sería marcada con la ocurrencia del evento 2 y nos daríamos cuenta inmediatamente de cualquier retraso en el inicio de B si el evento 3 no se reportara como ocurrido en la fecha programada.

Interdependencias significativas.—En la construcción de la red deben evitarse las redundancias, que es un problema comúnmente encontrado en las redes complejas con un alto número de nodos.

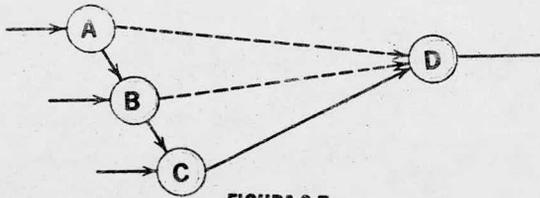


FIGURA 3.7

Por ejemplo: En la Fig. 3.7 las actividades A, B, C y D con interrelaciones A-B, A-D, B-C, B-D y C-D, puesto que D no puede ocurrir antes que C, ni C antes que B, ni B antes que A, las interrelaciones requeridas se cumplen con la secuencia A-B-C-D, sobrando las interrelaciones A-D y B-D que son en este caso relaciones redundantes.

Cálculos de la holgura e identificación de la ruta crítica:

Antes de adentrarnos en discusiones de holgura, debemos aclarar el entendimiento de los conceptos de holgura revisando y evaluando el significado de los datos derivados de nuestro análisis de la red.

Primeramente, se asignó identificación lógica tanto a eventos como actividades, se estimó un tiempo esperado (t_e) y se adoptaron las restricciones impuestas durante la etapa de planeación.

Con todos estos elementos de la red y aplicando la técnica PERT podemos calcular las fechas de calendario más tempranas de ocurrencia de los eventos o inicio y terminación de cada actividad. En esto no se advierte nada de particular, solo que sin esta red, tal información es sumamente difícil de obtener.

Segundo, conociendo estas fechas esperadas y entendiendo que existen muchas actividades paralelas de diferentes longitudes en la red, nos damos cuenta de que todas las actividades deben tener ciertas fechas tardías de ocurrencia; estas fechas pueden ser más tempranas, las mismas, o más tardías que sus fechas esperadas de terminación temprana.

Finalmente, ya que hay una trayectoria que a través de la red es la más larga, las demás trayectorias deberán ser iguales o más cortas que ésta. Y puesto que sus fechas más tardías permisibles pueden no necesariamente coincidir con sus fechas esperadas de terminación temprana, las fechas de ocurrencia de tales trayectorias puede ser flexible. A esta flexibilidad se le llama holgura (slack o float). Si podemos determinar precisamente que cantidades de holgura existen en cada actividad, podremos clasificar y ordenar a las actividades por el valor de su holgura y aislar la secuencia más larga de actividades: La Trayectoria Crítica.

La holgura se define entonces como la diferencia entre la fecha de ocurrencia esperada más temprana, para un evento, por ejemplo, y su fecha más tardía permisible. Esta diferencia expresada en unidades de tiempo, indica cuanto tiempo puede retrasarse la ocurrencia del evento sin retrasar al evento final de la red. Obviamente, el ingeniero programador también puede determinar la holgura de una actividad comparando sus fechas tempranas y tardías de inicio o de terminación.

Cálculos de holgura.—Veamos lo anterior mediante un ejemplo práctico tomando como base la Fig. 3.8.



QUINUA

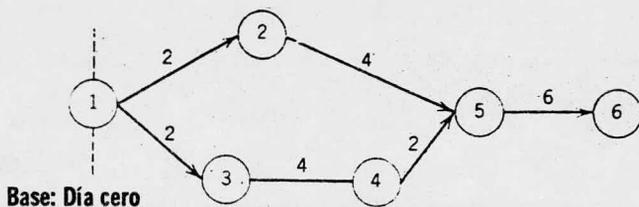


FIGURA 3.8

Estableciendo el Inicio Esperado más Temprano (EIT) con la línea base en el evento 1, igual a cero, podremos determinar los IET's, TET's (Terminación Esperada más Temprana) IPT's (Inicio Permissible más Tardío), y TPT's (Terminación Permissible más Tardía) para cada actividad en la red mediante los cálculos de fechas efectuados hacia adelante y, después, hacia atrás.

Actividad	D	IET	TET	IPT	TPT	Holgura (TPT-TET)
1-2	2	0	2	2	4	2
1-3	2	0	2	0	2	0
2-5	4	2	6	4	8	2
3-4	4	2	6	2	6	0
4-5	2	6	8	6	8	0
5-6	6	8	14	8	14	0

Comparando las IET y TET de la actividad 1-2 con sus IPT y TPT, respectivamente, vemos que esta actividad tiene holgura con valor de +2. Esto significa que si el inicio de la actividad 1-2 inadvertida o deliberadamente es retrasada después de su IET de cero, pueden pasar hasta dos días de retraso o deslizamiento antes de que su TPT de 4 esté en peligro. Por otro lado cuando vemos la trayectoria inferior en la figura 3.8 (1-3-4-5-6) y comparamos IET y TET contra IPT y TPT, respectivamente para cada actividad de esta trayectoria, encontramos holgura cero. Cualquier deslizamiento en alguna actividad a lo largo de esta trayectoria causará los

correspondientes deslizamientos en las actividades subsecuentes de la trayectoria y retrasaría al evento final. Para finalizar, calculamos la holgura como sigue:

Para cálculos orientados al evento:

$$H_E = FTP - FTE$$

donde H_E = holgura del evento

FTP = fecha más tardía permisible, ocurrencia del evento

FTE = fecha más temprana esperada, ocurrencia del evento

Para cálculos orientados a actividades

$$H_T = (TPT) - (TET) = (IPT) - (IET)$$

donde H_T = holgura total

TPT = terminación permisible más tardía (actividad)

IPT = inicio permisible más tardío (actividad)

TET = terminación esperada más temprana (actividad)

IET = inicio esperado más temprano (actividad)

Determinación de la Trayectoria Crítica.—Una vez que se han determinado los valores de holgura para los varios eventos y actividades en la red, es simple identificar la ruta crítica. Por definición, la Ruta Crítica es la secuencia más larga que conduce al evento final, y es la que tiene el valor más bajo de holgura.

De la Fig. 3.8, empleada en el ejemplo, de las dos trayectorias la ruta crítica es 1-3-4-5-6. Todas sus actividades tienen holgura de cero días, mientras que la otra trayectoria tiene un valor de +2 en holgura.

Si la fecha programada para el evento final hubiera sido más temprana que la esperada, resultado de los cálculos hacia adelante partiendo del evento 1, la ruta crítica hubiera presentado un valor negativo de holgura. Cuando una red tiene holgura negativa, la trayectoria con la holgura más negativa sería la ruta crítica. El ingeniero programador podría, inclusive, insertar en el evento final una fecha que sea más tardía que la fecha esperada de terminación más temprana, en cuyo caso la trayectoria con

menor holgura positiva identificaría a la ruta crítica. La ruta crítica de una red puede contener holgura positiva (mayor de cero), holgura cero, u holgura negativa, dependiendo de las fechas programadas. En el resto de las trayectorias de una red dada, habrá diferentes cantidades de holgura. Por ello, todas las trayectorias de una red pueden ser comparadas con otra y pueden ser clasificadas por orden de criticidad, de modo que la atención del ingeniero programador y el jefe de proyecto se enfoque primordialmente en las áreas más críticas de la red.

Significancia de la holgura.—Hasta ahora hemos tratado de dar una vista simplificada, tanto de cálculos como del uso, de la holgura. Hemos supuesto que todas aquellas actividades que preceden a la que estamos calculando su holgura habían sido terminadas en sus fechas más tempranas posibles y que todas las actividades subsecuentes empezarán en sus fechas más tardías permisibles. Este enfoque simplificado de una actividad nos permite considerar la holgura disponible como peculiar de tal actividad y parece indicar una gran flexibilidad para programarla. Pero, cada actividad es única en una red; por lo tanto, a veces resulta útil que el ingeniero programador modifique su enfoque de la holgura reconociendo que impacto puede haber en las ocurrencias anteriores y en las subsecuentes. Con esto se pueden identificar tres tipos específicos de holgura:

Holgura Total.—Es el exceso de tiempo permitido para una actividad cuando todas sus actividades precedentes han terminado tan temprano como es posible, y todas las que le suceden iniciarán tan tarde como sea permitido. La holgura total es la cantidad de tiempo total que una actividad podría ser retrasada sin afectar la duración total del proyecto.

Holgura Libre.—Es el exceso de tiempo permitido para una actividad cuando todas las actividades que le preceden han terminado tan temprano como es posible y las que le suceden iniciarán tan pronto como sea permitido. La holgura libre es la cantidad de tiempo que una actividad puede retrasarse sin atrasar a las actividades subsecuentes (pero no necesariamente al proyecto en su totalidad). Esta holgura se detecta generalmente en la última actividad de una trayectoria que se une a la ruta crítica; presenta importancia práctica porque una actividad con holgura libre puede ser retrasada sin reprogramar ninguna otra actividad.

Holgura Independiente.—Es el exceso de tiempo permitido para una actividad cuando todas las actividades que le preceden se terminan en

su fecha más tardía permitida y todas las que le suceden inician en sus fechas más tempranas. Aparece en uniones complejas de trayectorias en la red y, relativamente carece de importancia.

La holgura total será siempre mayor o igual que la holgura libre; a su vez la holgura libre será siempre mayor o igual que la holgura independiente.¹

Si pensamos en la multitud de interrelaciones posibles entre actividades en las redes de gran tamaño, podremos imaginar cómo estas diferentes holguras pueden aparecer, y que será de gran utilidad, en algunos casos, estar al tanto de su comportamiento durante el desarrollo de la obra.

Uno de los aspectos que caracterizan al sistema PERT es la facilidad que otorga al programador y al jefe de proyecto de estimar la probabilidad de cumplir con las fechas programadas en los eventos clave o evento final de la red. Esto representa una gran ventaja ya que pueden ser evaluadas probabilísticamente las alternativas propuestas para alcanzar los objetivos del proyecto. Así se asegura que se trabajará sobre la versión más factible del Programa de proyecto y que no se harán esfuerzos vanos por cumplir con una fecha demasiado comprometida, exenta de realismo, evitando el desprestigio de la Compañía cuando no se cumpla con las fechas prometidas al Cliente.

Aunque actualmente ha caído en el desuso, no cabe duda que esta característica contribuye a que el PERT sea considerado una herramienta valiosa para programar, evaluar y controlar los proyectos de Ingeniería.

En seguida incluimos un ejemplo sencillo para ilustrar el manejo de la probabilidad en las redes de proyecto ya que consideramos de utilidad tener un más completo conocimiento del PERT.

¹ En algunas circunstancias, la holgura independiente podría tomar un valor negativo. En tales casos, deberá ser tomada automáticamente como cero.

Conceptos de probabilidad del PERT:

Puesto que tenemos tres estimados de tiempo para cada actividad, podemos calcular una desviación estándar para cada una de ellas. La diferencia entre los tiempos a y b representa la distancia del extremo izquierdo al extremo derecho de una distribución de los posibles tiempos de la actividad.

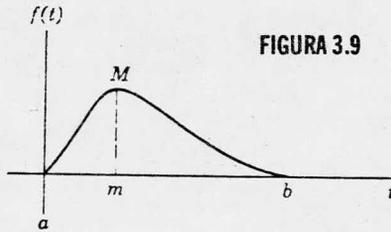


FIGURA 3.9

Como en este tipo de curva esta distancia es aproximadamente ± 3 desviaciones estándar, la diferencia $b - a$ es igual al valor de seis desviaciones estándar, por lo que una desviación estándar estará dada por $(b - a)/6$.

Consideremos la red mostrada en la Fig. 3.10 con tres actividades conectadas en serie, cada una con sus tres estimados de tiempo.

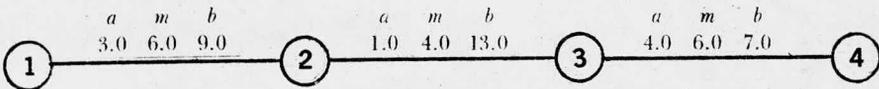


FIGURA 3.10

Para comenzar calculemos la desviación estándar para cada una de las actividades en forma individual, ilustrando como se efectúa en un grupo de actividades sucesivas (conectadas). Los cálculos de las desviaciones estándar se muestran en la tabla siguiente, en que tenemos las medidas de la dispersión de las actividades alrededor de sus tiempos más probables.

Actividad	a	b	b-a	Desv. Std. de las actividades (b-a)/6
1-2	3.0	9.0	6.0	1.0
2-3	1.0	13.0	12.0	2.0
3-4	4.0	7.0	3.0	0.5

El paso siguiente es el cálculo de la duración esperada para cada una de las actividades mediante sus tres estimados así como las fechas tempranas para el evento final de la red, evento 4.

Actividad	a	b	m	$\frac{a+4m+b}{6} = t_e$
1-2	3.0	9.0	6.0	$\frac{3.0+24.0+6.0}{6} = 6.0$
2-3	1.0	1/3.0	4.0	$\frac{1.0+16.0+13.0}{6} = 5.0$
3-4	4.0	7.0	6.0	$\frac{4.0+24.0+7.0}{6} = 5.8$
t_e (evento 4) = 6.0 + 5.0 + 5.8 = 16.8 semanas				

Con el objeto de obtener una medida de la probabilidad que nos ayude a conocer cuales son nuestras posibilidades de terminar en la fecha indicada, empezaremos calculando la desviación estándar del evento final de esta serie, evento 4. Para calcular la desviación estándar del

evento final de una serie de actividades conectadas, tomemos la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar individuales:

$$\begin{aligned}
 \text{Desv. Std. evento 4} &= (1.0^2 + 2.0^2 + 0.5^2)^{\frac{1}{2}} \\
 &= (1 + 4 + 0.25)^{\frac{1}{2}} = (5.25)^{\frac{1}{2}} \\
 &= 2.3 \text{ semanas.}
 \end{aligned}$$

Con esto tenemos ahora dos medidas de esta red: su t_e y la desviación estándar del evento final que son 16.8 y 2.3 respectivamente.

La distribución de tiempos a ambos lados del tiempo del evento final se muestra en la figura 3.11:

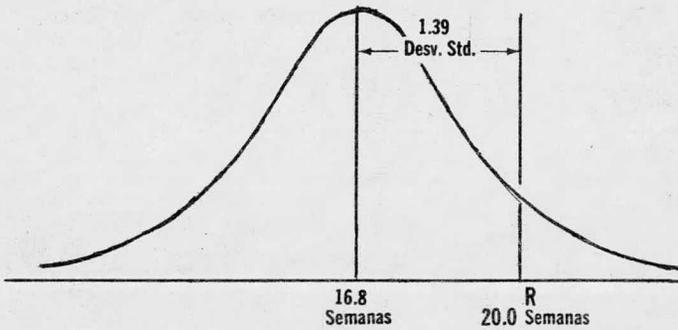


FIGURA 3.11

En esta figura notamos que la curva resultante de la suma de una serie de curvas de distribución beta es una curva de distribución normal o gaussiana la cual da una distribución aproximadamente simétrica alrededor del valor 16.8. Esto significa que tenemos la misma probabilidad de terminar en una fecha antes de ese valor que de terminar después de la misma. Si queremos conocer las probabilidades de terminar antes del punto señalado, $R=20.0$ semanas, calcularíamos el número de desviaciones estándar de la media 16.8 al punto R.

En general, para cualquier evento en que se asignara fecha programada se puede calcular la probabilidad de cumplirla en base a la fórmula siguiente, que nos da el valor del factor con que se entra a los valores tabulados de la distribución normal:

$$\frac{(\text{fecha programada}) - (\text{fecha esperada, calculada})}{\text{desviación estándar del evento involucrado}}$$

que, aplicado al ejemplo es: $\frac{20.0-16.8}{2.3} = 1.39$ Desv. Std.

Con este valor se recurre a las tablas de probabilidad buscando el área bajo la curva (área total=1.000) del extremo izquierdo a un punto situado a la 1.39 desviaciones estándar a la derecha de la media, encontrando como respuesta el valor de 0.9177; esto significa que tenemos más del 91% de probabilidad de terminar con el proyecto antes de 20.0 semanas.

En términos generales, y para redes de mucho mayor tamaño, si encontramos una respuesta de 0.5, significa que hay una probabilidad razonable de que la fecha propuesta sea cumplida. Una probabilidad alta de cumplir el programa no es necesariamente buena, puesto que indica que el programa es irreal. Por supuesto que una baja probabilidad tampoco es buena.

El uso de las probabilidades en este ejemplo fue muy sencillo y simplificado puesto que existía sólo una trayectoria a través de la red: era la trayectoria crítica. En redes más complicadas primero se identificaría la ruta crítica y entonces se aplicaría este procedimiento a las actividades de tal ruta crítica.

2) EL MODELO CPM

El método de la trayectoria crítica (Critical Path Method) fué desarrollado originalmente con el fin de resolver los problemas de programación que se presentan en el montaje industrial. Quizá por esta razón se centró más en los costos involucrados en la programación de proyectos y cómo minimizarlos, en contraste con el PERT que se interesó en los problemas de incertidumbre. Entonces, a diferencia del PERT el CPM no hace uso de

estimados probabilísticos del tiempo de trabajo; es un modelo determinístico más que probabilístico. Sin embargo, admite varios valores para la duración de las actividades, no como resultado de factores aleatorios, sino como el tiempo planeado y aquél que es el resultado esperado por la asignación extra de recursos.

La teoría del CPM sostiene que la mayoría de las actividades de un proyecto pueden ser reducidas en su duración si se les asignan recursos extra (hombres, maquinaria, dinero). Este acortamiento de duraciones puede ser motivo de un incremento en el costo de realización de la actividad pero, si existen ventajas que contrarresten esta alza del costo, el trabajo debe ser acortado. Por otro lado, si no hay razón para acortar una determinada actividad —si tiene suficiente holgura— entonces debe ser efectuada a su paso normal o más eficiente, con el menor nivel de empleo de recursos. Con esto podemos ver que no es necesario acortar todas las actividades de un proyecto para que éste termine más pronto que la fecha calculada con las duraciones normales; solamente deben ser aceleradas o acortadas una o más actividades de las que forman la ruta crítica. La cuestión de cuales actividades hay que acortar y en que medida es un problema que intenta resolver el método CPM.

Costos del proyecto relacionados al programa de tiempos.—El costo del proyecto no está constituido solamente por los costos directos asociados con las actividades individuales del proyecto. Normalmente hay gastos indirectos que se incluyen en el gasto global. La mayoría de estos gastos indirectos (tales como servicios gerenciales administrativos, renta de equipo, locales, etc.), se ven afectados por la duración total del proyecto: a mayor tiempo requerido para terminar el proyecto, mayores serán los costos indirectos. Además de esto, en muchos casos al establecer el contrato, se incluye en él una cláusula de penalización en la que se estipula el monto de los cargos por retrasos en la entrega del trabajo más allá de la fecha acordada.

De aquí que el programa de tiempos del proyecto puede tener influencias sobre los dos tipos de costos: costos directos asociados a las actividades individualmente (que se incrementan si se aceleran las actividades) y costos indirectos asociados con la longitud del proyecto (que decrecen al acortar el proyecto). La siguiente figura ilustra ambas nociones.

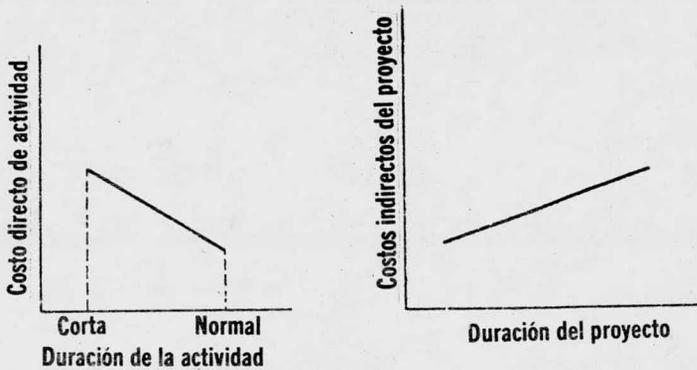


FIGURA 3.12

En su forma original el CPM supuso por simplificación que la relación tiempo-costo de una actividad individual es lineal; esto es, tal relación puede ser representada por una línea recta en una gráfica de duración de actividad contra costo. Entre mayor sea la pendiente de esta línea, mayor será el costo por acortar la actividad. Una línea horizontal indica que acortar la duración no implica abatimiento de eficiencia ni costo adicional. Es de esperarse normalmente que la línea sea decreciente hacia la derecha indicando que el costo aumenta al disminuir la duración.

Si una actividad no puede acortarse cualquiera que sea el nivel de recursos extra aplicados, su línea de costo tiempo será vertical. La representación de estos tres tipos de línea dada en la gráfica de la figura 3.13:

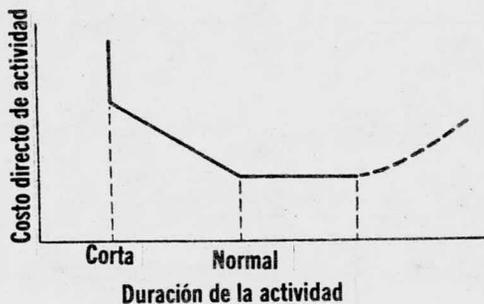


FIGURA 3.13

Dentro de un cierto rango es posible acortar la duración aplicando recursos extra (porción de la figura entre "corta" y "normal"). Probablemente existe una duración mínima que no puede ser abatida sin importar la aplicación de recursos (porción vertical). Similarmente; alargando la actividad decrecerán los costos hasta un punto; a la derecha de este punto ("normal") no es posible obtener mayor ahorro en costos (porción horizontal). De hecho los costos podrían irse elevando si se deja alargar demasiado la duración de la actividad.

En realidad, una línea curva representaría mejor el comportamiento de los costos. Se han hecho modificaciones al modelo original CPM que han hecho posible la solución de problemas con relaciones costo-tiempo no lineales.

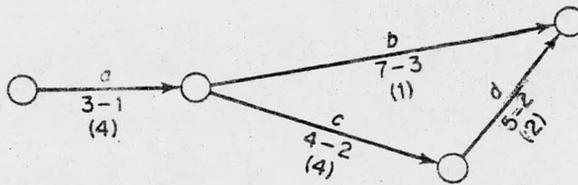
Optimización del costo de un programa según el CPM.—Es posible intuir que hay una duración óptima del proyecto. El CPM verifica esta posibilidad matemáticamente, y especifica un método para encontrar tal punto óptimo (el que representa el programa de menor costo). Las matemáticas del método son bastante sofisticadas pero el procedimiento general puede explicarse fácilmente.

Como principio se genera el programa general del proyecto con todas las actividades en sus fechas tempranas de inicio y con los niveles normales de recurso. Este será el programa de máxima longitud; puede ser reducido sólo si se acortan una o más de las actividades con un costo adicional. Si este costo adicional resulta ser menor que el importe ahorrado en costos indirectos resultantes de acortar el proyecto, se adopta este programa más barato. Este método se aplica a través de pasos sucesivos. Cada vez que se obtiene una reducción neta en costos, se logra generar un nuevo programa. El problema central es determinar cuáles actividades acortar y qué tan lejos llevar el procedimiento de acortar programas.

En cada paso del procedimiento, solamente las actividades críticas se considerarán para reducciones. Hay que examinar la pendiente de la línea costo-tiempo de cada actividad para determinar la actividad con menor pendiente. Esta última es la que se debe acortar con el menor gasto de recursos extra. Si el costo de acortar la duración de la actividad en una unidad de tiempo es menor que el ahorro obtenido por la reducción de una unidad de tiempo en el proyecto, significa que es una mejor

opción y que hay que acortar la actividad (hasta el punto en el que no se obtenga mayor reducción del programa, por no poder acortar más la duración de la actividad o porque otras actividades se hayan hecho críticas en una trayectoria paralela). Luego se examinan las actividades restantes y se escoge la de menor pendiente. Si hay rutas críticas paralelas se escoge una actividad de cada una de ellas. El proceso se repite hasta no poder obtener reducción en las actividades críticas o hasta que el costo adicionado por las reducciones exceda al ahorro causado por la reducción de la duración del proyecto.

Para ilustrar estas nociones básicas basta resolver un ejemplo con una red sencilla. Supongamos la red ilustrada en la figura 3.14, con cuatro actividades.



Clave: Nombre de la actividad
 Tiempo normal - Tiempo reducido en días
 (Costo por reducción, \$/día)

FIGURA 3.14

Bajo cada flecha (actividad) se da un par de números, el primero nos da el tiempo o duración normal de la actividad en días, en su paso más eficiente; el segundo representa el tiempo mínimo o duración más corta que resulta de la aplicación de recursos adicionales. Se supone que entre estos dos puntos extremos hay posibilidad de tener otros. Bajo de estos dos números se anota el costo por día de acortamiento, esto es, el número de unidades monetarias de gasto adicional requeridos para

reducir un día la duración de la actividad. Por ejemplo, la actividad *c* normalmente se efectúa en tres días. Por tres unidades monetarias adicionales a su costo base, se puede reducir su duración a dos días y, por otras tres unidades monetarias se puede reducir a un día, el tiempo mínimo posible para esa actividad. El costo base es el involucrado por efectuar la actividad y, puesto que todas las actividades se deben realizar para completar el proyecto, hay un costo base para llevar a cabo el proyecto. Estos costos se pueden considerar como fijos para el proyecto.

La figura 3.15 muestra la gráfica de las líneas costo-tiempo de cada una de las actividades del ejemplo.

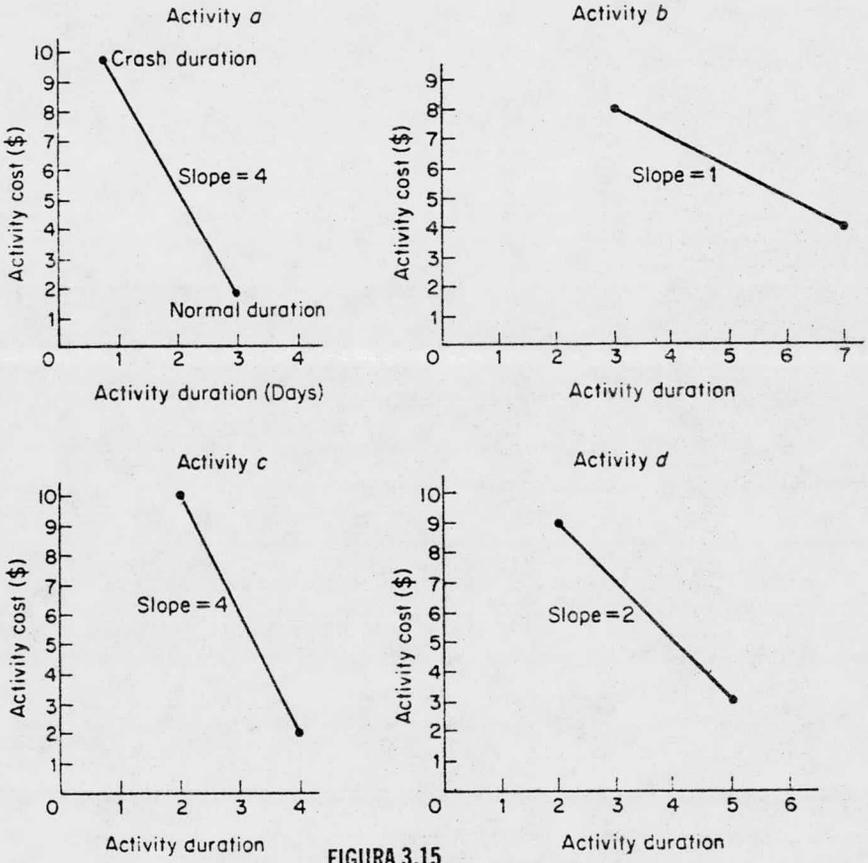


FIGURA 3.15

Supongamos que el costo base del proyecto es de 4.50 unidades monetarias al día ¿cuál es el programa de menor costo para el proyecto?, y, ¿qué tanto deben ser acortadas cada una de las actividades que lo requieran?

Para encontrar el programa óptimo se inicia, como ya se había dicho con todas las actividades a su paso normal de realización. La ruta crítica resultante es la formada por la secuencia *a-c-d* y su duración es de doce días. La gráfica de la red en una escala de tiempos es la mostrada en la figura 3.16:

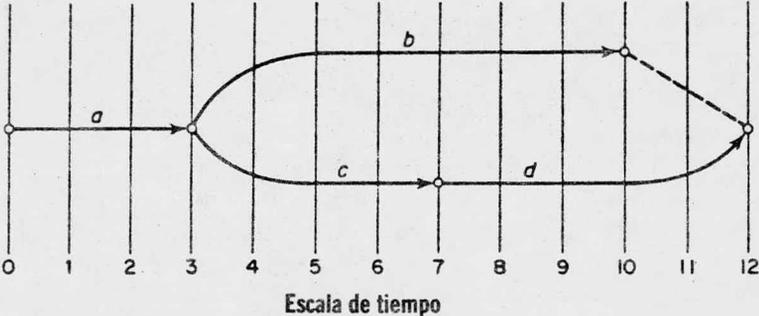


FIGURA 3.16

En esta representación la longitud horizontal de las flechas indica duración y las líneas punteadas indican relaciones de precedencia y la existencia de holgura.

Ignorando los costos base por actividad, el costo de este programa es de 54 unidades monetarias.

$$\begin{aligned} \text{Costo total} &= \text{costo por reducción} + \text{costo base del proyecto} \\ &= 0 + 12 \text{ días } (\$4.50/\text{día}) = \$54.00 \end{aligned}$$

Para acortar el programa hay que efectuar reducción a una o más actividades de la ruta crítica. La actividad de menor pendiente y por lo tanto más barata de acortar es la actividad *d*. Notamos también que *b* tiene dos días de holgura, lo que significa que *d* puede ser acortada dos días antes de que *b* se haga también crítica. Haciendo esta reducción encontramos que el programa es:

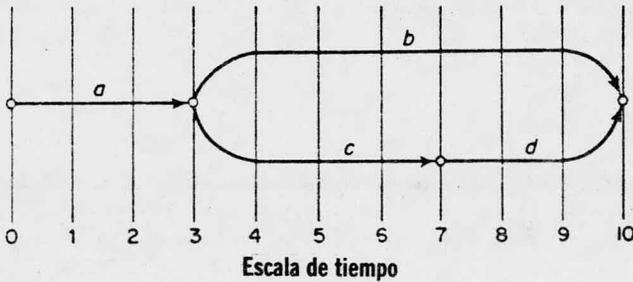


FIGURA 3.17

Ahora el programa es de 10 días y su costo es de 49 unidades monetarias:

$$\begin{aligned} \text{Costo total} &= \text{costo por reducción en } d + \text{costo proyecto} \\ &= (2 \text{ días}) (\$2.00/\text{día}) + (10 \text{ días}) (\$4.50/\text{día}) = \$49.00 \end{aligned}$$

Aunque el costo de reducción se incrementa en \$4.00 el costo base disminuye en \$9.00 con una mejoría neta de \$5.00. Con esto se tienen ahora dos rutas críticas, *a-b* y *a-c-d*; el programa se puede reducir sólo si se acorta la longitud de ambas rutas. Puesto que *a* es común a ambas, acortándola logramos nuestro propósito. De otro modo hay que escoger una actividad de cada ruta en el segmento en que son paralelas, lo que representa dos alternativas: Acortar *b* y *c*, ó *b* y *d*. Cuando se deban acortar dos o más actividades simultáneamente, deben sumarse sus pendientes para obtener el costo de reducción. Las tres alternativas posibles en este punto son las que siguen:

ACTIVIDADES POR ACORTAR	COSTO TOTAL POR REDUCCION: \$/DIA
<i>a</i>	4
<i>b</i> y <i>c</i>	1+4=5
<i>b</i> y <i>d</i>	1+2=3

Obviamente la más atractiva es la tercera alternativa pero hay que notar que *d* puede ser reducida solamente un día más antes de alcanzar su duración mínima de dos días. Acortando *b* y *d* en un día cada una resulta un programa de 9 días mostrado en la figura 3.18:

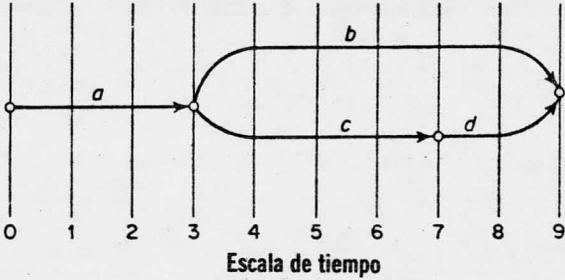


FIGURA 3.18

El costo total del programa son \$47.50:

$$\begin{aligned} \text{Costo total} &= \text{costo acortar } b \text{ y } d + \text{costo base} \\ &= 1 \text{ día } (1.00/\text{día}) + 3 \text{ días } (\$2.00/\text{día}) + 9 \text{ días } (\$4.50/\text{día}) = \$47.50 \end{aligned}$$

De las alternativas restantes para reducir la duración del proyecto, acortar *a* (\$4.00/día) es menos caro que acortar *b* y *c* (\$5.00/día). La actividad *a* se puede acortar de 3 a 1 día, y la figura 3.19 muestra los resultados de este cambio.

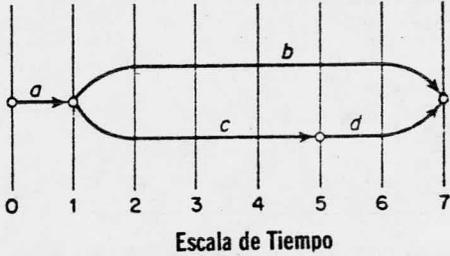


FIGURA 3.19

El costo total de este programa es:

$$\begin{aligned}\text{Costo total} &= \text{costo acortar } a, b \text{ y } d + \text{costo base} \\ &= 2 \text{ días } (4.00/\text{día}) + 1 \text{ día } (1.00/\text{día}) + 3 \text{ días} \\ &\quad (\$2.00/\text{día}) + 7 \text{ días } (\$4.50/\text{día}) = \$ 46.50\end{aligned}$$

Ahora sólo queda como alternativa el acortar *b* y *c* para mayor reducción en la longitud del proyecto. La actividad *b* ya ha sido acortada un día, pero puede reducirse otros tres días más. Sin embargo, *c* sólo se puede acortar dos días. Aún cuando el costo de acortar *b* y *c* excede al ahorro en los costos base, haremos el cálculo, lo que conduce a la gráfica siguiente:

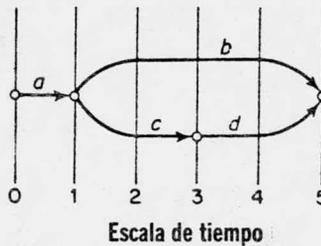


FIGURA 3.20

Este resulta ser el programa más corto posible. Aún acortando más a *b*, el programa seguiría de cinco días. El costo de este programa es:

$$\begin{aligned}\text{Costo} &= \text{costo acortar } a, b, c \text{ y } d + \text{costo base} \\ &= 2 \text{ días } (\$4.00/\text{día}) + 3 \text{ días } (1.00/\text{día}) + 2 \text{ días } (\$4.00/\text{día}) \\ &\quad + 3 \text{ días } (\$2.00/\text{día}) + 5 \text{ días } (\$4.50/\text{día}) = \$ 47.50\end{aligned}$$

Costo que es, como se previó, mayor que el anteriormente calculado. Graficando la duración de los programas sucesivos contra sus costos correspondientes, obtenemos la figura 3.21.

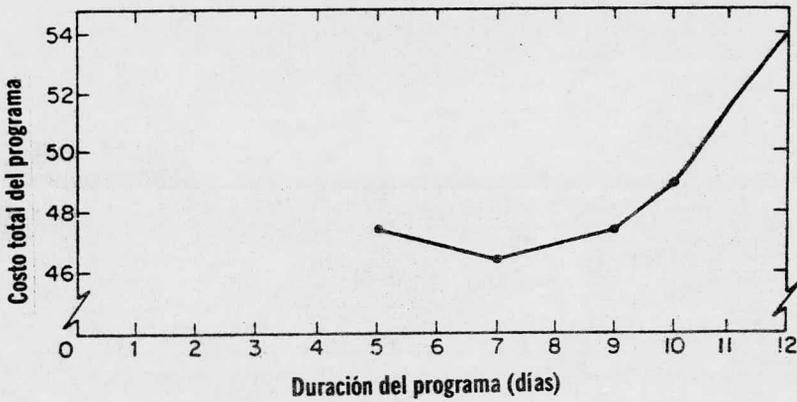


FIGURA 3.21

En base a esta información el ingeniero programador puede auxiliar al jefe de proyecto en la selección del programa más apropiado. Por lógica debía ser en la duración que de el más bajo punto sobre la curva, pero frecuentemente hay otros factores, de naturaleza cualitativa, que deben ponderarse. Por ejemplo, quizá el programa de nueve días involucre menos riesgos para los empleados que el programa más barato de siete días. La diferencia en costo es poca y la mayor seguridad puede ser más valiosa a juicio del jefe de proyecto. De igual manera, la curva de costo vs. tiempo del proyecto obtenida por el ingeniero programador, combinada con otros datos y análisis e interpretaciones generadas por el mismo, serán de gran valía para el jefe de proyecto y lo ayudan a tomar mejores, más fundamentadas, decisiones.

3) PDM: METODO DE DIAGRAMAS DE PRECEDENCIAS

El PDM (Precedence Diagramming Method) es un método recientemente desarrollado para la construcción de redes de proyecto y su evaluación, el cual parece tener ciertas ventajas sobre los métodos tradicionales. Este método ha recibido el nombre de Diagramas de Precedencias o Diagramas de Actividades en Nodo. El concepto básico es que las actividades

(no los eventos) se colocan dentro de un círculo o cuadro, y las dependencias entre actividades se muestran con líneas o flechas. La descripción escrita no representa el evento instantáneo sino, más bien, un paquete real de trabajo o partida que realizar. Las conexiones entre actividades sólo son conexiones lógicas de duración cero, por lo tanto no hay actividades ficticias como tales. Aunque, en apariencia, los Diagramas de Precedencias se parecen mucho a las redes orientadas a eventos del PERT, en realidad son más parecidos al CPM que al PERT.

Una explicación de la gran simplicidad de los Diagramas de Precedencias es que una actividad puede ser conectada ya sea de su terminación o de su inicio. Esto permite una presentación lógica de inicio-final sin partir la actividad en sus actividades parciales. La figura 3.22 muestra las tres relaciones básicas inicio a inicio, final a final, e inicio a final.

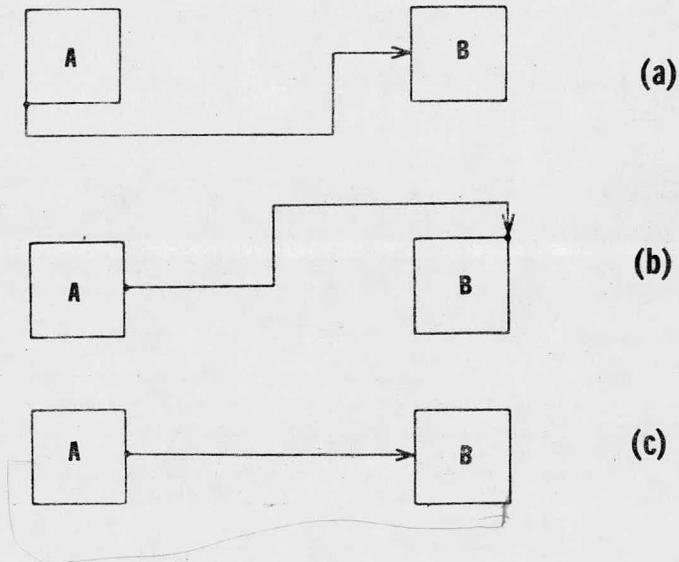


FIGURA 3.22

En el inciso (a) el inicio de B depende del inicio de A (una relación inicio a inicio); en el inciso (b), la terminación de B depende de la terminación de A (una relación final a final); finalmente, en el inciso (c), el inicio de B depende de la terminación de A (una relación inicio a final).

En la figura 3.23 se muestra la comparación entre una red de actividades y eventos y su equivalente mediante el Diagrama de Precedencias. En (a) tenemos la forma red común de actividades y eventos; en (b) la misma red en la forma de diagrama de precedencias.

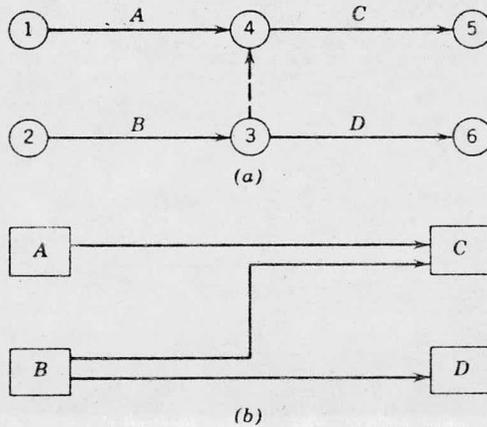


FIGURA 3.23

Cálculo de Tiempos.—La información necesaria para proceder al cálculo de tiempos son: identificación de partidas, sus duraciones y una tabla de relaciones en que se incluye la precedencia del evento en cuestión y el tipo de relación que los une. Esta información se obtiene de la etapa de planeación al inicio del proyecto. De esta información se puede calcular la fecha temprana para cada partida. La fecha temprana para la primera partida del proyecto es cero (por definición). La fecha temprana de inicio para cada una de las otras partidas es la mayor de las trayectorias que conduzcan al inicio de la partida. El valor de esa trayectorias se calcula por los siguientes métodos:

1. **Inicio a inicio.**—La fecha temprana de inicio para la partida predecesora es la fecha temprana de inicio para la partida en cuestión.
2. **Inicio a final.**—La fecha temprana de terminación para la partida predecesora es la fecha temprana de la partida en cuestión.
3. **Final a final.**—La fecha temprana de terminación para la partida predecesora menos la duración de la partida en cuestión es la fecha temprana de inicio de ésta última.

La trayectoria más larga (de mayor valor) hasta el inicio de la partida en cuestión determina la fecha temprana de inicio.

La fecha temprana de terminación para una partida es su fecha temprana de inicio más su duración.

La fecha tardía de terminación, por definición, para el último evento de la red se toma igual a la fecha temprana de terminación de la misma partida. La fecha tardía de terminación para las demás partidas se calcula mediante cálculos en reversa partiendo de la fecha de terminación del evento final de la red. La fecha tardía de terminación de las demás partidas es la más corta de las trayectorias que conduzcan a la terminación de la partida, como sigue:

1. **Final a inicio.**—La fecha tardía de terminación es la fecha tardía de inicio de la partida que le sigue.
2. **Final a final.**—La fecha tardía de terminación para la partida es igual a la fecha tardía de terminación de la siguiente "partida".
3. **Inicio a inicio.**—La fecha tardía de inicio de la partida sucesora más la duración de la actividad en cuestión determina la fecha tardía de terminación de ésta última.

La fecha tardía de inicio es igual a la fecha tardía de terminación menos la duración.

La holgura para una partida es: (terminación tardía - (inicio temprano + duración)) = (terminación tardía - terminación temprana). Las partidas con holgura cero forman la Ruta Crítica.

Ventajas: El método de Diagrama de Precedencias tiene ciertas ventajas sobre la red de eventos y actividades, así como ciertas desventajas.

Entre las ventajas se tiene:

1. Eliminación de las actividades ficticias o restricciones.
2. Facilidad y rapidez para que el personal capte o comprenda el concepto.
3. Simplificación de la red mediante la eliminación de eventos.
4. Habilidad de mostrar tiempo de inicio o de espera, con ello elimina la necesidad de romper partidas solamente para fines de la

construcción de la red. Esto usualmente reduce el número de actividades en la red.

Desventajas: Comparado con la red de eventos y actividades, el Diagrama de Precedencias tiene las siguientes desventajas:

1. Para muchas aplicaciones, los eventos son de gran importancia. El Diagrama de Precedencias elimina eventos.
2. No se pueden integrar varias redes mediante el uso de eventos de interfase.
3. Se necesitan programas especializados de computadora, y solamente se conoce uno que está completamente disponible (para la computadora IBM 1440).
4. Trazar y seguir rutas es difícil ya que las ligas o uniones entre números de evento no está presente.

4) COMPARACION Y SELECCION

Se han presentado los aspectos esenciales de cada una de las tres técnicas empleadas para la programación de proyectos en base a redes. En realidad existe una variedad ilimitada de técnicas utilizadas actualmente pero, todas pueden ser clasificadas dentro de algunas de estas tres categorías.

Para hacer factible la selección de una de estas tres técnicas presentadas para su aplicación en un proyecto o tipo de proyectos en particular, puede recurrirse a la tabla que se anexa en esta sección. Esta tabla muestra el análisis de las ventajas y desventajas para los métodos CPM, PERT y PDM respecto a las tres consideraciones fundamentales que son: a) Elementos del método de redes, b) Las particularidades del programa de computadora y c) Características y requerimientos del proyecto.

En el primer punto pueden analizarse los elementos que mejor se ajusten al proyecto que deseamos programar.

Respecto al segundo aspecto, hay que buscar que el programa de computadora pueda adaptarse a la forma en que se desea trabajarlo en lo que se refiere a datos, resultados y procesamiento.

Para las características del proyecto y sus requerimientos de control, se presentan los elementos necesarios para hacer una selección acertada.

Después de la comparación se hace un balance de los tres aspectos para escoger finalmente la técnica que posea las características que se requieren o pueda adaptarse a los objetivos del proyecto.

CARACTERISTICAS DE LA TECNICA	PERT	CPM	MPD
	ACTIVIDAD EN LA FLECHA	ACTIVIDAD EN EL NODO	METODO DE PRECEDENCIAS
Enfasis en eventos y tiempos	Difícil	Base del diagrama	Realmente no existe
Enfasis en actividades y eventos	Moderado	Prácticamente no	El más alto
Orientada hacia la terminación	Débil	Fuerte	De débil a no
Eventos clave	Artificial	Si	Artificial
Capacidad de seguir las trayectorias	Bastante	Moderada	Difícil
Facilidad de presentación como diagrama	Aceptable	Poca	La mejor opción
Facilidad de actualizar/corregir la lógica	Moderada	Baja	Alta
Facilidad de preparación de la red	Moderada	Baja	Alta
Facilidad de hacer barras en escala de tiempos	Moderada	Moderada	Alta
Utilidad del diagrama a nivel realización	Moderada	Baja	Alta
Utilidad del diagrama a nivel programador	Alta	Moderada	Baja
Facilidad de cálculos manuales	La más alta	Moderada	Baja

CARACTERISTICAS DE LOS PROGRAMAS DE COMPUTADORA

Procesar uno sólo o varios integrados	No definido	Característico	No definido
Niveles de reporte	No disponible	Disponible	No disponible
Estimados de tiempo múltiples	No	Permitido	No
Estimado de tiempo sencillo	Si	Si	Si
Fechas programadas intermedias	Algunos programas	Estándar	Generalmente no
Integración con costos u otro sistema existente	Muy difícil	Característico	Posible-difícil
Múltiples inicios/terminaciones	Algunos	Si	Algunos
Facilidad para manejar multiproyectos	Varia (difícil)	Característico	Puede ser

CARACTERISTICAS DE LOS PROYECTOS

Importante la terminación del trabajo	Se puede usar	Mejor opción	Se puede usar
Contenido del trabajo no muy bien definido	No recomendable	Preferido	Segunda opción
Incertidumbre en las duraciones del trabajo	No recomendable	Preferido	No recomendable
Primero en su tipo o sofisticado	Difícil	Preferido	Segunda opción
Se desea control multiproyecto	Difícil-posible	Preferido	Difícil-posible
Medidas de terminaciones/avance en fechas intermedias	No es fácil	Preferido	Muy difícil
Necesidad de reportes en diferentes niveles	Difícil	Preferido	Difícil
Trabajo geográficamente dispersado	Casi imposible	Preferido	Casi imposible
Posible necesidad de aislar un área de la red	No es práctico	Preferido	No es práctico
Posibilidad de agrandar el detalle en algunas áreas	Posible	Preferido	Posible
Mínimas restricciones para nombres de evento	Problemático	Preferido	Sin problemas
Resultados de cálculos expresados en la red	Preferido	No muy fácil	Segunda opción
Diagrama de la red para distribuirse regularmente	Segunda opción	Mala opción	Preferido
Sofisticación requerida por los usuarios de resultados	Intermedia	Alta	La más baja
Sofisticación requerida por los usuarios de la red	Intermedia	Alta	La más baja

Para efectuar nuestra selección debemos tomar en cuenta unos aspectos adicionales a los presentados en la tabla que son muy importantes:

1.—En los proyectos petroquímicos es muy conveniente evaluar el progreso de la obra mediante el cumplimiento de eventos arbitrarios fijados al inicio de la misma. El PERT es el único método capaz de aceptar eventos claves y que además, sean factibles de programar.

2.—Para la organización tipo departamental en la compañía el trabajo puede ser planeado y programado en una forma más realista tomando en cuenta que se efectuarán varios proyectos a la vez utilizando los mismos recursos. Por ello debe resultar beneficioso el poder integrar las redes de los programas de los varios proyectos dentro de una sola corrida de computadora. En este aspecto es el PERT la técnica preferida, pues ésta característica del método facilita una distribución más realista del trabajo, respecto al personal disponible y el tiempo permitido para el proyecto.

3.—Generalmente los proyectos de Ingeniería de Plantas Industriales cuentan con una gran mayoría de actividades de las que, considerando el tiempo real de ejecución como una variable, para lograr un conjunto dado de especificaciones empleando un nivel dado de recursos, está sujeto a un número considerable de elementos casuales o accidentales. A estas actividades se les llama variables y se caracterizan por una variancia relativamente grande en su tiempo de ejecución. Por otro lado tenemos las actividades determinísticas, con un valor medio bien definido y cuya variancia en el tiempo de ejecución es despreciable como ocurre en las actividades de fabricación de equipo, mantenimiento de plantas y la construcción en general.

Los programas formados básicamente de actividades variables emplean la versión PERT de los métodos de redes, mientras que los programas comprendidos principalmente de actividades determinísticas emplean el CPM.

4.—El objetivo original del CPM fue el de dirigir y programar las actividades de un grupo cohesivo de personal tendiendo hacia una meta común, cuyos procedimientos eran uniformes y que su área de trabajo no

estaba geográficamente dispersa. El PERT, por otro lado, fue desarrollado para vigilar y reportar el trabajo logrado por grupos autónomos con metas múltiples y con una dispersión geográfica relativamente alta.

Por necesidad, en una compañía de proyectos cuya organización sea del tipo departamental, se requiere el uso del PERT como herramienta de programación y control.

Estos cuatro argumentos mencionados y el análisis de la tabla presentada inclinan la balanza en favor de la selección del PERT como la técnica de programación más adecuada para proyectos petroquímicos y de refinación.

CAPITULO IV

Ejemplo de aplicación.

- A) CONSTRUCCION DE LA RED
- B) EVALUACION POR COMPUTADORA
- C) TIPOS DE REPORTE POR PROGRAMA

Para completar el tratamiento de la programación de proyectos es conveniente presentar este capítulo en que se explica, a grandes rasgos, los pasos que normalmente se siguen para establecer la red del proyecto y la forma en que se maneja ilustrando los tipos de reportes que se obtienen del análisis de la red mediante computadora.

Los listados y gráfica con que se ilustra este capítulo se obtuvieron por corridas en la computadora UNIVAC serie 1100 con el programa EXEC 8 PERT, cuya capacidad máxima es de 25,000 actividades o eventos. Se emplearon proyectos en realización y la Red Básica de Proyectos del departamento de Programación del Instituto Mexicano del Petróleo.

El programa original del PERT era orientado hacia eventos por lo que se le empleaba para analizar redes ya existentes. El paquete EXEC 8 PERT tiene la facilidad de evaluar redes orientadas a actividades, características que resulta particularmente útil para emplear el PERT en la planeación de trabajos nuevos. A su vez, este programa conserva las características originales de poder trabajar con varios nodos de inicio y varios de terminación, de admitir nodos clave programables.

Para la obtención de la gráfica que muestra las partidas en forma de barras con sus nombres en forma de calendario de proyecto se empleó un programa especial anexo al de ruta crítica que toma como datos los resultados emitidos por este último programa.

A) CONSTRUCCION DE LA RED

El primer paso para obtener el programa del proyecto es reunir la información necesaria y con ella construir la red, que es el esqueleto del programa.

La información para el armado de la red se compone principalmente de:

- Nombre de cada una de las partidas que componen el proyecto.
- Descripción de las actividades de que consta cada partida, (02, 03, 08, etc.).
- Estimado de duraciones para cada actividad real.
- Precedencias para inicio y desarrollo de cada partida según se haya planeado para el proyecto en cuestión.

- Fechas programadas que se hayan fijado para inicio o terminación de actividades o de ocurrencia para eventos.
- Departamento responsable de cada partida.

El sistema PERT está orientado a caracteres alfanuméricos. Los códigos de identificación de código/evento y de organización responsable pueden ser signados arbitrariamente por el usuario como un conjunto de letras o números, o cualquier combinación de ambas. Los códigos de evento, por ejemplo, no tienen que ser numéricos ni tienen que seguir una secuencia particular. El módulo de ordenamientos del programa efectúa todos los ordenamientos necesarios internamente.

Con la información anteriormente mencionada se procede a la identificación mediante códigos de los eventos de cada partida. Es recomendable que cada código este formado por una combinación de tres grupos de caracteres: el primero para identificar departamento responsable, el segundo para que identifique a cada partida y, el tercero para la numeración progresiva de los eventos de la partida. Se dispone de hasta doce caracteres para la asignación de código a cada evento.

Una vez numerados los eventos se procede a la definición de nodo inicial y nodo final a cada una de las actividades ficticias que representan las precedencias de las partidas.

El resto de la información de la computadora lo forman las instrucciones necesarias para el procesamiento de los datos y las órdenes de creación de los reportes de resultados.

Para crear el archivo de la red del proyecto se utilizan tres conjuntos de tarjetas que son los que siguen:

Información de Control.—Son los datos esenciales para el procesamiento de los datos que se introducen en los dos conjuntos restantes, así como las órdenes para la creación de los diferentes tipos de reportes. La información que contiene este paquete es la siguiente:

- Identificación y número de contrato del proyecto en cuestión.
- Fecha de inicio del proyecto y fecha del día en que se hace la corrida del programa.

- Fecha programada para el final del proyecto (opcional).
- Tipo y número de los reportes solicitados.
- Días festivos no laborables durante el tiempo estimado de realización del proyecto, diferentes de sábados y domingos.
- Número de días laborables a la semana (5, 6 ó 7).

Tarjetas de Actividades.—Proporcionan la información de cada una de las actividades del proyecto, empleando una tarjeta por actividad.

- Nodo en que inicia y nodo en que termina.
- Tiempo de duración en días laborables, en semanas y fracciones de semana.
- Departamento responsable (no aplica para las actividades ficticias).
- Fecha programada de terminación y/o fecha de actualización, si las hay.

Tarjetas de nomenclatura.—Este grupo es opcional y contiene las nomenclaturas de las actividades por partida para ser utilizada en la generación de reportes.

- Nodos inicial y final de la actividad.
- Nomenclatura o descripción de la actividad.
- Nomenclatura de la partida a que pertenece la actividad en cuestión.
- Este conjunto no incluye a las actividades ficticias o de interrelación.

Una vez que se completa el paquete de información para la computadora se efectúa la primera corrida para obtener los listados de revisión, sin cálculos de fechas ni holguras, solamente los datos introducidos ordenados por nodo inicial y por nodo final para actividades y para nomenclatura. La computadora efectúa una revisión de la sintaxis de los datos e imprime un diagnóstico de los errores encontrados, si los hay. Con estos listados el ingeniero programador procede a la revisión de la lógica de la red y, en general, de los datos alimentados en caso necesario efectúa las correcciones necesarias y es entonces cuando la red está en condiciones de ser procesada para su evaluación.

Para ilustrar estos conceptos, tomamos la red mostrada en la figura 3.8 del capítulo anterior como referencia, asignando nombres de actividad y partidas ficticias y un número de contrato arbitrario.

El paquete de información resultante de la red mencionada para su introducción en la red, sería como sigue:

TARJETAS DE CONTROL

No. de Contrato	Proyecto	Fechas de Inicio Corrida
22443	RED EJEMPLO PERT	250577 250577
Año 77	Días Festivos al Año (día-mes) 0502 1803 2103 0704 0804 0505 1609 0211	

TARJETAS DE ACTIVIDADES

nodo i	nodo j	duración	fecha act.	Depto.
	1001	0000	250577	SISTEMAS
1001	1002	0020		SISTEMAS
1001	1003	0020		SISTEMAS
1003	1004	0040		SISTEMAS
1004	1005	0020		SISTEMAS
1005	1006	0060		INSTRUM.

TARJETAS DE NOMENCLATURA

nodo i	nodo j	actividad	nombre partida
1001	1002	03	DTI DE PROCESO
1002	1005	06	DTI DE PROCESO
1001	1003	02/03	DTI SERVICIOS AUXILIARES
1003	1004	05	DTI SERVICIOS AUXILIARES
1004	1005	06	DTI SERVICIOS AUXILIARES
1005	1006	04	INDICE DE INSTRUMENTOS

De esta manera quedaría integrado el paquete de información listo para su procesamiento y reporte de resultados. En el orden en que se presentaron las tarjetas, entran para lectura en la computadora.

B) EVALUACION POR COMPUTADORA

El siguiente paso es el procesamiento de los datos alimentados a la máquina. Generalmente la primera impresión de listados contiene sólo los datos con el fin de revisar la lógica de la red. La siguiente corrida corresponde la evaluación de la red y los cálculos de tiempos y holguras, información que analiza el ingeniero programador y pasa sus comentarios al jefe de proyecto.

Todos los tiempos calculados por el programa se convierten a fechas de calendario mediante una rutina de conversión de tiempos a fechas. Si la fecha convertida cae en día festivo o en sábado o domingo, se reportará en los listados la fecha del siguiente día laborable. Este programa acepta no más de 18 días festivos para cada uno de hasta 8 años dentro de las tarjetas de control.

El modulo de tiempo del programa puede procesar varias redes no relacionadas simultáneamente. Al procesar una red, el programa procede a lo largo de cada trayectoria aislada de principio a fin. No hay consecuencias en los cálculos si dos trayectorias sin interconexión entre ellas pertenecen a una sola o a varias redes diferentes.

Cualquier red sencilla que se procese puede contener varios eventos iniciales y terminales.

La corrida definitiva del programa tiene el objeto de obtener los listados y gráficas que se emplean para distribución a jefe de departamento y dar marcha al proyecto. De aquí en adelante se harán mensualmente las actualizaciones y modificaciones que surjan en el desarrollo de la obra y la consecuente renovación de listados para su distribución. De esta manera se tiene una guía para coordinar y controlar el progreso de la obra.

C) TIPOS DE REPORTE POR PROGRAMA

La información detallada de las características específicas del proyecto necesarias para el análisis del mismo, su programación, etc., debe ser proporcionada por reportes especialmente preparados.

El paquete EXEC 8 de UNIVAC para PERT tiene facilidad de editar los siguientes reportes, en la modalidad PERT/TIEMPO:

Reporte de actividades.—Es el listado de actividades de la red ordenados por: orden alfanumérico del evento de inicio de la actividad, fecha de terminación temprana, fecha tardía de terminación, orden alfanumérico del evento final de la actividad. (En cualquiera de estos ordenamientos se escribe: eventos inicial y final, nomenclatura y descripción de la actividad, departamento responsable, fecha de terminación temprana y fecha de terminación tardía, fecha programada de terminación, fecha de actualización, holgura y duración programada).

Reporte de eventos.—Listado de eventos de la red ordenados por orden alfanumérico del código del evento, fecha de terminación, por holgura o por fecha tardía.

Los reportes de las holguras, mostrando la criticidad relativa de las secuencias o cadenas, son particularmente útiles para el análisis del proyecto, especialmente donde las fechas programadas han producido holguras negativas.

Los reportes ordenados por evento o por actividad, son básicos para la comunicación entre diagrama y reporte y para la detección de errores y propósitos de comparación.

Reporte de actividades por partida.—Reporte ordenado por orden alfabético del nombre de la partida listando las actividades contenidas en cada una.

Para proyectos muy grandes, los reportes ordenados por partida son valiosos en la organización tipo departamental para ejercer correctamente la labor de coordinación y control.

Existe la posibilidad de que estos reportes sean clasificados por departamento.

Los reportes ordenados por departamento responsable, son necesarios sobre todo cuando el plan de proyecto es para organización del tipo departamental. Son muy útiles, especialmente, donde se requiere nivelación de recursos.

La información contenida en los reportes de eventos y actividades es la que sigue:

Identificación y número de contrato, tipo de reporte de que se trata, fecha en que se corre el programa, fecha de inicio y de terminación del proyecto, y los enunciados de las columnas. Las columnas son de: código alfanumérico del evento, departamento responsable, nomenclatura de la actividad, fecha de terminación temprana, fecha de terminación tardía, fecha programada, fecha de actualización, holgura, y duración programada.

Para los reportes de actividad por partida se incluye: código alfanumérico de los eventos de inicio y terminación de la actividad, nombre o descripción de la actividad y nombre de la partida a que pertenece la actividad.

Para mostrar los formatos con la información que contienen, se incluyen ejemplos de los listados y gráfica que se obtuvieron en la corrida de la Red Básica de los Proyectos y algunos otros proyectos efectuados en la computadora UNIVAC serie 1100 del INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO.

Los reportes presentados en las figuras 4.1 y 4.2 son la impresión de los datos introducidos ordenados por evento final de la actividad. El primero es de actividades y el segundo de nomenclatura. Su utilidad radica en la forma de presentación, que facilita la revisión de la lógica de la red y la numeración de los nodos de las partidas.

En la figura 4.3 se tiene el reporte de fechas de actividades agrupadas por departamento y ordenadas por fechas tardías de terminación de la actividad, con las holguras y duraciones programadas correspondientes.

La figura 4.4 es el reporte de actividades ordenadas por holgura en que se observa el orden creciente hacia abajo en los valores de holgura de las actividades del proyecto. Este tipo de reporte es valiosísimo para el control del proyecto, pues el jefe de proyecto enfoca su atención preferentemente sobre las actividades más críticas puesto que dentro de las actividades de un mismo valor de holgura se hace un ordenamiento de las fechas de terminación. En este caso las holguras negativas son causadas por las fechas programadas anteriores a las fechas esperadas, pues las fechas programadas substituyen a la fecha tardía de la actividad durante el cálculo de holguras. En los casos de fechas actualizadas en las actividades se omiten los cálculos de holgura para la actividad en cuestión.

En los reportes mostrados en las figuras 4.5 y 4.6 se tienen los programas-calendarios representando las barras por partida para los proyectos correspondientes. Esta es la información que se distribuye a los especialistas para que guíe sus actividades. El primer programa-calendario lo produce la impresora mediante una subrutina adicional al modulo PERT y cuenta con la facilidad de marcar con diferentes caracteres las actividades reales y las programadas. El segundo (fig. 4.6) es el programa que se obtiene por graficador, el cual debe ser autorizado por jefes de departamento, de proyecto y de la compañía para su distribución.

Los resultados presentados son parte de la información generada por el ingeniero programador de producción periódica para guiar el avance del proyecto.

CONCLUSIONES

Durante la práctica profesional y principalmente durante la elaboración de este trabajo hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- 1) Es necesario que el estudiante de Ingeniería Química reciba la instrucción adecuada respecto a la Programación, su intervención en los proyectos y de las técnicas de que se vale, así como de los avances que se han logrado en esta materia.
- 2) Debe reconocerse la importancia de la Ingeniería de Programación y hacer uso de ella en la forma más provechosa para lograr con ello el buen manejo de proyectos.
- 3) Debido a las características con que fue desarrollado, por la versatilidad de manejo y aplicación que ofrecen los programas de computadora desarrollados para esta técnica, el PERT es, hasta ahora, la mejor técnica para la planeación, programación y evaluación de las redes de proyectos de Ingeniería.
- 4) Los proyectos de Investigación y Desarrollo de plantas de proceso ofrecen un amplio campo de actividades a los profesionistas de la Ingeniería Química, por ello hace falta una enseñanza adecuada de la Ingeniería de Proyecto y su desarrollo en las Compañías de Ingeniería de Proyecto, que se enseñe al estudiante hasta qué punto interviene y cómo se aplica, cada una de las materias que se le imparten, para el desarrollo de la Ingeniería de las plantas de proceso y, en general, para las otras áreas en que puede desarrollarse un Ingeniero Químico.
- 5) El empleo de la computadora es elemental para el tratamiento de datos y resultados puesto que, además de la rapidez de cálculo que ofrece, es posible obtener un gran número de tipos de reporte de resultados y a diferentes niveles de detalle.

BIBLIOGRAFIA

- American Institute of Chemical Engineers, Project Management Techniques, Phase I and II, U.S.A. (1974).
- Sperry Univac, UNIVAC 1100 Series. PERT Programmer Reference, U.S.A. (1976).
- Fourre, James P., Critical Path Sheduling, A Practical Appraisal of PERT, Bulletin No. 114, American Management Association, Inc., U.S.A. (1968).
- Jenet, Eric, Guidelines for Successful Project Management, Chem. Eng., (70-81), July 9 (1973).
- Archibald, R. D. and Villoria, R. L., Network-Based Management Systems (PERT/CPM), John Wiley & Sons, Inc., U.S.A. (1968).
- Brennan, Jas, Applications of Critical Path Techniques, The English Universities Press, Ltd., London (1967).
- Levin, I. R., and Kirkpatrick, C.A., Cuantitative Approaches to Management, McGraw-Hill, Co., U.S.A. (1965).
- Ludwig, Ernest E., Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume I, Gulf Publishing, Co. (1964).
- Moder, J. J., and Phillips, C. R., Project Management with CPM and PERT, Reinhold Publishing, Co., U.S.A. (1966).
- O'Brien, James, CPM in Construction Management, Sheduling by the Critical Path Method, McGraw-Hill, Co., U.S.A. (1965).
- O'Brien, James, Sheduling Handbook, McGraw-Hil, Co., U.S.A. (1969).
- Peters, Max S. and Timmerhaus, Klaus, Plant Design and Economics for Chemical Engineers, McGraw-Hill, México (1968).
- Wiest, J. D. and Levy, F. K., A Management Guide to PERT/CPM, Prentice Hall, Inc., U.S.A. (1969).