

7-94

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



APLICACIONES
DE
RUTA CRITICA

TRABAJO ESCRITO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A

ARTURO MARIN DELGADO

MEXICO, D. F.

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

A P L I C A C I O N E S
D E
R U T A C R I T I C A

T R A B A J O E S C R I T O
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A

A R T U R O M A R I N D E L G A D O

México, D.F.

1979

I N D I C E

Pág.

Prólogo 1

CAPITULO I

Introducción. 5

Problemas del crecimiento y del desarrollo. 5

La ciencia y la tecnología en la sociedad moderna . 6

El crecimiento industrial y la especialización. . . 7

Evolución en la filosofía de la ciencia. Un punto de vista. 8

CAPITULO II

Sistemas de redes CPM/ PERT 13

Conceptos generales 13

Antecedentes e historia 15

Diagramas de Gantt. 15

Sistemas de redes CPM/ PERT 17

CAPITULO III

Descripción del método. 19

Pasos que se siguen en métodos de ruta crítica. . . 19

Conceptos básicos 23

El enfoque de tres estimaciones de PERT 25

CAPITULO IV

Aplicaciones prácticas. 31

Ruta crítica. Fabricación de una cocina 32

Enfoque PERT. 47

Cambio de planta. 52

CAPITULO V

Conclusiones. 65

BIBLIOGRAFIA. 67

P R O L O G O

El objetivo de este prólogo es explicar el motivo que me llevó a escribir mi trabajo de seminario en el área de investigación de operaciones en lugar de la tesis profesional tradicional en mi propia área de ingeniero mecánico y electricista en el área de circuitos eléctricos y electrónicos.

En el siguiente capítulo, intitulado como introducción, intentaré presentar mi posición con respecto a la situación de la ciencia en general. He tratado de establecer mi posición filosófica de la ciencia tratando de ser conciso y a la vez explicativo. Sin embargo, debido a que el tema es muy conflictivo y por limitaciones de espacio y de experiencia profesional y científica, esta parecerá pretencioso y fuera de lugar, pero creo que es muy importante que el ingeniero tenga y pueda explicar su posición y opinión de su propio papel en la sociedad.

Sabemos que la sociedad es sumamente compleja. De ella forman parte miles de personas con necesidades y objetivos, algunos comunes y otros diferentes. Estas personas interactúan creando situaciones, algunas ventajosas por medio de la cooperación- por ejemplo, con la división del trabajo se obtienen mejores resultados que si las actividades se hicieran individualmente -, otras serán conflictivas, por la complejidad y la diversidad de las necesidades y objetivos de la gen

te que participa en ellas.

Las instituciones educativas cumplen una de las muchas funciones que se realizan en la sociedad. Estas instituciones han existido desde la antigüedad. Podemos encontrar en ellas similitudes y diferencias según la situación histórica de cada pueblo.

Es indudable el papel que han jugado las universidades en el avance de la ciencia. Sin embargo, hasta hace poco - tiempo las gentes que participaban en estas instituciones eran un número muy reducido. La mayor parte de la gente recibía su educación en la familia y su formación profesional la hacía de manera práctica. Actualmente el número de gentes - con escolaridad ha crecido notablemente, lo cual trae como - consecuencia ciertas modificaciones en el papel que juegan - las instituciones educativas en la sociedad moderna.

Mi propia experiencia en la facultad de ingeniería me - ha traído muchas inquietudes. Una de ellas es la vincula -- ción de la universidad con la industria y con los problemas sociales del país.

Algunas de las causas de estos problemas son de índole cultural. Gran parte de los estudiantes están en la universidad bien porque tienen posibilidad de estudiar sin traba-- jar, como un privilegio de su estatus social y económico, - bien porque buscan el título principalmente para aumentar su valor en el mercado de trabajo.

Otras causas podríamos indicárlas como históricas. Es indudable que México no es la vanguardia en el avance tecno-

lógico y científico. La mayor parte de la industria en México está formada por pequeñas y medianas empresas, que no utilizan las técnicas mas avanzadas utilizadas en países desarrollados. Es indudable también que las instituciones educativas del país tienen una gran influencia de las técnicas y programas de estudio de otros países mas adelantados (no quiero decir que sea una copia de éstas. Han habido algunas investigaciones y contribuciones de gente con interés de mejorar esta situación, a quienes debemos reconocer el mérito de su esfuerzo). Esto provoca que la enseñanza no sea la mas adecuada para nuestra realidad.

Es indispensable pues, un mayor contacto con nuestra industria y nuestra realidad social para motivar que el estudiante tenga un mayor interés en la solución de problemas surgidos de nuestras propias necesidades. Un contacto mayor con la industria implica un mejor conocimiento de los problemas de ésta y por tanto un mejor desempeño de la labor del profesionalista y esto a su vez en el avance del país.

Una mayor libertad del estudiante en la elección de la programación y enfoque de la carrera redundaría en una mejor adecuación de la carrera con su vocación.

En lo personal pienso que se requiere de un gran número de técnicos, pero su preparación no sería suficiente para el aprovechamiento óptimo de los recursos humanos del país. Querimos también una mayor cantidad de administradores y ejecutivos preparados, con una mentalidad adecuada a nuestras necesidades de desarrollo, tanto económico como cultural.

Por esta razón me he inclinado al seminario de investigación de operaciones buscando un conocimiento mas general y que me pueda ser útil en el desarrollo posterior de mi - profesión.

C A P I T U L O I .

I N T R O D U C C I O N

PROBLEMAS DEL CRECIMIENTO Y DEL DESARROLLO

En el curso del desarrollo histórico de las ciencias - encontramos que la razón de crecimiento en varias ramas de - la ciencia y la tecnología es exponencial, es decir, que el tiempo transcurrido entre un descubrimiento y otro, entre la teoría a su aplicación práctica (o del descubrimiento práctico a su análisis y mejoramiento científico), es cada vez menor. La evolución del hombre desde los antropoides hasta el homo sapiens transcurrió en un período de millones de años. Desde los homínidos al hombre de Neanderthal y de Cro-Magnón pasaron cientos de miles de años, pasaron miles de años para que el hombre primitivo empezara a utilizar herramientas de piedra creadas por él mismo. Si queremos ver esta evolución en forma gráfica hasta nuestros días nos vemos obligados a usar una escala de tiempo logarítmica. El hombre utilizó la rueda, los metales y otras herramientas durante siglos sin que hubiera un avance significativo en su utilización. En nuestros días los inventos y descubrimientos se suceden uno tras otro y el avance tecnológico está transformando las herramientas prácticamente año con año. -

Del modelo del átomo de Bohr a la explosión de la bom-

ba atómica, del descubrimiento del transistor a las microcompu-
tadoras con circuitos integrados (L.S.I.) de nuestros días,
transcurrieron sólo algunas décadas. Los microprocesadores
tienen ya aplicación no sólo en grandes empresas
gubernamentales de los países industrializados sino que han
llegado a las pequeñas industrias y aún tienen aplicación -
para consumo doméstico.

LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA EN LA SOCIEDAD MODERNA.

Esta característica de crecimiento exponencial se manifiesta en múltiples fenómenos físicos, en la naturaleza y en fenómenos sociales que nos afectan directamente a todos, en nuestras culturas, ideas, costumbres y comportamiento cotidiano. Nuestro tren de vida es cada vez más rápido y tenemos que adaptarnos a los cambios cada vez con más frecuencia. -
Hace algunos siglos la población mundial era en su mayoría rural, las costumbres y la educación eran transmitidas por tradición familiar y los oficios se heredaban de generación en generación.

El surgimiento del modo de producción capitalista, la revolución industrial, los fenómenos socio-económicos, la revolución ideológica y religiosa, etc., nos han proporcionado métodos más eficaces de transformar la naturaleza y las materias primas.

El avance de la ciencia médica ha prolongado la duración

de nuestras vidas, ha disminuido la mortalidad infantil y - con ello ha surgido el crecimiento explosivo de la población, que se ha ido acumulando en las grandes ciudades.

EL CRECIMIENTO INDUSTRIAL Y LA ESPECIALIZACION

Pasaron los tiempos en que los científicos dominaban - varias ramas de la ciencia y en algunas estaban al tanto de la totalidad de ellas. Se dice que Henri Poincaré (1854 - 1912, también conocido por sus escritos en la filosofía de la ciencia y en el proceso creativo de la inteligencia humana) fue, tal vez, el último de los grandes matemáticos que abarcó todo el conocimiento matemático de su época. En nuestra era de especialización difícilmente una persona comprende con profundidad la totalidad de su propia especialidad.

Con lo que respecta a la industria, con el crecimiento han surgido problemas de coordinación, control, comunicación, toma de decisiones, etc., por lo que han surgido las nuevas profesiones, para llevar a cabo las diferentes funciones cada vez mas complejas de las grandes corporaciones. Además - de algunas ramas de la administración, han surgido en la ingeniería: la ingeniería industrial, la ingeniería de sistemas, la ingeniería de computación, la investigación de operaciones, etc.

EVOLUCION EN LA FILOSOFIA DE LA CIENCIA. UN PUNTO DE VISTA.

El surgimiento de estas especialidades no significa solamente un cambio en la tecnología, sino también en la filosofía y la ideología. El surgimiento de la mecánica cuántica, la teoría de la relatividad, la geometría no-euclidiana, etc. han tenido gran repercusión en la filosofía de la ciencia.

Las ciencias exactas han perdido su estatus de infalibles, y se ha cuestionado el rigor de las demostraciones matemáticas: el rigor de las demostraciones es función del tiempo en que se elaboran. Por ejemplo, Euclides demostró el teorema de Pitágoras en la proposición 47 del libro I de sus Elementos, con los mismos postulados de que partió Euclides se deducen lógicamente consecuencias espectacularmente paradójicas como: " todos los triángulos son equiláteros." Pero en su época su demostración fue válida y aceptada.

La lingüística y la cibernética han cuestionado la naturalidad de la inteligencia humana. Esta sigue siendo un misterio para nosotros, pero nuestras ideas sobre ella han cambiado grandemente. La creatividad humana no sigue en su proceso las leyes de la lógica y el rigor matemático, sino que éstas son una herramienta para facilitar la comprobación de una cierta aseveración. El investigador no trabaja con un modelo deductivo riguroso, sino que esencialmente hace uso de su imaginación y procede intuitivamente ayudado por métodos heurísticos. Se pueden dar numerosos ejemplos de matemáticos que habiendo descubierto teoremas de gran impor-

tancia no han sido capaces de demostrarlos. La lógica siempre ha venido después de la invención.

Los nuevos descubrimientos de los científicos encuentran fallas en los descubrimientos y afirmaciones de sus predecesores. ¿Habrá de pasarse la humanidad en una continua búsqueda de principios que jamás podremos aseverar con seguridad? ¿Es que la creencia en los principios científicos es cuestión de fe? - He dicho que la ciencia es imposible sin fe. No quiero decir con esto que la fe en la cual depende la ciencia es de naturaleza religiosa, o que envuelva la aceptación de cualquiera de los dogmas de los credos ordinarios, sin embargo, sin fe en que la naturaleza está sujeta a leyes no puede haber ciencia. Ninguna cantidad de demostraciones podrá jamás probar que la naturaleza está sujeta a leyes. (WIENER).

La teoría de la evolución de Darwin enfatiza la lucha por la supervivencia. Entre los animales de la naturaleza el hombre esta mejor capacitado para adaptarse a las condiciones cambiantes del medio ambiente. Para adaptarse al mundo exterior el hombre requiere poder manipularlo de manera conveniente para él. Desde la antigüedad el hombre se dio cuenta de que la experiencia común es demasiado compleja para una descripción exacta, así surgió la necesidad de una abstracción de la realidad para tener un conocimiento mas adecuado a sus fines. El hombre no es capaz de manejar y comprender en su totalidad de manera objetiva la realidad. El-

hombre- por lo menos hasta ahora- ha fracasado lamentablemente en sus tentativas para saltar el abismo que patentemente existe entre la mente y la materia." (MISES)

Así pues el hombre crea modelos de la realidad- que son abstracciones o simplificaciones de la realidad compleja, exterior y esencialmente DIFERENTE-, los cuales son herramientas que utiliza para manejarla o transformarla a su propia -conveniencia, lo cual logra o no según lo adecuado que sea su modelo, esto es, según la veracidad de sus aseveraciones. Su modelo funcionará para lograr los fines que persigue si -sus aseveraciones son lo suficientemente semejantes y convenientes a la realidad que pretende transformar. De sus experiencias y aciertos estas aseveraciones se van generalizando para aplicarlos a un mayor número de casos. El hombre las -llama leyes cuando han funcionado conforme a su experiencia hasta el presente. Sin embargo, nunca podrá asegurar que en el futuro no surgirá un caso particular en que su ley no sea aplicable y se verá obligado a modificarla, a buscar otra aseveración que explique este nuevo evento. En algunos casos (por ejemplo, en las leyes de conservación de la física) el hombre procura modificarlas en la manera mínima posible, ya que éstas son sus herramientas que le han servido a través -de su historia. Muchas veces prefiere modificar su cosmogonía (weltanschauung), su idea del universo, para conservar sus leyes con el mínimo de modificaciones.

La abstracción, la observación, la creación de modelos

y su comprobación práctica es generalmente mas sencilla en - los fenómenos físicos de la naturaleza, teóricamente se puede aplicar esta metodología (con resultados obviamente mucho mas limitados) a fenómenos mucho mas complejos como son aquellos en los cuales participa el propio ser humano (sociales y humanísticos) como: la economía, la psicología, la sociología, etc.

Uno de los campos en que la ciencia se ha aplicado con cierto éxito en los últimos tiempos ha sido (como en la industria, en la cual participa el hombre) en los sistemas de producción hombre-máquina. Los métodos utilizados en la industria también han sido aplicados con ciertas modificaciones en áreas mas extensas de planificación, pero como se dijo en el párrafo anterior sus logros han sido hasta ahora bastante limitados y se crean actualmente nuevas metodologías en las llamadas ciencias de sistemas o teorías de los sistemas generales.

C A P I T U L O II .

SISTEMAS DE REDES CPM / PERT.

CONCEPTOS GENERALES.

Como se vió en el capítulo anterior, el tamaño y complejidad de las industrias ha obligado a crear métodos analíticos para que éstas funcionen adecuadamente. La competencia y el deseo de obtener ganancias obliga a las empresas a ser mas eficientes y a utilizar métodos mas adecuados.

La planeación es cada vez mas importante y puede decirse que es prácticamente indispensable aún en empresas pequeñas.

P E R T (Programa Evaluation & Review Technique- Técnica de evaluación y revisión de programas) y C P M (Critical Path Method- Método del camino crítico) figuran entre las herramientas administrativas que han surgido en los últimos años. Son técnicas que poco a poco se han fundido en lo que popularmente se suele denominar Sistemas de redes .

Tanató PERT como CPM utilizan los mismos conceptos básicos, esto es, el empleo de un análisis de redes para planear y programar proyectos. Las primitivas diferencias entre PERT y CPM han desaparecido a la fecha en gran parte y el término sistemas de redes se está usando cada vez mas. Cuando se utilizan adecuadamente estos sistemas garantizan -

un acuciosa planeación, programación y control de proyectos complicados.

El sistema de redes puede aplicarse a la mayoría de las labores de administración para conseguir costos mas bajos y reducir las necesidades de tiempo y mano de obra. Su empleo es particularmente indicado en la planeación y administración de proyectos complicados en los que se tiene que atender a múltiples actividades e interrelaciones.

Estos sistemas están diseñados para AYUDAR a la dirección obligando a que la planeación sea completa, lógica y mostrando todos los elementos vinculados al problema. No constituye una panacea, pero cuando se usa como debe ser aporta datos valiosos y oportunos a quienes van a dirigir el proyecto.

El enfoque de red es un adelanto de gran importancia en la continúa mejoría de las herramientas a la disposición de los administradores. Algunas de las ventajas del metodo, es que proporciona:

1. Una base disciplinada para planear el proyecto.
2. Un cuadro claro y fácil de entender del alcance del proyecto.
3. Un método para evaluar planos y objetivos alternativos.
4. Un programa realista para tales operaciones.
5. Una comunicación eficaz entre las distintas personas que intervienen.
6. Una indicación de actividades o tareas que son críticas desde el punto de vista del itinerario.

7. Encausamiento de la atención directiva a las áreas críticas.
8. Una evaluación precisa del tiempo y costo contra el programa.
9. Una estructura para una mejor programación de la fuerza de trabajo, recursos económicos, equipo, abastecimientos y otros recursos.

A N T E C E D E N T E S E H I S T O R I A

Por largo tiempo las empresas funcionaron sin ninguna planificación, eran pequeñas y las personas actuaban conforme habían aprendido de sus antecesores. Una misma persona participaba directamente en todas o en la mayor parte de las actividades tanto directivas como productivas. Con el crecimiento y complejidad de las empresas se hizo necesario resolver problemas en que no se tenían experiencias anteriores.

DIAGRAMAS DE GANTT. Uno de los primeros métodos que surgieron fue la utilización de gráficas de barras como método estandard de programación, exhibición y revisión de los progresos realizados. De entre éstos el mas importante es el llamado gráfica de Gantt, debido a Henry Laurence Gantt (1861 - 1919), quien además hizo también algunas de las primeras contribuciones a las ciencias de la administración. En términos simples la gráfica muestra la salida (las activi

datos) sobre un eje, con unidades de tiempo sobre el otro. De esta manera muestra objetivamente las duraciones y fechas de iniciación y terminación posibles para las actividades in volucradas y facilita la obtención de la distribución temporal de los recursos necesarios para realizar el proyecto, sa biendo rápidamente si tendremos que hacer una reasignación de los recursos disponibles. Nada podría ser mas simple. Sin embargo, en aquellos tiempos nada de este tipo pudo haber sido mas revolucionario en el área de control de producción.

No cabe duda que resulta difícil medir un progreso en el curso de un proyecto mediante una barra que represente un prolongado período de tiempo. No se puede saber qué actividades son decisivas en la duración del proyecto, teniendo que tratarlos a todos con la misma importancia. De aquí que, si alguna de las actividades se atrasa, las únicas alternativas son:

1. Atrasar la terminación del proyecto.
2. Acelerar todas las actividades.

La técnica de barras se mejoró insertando puntos de referencia a fin de tener un control mas detallado y específico. Se les empleó para hacer resaltar sucesos de importancia en la gráfica de barras. Aún cuando la adición de dicho procedimiento constituye un perfeccionamiento, las relaciones entre las citadas señales siguen siendo descuidadas. Por tanto, el siguiente paso lógico tuvo que ser trazar las relaciones de secuencia entre los puntos de referencia o sucesos,

dentro de un proyecto. Esta red claramente describió las interdependencias e interrelaciones de las diversas tareas.

S I S T E M A S D E R E D E S PERT / CPM. La base del sistema de redes se originó entre 1956 y 1958 en dos desarrollos paralelos, aunque diferentes, sobre la planeación y control de proyectos en Estados Unidos. Uno constituido por el proyecto de renovación de la fábrica química de la compañía Du-Pont y el otro por el proyecto de proyectiles balísticos de la marina de los Estados Unidos.

Du-Pont en los años 50's estaba interesado en hallar un medio para programar los proyectos importantes de renovación y mantenimiento a fin que sólo se perdiera un mínimo de producción. Trabajando en combinación con un equipo de la división Univac de Remington Rand Company, Du-Pont perfeccionó una técnica para la planeación y programación de proyectos, basada en el análisis de redes, la cual se denominó Método del Camino Crítico, abreviado con las siglas del nombre en inglés: CPM. Esta técnica se empleó por el personal de dicha firma con gran éxito. Mediante ella vieron que podía ahorrarse una importante suma de dinero al reducirse el tiempo improductivo.

Casi al mismo tiempo el Departamento de Marina se vio ante el problema de supervisar el importantísimo y completo plan de proyectiles balísticos conocido por Polaris. El problema se complicó debido a que la mayoría del trabajo era nuevo, los componentes de los proyectiles no estaban todavía

hechos y a que había varios niveles de subcontratistas trabajando dentro de muchas divisiones importantes del proyecto. Ni el costo ni el tiempo podían ser estimados con exactitud, los tiempos de terminación tenían que estar basados en la probabilidad. La marina buscaba un medio de calcular o predecir el efecto en una parte del proyecto, de lo que se hacía en otras partes del mismo. El objetivo consistía en aislar los puntos problema con la suficiente anticipación para emprender una acción adecuada y sacar el mejor partido posible al tiempo y recursos disponibles.

La Oficina de Proyectos Navales Especiales, la Lockheed Aircraft Company y Booz, Allen & Hamilton, elaboraron en enero de 1958 una técnica que denominaron Project Evaluation & Review Technique (PERT). Tratábase de un procedimiento para formular un programa para cada proyecto, al mismo tiempo que una probabilidad estadística de cumplir con dicho programa. El sistema consistía en pedirles a los contratistas que estimaran el tiempo requerido de sus operaciones con el siguiente criterio: tiempo optimista, tiempo pesimista, y tiempo mas probable. Posteriormente estas estimaciones se sometían a procedimientos matemáticos para determinar la fecha de terminación mas probable para cada contrato. La marina puso en ejecución el sistema PERT con mucho éxito.

C A P I T U L O I I I .

D E S C R I P C I O N D E L M E T O D O

El sistema de redes constituye una técnica que capacita al director de proyectos para predecir cuándo ocurrirán las actividades planeadas. Esta técnica utiliza el progreso real del trabajo en un proceso continuo de revisión y mejoramiento de programas. Por medio de este mejoramiento y revisión, - quien la emplea puede confiar en el programa fijado y hacer un uso mas eficaz de los recursos y limitaciones existentes. Asimismo, mediante la refinación y revisión del programa el director de proyectos queda capacitado para mantener un control sobre condiciones rápidamente cambiantes.

Con este sistema pueden manejarse multitud de detalles. Debido a esto, quien lo emplea está en condiciones de fragmentar su proyecto en tantas actividades como sea necesario para exponerlo con exactitud y sentido.

PASOS QUE SE SIGUEN EN METODOS DE RUTA CRITICA.

Existen dos métodos para controlar la ejecución de proyectos:

- a) Método de la ruta crítica (CPM)
- b) Evaluación de programas y técnica de revisión (PERT)

Como los dos métodos son muy similares, sóloamente se

expone el método PERT. Si se conoce uno de ellos puede comprenderse fácilmente el otro. En el siguiente capítulo se expondrán aplicaciones de ambos métodos.

PASO 1. PLANEACION DEL PROYECTO. Aquí se definen las actividades que forman el proyecto, y las dependencias entre ellas se muestran en forma explícita en forma de red.

En esta fase se preparan todos los datos de entrada que se necesiten. Como los mismos son cruciales para el pleno aprovechamiento y buen éxito de la red, el trabajo correspondiente a esta fase debe ejecutarse por gente bien familiarizada con el proyecto.

Una de las principales condiciones es realizar una acuciosa labor de planeación y análisis. PERO ESTO CONSTITUYE A LA VEZ, UNA DE SUS MAS GRANDES VENTAJAS, porque al realizar el trabajo necesario para la planeación y el análisis se consigue un conocimiento íntimo y anticipado de la tarea y se tiene una buena visión de los detalles o áreas en que es posible que ocurran problemas, todo lo cual es imposible obtener de otro modo.

Una vez definidas todas las actividades se procede a formular la secuencia lógica de éstas, para lo cual utilizaremos una tabla de secuencias que se muestra en forma explícita en el capítulo siguiente. A partir de esta tabla será sencillo trazar el diagrama de flechas.

PASO 2. ESTIMACION DE LOS TIEMPOS. Se efectuan estimaciones de los tiempos requeridos para llevar a cabo cada una

de las actividades de la red. Estas estimaciones se basan - en la disponibilidad de mano de obra y equipo así como en - ciertas suposiciones que pudieron haber sido hechas en el paso 1.

PASO 3. PROGRAMACION. Los cálculos de la programación proporcionan los tiempos mas próximos y mas tardíos permisibles para el inicio y terminación de cada actividad, y como un subproducto identifican la ruta crítica a través de la - red, así como la holgura de tiempo asociada con cada camino no crítico.

En esta fase, la información de entrada comprendida en la fase de planeación se emplea para preparar el programa de - las actividades que figuran en el proyecto. Sólo se requiere de sencillas operaciones aritméticas para prepararlo, pudiéndolo hacer a mano con un lápiz y papel. Sin embargo estos cálculos pueden resultar laboriosos y en general, resultan menos costosos si se procura la ayuda de una computadora.

La definición del camino crítico es que se trata del camino mas largo en tiempo a través de la red, desde el inicio del proyecto hasta su término: es la secuencia de actividades que determina la duración del proyecto.

PASO 4. AJUSTES TIEMPO - COSTO. Si el tiempo programado para completar el proyecto como se determinó en el paso 3 es satisfactorio la planeación y programación del proyecto puede estar terminada. Sin embargo si se está interesado en determinar el costo de reducir el tiempo de terminación -

del proyecto, entonces se deben considerar ajustes tiempo - costo en los tiempos de ejecución para aquellas actividades en la ruta crítica o en las rutas casi críticas. Los objetivos en este paso pueden ser:

- a) Encontrar el costo extra debido a la reducción de tiempo total de duración de un proyecto.
- b) El programar el proyecto de tal forma que se minimice la suma de los costos directos e indirectos.
- c) Probabilidad para cumplir con un tiempo específico de duración del proyecto.

PASO 5. DISTRIBUCION DE RECURSOS. La factibilidad de cada programa debe ser revisada con respecto a sus requerimientos de mano de obra y equipo. El establecimiento de una factibilidad completa para una programación completa específica puede requerir la ejecución de varios ciclos de pasos 3, 4 y 5.

Si la demanda para un recurso particular se juzga excesiva los métodos de ruta crítica suministran un medio conveniente para programar y replanear el proyecto, eliminado así el pico.

PASO 6. CONTROL DEL PROYECTO. Cuando la programación y planeación de la red han sido desarrollados en forma satisfactoria para su uso en el campo. El proyecto se controla comparando mano de obra y equipo y analizando los efectos de los retrasos. Cuando un cambio mayor ocurre en la programación la red se revisa también y una nueva programación se elabora.

C O N C E P T O S B A S I C O S

Existen dos tipos de representaciones de redes:

- a) Actividades en las flechas.
- b) Actividades en los nudos.

La naturaleza del problema será la clave para escoger - el método de representación ya que ambos presentan ventajas y desventajas. Con propósito de brevedad expondremos sólo - mente la representación con actividades en las flechas.

D E F I N I C I O N .

Una actividad se define como uno de los trabajos requeridos por el proyecto que cumple:

No puede iniciarse hasta que otras actividades específicas que la preceden hayan sido completadas.

Una actividad se representa mediante un arco o flecha - de la red. La cola de la flecha representa el principio de la actividad y la punta su terminación. La longitud, forma o posición de la flecha no tienen importancia alguna, lo - importante es la forma en que las actividades presentadas - con las flechas se eslabonan conjuntamente en una secuencia de tiempo para formar la red operacional.

D E F I N I C I O N .

Una flecha que representa una mera dependencia de una actividad con respecto a otra se llama actividad ficticia y generalmente se representa mediante flechas punteadas teniendo asociadas con ellas una estimación de tiempo cero.

D E F I N I C I O N .

Los puntos iniciales y finales de las actividades generalmente mostrados como círculos se llaman eventos.

Los eventos son puntos instantáneos en el tiempo, en contraste con la actividad que tiene una longitud de tiempo o duración.

Las cabezas de flecha indican la secuencia en la que los eventos deben desarrollarse, por lo tanto, un evento es la terminación de todas las actividades que conducen hacia ese nudo y deberá preceder la iniciación de todas las actividades que se inician en él.

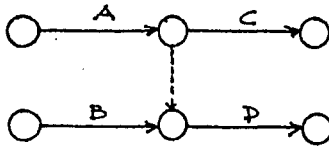
Los eventos se enumeran en serie desde el principio hasta el fin de un programa bajo la siguiente regla general.

Ningún evento puede numerarse hasta que se hayan numerado todos los eventos precedentes.

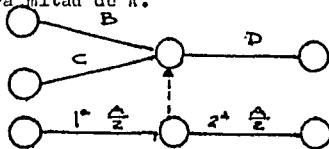
E J E M P L O S .

- a) Las actividades A y B preceden a las actividades C y D.

b) La actividad C depende de A, la actividad D depende de A y B



c) La actividad D depende de B y C y de la terminación de la primera mitad de A.

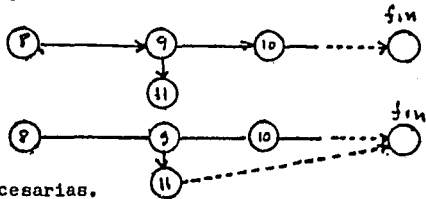


ERRORES COMUNES

1. Existen Ciclos. Esto no puede ser posible bajo las consideraciones anteriores ya que la terminación de una actividad no puede anteceder a su inicio.

2. Rutas Cerradas

debe quedar



3. Actividades ficticias no necesarias.

EL ENFOQUE DE TRES ESTIMACIONES EN PERT.

PERT usa un procedimiento estimativo simplificado para la estimación de los tiempos por medio del cual cantidades intuitivamente simplificativas son obtenidas, las cuales lue

go se convierten en estimadores de la esperanza matemática y de la variancia. Este procedimiento consiste en la obtención de tres estimaciones de tiempo requerido para cada actividad:

1. El tiempo mas probable llamado (m) y que trata de - representar la estimación mas realista del tiempo que la actividad puede consumir.

2. El tiempo optimista (a) y representa el tiempo en el cual la actividad puede ser completada si todo sale excepcionalmente bien.

3. El tiempo pesimista (b) y representa el mayor tiempo que pudiese necesitar la actividad bajo las mas adversas condiciones.

Con objeto de obtener valores confiables para los estimadores de la duración de la actividad conviene tener presente lo siguiente:

A) Una de las suposiciones importantes en el teorema del límite central es la independencia de las variables aleatorias consideradas. Debido a que este teorema es la base de los - cómputos de PERT, los estimadores a , m y b deben obtenerse - satisfaciendo esta condición.

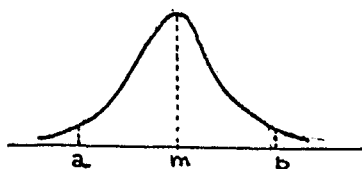
B) Las estimaciones de a , m y b no deben ser influenciadas por el tiempo disponible para completar el proyecto.

C) Con objeto de obtener una atmósfera que conduzca a - la obtención de estimaciones no desviada para a , m y b debe dejarse bien claro que los mismos son estimaciones y no compromiso del programa.

D) En general las estimaciones de a , m y b no deben incluir -

tolerancias para eventos que ocurran tan poco frecuentemente que no se puede pensar en ellos como variables aleatorias.

E) En general las estimaciones de a , m y b deben de incluir tolerancias para eventos normalmente considerados como variables aleatorias.



$$\sigma = \frac{1}{6}(b-a)$$

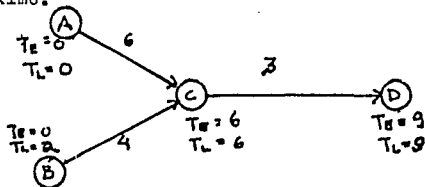
$$t_c = \frac{a+4m+b}{6}$$

TIEMPOS MAS PROXIMO Y MAS TARDIO PARA UN EVENTO.

DEFINICION. Para un evento particular su tiempo mas próximo T_E puede ser definido como el tiempo en el cual el evento ocurrirá si las actividades precedentes son comenzadas tan pronto como sea posible.

DEFINICION. El tiempo mas tardío para un evento T_L se define como la fecha mas lejana en la cual el evento puede ocurrir sin atrasar la terminación del proyecto mas allá de su tiempo mas próximo.

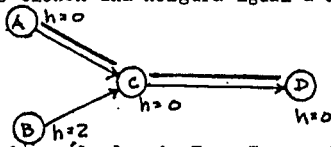
EJEMPLO:



DEFINICION. La holgura de un evento es la diferencia entre su tiempo mas tardío y su tiempo mas próximo, la holgura-

indica qué tanto retraso puede ser tolerado sin retrasar la terminación del proyecto.

DEFINICION. La ruta crítica para un proyecto puede definirse como un camino a través de la red tal que los eventos en ese camino tienen una holgura igual a cero.



Al efectuar los cálculos de T_e y T_l se siguen las siguientes reglas:

a) Si solamente existe un camino que lleve a un evento particular, su T_e es la suma de los tiempos tomados por las actividades que conducen a él.

b) Si solamente existe un camino que conduzca desde un evento particular hasta el evento final el T_l para ese evento es el T_e para el evento terminal menos la suma de los tiempos tomados por las actividades en el camino indicado.

c) El T_e de un evento al que llegan varias actividades es el mayor de los tiempos mas próximos de terminación de las actividades que convergen al evento en cuestión.

d) El T_l para un evento es el menor de los T_l 's de iniciación de las actividades que salen del evento en cuestión.

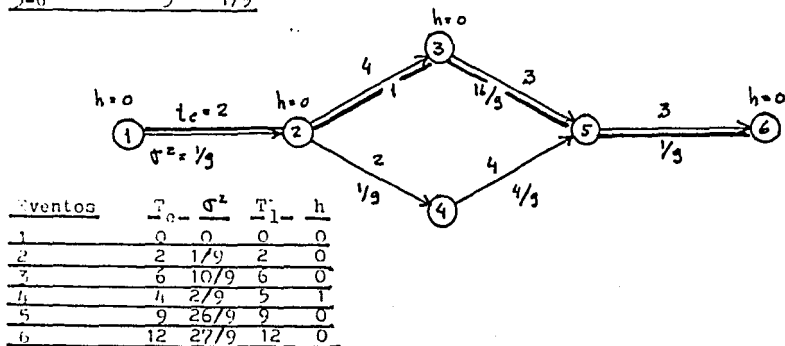
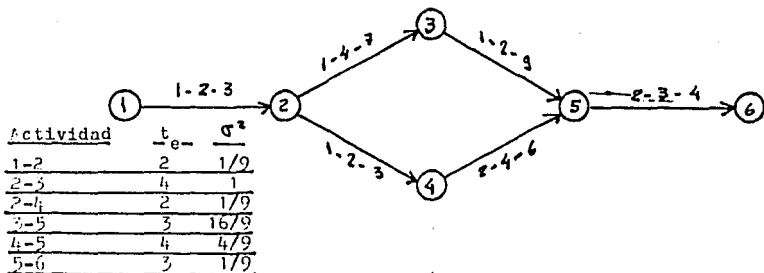
e) $T_l = T_e$ para el nodo terminal.

Al Efectuar los Cálculos de σ

a) σ para el nodo inicial de la red se supone igual a cero.

b) σ^2 para el evento que sigue a la actividad en cuestión (para aquellos casos en que sólo una actividad conduce al evento) se obtiene sumando la variancia de la actividad a la del evento que le precede.

c) Para eventos a los que llegan varias actividades se calcula a lo largo del mismo camino usado para calcular T_e , esto es, el camino mas largo. En caso de empate escoger el camino que da mayor σ^2 .



C A P I T U L O I V .

A P L I C A C I O N E S P R A C T I C A S .

Los sistemas de redes pueden ser aplicados a una gran variedad de problemas de la industria. En este capítulo mostraremos la utilización de estas herramientas en diferentes aspectos a una compañía que se dedica a la fabricación de cocinas integrales.

Nuestra intención es mostrar cómo los sistemas de redes pueden ser útiles desde diferentes enfoques a un problema. Como se indicó en el capítulo anterior estos sistemas no son un algoritmo rígido sino una herramienta que se utiliza según el criterio del programador dependiendo de los fines que quiera lograr, y cuya eficacia depende de la buena utilización que se haga de ella.

Como primera aplicación utilizamos la técnica CPM desde el punto de vista de programación y control de la producción a la fabricación de una cocina.

En la segunda aplicación enfocamos el mismo problema de la fabricación de la cocina utilizando el criterio PERT para la estimación de los tiempos, con vistas a calcular la probabilidad de cumplir con la fecha prometida al cliente de la instalación de su cocina.

A pesar de no ser una empresa muy grande (podemos clasifi

ficarla dentro de la mediana industria) la compañía cuenta con la mayor parte del mercado de cocinas integrales pues -- vende mas de la mitad de cocinas integrales que se adquieren en el país, siguiéndole otras compañías con una menor participación en el mercado.

Ruta Crítica. FABRICACION DE UNA COCINA.

En la empresa se fabrican diferentes líneas de cocinas, las cuales varían en sus dimensiones, diseño y materiales utilizados. En la presente aplicación tomaremos la fabricación de cocinas de medidas y diseño especiales que presentan mayores problemas que los paquetes estandard. Tampoco tomaremos en cuenta los pedidos foráneos que siguen un proceso -- un tanto diferente.

La fabricación se lleva a cabo por lotes de producción, el tamaño del cual depende de la disponibilidad de materia -- prima, de la carga de trabajo de las máquinas, el costo de -- colocar troqueles, y otros factores.

Los lotes se forman aproximadamente cada tres semanas, de los últimos 6 lotes de producción encontramos que el me-- nor de ellos incluía un total de 400 pedidos y el mayor 750, con un promedio de 550 pedidos aproximadamente. De uno de -- los lotes de producción obtuvimos que el tamaño medio de una cocina especial contiene un promedio de 2 muebles especiales y 6 muebles estandard (gabinetes, alacenas, campanas etc.). El tamaño de la cocina en realidad no afecta el tiempo de --

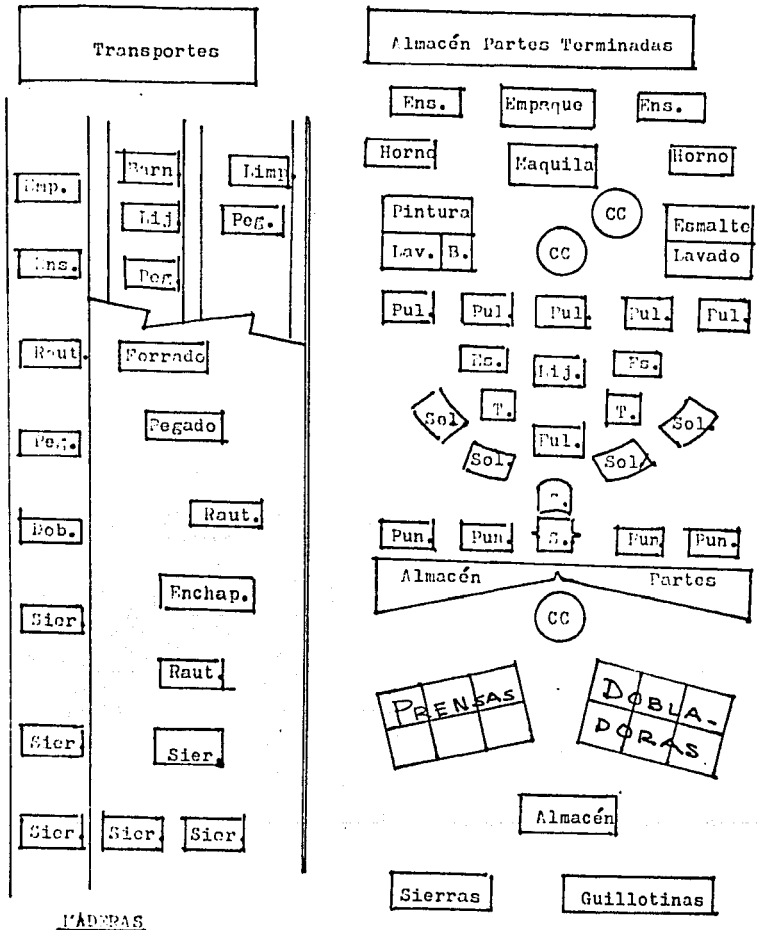
fabricación ya que los pedidos tienen un tiempo de espera en el que se forman los lotes y posteriormente se procesan por orden numérico progresivo, i.e., según fueron recibidos los pedidos, pero no en forma completamente continua ya que las máquinas trabajan un cierto número de piezas antes de pasarla a la siguiente operación.

PASO 1. Para esta aplicación no requerimos planear el proyecto, ya que se trata de una operación repetitiva que se ha estado llevando a cabo anteriormente durante bastante tiempo. Sin embargo en esta fase se requiere definir las actividades que se consideren mas importantes para la elaboración de la ruta crítica. La definición de las actividades es una fase esencial para nuestro trabajo, pues éstas deben ser las mas apropiadas para nuestros fines. Pretendemos formar una red que sea suficientemente clara y que abarque todo el proceso de la fabricación desde que el cliente hace la compra - (entrega un anticipo) hasta la instalación de su cocina.

Esta red nos servirá para conocer todo el proceso en la fabricación de la cocina. Una vez encontrada la ruta crítica y con conocimiento de todo el proceso podremos sugerir mejoras y cambios en la planeación de la producción (pasos 4 y 5).

A continuación presentamos en forma esquemática los procesos por los que pasa el producto en su fabricación. El proceso se ha dividido en dos partes. La línea de Maderas y la línea de lámina. La empresa fabrica prácticamente todas las partes de la cocina reduciendo al mínimo las partes que

tienen que ser compradas (termostato y cristal de la estufa, algunas perillas y otras piezas chicas) o maquiladas (piezas que se mandan cromar o anodizar).



Las actividades que utilizaremos para la elaboración - de la ruta se han elegido por la elaboración de los muebles de la cocina que se fabrican por separado. A continuación mostramos el listado de actividades y el departamento en el cual se realiza la actividad:

FABRICACIÓN DE UNA COCINA. Listado de Actividades

Actividad	Departamento
1. Entrega anticipo	Cliente
2. Elabora pedido	Comisionista
3. Hace plano con medidas	Comisionista
4. Revisa, folea (ventas)	Ventas
5. Elabora tarjeta de continuidad	Relaciones Públicas
6. Revisa (cobranzas)	Cobranzas
7. Elabora remisión	I.B.M.
8. Revisa (producción)	Producción
9. Rectifica medidas	Instalaciones
10. Elabora dibujos	Ingeniería
11. Forma lotes de producción	Producción
12. Hace formas de corte	Producción
13. Elabora lista de muebles especiales	Producción
14. Elabora hoja de control por orden de cocina	Producción
15. Fabricación de muebles especiales	Muebles especiales
16. Fabricación de gabinetes, alacenas y campanas	Banco
17. Fabricación de barras de Wilson Art.	Plásticos laminados
18. Fabricación de puertas	Puertas
19. Fabricación de cubiertas de Acero Inoxidable	Prensas
20. Armado de estufas	Línea de estufas
21. Terminado de puertas	Puertas
22. Terminado de gabinetes, alacenas y campanas	Pintura
23. Terminado de barras de Wilson Art	Plásticos laminados
24. Terminado de cubiertas de Acero Inox.	Banco
25. Ensamble de muebles	Línea de ensamble
26. Se entrega mercancía	Transportes
27. Se instala la cocina	Instalaciones

Una vez definidas las actividades proseguimos a mostrar las interrelaciones de éstas, lo cual hacemos en forma de tabla :

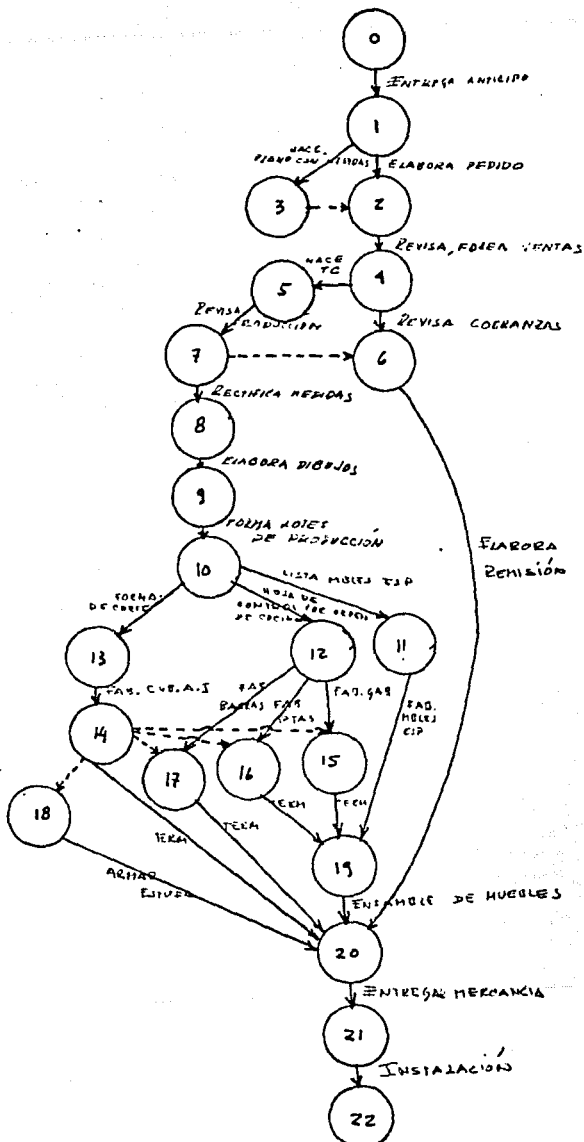
TABLA DE SECUENCIAS.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1		x	x																								
2				x																							
3					x																						
4						x	x																				
5								x																			
6							x	x																			
7																											x
8									x																		
9										x																	
10											x																
11												x	x	x													
12																		x									
13															x												
14																x	x	x									
15																											
16																							x				
17																								x			
18																											
19																						x	x	x	x	x	
20																											
21																										x	
22																									x		
23																											x
24																											x
25																											x
26																											x
27																											

PREDESORAS

SUCESORAS →

Una vez definidas las actividades y obtenidas sus interrelaciones es fácil construir el diagrama de flechas, que mostramos a continuación:



En el diagrama de flechas hemos numerado los nodos, debemos tener cuidado en no confundir esta numeración con la que utilizamos en un principio para las actividades. Las actividades quedan ahora definidas de manera única por los nodos en que se inician y en el que terminan. Así por ejemplo, la actividad: formar lotes de producción, se inicia en el nodo 9 y termina en el nodo 10, y queda indicada de forma única por el par ordenado (9, 10).

PASO 2. La estimación de los tiempos la llevamos a cabo para la fabricación de cada una de las partes, a partir de la hoja de proceso, la cual contiene un listado de las operaciones que se llevan a cabo para su fabricación. La hoja también contiene el tiempo estandar por operación y por pieza. Como se dijo anteriormente cada máquina trabaja un cierto número de piezas, así los tiempos fueron calculados multiplicando el tiempo estandar por la cantidad de piezas promedio que se procesan en la máquina y sumando los tiempos de las operaciones que requiere cada actividad. Este tiempo fue redondeado a días según el número de turnos que trabaja el departamento correspondiente.

De esta manera tomamos en cuenta los tiempos muertos que pasa la pieza en la máquina, pero no los tiempos muertos entre máquinas y los tiempos muertos en almacenamientos temporales, entre cada departamento. Esto es, calculamos el tiempo en el que podría ser terminada la cocina si no existieran almacenes temporales y si siempre que una máquina terminara de procesar una pieza se pasara a la siguiente para seguirla procesando.

Algunas piezas se inician a partir del pedido (cubiertas, barras, muebles especiales), pero otras (gabinetes, campanas, estufas), sólomente se arman, se pulen, se pintan, etc. Existe un stock de piezas semiprocesadas para estos muebles, para cuya fabricación se requiere el uso de la maquinaria cuando el stock a bajado de cierto nivel, por ello no siempre se cuenta con el mismo número de maquinas disponibles. Así que sería muy difícil calcular los tiempos muertos a que hicimos referencia. Con estos tiempos no obtendremos el tiempo real de la fabricación de la cocina, pero nos indicarán hasta cuánto podríamos bajar el tiempo de fabricación de la cocina si elimináramos estos tiempos muertos intermedios. Si bien la red no será muy exacta, nos indica qué actividades son más críticas y cuáles tendrán mayor o menor holgura en su fabricación, para lograr una mejor distribución de recursos y un mejor equilibrio en la producción.

A continuación presentamos el tiempo estimado para cada actividad.

FABRICACION DE UNA COCINA. Cálculo de Tiempos.

ACTIVIDAD	TIEMPO (Días)
(0,1) Entrega anticipo	0
(1,2) Elabora pedido	1
(1,3) Hace plano con medidas	1
(2,4) Revisa, folea	5
(4,5) Hace tarjeta de continuidad	0
(4,6) Revisa	1
(6,20) Elabora remisión	1
(5,7) Revisa	5
(7,8) Rectifica medidas	6
(8,9) Elabora dibujos	3
(9,10) Forma lotes de producción	13
(10,13) Hace formas de corte	2
(10,11) Elabora lista de muebles especiales	3
(10,12) Elabora hoja de control por orden de cocina	7
(11,19) Fabricación de muebles especiales	4
(12,15) Fabricación de gabinetes, alacenas y campanas	1
(12,17) Fabricación de barras de Wilson Art	1
(12,16) Fabricación de puertas	1
(13,14) Fabricación de cubiertas de Acero Inoxidable	10
(18,20) Armado de estufas	1
(16,19) Terminado de puertas	1
(15,19) Terminado de gabinetes, alacenas y campanas	1
(17,20) Terminado de barras de Wilson Art	1
(14,20) Terminado de cubiertas de Acero Inox.	1
(19,20) Ensamble de muebles	1
(20,21) Entrega de mercancía	1
(21,22) Instalación	1

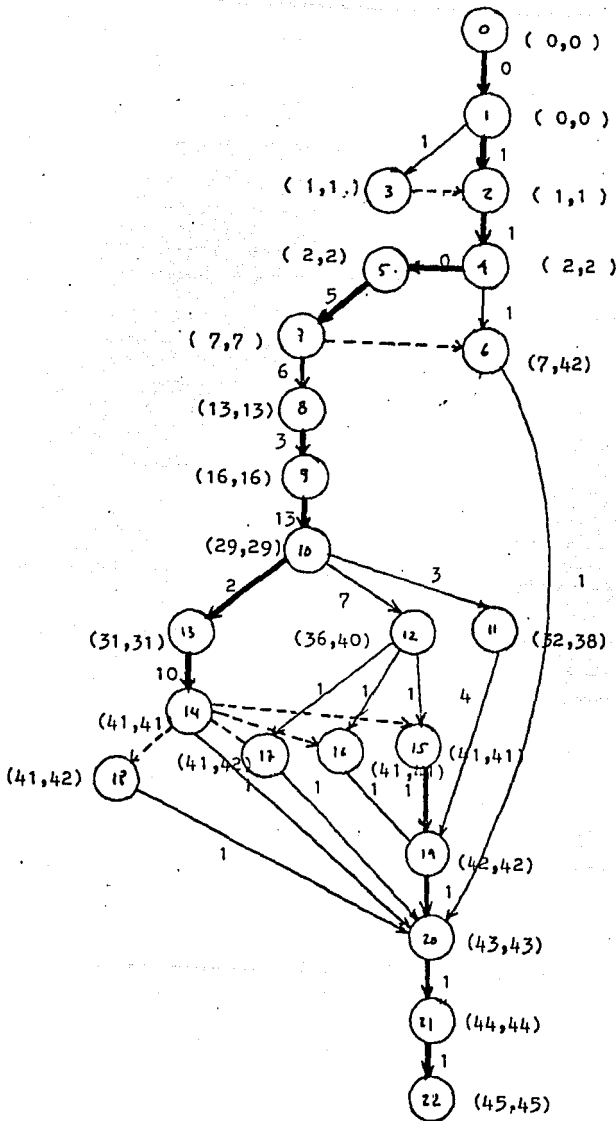
PASO 3. Una vez obtenidos los tiempos procedemos a calcular el tiempo mas próximo y mas tardío en que puede realizarse el evento. Estos cálculos involucran sólo sumas, son sumamente sencillos y los presentamos en forma de tabla.

Una vez encontrados los tiempos mas próximo y mas tardío encontramos directamente la ruta crítica en el diagrama de flechas.

Hemos colocado para cada nodo el tiempo mas próximo y mas tardío, aquellos nodos en los que estos tiempos son iguales pertenecen a la ruta crítica, uniendo estos nodos con línea mas gruesa obtenemos en forma esquemática la ruta crítica: las holguras en cada actividad no crítica pueden visualizarse fácilmente por la diferencia entre el tiempo mas próximo y mas tardío indicados en cada nodo.

EVENTO	EVENTO INMEDIATA- MENTE PRECEDENTE	TIEMPO ANTERIOR + TIEMPO ACTIVIDAD	MAXIMO = TIEMPO MAS PROXIMO
1	0	0	0
2	1	0+1	
	3	1+0	1
3	1	0+1	1
4	2	1+1	2
5	4	2+0	2
6	4	2+1	
	7	7+0	7
7	5	2+5	7
8	7	7+6	13
9	8	13+3	16
10	9	16+13	29
11	10	29+3	32
12	10	29+7	36
13	10	29+2	31
14	13	31+10	41
15	12	36+1	
	14	41+0	41
16	12	36+1	
	14	41+0	41
17	12	36+1	
	14	41+0	41
18	14	41+0	41
19	15	41+1	
	16	41+1	42
	11	32+4	
20	6	7+1	
	19	42+1	
	17	41+1	43
	14	41+1	
	18	41+1	
21	20	43+1	44
22	21	44+1	45

EVENTO	EVENTO INMEDIATO SUCESOR	TIEMPO: MAS TARDIO - TIEMPO ACTIVIDAD	MINIMO = TIEMPO MAS TARDIO
22	--	--	45
21	22	45-1	44
20	21	44-1	43
19	20	43-1	42
18	20	43-1	42
17	20	43-1	42
16	19	42-1	41
15	19	42-1	41
14	15	41-0	
	16	41-0	
	17	42-0	41
	18	42-0	
	20	43-1	
13	14	41-10	31
12	15	41-1	
	16	41-1	40
	17	42-1	
11	19	42-4	38
10	11	38-3	
	12	40-7	29
	13	31-2	
9	10	29-13	16
8	9	16-3	13
7	6	42-0	
	8	13-6	7
6	20	43-1	42
5	7	7-5	2
4	5	2-0	2
3	2	1-0	1
2	4	2-1	1
1	2	1-1	
	3	1-1	0



PASOS 4 y 5. Haremos sólo algunos comentarios por el momento del diagrama obtenido y dejaremos los comentarios finales para después de obtener algunos resultados en la próxima aplicación.

Observamos que el nodo 6 tiene una holgura de 35 días: la remisión se realiza antes de que se empiece a fabricar la cocina y no se requiere hasta que termina la fabricación.

Los nodos 17 y 18 tienen una holgura de sólo 1 día, el nodo 12, 4 días y en nodo 11, 6 días. Todos los demás nodos pertenecen a la ruta crítica.

Del nodo 12 la holgura se utiliza en ocasiones para adelantar la producción y tener stocks de material semiprocesado, o bien se transfieren recursos entre los departamentos.

El nodo 6 no ocupa recursos de la producción.

El nodo 11, que se refiere a los muebles especiales, aparentemente presenta un holgura mayor a las demás (exceptuando el nodo 6 que ya se comentó), pero esto se debe a las consideraciones que se hicieron para calcular los tiempos. Presenta en realidad ciertos problemas de producción que se indicarán en la siguiente aplicación.

FABRICACION DE UNA COCINA. Tiempos calculados con el criterio PERT.

En la obtención de la ruta crítica con el método CPM - aunque nos ha sido de alguna utilidad, encontramos que el tiempo obtenido no era muy acorde con el tiempo que requiere la fabricación en realidad, la obtención del cual será nuestro principal objetivo en la presente aplicación. Utilizando el criterio PERT de tres tiempos obtendremos un tiempo mas realista.

Los tiempos se obtuvieron preguntando a los jefes de cada departamento que estimaran el tiempo requerido de sus operaciones con el siguiente criterio: tiempo optimista (a), tiempo pesimista (b) y tiempo mas probable (m). Estos tiempos se compararon y algunos se ajustaron con información obtenida de la tarjeta de continuidad. Esta tarjeta lleva un sello con la fecha conque fue recibido el pedido del cliente en cada departamento. Desgraciadamente con respecto a la fabricación solamente contiene el tiempo de terminación e iniciación de la cocina.

En la siguiente tabla presentamos los tiempos estimados así como el cálculo del tiempo esperado y la variancia para cada actividad.

Con estos datos obtenemos fácilmente de igual manera que se hizo en la aplicación anterior los tiempos mas próximos y mas tardíos, obteniendo como subproducto la holgura y la ruta crítica.

FABRICACION DE UNA COCINA. Tiempos calculados con el criterio PERT.

EVENTO	a	m	b	$t_e = \frac{a+4m+b}{6}$	$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{36}$
(0,1)	-	-	-	-	0
(1,2)	1	1	1	1	0
(1,3)	1	1	1	1	0
(2,4)	0	1	3	7/6	1/4
(4,5)	0	1	1	5/6	1/36
(4,6)	0	1	1	5/6	1/36
(6,20)	1	2	2	11/6	1/36
(5,7)	2	5	8	5	1
(7,8)	1	6	14	13/2	169/36
(8,9)	1	3	5	3	4/9
(9,10)	10	13	21	83/6	121/36
(10,13)	1	2	4	13/6	1/4
(10,11)	2	3	5	19/6	1/4
(10,12)	3	7	10	41/6	49/36
(11,19)	9	25	37	73/3	169/9
(12,15)	1	2	5	7/3	4/9
(12,17)	1	2	3	2	1/9
(12,16)	1	2	3	2	1/9
(13,14)	10	29	40	83/3	25
(18,20)	1	2	5	7/3	4/9
(16,19)	1	2	3	2	1/9
(15,19)	1	2	3	2	1/9
(17,20)	1	2	3	2	1/9
(14,20)	1	2	3	2	1/9
(19,20)	1	1	1	1	0
(20,21)	1	2	4	13/6	1/4
(21,22)	1	4	11	14/3	35/9

EVEN TO	TIEMPO MAS PROXIMO	σ^2	TIEMPO MAS TARDIO	HOLGURA
1	0	0	0	0
2	1	0	1	0
3	1	0	1	0
4	$2 \frac{1}{6}$	$1/4$	$2 \frac{1}{6}$	0
5	3	$5/18$	3	0
6	8	$1 \frac{5}{18}$	$62 \frac{1}{3}$	$54 \frac{1}{3}$
7	8	$1 \frac{5}{18}$	8	0
8	$14 \frac{1}{2}$	$7 \frac{41}{72}$	$14 \frac{1}{2}$	0
9	$17 \frac{1}{2}$	$8 \frac{1}{72}$	$17 \frac{1}{2}$	0
10	$31 \frac{1}{3}$	$11 \frac{3}{8}$	$31 \frac{1}{3}$	0
11	$34 \frac{1}{2}$	$11 \frac{5}{8}$	$38 \frac{5}{6}$	$4 \frac{1}{3}$
12	$38 \frac{1}{6}$	$12 \frac{53}{72}$	$58 \frac{5}{6}$	$20 \frac{2}{3}$
13	$33 \frac{1}{2}$	$11 \frac{5}{8}$	$33 \frac{1}{2}$	0
14	$61 \frac{1}{6}$	$36 \frac{5}{8}$	$61 \frac{1}{6}$	0
15	$61 \frac{1}{6}$	$36 \frac{5}{8}$	$61 \frac{1}{6}$	0
16	$61 \frac{1}{6}$	$36 \frac{5}{8}$	$61 \frac{1}{6}$	0
17	$61 \frac{1}{6}$	$36 \frac{5}{8}$	$62 \frac{1}{6}$	1
18	$61 \frac{1}{6}$	$36 \frac{5}{8}$	$61 \frac{1}{6}$	0
19	$63 \frac{1}{6}$	$36 \frac{53}{72}$	$63 \frac{1}{6}$	0
20	$64 \frac{1}{6}$	$36 \frac{71}{72}$	$64 \frac{1}{6}$	0
21	$66 \frac{1}{3}$	$37 \frac{17}{72}$	$66 \frac{1}{3}$	0
22	71	$40 \frac{1}{72}$	71	0

Encontramos que el tiempo total de producción varió de 45 días obtenidos con el método CPM, hasta 71 días. La ruta crítica resulta ser la misma excepto que aquí se agrega una rama (18,20) a la ruta, esta rama se refiere al armado de la estufa, esto se debe a que la estufa lleva mayor cantidad de piezas de maquila y de compra con los cuales hay en ocasiones atrasos.

Esta variación en el tiempo nos indica que ganaríamos mucho tiempo de producción reduciendo los almacenamientos temporales y haciendo un mejor uso de la maquinaria.

Por otro lado notamos que el nodo 12 se refiere a la fabricación de muebles arrojó una holgura mucho mayor que la de muebles especiales en el método PERT, siendo que con el método anterior la holgura era ligeramente mayor para los muebles especiales. Esto se debe a que los muebles especiales presentan en ocasiones mayores problemas en su fabricación, entorpecen la utilización de las máquinas, y en ocasiones tienen que esperar mas tiempo a que haya disponibilidad de máquinas para su elaboración.

En base a los problemas que trae la fabricación de estos muebles se ha tomado la decisión de no fabricarlos más en lo sucesivo, sino que se fabricará una mayor variedad en medidas de los muebles estandard.

Con respecto a las cubiertas de acero inoxidable, las cuales son las que llevan mayor tiempo de fabricación presentan además otro problema: la actividad (10, 13) elaboración de formas de corte, se realiza con el fin de tener un menor-

desperdicio de material, pero en ocasiones un pedido lleva - dos o mas cubiertas y al acomodar éstas en la hojas de lámina quedan tan separadas que una de ellas se termina con mucha anterioridad que sus compañeras, retrasándose la entrega de toda la cocina.

Esta actividad (10, 13) será eliminada del proceso - adquiriéndose una maquina cortadora de rollos, la cual cortará todas las cubiertas en el orden en que se reciben los pedidos, en forma mucho mas rápida y sin desperdicio alguno de material. El costo de la máquina se amortiza con el ahorro en el desperdicio, la eliminación de la actividad citada - (10, 13) y con la rapidez conque realiza la operación.

3ª Aplicación. CAMBIO DE PLANTA

La fábrica está ubicada en la Calzada de Camarones # 99, en donde se encuentra desde hace mas de 45 años. Su terreno fue reducido cuando se construyó la calzada. Ultimamente la empresa a aumentado grandemente sus ventas con lo cual el terreno de la fábrica es ya insuficiente. Uno de los principales problemas de producción es actualmente la falta de espacio: se piensa seguir aumentando las ventas y no hay área para expansión de la planta.

Con vistas a la fluidez vial en el área metropolitana el gobierno piensa continuar la calle de Eulalia Guzmán (anton Manuel González) para conectarla con la Calzada de Camarones, efectuando el terreno en que se encuentra actualmente la fábrica, la cual tendrá que ser trasladada a otro lugar.

Presentamos como tercera aplicación el proyecto del cambio de la planta.

A partir de la notificación se dio un plazo de 7 meses para entregar el edificio.

Como primer paso hicimos una estimación de las actividades en general que se llevarán a cabo y los tiempos requeridos con los recursos disponibles en forma global, con objeto de comparar el tiempo estimado con el plazo fijado.

1ª PROGRAMACION

Actividades

Tiempo estimado

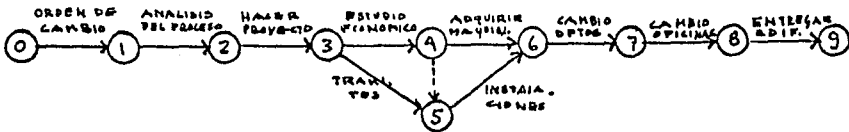
Actividades

Tiempo estimado

- | | |
|---|-----------|
| 1. Orden de Cambio | ----- |
| 2. Analisis del proceso, recursos,
necesidades | 1 semana |
| 3. Hacer el proyecto | 1 mes |
| 4. Estudio económico | 1 semana |
| 5. Efectuar trámites | 1 mes |
| 6. Adquirir maquinaria | 2 semanas |
| 7. Hacer instalaciones | 2 semanas |
| 8. Efectuar cambio departamentos
productivos | 1 mes |
| 9. Efectuar cambio oficinas | 1 semana |
| 10. Entregar edificio | ----- |

Tabla de Secuencias.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		x								
2			x							
3				x	x					
4						x	x			
5							x			
6								x		
7								x		
8									x	
9										x
10										



Según esta estimación ($5 \frac{1}{2}$ meses) el proyecto está dentro del plazo fijado para entregar el edificio.

2^a PROGRAMACION. A continuación se prosiguió a hacer un proyecto mas elaborado. definiendo las actividades en forma mas detallada y haciendo estimaciones de tiempos mas precisas con el método de tres estimaciones de PERT.

Las actividades se definieron conforme a lo que al departamento de ingeniería industrial concierne, bien sea porque participe en dicha actividad directamente o indirectamente controlando la actividad, conforme se le fue asignado. - Otras actividades serán realizadas en otros departamentos - por ejemplo, el proyecto de las oficinas - por lo cual y por falta de información dichas actividades no aparecen en esta ruta.

En la elaboración de la ruta se hacen algunas consideraciones con objeto de simplificar la misma. Algunas relaciones de secuencias no son estrictamente necesarias, pero o bien así se hizo el proyecto o se pusieron para facilitar que la ruta nos proporcione una forma gráfica del proyecto en general.

En esta aplicación mostraremos una técnica que combina las ventajas del método de barras de Gantt con los métodos de ruta crítica, elaborando el diagrama de flechas con una escala de tiempo, lo cual facilita el control del avance del proyecto.

Se cuenta con un edificio propio, el cual se utiliza actualmente como bodega. Se ha decidido utilizar este edificio

para los departamentos productivos en el inicio del proceso (Planta 1) y alquilar un edificio para una segunda planta en el cual se haría el terminado y ensamble de las cocinas. A futuro, probablemente se construya otra planta similar en provincia. La planta 1 proveería de material semiprocado a las otras dos plantas.

LISTADO DE ACTIVIDADES

PLANTA I

1. Orden de cambio
2. Análisis del proceso.
3. Listado de departamentos, maquinaria.
4. Evaluación económica del estado, indemnización.
5. Requirimiento de área.
6. Distribución de departamentos.
7. Distribución de maquinaria.
8. Cálculo de la carga.
9. Estudio económico de la empresa (cambios y mejoras).
10. Adquirir maquinaria.
11. Hacer trámites (contrato CFE, PEMEX, etc).
12. Arreglar edificio.
13. Construir cimentación maquinaria pesada
14. Hacer instalaciones y conexiones, eléctricas, agua, gas, etc.

15. Hacer cambio departamentos productivos.
16. Hacer cambio oficinas.

PLANTA II

17. Conseguir terreno.
18. Distribución de los departamentos.
19. Distribución de maquinaria.
20. Cálculo de la carga.
21. Estudio económico de la empresa.
22. Hacer trámites.
- 23 Adquirir maquinaria.
24. Arreglar edificio.
25. Construir cimentación.
26. Hacer instalaciones.
27. Cambio de computadora.
28. Instalación telefónica.
29. Hacer cambio departamentos productivos.
30. Hacer cambio de oficinas.
31. Entregar edificio.

A PARTIR DE

ESTA PAGINA

**FALLA
DE**

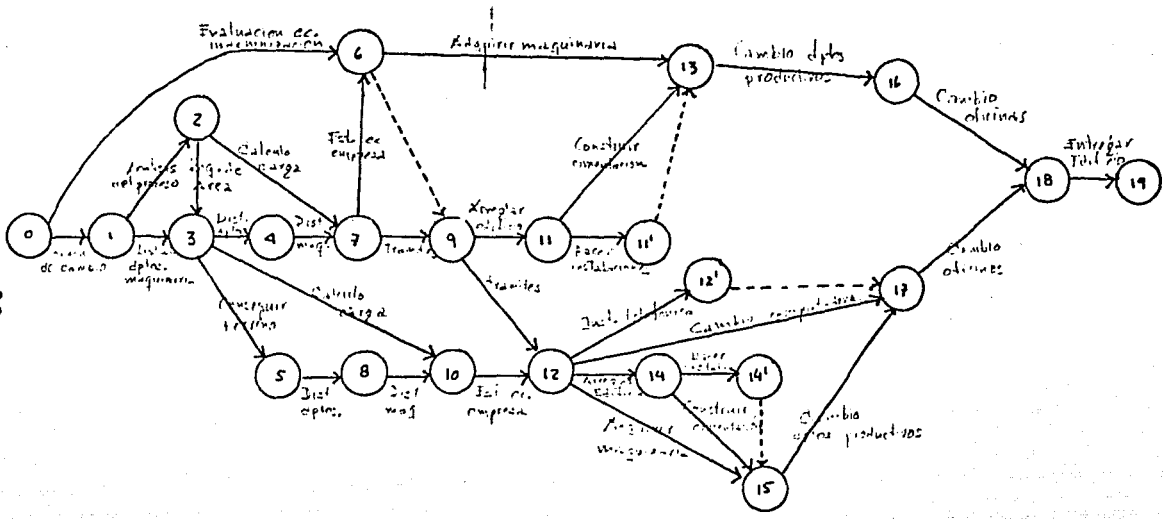
ORIGEN

TABLA DE SECUENCIAS .

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
1		X	X																																	
2				X				X									X																			
3					X		X										X				X															
4						X			X								X					X														
5							X			X							X					X														
6								X										X																		
7									X										X																	
8										X										X																
9											X										X															
10												X										X														
11													X										X													
12														X										X												
13															X										X											
14																X										X										
15																	X										X									
16																		X																		
17																			X																	
18																				X																
19																					X															
20																						X														
21																							X													
22																							X													
23																							X													
24																								X												
25																								X												
26																									X											
27																										X										
28																											X									
29																												X								
30																													X							
31																														X						

P
R
E
D
E
C
E
S
O
R
A
S

SUCESORAS →



CAMBIO DE PLANTA. Listado de Tiempos Estimados.

EVENTO	a	m	b	$t_e = \frac{a+4m+b}{6}$	$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{36}$
(0,1)	-	-	-	---	---
(1,2)	1/2	1	2	1 1/12	1/16
(1,3)	1/2	1/2	1	7/12	1/144
(0,6)	2	4	6	4	4/9
(2,3)	1/2	1	2	1 1/12	1/16
(3,4)	1/2	1	1 1/2	1	1/36
(4,7)	2	4	6	4	4/9
(2,7)	1/2	1	1	1 1/12	1/16
(7,6)	1	2	3	2	1/9
(6,13)	3	5	7	5	4/9
(7,9)	2	4	6	4	4/9
(9,11)	1	2	3	2	1/9
(11,13)	4	6	7	5 5/6	1/4
(11,11)	2	3	4	3	1/9
(13,16)	1/2	1	1 1/2	1	1/36
(16,18)	1/4	1/2	1	13/24	1/64
(3,5)	4	8	12	8	1 7/9
(5,8)	1/2	1	1 1/2	1	1/36
(8,10)	1	2	3	2	1/9
(3,10)	1/2	1/2	1	7/12	1/144
(10,12)	1	2	3	2	1/9
(9,12)	1	3	5	3	4/9
(12,15)	2	4	6	4	4/9
(12,14)	1	1 1/2	2	1 1/2	1/36
(14,15)	1/2	1/2	1	7/12	1/144
(14,14)	1	1 1/2	2	1 1/2	1/36
(12,17)	1	2	3	2	1/9
(12,12)	1/2	1/2	1	7/12	1/144
(15,17)	1/2	1/2	1	7/12	1/144
(17,18)	1/4	1/2	1	13/24	1/64
(18,19)	-	-	-	---	---

EVENTO	TIEMPO MAS PROXIMO		TIEMPO MAS TARDIO	HOLGURA
1	0	0	0	0
2	1 1/12	1/16	1 1/12	0
3	2 1/6	73/144	2 1/6	0
4	3 1/6	77/144	3 1/6	0
5	10 1/6	2 41/144	10 5/12	1/4
6	9 1/6	1 1/16	11 1/6	2
7	7 1/6	137/144	7 1/6	0
8	11 1/6	2 5/16	11 5/12	1/4
9	11 1/6	1 19/48	11 1/6	0
10	13 1/6	2 61/144	13 5/12	1/4
11	13 1/6	1 73/144	13 1/6	0
11'	16 1/6	1 89/144	19	2 5/6
12	15 1/6	2 77/144	15 5/12	1/4
12'	15 3/4	2 13/24	20	4 1/4
13	19	1 109/144	19	0
14	17 1/4	2 9/16	18 11/12	1 2/3
14'	18 3/4	2 85/144	19 5/12	2/3
15	18 3/4	2 85/144	19 5/12	2/3
16	20	1 113/144	20	0
17	19 1/3	2 43/72	20	2/3
18	20 13/24	1 19/24	20 13/24	0

EVENTO	EVENTO INMEDIATA-- MENTE PRECEDENTE	TIEMPO ANTERIOR + TIEMPO ACTIVIDAD	MAXIMO= TIEMPO MAS PROXIMO
1	0	0	0
2	1	0+1	
	3	1+0	1
3	1	0+1	1
4	2	1+1	2
5	4	2+0	2
6	4	2+1	
	7	7+0	7
7	5	2+5	7
8	7	7+6	13
9	8	13+3	16
10	9	16+13	29
11	10	29+3	32
12	10	29+7	36
13	10	29+2	31
14	13	31+10	41
15	12	36+1	
	14	41+0	41
16	12	36+1	
	14	41+0	41
17	12	36+1	
	14	41+0	41
18	14	41+0	41
19	15	41+1	
	16	41+1	42

Con este diagrama de flechas se puede ir controlando el proyecto, comparando la fecha en la escala de tiempo con el avance del proyecto. Las actividades llevan indicada la holgura con línea punteada, mostrándose gráficamente la ruta crítica con la línea continua desde el nodo inicial al nodo final. Se distinguen gráficamente las actividades casi críticas, que tendrán líneas punteadas muy corta, de aquellas que tienen una holgura amplia.

A la fecha se ha ido cumpliendo el programa satisfactoriamente. Se piensa seguir elaborando rutas críticas en aquellas actividades que se consideran complejas y que entran dentro de la ruta crítica (o casi crítica) como por ejemplo la construcción de cimentaciones e instalaciones y el traslado de los departamentos productivos. Esto se ha empezado a elaborar, pero debido a que aún no se ha establecido el programa definitivo (se ha desarrollado el listado de actividades, pero no así sus interrelaciones de secuencia), esta tercera programación no se incluye en este trabajo.

C A P I T U L O V.

C O N C L U S I O N E S

En este trabajo se ha intentado mostrar el uso de la -
ruta crítica a algunas aplicaciones en la industria.

Se indicó su uso para el control de proyectos y las ven-
tajas que tiene respecto a otras técnicas.

Como herramienta de control de un proyecto su uso es -
bastante sencillo, envuelve únicamente operaciones aritméti-
cas elementales (suma y resta). En la tercera aplicación
mostramos un diagrama de flechas que utiliza una escala de -
tiempo, la cual es fácil de elaborar y de suma utilidad.

La ruta crítica puede aplicarse a proyectos importantes
que se llevan a cabo una sola vez, como proyectos de construc-
ción, etc. Pero también puede aplicarse a operaciones repeti-
tivas para control y planeación de la producción, como se -
mostró en las primeras dos aplicaciones.

La fase mas importante es la de programación, que re-
quiere todo el conocimiento y experiencia del programador -
para elegir las actividades y sus interrelaciones, lo cual -
es determinante para que la ruta sea de utilidad práctica.

Como experiencia personal pienso que la elaboración de
una ruta crítica es de suma utilidad para el principiante -
pues muestra en forma gráfica y fácil de entender el proyecto
en forma general facilitando la familiarización con todas las

actividades involucradas.

Como se mencionó en el trabajo, es indispensable que la fase de planeación sea elaborada por personas bien documentadas y con un conocimiento preciso del proyecto.

El método facilita la comunicación y coordinación entre las personas que intervienen en el proyecto. El método de 3 tiempos de PERT facilita no sólo el cálculo de los tiempos, sino que tiene la ventaja de poner en contacto al programador con las personas que participan directamente en las actividades del proyecto, obteniéndose un resultado mas realista que con el método CPM, el cual es de utilidad sólo cuando se conocen con precisión y de antemano los tiempos requeridos para cada actividad.

BIBLIOGRAFIA.

CAPITULO I.

- Ackoff, Russell L. - Redesigning the future.
----- y Sasieni, M.W. - Fundamentals of operations re-
search.
Bell, E. T. - The development of mathematics.
Cherry, Colin - On human communication.
Dobrinier, M. - Estructuras y sistemas sociales.
Glorioso, Robert M. - Engineering cybernetics.
Klein, Morris - El fracaso de las matemáticas modernas.
Mises, Ludwig Von - Teoría e historia.
Open University set book, Ed. John Beishon y Geoff Peters-
Systems Behaviour.
Singh, Jagijt - Teoría de la información, del lenguaje y de
la cibernética.
Salvar editores, Biblioteca de grandes temas, texto: José -
M^a. Blecua Lingüística y significación.
Scientific American, Readings from, - Ed. Freeman - Scienti-
fic technology and social change.
-----, Mathematics in the modern world.
Wiener, Norbert - The human use of human beings, cybernetics
& society.

CAPITULOS 2 y 3.

Ackoff, Russel L. y Sasieni, M.W. - Fundamentals of operations research.

Delgado Wise, Martha-Métodos de control de obra, aplicación de la refinería de Tula, Hidalgo. Tesis profesional. UNAM - 1977

George, Claude S.-The History of management thought

Gerez G., Victor y Grijalva, Manuel.- El enfoque de sistemas.

Hillier, Frederick S. y Lieberman, Gerald J.- Operations research.

Juarez Salazar, Carlos- Costo y tiempo de edificación.

Lazzarro, Victor -Sistemas y procedimientos.

Marín Pinillos, Bonito - Apuntes de clase de Investigación de operaciones I. F. I. UNAM.