

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE ARQUITECTURA



BASES TEORICAS Y CONCEPTUALES PARA
ORIENTAR LA PROGRAMACION EN ARQUITECTURA

T E S I S

presentada a la Junta Directiva
de la
Facultad de Arquitectura
previo a optar al título de

ARQUITECTO

por

ARGENTINA DIAZ DE BONILLA

Guatemala, marzo de 1,992.

TRIBUNAL EXAMINADOR

DECANO: ARQ. MARCELINO GONZALEZ CANO.

EXAMINADOR: ARQ. GLENDA RODRIGUEZ.

EXAMINADOR: ING. MAXIMO LETONA.

EXAMINADOR: ARQ. ALEJANDRO URBUTIA.

SECRETARIO: ARQ. ROLANDO MARROQUIN.

DL
02
TC494

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE ARQUITECTURA

JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	ARQ. FRANCISCO CHAVARRIA SMEATON
SECRETARIO:	ARQ. SERGIO VELIZ RIZZO
VOCAL I:	ARQ. MARCO ANTONIO RIVERA MENDOZA
VOCAL II:	ARQ. MIGUEL ANGEL ZEA SANDOVAL
VOCAL III:	ARQ. SILVIA EVANGELINA MORALES CASTAÑEDA
VOCAL IV:	BR. ESTUARDO WONG GONZALEZ
VOCAL V:	PROFA. IRAYDA RUIZ BODE

ACTO QUE DEDICO

A: DIOS

A: MI MADRE Olga Elisa Paz de Díaz

A: MI ABUELITA María Calderón de Paz

A: MIS HERMANOS: -Olga Dalila Díaz de Duarte
-Silvia María Díaz de Meléndez
-Renato Díaz Paz
-Fabián Díaz Paz

A: MIS HIJOS: -Luis Pablo, Carlos Arnaldo, Juan Sebastián,
Pedro Miguel y Nicky Bonilla Díaz

CON AMOR A: Luis Eduardo Bonilla Gil

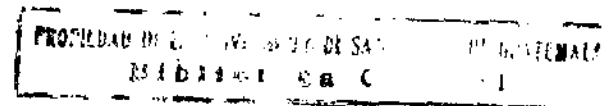
A: Familiares y amigos en general

TESIS QUE DEDICO

A: GUATEMALA

A: LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A: LA FACULTAD DE ARQUITECTURA



C O N T E N I D O

	Pág.
1-ASPECTOS INTRODUCTORIOS	1
1.1 INTRODUCCION	1
1.2 HIPOTESIS	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.4 METODOS Y TECNICAS	5
1.4.1 PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACION DE ENCUESTA	6
1.4.2 INSTRUMENTO DE TRABAJO	7
2-EL CAMPO DE LA ARQUITECTURA COMO UN PROCESO DE TRANSFORMACION	8
2.1 DESCRIPCION DEL PROCESO DE TRANSFORMACION	8
2.2 FACTORES DE PRODUCCION	9
3-ASPECTOS TEORICO-CONCEPTUALES BASICOS DE LA PROGRAMACION	12
3.1 GENERALIDADES	12
3.2 ASPECTOS HISTORICOS	15
3.3 LA IMPORTANCIA DE LOS METODOS DE RUTA CRITICA	16
3.4 VENTAJAS DE PERT	16
3.5 VENTAJAS DEL CPM	17
3.6 CASOS DE AHORRO DE TIEMPO Y DINERO APLICANDO METODOS DE PROGRAMACION POR CAMINO CRITICO	18

4-DESCRIPCION DE METODOS EXISTENTES PARA LA PROGRAMACION DE ACTIVIDADES EN LA CONSTRUCCION, CPM, PERT, GANTT	21
4.1 PLANEACION	23
4.1.1 DEFINICIONES Y SIMBOLOS	23
4.1.2 IDENTIFICACION Y CONDIFICACION DE ACTIVIDADES	27
4.1.3 DIAGRAMA DE FLECHAS Y SUS INTEGRANTES	28
4.1.4 INICIO, DURACION Y FINALIZACION DE ACTIVIDADES	34
4.2 PROGRAMACION	36
4.2.1 CALCULO DE VALORES EN CPM	36
4.2.2 TIEMPOS CONSIDERADOS EN CPM	37
4.2.3 EL CAMINO O LA RUTA CRITICA	45
4.2.4 CALCULO DE HULGURAS O MARGENES	46
4.2.5 COSTO Y DURACION OPTIMOS DE UN PROYECTO	47
4.2.6 COMPRESION Y DECOMPRESION DE ACTIVIDADES	49
4.3 FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DEL PERT	58
4.3.1 ESTIMACION DE TIEMPOS	58
4.3.2 CALCULO DE TIEMPO MAS TEMPRANO	61
4.3.3 CALCULO DE TIEMPO MAS TARDIO	62
5-EJEMPLO SIMPLIFICADO	64
6-INFORME SOBRE LA ENCUESTA	73
6.1 SEÑALAMIENTO DEL PROBLEMA INVESTIGADO	73

6.2 REVISION DE LA LITERATURA	73
6.3 PROCESAMIENTO DE DATOS	73
6.4 ANALISIS DE RESULTADOS	74
6.5 CUADRO 1 INFORMANTES POR PROFESION SEGUN CONOCIMIENTO DE METODOS	75
6.6 CUADRO 2 INFORMANTES POR METODOS CONOCIDOS SEGUN PROFESION	76
6.7 CUADRO 3 INFORMANTES POR PROGRAMACION DE ACTIVIDADES DE CONSTRUCCION SEGUN PROFESION	77
6.8 CUADRO 4 INFORMANTES POR METODOS UTILIZADOS SEGUN PROFESION	78
6.9 CUADRO 5 INFORMANTES POR REDUCCION DE COSTOS EN LA UTILIZACION DE METODOS DE PROGRAMACION SEGUN PROFESION	79
6.10 CUADRO 6 INFORMANTES POR UTILIZACION DE METODOS E INSTRUMENTOS COMBINADOS O SOLOS, EN LA PROGRAMACION DE SUS ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS, SEGUN PRO- FESION	80
6.11 GRAFICAS GRADUALES DE PORCENTAJES	81
7-CONCLUSIONES	82
8-RECOMENDACIONES	83
9-ANEXOS	84
9.1 ANEXO 1	84
92. LISTADO DE OBRAS PROGRAMADAS CON CPM, PERT Y GANTT	85
10-BIBLIOGRAFIA	88

1-ASPECTOS INTRODUCTORIOS.

1. ASPECTOS INTRODUCTORIOS

1.1 INTRODUCCION

El presente trabajo pretende ser un documento de referencia que oriente la práctica de los sistemas más utilizados en la programación de procesos de diferente índole y que serán referidos a la Arquitectura, como un proceso de construcción o materialización de un objeto -La obra arquitectónica- Es por lo tanto no un fin sino un medio en el cual se representa la simbología de los métodos de programación a tratar, en forma sencilla y de manera que su aplicación en la práctica sea fácil. Se hará referencia específicamente al CPM (Critical Path Method o Método de la Ruta Crítica) y al PERT (Program Evaluation and Review Technique o Técnica de Evaluación y Revisión de Proyectos), dos métodos que basan su desarrollo en el uso de diagramas de flechas y que se auxilian en la utilización de gráficas y matrices de secuencias temporales.

El propósito de elaborar este tema tiene su origen en observaciones realizadas en la práctica y que llevan a concluir que muchos de los errores en que incurre un Arquitecto constructor derivan de la falta de programación de sus actividades dando origen a incumplimiento en el tiempo de entrega de la obra, desaprovechamiento de recursos e incremento en el costo de la misma.

La primera parte del trabajo desarrolla los aspectos introductorios, hipótesis, objetivos, métodos y técnicas; la segunda parte corresponde a una breve explicación de lo que es la Arquitectura como un proceso de transformación. Luego se tratan los aspectos teórico conceptuales básicos de la programación, haciendo evidente la diferencia que exis-

te entre los métodos de programación CPM Y PERT para su aplicación. La cuarta parte del trabajo consiste en desarrollar paralelamente el procedimiento de ambos métodos hasta el punto en que las características determinísticas del CPM y probabilísticas del PERT, deben seguir su propio desarrollo. A partir de este punto, tanto el CPM como el PERT, tienen su propio sistema de cálculo. Para clarificar el procedimiento se hace uso de un ejemplo simplificado. En la sexta parte, se hace un análisis de los datos de una investigación de campo concretada en una encuesta, la cual se realizó a profesionales de la Arquitectura y Constructores, sobre el conocimiento y utilización de los métodos de programación manual en la construcción y la consiguiente reducción de costos. Incluyendo, informe, procesamiento de datos y análisis de los resultados, los cuales están representados en cuadros y gráficas.

A continuación se presentan conclusiones y recomendaciones deducidas de la totalidad del trabajo.

1.2 HIPOTESIS

"El conocimiento y utilización de los métodos de programación en Arquitectura, específicamente en la fase constructiva, constituyen un instrumento de valor en la ejecución del proyecto Arquitectónico".

OBJETIVO GENERAL

Contribuir al conocimiento, difusión, orientación y uso de los métodos de programación CPM y PERT, ya que dichos métodos son útiles y necesarios al Arquitecto, en la dirección y ejecución del proyecto arquitectónico en su fase constructiva.

OBJETIVO PARTICULAR

Dar a conocer el manejo de las bases teóricas y conceptuales de los métodos de programación CPM y PERT, aplicados a la Arquitectura en su fase constructiva y presentar la aplicación de los mismos en forma que sean rápidamente asimilables por el estudiante o el profesional de la Arquitectura, en su práctica cotidiana.

1.4 MÉTODOS Y TÉCNICAS

"El procedimiento o método que se empleó, fué la investigación de campo; donde el investigador sale a ponerse en contacto con el sujeto investigado. Las formas de investigación de campo son:

1) La investigación en bibliotecas y archivos:

Es llevada a cabo mediante el análisis de la información disponible en archivos y -- fuentes dispersas, teniendo el investigador que salir a buscarlos.

2) Encuesta por muestreo:

Consiste en seleccionar a un sector de la población, denominado la muestra, para recoger en él información representativa del total de la población, poniéndose en contacto directo con los elementos seleccionados mediante instrumentos tales como cuestionarios y la técnica de la entrevista." 1/

Fuentes de información: a) Biblioteca de la Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos.

b) Biblioteca de la Facultad de Ingeniería, Universidad de -- San Carlos.

c) Departamento de Documentación de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA)

1/ CIESPAL, Manual de Investigación por Encuestas en la Comunicación. Quito Ecuador, CIESPAL, 1968

- d) Departamento de Programación y Computación del Instituto de Nutrición para Centro América y Panamá. (INCAP)
- e) Departamento de Estadística de la Unidad Sectorial de Investigación y Planificación Educativa (USIPE)
- f) Talleres Gráficos de INTECAP

En las fuentes antes mencionadas se recopiló información, elaborando fichas resumen, tomando citas textuales y realizando entrevistas a través de la comunicación con profesionales de experiencia tanto en la utilización de los métodos CPM y PERT como en la elaboración de encuestas.

1.4.1 PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACION DE LA ENCUESTA

La muestra: La selección de la muestra utilizada se hizo por "muestreo aleatorio simple", es un proceso en que se selecciona a los elementos individual y directamente, recibiendo cada elemento una igual posibilidad de ser incluido en la muestra. Se dividió la población que interesaba investigar, en dos grupos o universos; se numeró a todos -- los elementos de cada universo entre los que se necesitaba hacer la selección. Dichos universos son:

- 1) El conjunto de Arquitectos colegiados.
- 2) El conjunto de constructores inscritos en la Cámara Guatemalteca de la Construcción, quienes en su mayoría son Ingenieros Civiles.

Investigaciones estadísticas realizadas, tanto en Guatemala como en otros países, aconsejan utilizar para la muestra, entre 10% y 15% del universo; pues se considera que ese

porcentaje es representativo.

Del universo de Arquitectos (426) se seleccionó una muestra del 10% (42) y del universo de Ingenieros (200) se seleccionó una muestra del 15% (30).

1.4.2 INSTRUMENTO DE TRABAJO:

En la investigación por encuestas, se utilizó un cuestionario que registra la información buscada. Dicho cuestionario consta en el Anexo 1, página 84. El cuestionario fué administrado por el entrevistador, quien la mayoría de veces hizo las preguntas y registró las respuestas en el lugar indicado. En otros casos (la minoría), fueron los mismos entrevistados quienes llenaron los cuestionarios.

Esta manera de realizar la encuesta permitió la recuperación de la mayoría de cuestionarios, y por tanto de información. Además fué posible recopilar más información de la -- contenida en las preguntas; a través de la observación personal y pláticas con los entrevistados.

2-EL CAMPO DE LA ARQUITECTURA COMO UN PROCESO DE TRANSFORMACION

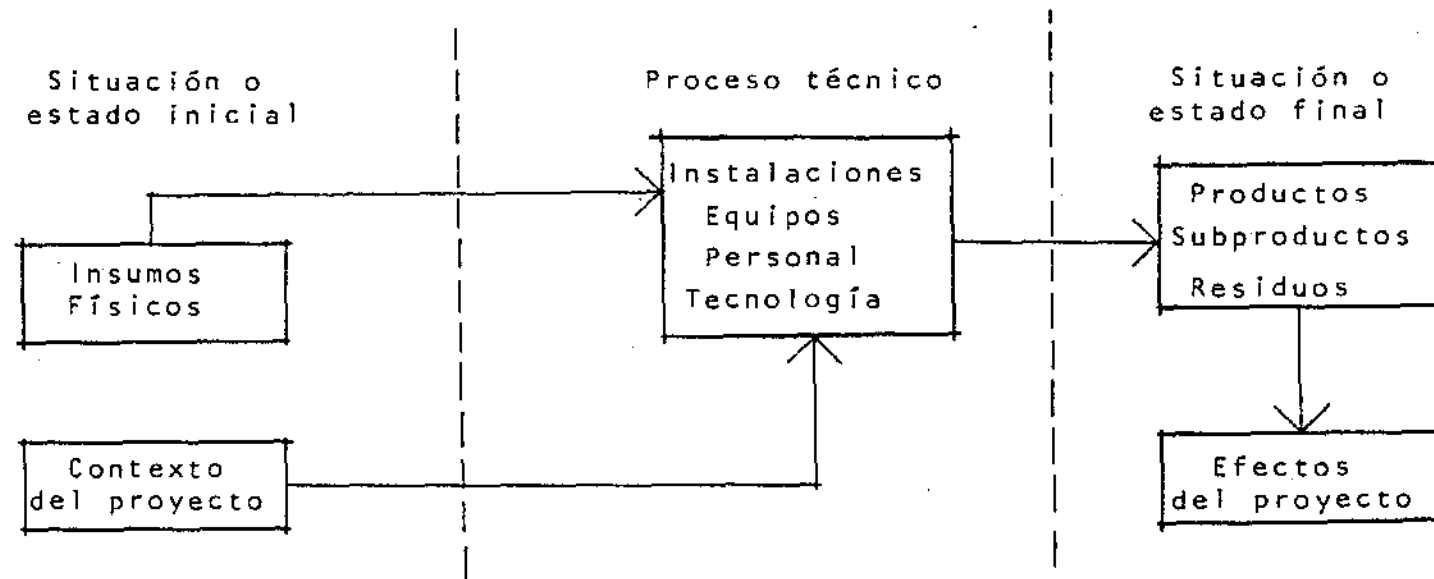
2. EL CAMPO DE LA ARQUITECTURA COMO UN PROCESO DE TRANSFORMACION

Para hablar del proceso de transformación en la Arquitectura, específicamente en la fase constructiva, tenemos que exponer primero el proceso global de transformación para cualquier producto y luego hacer un análisis breve de los factores de producción.

2.1 DESCRIPCION DEL PROCESO DE TRANSFORMACION

Es la secuencia de operaciones a que se someten los insumos en su estado inicial para -- llegar a obtener los productos en su estado final. En cada tipo de proyectos los términos insumo y producto tienen un significado específico-preciso.

2.1.1. PROCESO DE TRANSFORMACION:



2.2 FACTORES DE PRODUCCION

La construcción de una obra Arquitectónica necesita de los tres elementos siguientes:

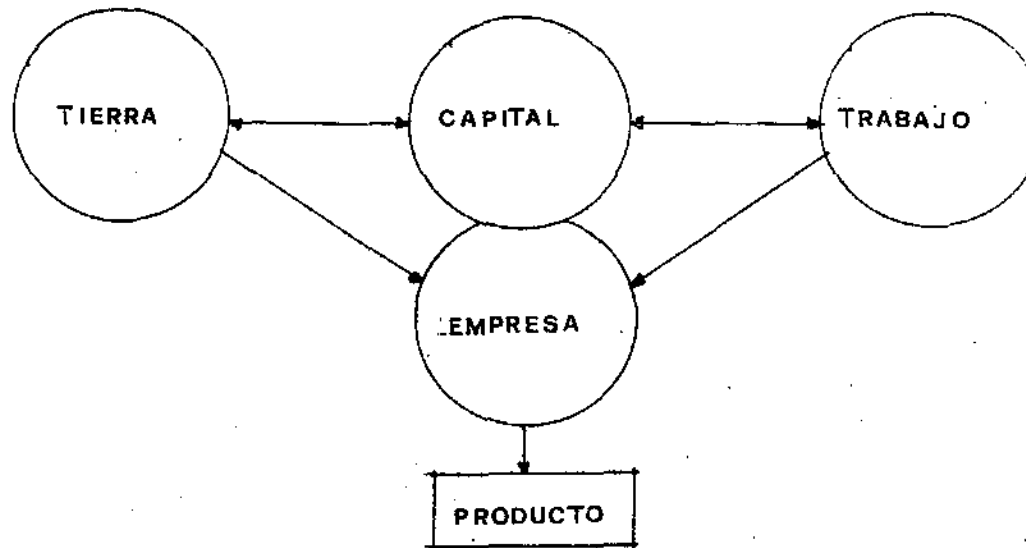
1. TIERRA: Como fuente de materia prima de la que se obtienen los materiales que nos sirven para la construcción, algunos de estos materiales son de producción nacional y otros de producción extranjera.
2. CAPITAL: Es el financiamiento necesario para la adquisición de la materia prima, (materiales de construcción nacionales y extranjeros), equipo que se utilizará para la fabricación y construcción, y para cubrir otros gastos ocasionados por la obra siendo estos, los gastos indirectos provocados por: administración, prestaciones, imprevistos, fletes, etc.
3. MANO DE OBRA: Personal utilizado en la transformación de materia prima y de los materiales de construcción para obtener la obra Arquitectónica deseada.

Estos factores de producción convergen a la empresa constructora, la que, mediante un proceso técnico procede a combinarlos en las proporciones óptimas, necesarias para lograr una obra Arquitectónica ideal en cuanto a sus condiciones y en cuanto a costos; de acuerdo con los sistemas de construcción utilizados. [12] *

En nuestro caso particular y refiriéndonos a la construcción, los elementos que han de converger, serán los materiales, la mano de obra y el capital, que conjuntamente, han de

*Los números encerrados entre corchetes, se refieren a la bibliografía que aparece al final de la tesis.

constituir la obra Arquitectónica. [12]



Basado en lo anterior podemos decir que los principales factores de la producción son tres:

- .TIERRA (como fuente de materia prima)
- .CAPITAL
- .TRABAJO O MANO DE OBRA

La correcta coordinación de estos tres factores ha de darnos, el producto o la obra. Ninguno de los tres factores considerados aisladamente, es decir sin la cooperación de los otros dos, puede darnos un producto o una obra. Así un árbol podrá brindarnos, de inmediato sus frutos para su consumo, pero será necesario el derecho de cogerlos, para lo cual se necesita capital y luego arrancarlos de la planta y transportarlos, para lo cual

es indispensable la mano de obra y los medios de transporte. Con mayor razón, sí, del árbol hemos de obtener madera para elaborar un mueble o una puerta, pues en ese caso, necesitamos, además, maquinaria y por consiguiente el capital para comprar. [12]

PROCESO GLOBAL DE TRANSFORMACION

ESTADO INICIAL Insumos Principales	PROCESO DE TRANSFORMACION	ESTADO FINAL Producto
<p>Capital y materia prima que son objeto de transformación y de quienes se obtendrá el producto. Trabajo o mano de obra utilizada en la transformación de la materia prima con miras a obtener el producto.</p>	<p>Proceso. Serie de operaciones necesarias para pasar -- del estado inicial, al estado final.</p>	<p>Capital y materia prima que han sufrido el proceso de transformación.</p>
Insumos Secundarios	<p>Equipamiento. Equipo e instalaciones necesarias para realizar las transformaciones señaladas.</p>	Sub-Productos
<p>Recursos necesarios para realizar el proceso de transformación, tanto para su operación como para su mantenimiento son recursos que no quedan incorporados, físicamente al proceso.</p>	<p>Personal. Se necesita de -- las diversas calificaciones necesarias para hacer funcionar el proceso de transformación.</p>	<p>Capital y materia prima que han experimentado sólo parcialmente, el proceso de transformación que son -- consecuencias no perseguidas de este proceso, pero -- que tienen un valor económico dentro de la operación -- total.</p>

3-ASPECTOS TEORICO-CONCEPTUALES BASICOS DE LA PROGRAMACION

3. ASPECTOS TEORICO - CONCEPTUALES BASICOS DE LA PROGRAMACION

3.1 Generalidades

Vivimos en una época en que la complejidad de los proyectos, diseño-ejecución, ha ido en aumento llegando a crear problemas en el manejo de recursos humanos, materiales y financieros y a anular la efectividad de los sistemas de planeación usados tradicionalmente. Por lo que la programación se ha convertido en un requisito para la supervivencia de toda empresa.

El cambio y el crecimiento económico, traen oportunidades, pero también riesgos, sobre todo en una era de competencia mundial por los mercados. La tarea de la programación es exactamente minimización de riesgos y el aprovechamiento de las oportunidades.

La programación consiste en fijar el curso concreto de acción que ha de seguirse, estableciendo los principios que habrán de orientarlo, la secuencia de operaciones y -determinaciones de tiempos y de números necesarios para su realización.

La programación tiene cuatro importantes metas, las cuales son:

- Reducir la incertidumbre.
- Dirigir la atención hacia los objetivos.
- Propiciar una operación económica.
- Facilitar el control.

Las técnicas suelen ser abundantes y diversificadas.

Entre estos métodos y técnicas se citarán las siguientes:

1) Gráfica de Gantt.

2) Métodos conocidos como de ruta crítica.

1) Gráfica de Gantt: Tiene por objeto controlar la ejecución simultánea de varias actividades que se realizan coordinadamente.

2) Métodos de Ruta Crítica: Este es el nombre genérico con el que suelen conocerse - los métodos PERT (Program, Evaluation and Review Technique) y CPM (Critical Path - Method) los cuales buscan, planear y programar en forma gráfica y cuantitativa una serie de secuencias coordinadas de actividades simultáneas, que tienen el mismo fin y el mismo origen, hace énfasis principalmente en la duración y costo de aquella secuencia de operaciones que resulte la más larga y costosa, ya que, de nada serviría acortar otras secuencias necesarias y colaterales a la primera si esta detiene y dificulta el avance general.

El desarrollo del presente trabajo pretende señalar las ventajas de los métodos y técnicas mencionadas anteriormente. De manera particular se hará referencia a la utilización de dichos métodos en el campo de la construcción arquitectónica.

Un proyecto es cualquier trabajo que tiene un principio y un fin, y que requiere la utilización de uno o más recursos en cada una de las actividades que deben desarrollarse para lograr un objetivo.

El objetivo que se pretende alcanzar con un proyecto puede ser de muy diversa índole: industrial, comercial, técnico, científico, administrativo, artístico, etc. - Algunos ejemplos posibles son:

la construcción de obras arquitectónicas, el desarrollo e introducción de un

nuevo producto, la reparación de una maquinaria, etc.

Una vez definido el objetivo de un proyecto, el siguiente paso es la PLANEACION del mismo.

Planeación o planificación es un conjunto de decisiones que deben elaborarse para realizar en el futuro el objetivo de el proyecto, de la manera más eficiente posible.

"La estructura de un proyecto tiene que ser definida antes de atacar el problema de su programación. Así queda definida la primera regla del Método del Camino Crítico en -- que la planeación y la programación son dos operaciones distintas y separadas". [14]

La planeación de un proyecto consiste sencillamente en:

a)La determinación de las actividades que lo forman.

b)Su secuencia lógica.

c)y sus interrelaciones.

El siguiente paso sería la PROGRAMACION, es decir la elaboración de tablas o gráficas en las que se muestren los tiempos de duración de iniciación y de terminación de las actividades. En general es la enmarcación del proceso dentro del tiempo.

Es necesario que las personas que intervendrán en el proyecto posean la información necesaria para que se logre un alto grado de coordinación.

Una actividad unida a la planeación es el CONTROL, es decir, la verificación de lo -- ejecutado contra lo programado, y en caso necesario, la modificación del programa mediante una nueva programación parcial.

3.2 ASPECTOS HISTORICOS:

El método del camino crítico, fué desarrollado en los Estados Unidos a principios de 1957 por el señor Morgan R. Walker, entonces miembro del Departamento de Ingeniería - de la Compañía E. I. Dupont de Noemours & Co., y por el señor James E. Kelley, Jr. entonces investigador de la Compañía Remington Rand.

El método CPM se puso a prueba por primera vez en el período 1957 - 58, en la construcción de una planta química para la Compañía Dupont con un valor estimado de - - - 10,000.000 (dólares). Los resultados fueron excelentes. A partir de entonces, la Compañía Dupont ha venido utilizando el Método CPM para la construcción de nuevas plantas, para la modernización de plantas existentes, y como método general de planeación, programación y control.

Desde 1958 el número de aplicaciones del método CPM que se han hecho en Estados Unidos y Canadá, a problemas de muy diversa naturaleza es realmente notable.

El método PERT fué desarrollado en los Estados Unidos en el año 1958 por un grupo de investigadores de la firma Booz, Allen y Hamilton de Chicago, ILL., a solicitud de la "Special Projects Office" de la Marina de los Estados Unidos. Este método se creó -- para controlar el programa para el proyecto Polaris. Dicho programa se descompuso en 23 partes, que contenían aproximadamente 3,000 actividades o trabajos. Se afirma que la utilización del método PERT en este proyecto, permitió acortar en dos años la duración del mismo.

Actualmente en los Estados Unidos, el Ejército, La Marina y La Fuerza Aérea, exigen la utilización del método PERT a todos los contratistas que realizan trabajos para ellos. Numerosas empresas privadas emplean también el método PERT.

3.3 La Importancia de los Métodos de Ruta Crítica :

La importancia de éstos métodos, es que no se limitan a la organización interna del trabajo, debido a que sirve para establecer el control y vigilancia de la actuación conjunta de varios procesos. Además puede servir como instrumento de coordinación de la actuación -- conjunta de varias empresas. Es importante hacer una diferenciación dependiendo de la posición del planificador respecto de la empresa, ya que de ello dependen los objetivos de la planificación.

Un arquitecto debe ocuparse de unos problemas referentes a la planificación, distintos de los que se ocupa un organizador de trabajo.

Para aquellos organismos para los cuales es importante observar plazos y control de tiempos es muy útil la aplicación de éstos métodos, sin embargo los costos y la capacidad son de relativa importancia; en cambio para las firmas que forman parte del proyecto de construcción tiene gran importancia.

Se puede decir que la responsabilidad de una planificación externa se apoya en el factor tiempo, en cambio en la planificación interna los factores, mano de obra, maquinaria y control de costos tienen tanta importancia como el tiempo.

3.4 VENTAJAS DEL PERT

-Es interpretado fácilmente.

-Permite presentar de modo ordenado y bien visible los proyectos y la dependencia entre las actividades que los componen.

-Mejora la coordinación de los trabajos de varias empresas o grupos.

-Mejora las comunicaciones.

-Ayuda a estimar mejor la duración total del proyecto y la probabilidad del cumplimiento de los plazos fijados.

-Acepta los cambios con facilidad." [14]

3.5 "VENTAJAS DEL CPM

-Es una herramienta de gran utilidad en varias etapas de realización de proyectos: en plnificación inicial o análisis de planes opcionales y control de tareas que componen el proyecto.

-Es aplicable a gran variedad de proyectos.

-Exhibe de modo simple y claro las interrelaciones existentes en el complejo de tareas del proyecto.

-Es comprendido fácilmente por las personas no muy enteradas gracias a la utilización de la red.

-Concentra la atención sobre una pequeña parte de tareas que son críticas para el cumplimiento del plazo del proyecto, contribuyendo de este modo a la planificación y control más precisos.

-Ayuda a estudiar con rapidez los efectos de aceleración de programas anticipando posibles dificultades.

-Conduce a una estimación razonable de costo total del proyecto para varias fechas de su finalización y de este modo ayuda a elegir un plan óptimo.

Las características de CPM enumeradas, su simplicidad, lógica y claridad debidas a su for-

ma gráfica y su habilidad de concentrar la atención sobre los problemas cruciales, lo han convertido en una herramienta de primer orden para la planificación de proyectos y su control" [14]

3.6 A CONTINUACIÓN SE CITAN CASOS DE AHORRO DE TIEMPO Y DINERO APLICANDO METODOS DE PROGRAMACION POR CAMINO CRITICO.

1)Catalytic Construction Co. ha ahorrado 200.000 dólares en un solo proyecto de 800.000 dólares y de 15% a 22% de tiempo en otros 50 proyectos. Y no es de extrañar que su Gerente de planificación y programación haya dicho lo siguiente de estos métodos:

"Ellos constituyen el adelanto más grande en programación de la construcción - desde los faraones. Son tan buenos que quisiera guardarlos en secreto".

2)Un laboratorio electrónico analizando el camino crítico ha reducido de 6 a 2 semanas (el 66%) el retraso del proyecto.

3)Du Pont ha reducido en 37% (de 125 a 78 horas) el tiempo de cierre para la reparación de su fábrica de productos químicos en Louisville, ganando un millón de libras de producción.

4)Sun-Maid, viñedos de California, han reducido en 25% el tiempo de construcción de una fábrica, ahorrando cerca de un millón de dólares.

5) En una licitación de construcción de un centro comercial se ha estimado, y con posterioridad se ha cumplido, el plazo de 5 1/2 meses, batiendo la propuesta del competidor (de 7 meses). [14]

"Para la industria de la construcción -como ya se ha advertido repetidamente- se presenta como más seguro el sencillo método de CPM.

Existen para ello dos razones: por un lado el CPM trabaja con un solo cálculo de tiempo por cada proceso. No son necesarios posteriores razonamientos: puede utilizarse la planificación primitiva sobre la base de unos valores tipo. El proceso se torna más simple desde el punto de vista de personal y de cálculo. Por otra parte, las particularidades de la industria de la construcción, sobre todo su gran dependencia de los factores climatológicos, hacen que parezca innecesario un cálculo de valores probabilísticos." ^{1/}

"La muy rápida divulgación de técnicas PERT y su constante desarrollo han resultado en un sistema de métodos de nombres diferentes (alrededor de dos docenas, como ser: PEP, LESS, o sea Least Cost Estimating & Scheduling; CPS, SCANS, CPPS, etc.), algunos de los cuales tienen poca justificación debido a su escasa diferencia con los métodos básicos antes mencionados. [14]

^{1/}Gerhard Wagner. Los sistemas de planificación CPM y PERT aplicados a la construcción. Barcelona, Gustavo Gili, 2a. Edición.

4-DESCRIPCION DE METODOS EXISTENTES PARA LA PROGRAMACION DE ACTIVIDADES

4. DESCRIPCIÓN DE METODOS EXISTENTES PARA PROGRAMACION DE ACTIVIDADES EN LA CONSTRUCCION

CPM, PERT y GANTT

Los métodos tradicionales de la programación usados hasta ahora no se adaptan al rápido -- desarrollo de la ciencia y de la tecnología de los últimos decenios. Tales métodos estaban basados en los primeros estudios de organización científica del trabajo de F. W. Taylor y de H. L. Gantt, aparecidos a principios del siglo veinte; tenían ellos por finalidad la subdivisión de un proyecto en actividades elementales y la representación de estas actividades mediante diagramas con barras o segmentos de longitud proporcional a la duración de la actividad.

En su tiempo, los diagramas de Gantt contribuyeron mucho al trabajo de programación. Ellos mismos sirven incluso hoy y dan, en cuanto al tiempo, una representación gráfica excelente, muy clara y fácilmente accesible a todos de un trabajo. Con todo, estos diagramas tienen las siguientes limitaciones:

- 1) No señalan interrelaciones e interdependencias entre las diferentes actividades;
- 2) No admiten la representación gráfica sin escalas;
- 3) No son adecuados para preveer con facilidad y exactitud el futuro sobre la base de realizaciones y modificaciones parciales de los proyectos;
- 4) No se adaptan al mejoramiento de planes y de la utilización de los recursos.

Para solucionar tales imperfecciones y satisfacer las exigencias - de programación y control de la era atómica, los científicos y técnicos han elaborado durante este último decenio los nuevos sistemas de programación: PERT, CPM, etc., es decir, Sistemas de Programación por Camino Crítico. [14]

VENTAJAS DEL DIAGRAMA DE GANTT COMO REPRESENTACION DE UN PROGRAMA DE CPM O PERT

"El diagrama de Gantt como representación de un programa es, sin duda una herramienta muy útil, ya que en él se muestran objetivamente las duraciones y las fechas de iniciación y de terminación posibles, para cada actividad en que se considera dividido el proyecto. Posteriormente se utilizará el diagrama de Gantt para mostrar los resultados de los nuevos métodos de programación, CPM y PERT". 1/

Estos dos sistemas pertenecen básicamente a dos categorías diferentes: probabilística y determinística. Los modelos que se basan en las probabilidades y en las estadísticas y que se ocupan de incertidumbres futuras se llaman probabilísticas, tales como el método PERT.

Los modelos cuantitativos que no contienen consideraciones de probabilidad se llaman determinísticos, por ejemplo el CPM.

Este capítulo presenta los aspectos teóricos de los métodos de programación mencionados.

1/Mejor Rodríguez Caballero. Aplicaciones en Ingeniería de Métodos Modernos de Planeación, Programación y Control de Procesos Productivos. México, Limusa, 5a. Edición 1981.

4.1 PLANEACION

4.1.1 DEFINICIONES Y SIMBOLOS:

Actividades: Se entenderá como actividades a todos los procesos que sean necesarios para determinar la duración de un proyecto. Se determinan de una forma tal que se tome en cuenta:

- a- Que su iniciación dependa de la terminación de otra u otras actividades.
- b- Que de su terminación dependa la iniciación de otra u otras actividades.

Una actividad se representa por medio de una flecha, (fig. 1), la longitud de la flecha y su dirección no tienen ningún significado.

La cola de la flecha representa el inicio de la actividad y la cabeza de la flecha representa el fin de la actividad.

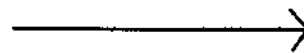


FIGURA 1

Para representar cada actividad debe ser empleada una sola flecha. Sin embargo, un trabajo puede ser segmentado y representado por varias flechas, cada una de las cuales es única pues representa uno y solo un segmento de la actividad total.

Evento: Un evento es la terminación o iniciación de una o varias actividades y queda fijado en un instante dado, es decir, no consume tiempo. El evento ocurre cuando todas las actividades que llegan a él han sido terminadas.

En un diagrama de flechas se llamará eventos a las uniones de flechas y se representarán por medio de círculos. (fig. 2)



FIGURA 2

Los eventos se numeran para tener una designación secuencial de las actividades (flechas). Es regla numerar los eventos de tal forma que el número de la cola de cualquier flecha sea siempre menor que el de la cabeza de la flecha correspondiente. Va a existir un evento al principio y otro al final de cada actividad. Uno de los motivos por los cuales es ventajoso numerar los eventos es el de proporcionar a cada flecha (o a la actividad que representa) una identificación única, utilizando como designación los números de los eventos correspondientes. (fig. 3 y 4)

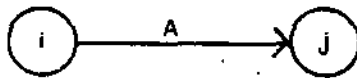


FIGURA 3

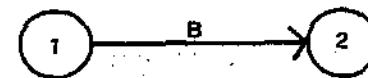


FIGURA 4

En la figura 3, la actividad A podría representarse como la actividad (i,j) recordando siempre que i debe ser menor que j. En el caso de la figura cuatro la actividad B podría identificarse con los números (1, 2).

Eventos Precedentes: Son los eventos inmediatamente anteriores a un determinado evento.

Eventos Posteriores: Son los eventos que siguen inmediatamente a cierto evento.

Diagrama de Flechas: El diagrama de flechas es una red formada por las flechas (actividades) y círculos (eventos) que muestra la relación entre ellos.

Actividades Ligadas: Se dice que las actividades están ligadas cuando la iniciación de una de ellas depende de que se halla terminado la otra u otras. En el caso mostrado en la figura 5, las actividades B y C están ligadas a la actividad A.

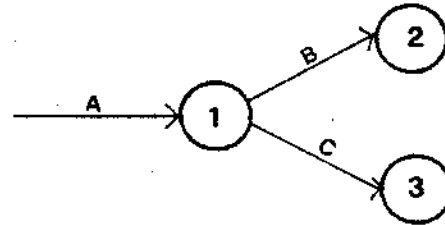


FIGURA 5

Actividades Concurrentes: Se les llama concurrentes a aquellas actividades que terminan en el mismo evento, es decir, las cabezas de sus flechas coinciden en un mismo evento.

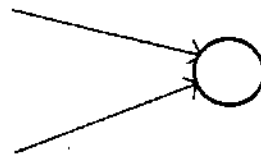


FIGURA 6

Actividades Divergentes: Son divergentes aquellas actividades que empiezan en un mismo evento, es decir, las colas de sus flechas coinciden en un mismo evento.



FIGURA 7

Actividades Simultáneas: Se dice que dos actividades son simultáneas cuando, completamente o en partes, pueden ser realizadas en un mismo intervalo de tiempo sin entorpecerse mutuamente.

Actividades Ficticias: Estas actividades realmente no existen; se utilizan en los diagramas sólo en casos especiales que se tratarán más adelante. Se representan las actividades ficticias por medio de flechas punteadas, - como se muestra en la figura 8.

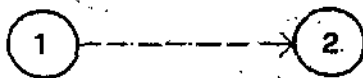


FIGURA 8

Estas actividades no tienen asignado ningún tiempo para realizarse o en otras palabras, no consumen tiempo.

Duración de las Actividades: Todas las actividades de un proyecto tienen una duración normal, determinada por la calidad y cantidad de recursos que en ella se inviertan. Esta duración puede acortarse, pero tendrán que aumentarse seguramente dichos recursos.

Puede también alargarse la duración de una actividad y en algunas ocasiones, esto podrá incrementar su costo o reducirlo. En ciertos casos, el alargar la duración de una actividad, no influye en la duración de la realización - total del proyecto, en otros si. El primer caso sucede cuando, simultáneamente a una actividad, han de realizarse otras actividades ligadas entre si, y cuya duración total es mayor que la duración de la otra.

En términos generales se define la duración de una actividad como el tiempo necesario para realizar dicha actividad; incluye no solo el "tiempo de trabajo" sino también cualquier tiempo de espera necesario para que la actividad quede terminada.

4.1.2 IDENTIFICACION Y COBIFICACION DE ACTIVIDADES

Para facilitar el enunciado de las actividades de un proyecto y evitar la posible omisión de algunas de ellas, es recomendable proceder de la siguiente forma:

1o. Dividir el proceso en un conjunto de actividades principales o de primer orden. Subdividir, enseguida, a estas actividades en actividades de segundo orden y continuar así sucesivamente. De esta manera la planeación y la programación de las actividades de primer orden, deberá hacerse considerando a esta actividad como un proceso compuesto por las actividades de segundo orden.

Como ilustración de esta subdivisión puede ser utilizado el siguiente cuadro:

NUMERO DE ORDEN DE LAS ACTIVIDADES				
1o.	2o.	3o.	
A1	A.1.1	A1.1.1		
		A1.1.2		
			
		A1.1.r		
			
	A1.K	A1.K.1		
			
		A1.K.b		
			
			

A medida que el orden de una actividad decrece, aumenta la complejidad de su ejecución y por lo tanto, aumenta la responsabilidad del organismo encargado de ella.

2o. Determinación del orden o secuencia de la ejecución de actividades.

Una vez determinadas las actividades es necesario determinar el orden en que deben ejecutarse. Para llevar a cabo ordenadamente esta fase de la planeación, es recomendable preparar una tabla denominada tabla de secuencias. En la tabla de secuencias, se anota la descripción de todas las actividades que forman el proceso; se analiza cada actividad y se determina qué actividad o actividades pueden hacerse inmediatamente después de terminada la actividad en cuestión.

4.1.3 DIAGRAMA DE FLECHAS Y SUS INTEGRANTES (REGLAS)

Los elementos de una malla o red son las flechas y los nodos que a su vez representan actividades y eventos respectivamente.

Las flechas representan las actividades y los nodos representan los eventos, entendiéndose como evento un hecho bien definido en el tiempo que marca el comienzo o terminación de una actividad.

A esta representación se le llama de "flechas orientadas". También se utiliza en algunos métodos el caso contrario en el que las actividades se simbolizan como nodos y los eventos como flechas. A esta representación se le llama de "nodos orientados".

Se utilizará la representación de "flechas orientadas", por ser la más extendida en la práctica.

A las actividades de los procesos de un proyecto se representan por flechas cuyo sentido indica el del desarrollo del proceso a lo largo del tiempo.

La longitud de las flechas no tiene nada que ver con la duración del proceso. Las actividades empiezan y terminan en eventos que se representan mediante círculos.

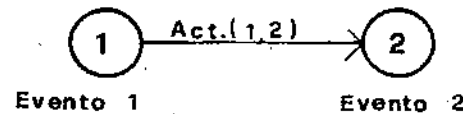


FIGURA 9

Para la correcta representación gráfica del diagrama de flechas hay que observar algunas reglas.

REGLA 1: Se debe evitar la conexión de dos eventos mediante dos o más flechas. (fig. 10 y 11)

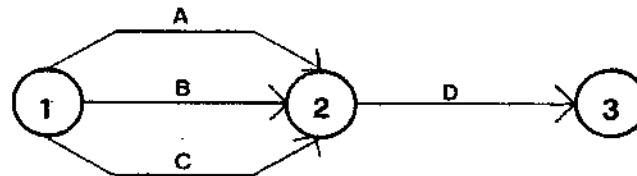


FIGURA 10 Representación incorrecta.

Las dependencias recíprocas deben ser representadas mediante actividades ficticias.

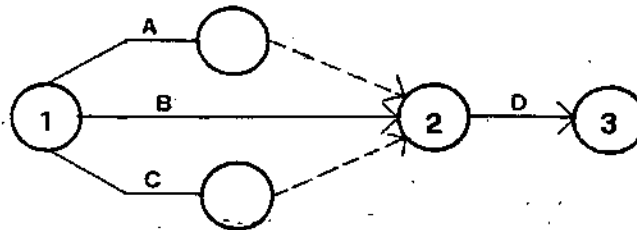


FIGURA 11 Representación correcta.

El motivo de esta regla radica en la necesidad de delimitar con exactitud cada una de las actividades.

REGLA 2: Una actividad no debe conducir a un evento que es previo al comienzo del proceso. (fig. 12).

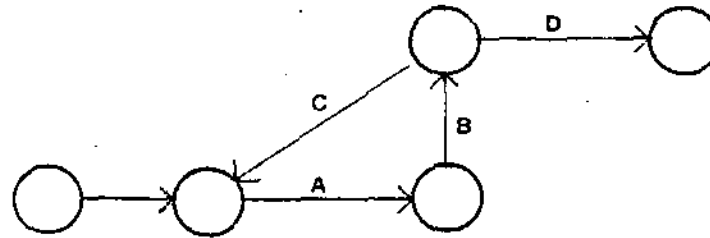


FIGURA 12

Tales lazos son contradictorios porque si observamos la figura 12, A debería terminarse antes de comenzar B, B es condición previa a C, pero resulta que C debería estar concluída para comenzar A.

Si en el proceso se presenta la necesidad de repetir procesos, por ejemplo en el caso de intentos fallidos; esto se puede expresar mediante la repetición en forma lineal que puede ser parte de una "actividad global" (fig.13).

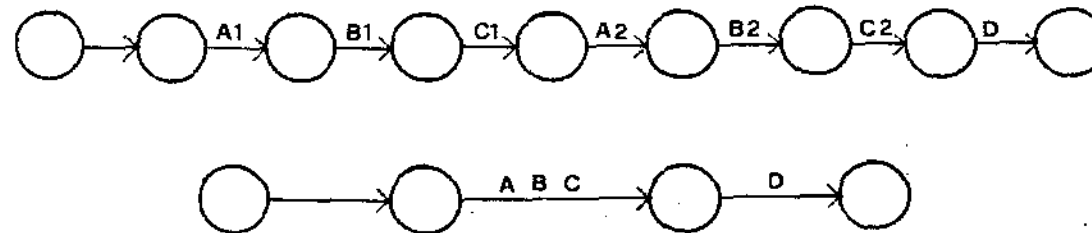


FIGURA 13

REGLA 3: Si el comienzo de una actividad no depende de la terminación de un proceso complejo, sino sólo de una parte del mismo, hay que descomponer lo de una manera racional según criterios tecnológicos.

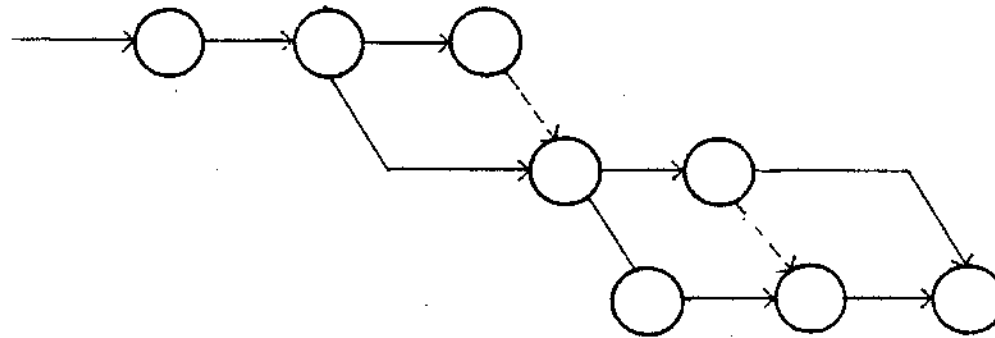
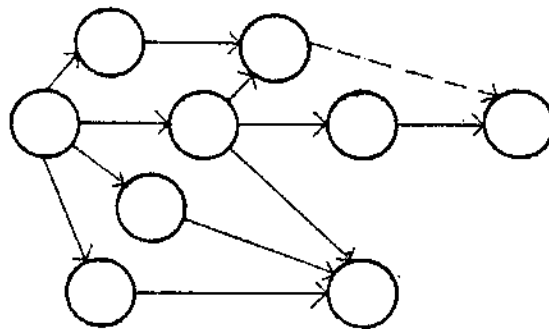


FIGURA 14

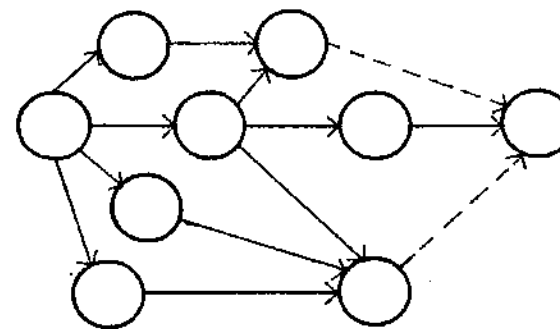
REGLA 4: Normalmente, los proyectos tienen un nodo de inicio y uno de terminación. Esta exigencia se logrará cumplir si introducimos actividades - ficticias.

Los diagramas deben ser cerrados esto es, cada nodo debe tener una conexión con el arranque y con el final. (fig. 15 y 16)



Incorrecta

FIGURA 15



correcta

FIGURA 16

REGLA 5: Los proyectos pueden representarse con diverso grado de sinteti-
zación. Las redes principales están formadas por actividades unitarias -
que son redes cerradas en si mismas. (fig. 17)

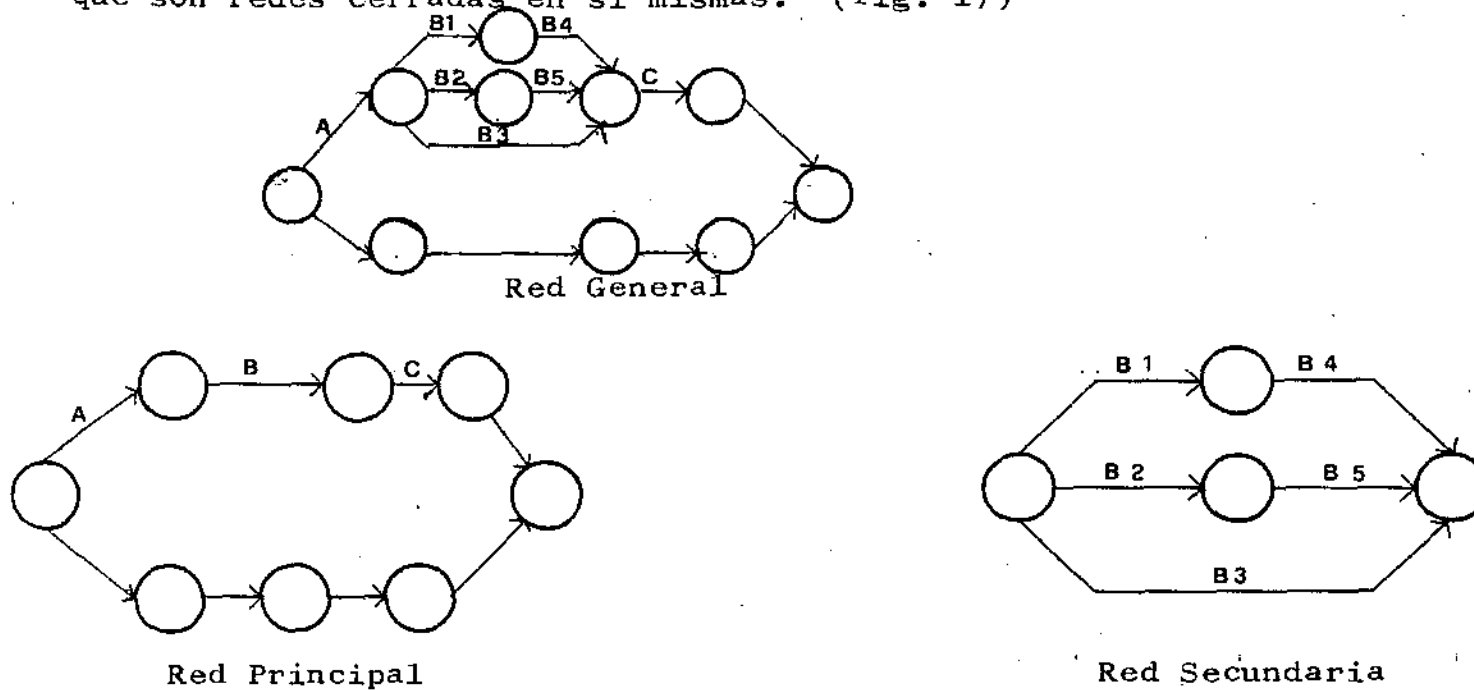


FIGURA 17

Los nodos o eventos, pueden ser representados mediante óvalos o cuadrados.
(fig. 18).

Sin embargo la forma de la figura 19 es más práctica porque permite anotar
resultados del cálculo relacionados con cada evento.

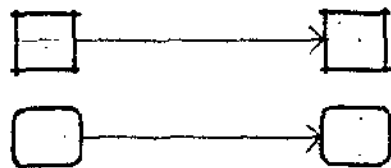


FIGURA 18



FIGURA 19

Los eventos tienen en la práctica poco que ver con los plazos de terminación o comienzos de las actividades ligadas a ellos. Ni siquiera es posible asignarles una fecha determinada.

En la figura 20 se desarrolla un ejemplo de cómo elaborar la red a partir de un diagrama de barras y cómo se puede ver, las opciones de relación son varias pues dicho diagrama no indica cuál es la relación correcta.

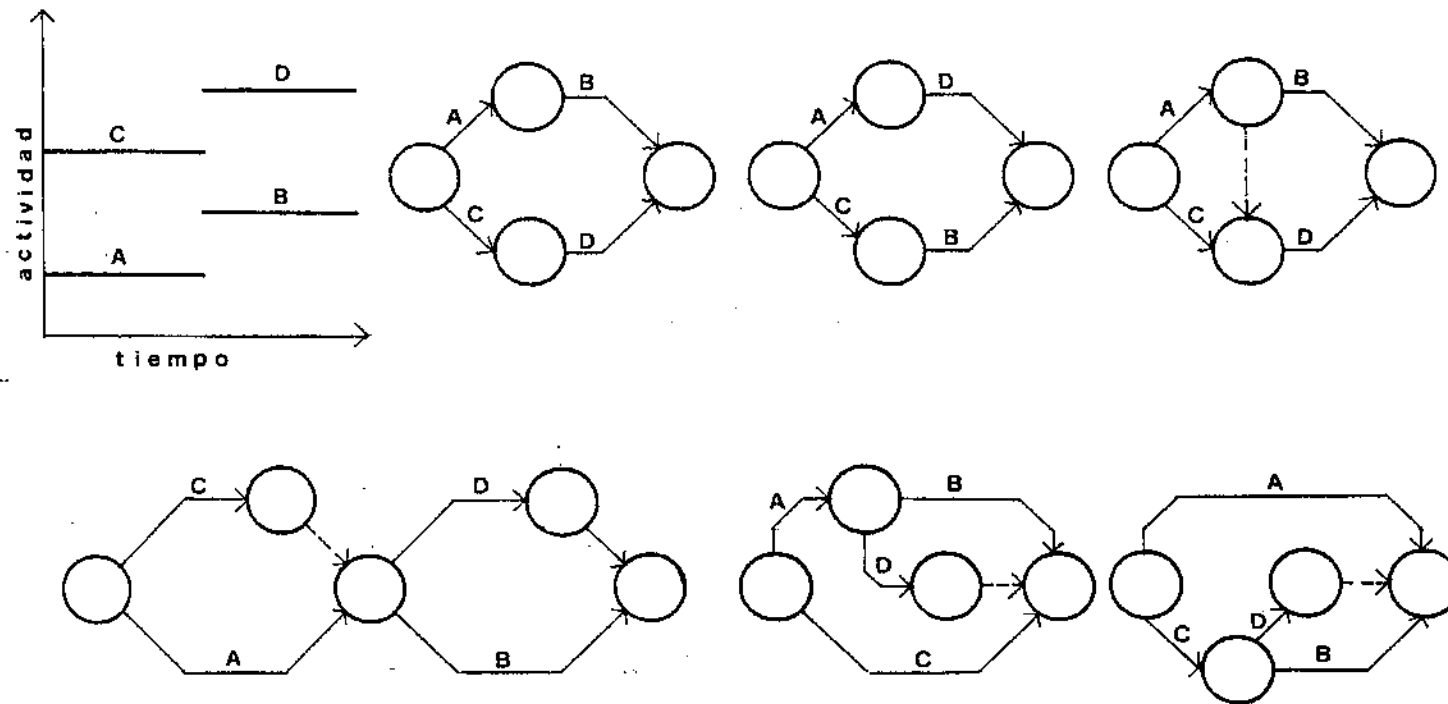


FIGURA 20

4.1.4 INICIO DURACION Y FINALIZACION DE ACTIVIDADES

Para construir las redes hay que prever un plazo anterior al comienzo de la obra pues podría llegarse a datos erróneos de los plazos de terminación. Esto se debe sobretodo a los trámites administrativos, a los trabajos de construcción y mediciones y a los plazos de entrega.

Para construir el diagrama de flechas se deben conectar las flechas que representan las diferentes actividades del mismo. Para esto se deben formular tres preguntas:

- 1) Cuáles actividades son inmediatamente precedentes a la que se está analizando?
- 2) Qué actividades pueden desarrollarse simultáneamente con ésta?
- 3) Qué actividades se realizan inmediatamente después de ésta?

Para tener una idea de como se construye el diagrama de flechas se va a analizar un ejemplo sencillo.

Supóngase que un proyecto determinado se puede descomponer en las actividades A, B, C, D, E, F, G, H, I, J. Se sabe además que las actividades B y C no se pueden iniciar hasta haber terminado A; que las actividades D, F y H solamente se pueden iniciar una vez que se ha concluido B; que la actividad E sólo puede iniciarse hasta haber concluido D; que la actividad I sólo podrá iniciarse una vez terminada C; que para poder iniciar J es necesario que I y H estén terminadas y que para poder iniciar G, sea requisito que las actividades F, J y E estén terminadas.

Las instrucciones anteriores se podrían resumir en la tabla 1.

Actividades

REQUISITOS

A	Inicio
B	A
C	A
D	B
E	D
F	B
G	F, E, J
H	B
I	C
J	H, I

TABLA 1

El diagrama de flechas correspondiente, colocando los eventos y numerándolos de acuerdo con las reglas dadas al definir eventos, el diagrama quedaría tal como se muestra en la figura 21.

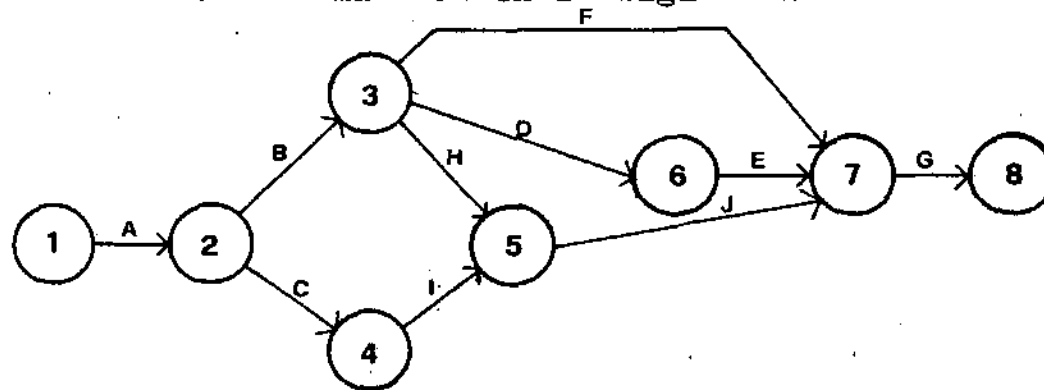


FIGURA 21

La primera operación a realizar dentro de un plan PERT o CPM es la representación gráfica mediante la malla de flechas. En ella se materializan las dependencias lógicas y el tiempo entre las distintas actividades.

Duración de las actividades:

Una vez construida la red, el siguiente paso es el cálculo de ésta, el cual permitirá el control y supervisión de la marcha del proyecto. A este cálculo es al que se llamará Programación del proyecto. Teniendo esta programación se podrá saber cuáles son las actividades que no pueden atrasarse en su inicio o alargarse en la ejecución del proyecto. A la vez indicará qué cantidad de tiempo se tiene en exceso, además del estrictamente necesario para la iniciación o duración de cada actividad.

Esta evaluación de tiempos debe basarse en una previa distribución de recursos y medios disponibles.

Así por ejemplo si la construcción de un edificio durará un tiempo X, este valor sólo tiene sentido si previamente se programó la utilización de una determinada cantidad de maquinaria y mano de obra.

Al llegar a este punto, debe estudiarse separadamente el método PERT y el CPM, ya que el PERT introduce el cálculo de probabilidades.

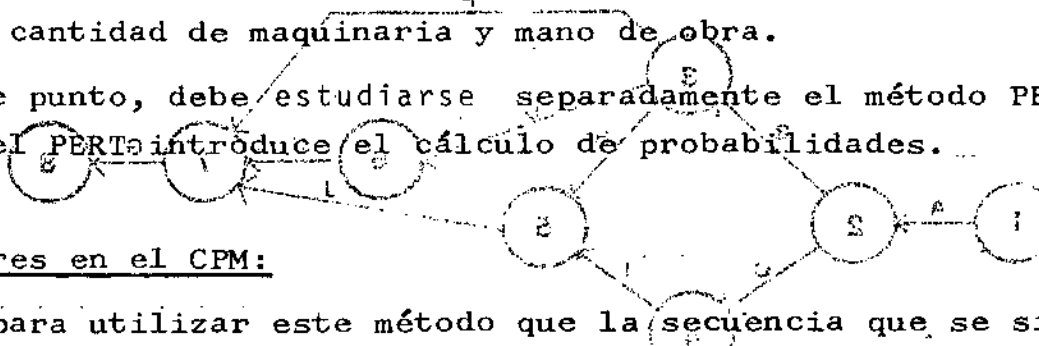
4.2 PROGRAMACION

4.2.1 Cálculo de valores en el CPM:

Es aconsejable para utilizar este método que la secuencia que se siga no sea 1, 2, 3, 4 sino 2, 4, 6, 8 para interpolar en casos eventuales correcciones posteriores, aunque el adoptar esta secuencia es electivo.

Duración de las actividades (i,j):

La notación (i,j) indica que la actividad comienza en i y termina en j.



La duración de esta actividad puede darse en horas, días, semanas o cualquier unidad de tiempo, siempre que se utilice la misma unidad para el resto de actividades.

El tiempo de duración normal de una actividad se determina en base a:

-Registros referentes a actividades iguales, que han sido determinados por la utilización de las mismas actividades por empresas que se dedican a la construcción.

-Estimaciones del programador para actividades que no se han realizado anteriormente.

-Experiencia del programador en la ejecución de proyectos similares.

4.2.2 Tiempos considerados en el CPM:

1) Tiempo primero ó tiempo de ocurrencia más próximo del evento i (TP_i).

Es lo más pronto que puede ocurrir un evento o sea el tiempo más corto para que estén concluidas todas las actividades que concurren en ese evento.

Se analizan todas las cadenas de flechas que llegan a un evento y se elige el mayor valor sumando todos los tiempos de cada cadena de flechas de izquierda a derecha y éste será el valor de ocurrencia más próximo del evento.

Para indicar el tiempo de ocurrencia más próximo, el círculo que representa al evento se divide en tres partes y el TP_i se anota en el lado inferior izquierdo.

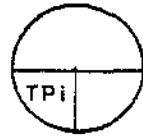


FIGURA 22

2)Tiempo último ó tiempo de ocurrencia más lejana del evento i (TU_i). Es lo más tarde que puede ocurrir un evento o sea la última fecha aceptable en que un evento puede ocurrir sin atrasar el proyecto.

Se calcula de manera inversa al empleado anteriormente es decir, se recorre el diagrama de derecha a izquierda. Para determinar el tiempo más tardío de un evento se resta acumulativamente la duración del evento final siguiendo por las diferentes cadenas del diagrama que llevan a él.

Entre los diferentes valores así obtenidos, se elige el menor valor. Este valor se anota en la parte inferior derecha del círculo.

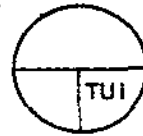


FIGURA 23

3)Tiempo Libre de Holgura (H_{Li-j})

Es el incremento de tiempo que puede darse a la duración de una actividad sin que se modifique el TP de las actividades que le siguen.

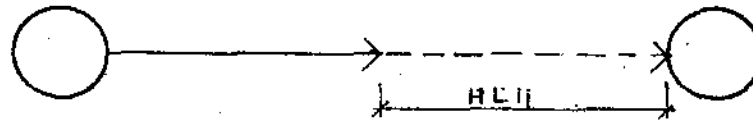


FIGURA 24

4) Tiempo Independiente de Holgura (HI_{ij})

Es el incremento de tiempo que puede darse a la duración de una actividad sin que se modifique la última fecha en que deben terminarse las actividades que anteceden ni el TP de las que le siguen

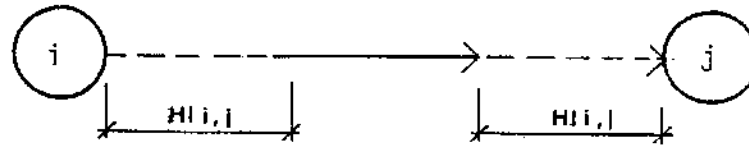


FIGURA 25

5) Tiempo Total de Holgura (HT_{i-j})

Es todo el tiempo adicional disponible para terminar una actividad si todas las anteriores se inician lo más temprano y las siguientes lo más tarde.

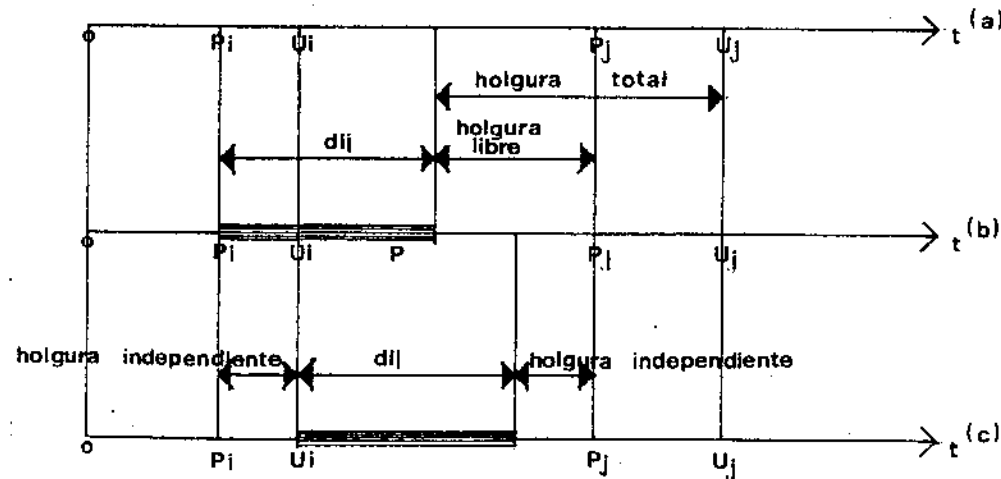


FIGURA 26

Conviene recalcar que los tiempos de ocurrencia más próximos y más lejanos son de los eventos, mientras que la duración y los tiempos de holgura son de las actividades y que las actividades consumen tiempo y recursos y los eventos no, ya que éstos últimos sólo son instantes o puntos en el tiempo que marcan el principio o fin de una actividad.

Como último paso previo al cálculo del camino crítico se establecerá la convención que se utilizará para representar el tiempo primero y el tiempo último de los eventos en el diagrama.

Los eventos se representan en círculos, éstos se dividen en tres partes. En la parte superior se anota el número del evento. En la parte inferior izquierda el tiempo primero para ese evento y en la parte inferior derecha el tiempo último para el mismo evento. La duración de una actividad se anotará junto a la flecha que representa a la actividad.

Cálculo de los tiempos más próximos:

Al evento cero (0) se le asigna un tiempo más próximo igual a cero (TP=0). Para poder calcular el tiempo más próximo de cualquier otro evento se deben calcular los tiempos más próximos de todos los eventos precedentes es decir aquellos que están al principio de todas las flechas que terminan en ese evento.

Para cada uno de los eventos precedentes al evento j se hace el cálculo siguiente: al tiempo primero del evento i (precedente de j) se le suma la duración de la actividad (i,j), una vez hecho esto, se escoge el máximo como el tiempo más próximo del evento j.

$$TP_j = \max (TP_i + d_{ij})$$

Una vez determinado se anota en el lugar que le corresponde. Se ilustra con un ejemplo.

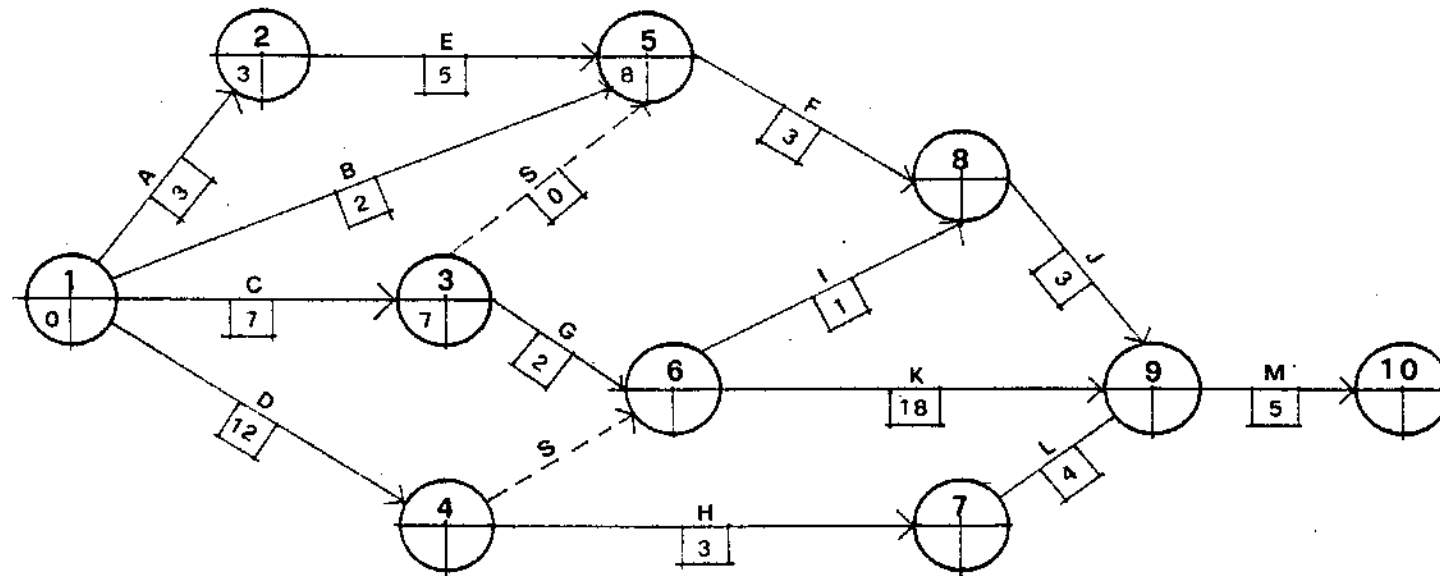


FIGURA 27

CAMINO; EVENTOS ACTIVIDADES

Al evento 5 conducen los caminos 1-2-5, 1-5 y 1-3-5.

El camino 1-2-5 dura $3 + 5 = 8$ unidades.

El camino 1-5 dura $2 = 2$ unidades.

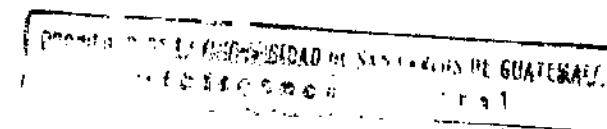
El camino 1-3-5 dura $7 + 0 = 7$ unidades

Según la regla, el camino más largo es el que determina el tiempo más próximo para el evento 5 por lo tanto $TP_5 = 8$ unidades.

Como se ve en el ejemplo se deben tomar en cuenta las conexiones definidas por las actividades ficticias.

El cálculo para el evento 9 sería el siguiente:

A 9 conducen los siguientes caminos: 1-2-5-8-9, 1-5-8-9, 1-3-5-8-9, 1-3-6-8-9, 1-3-6-9, 1-4-6-9, 1-4-7-9.



El camino 1-2-5-8-9 dura $3+5+3+3=$ 14 unidades
 El camino 1-5-8-9 dura $2+3+3=$ 8 unidades
 El camino 1-3-5-8-9 dura $7+0+3+3=$ 13 unidades
 El camino 1-3-6-8-9 dura $7+2+1+3=$ 13 unidades
 El camino 1-3-6-9 dura $7+2+18=$ 27 unidades
 El camino 1-4-6-9 dura $12+0+18=$ 30 unidades
 El camino 1-4-7-9 dura $12+3+4=$ 19 unidades

La cifra mayor es 30 define el TP9. El TP del último evento (10) es el - que da la duración total de proyecto. TP10=35, la duración total del ejemplo son 35 unidades de tiempo.

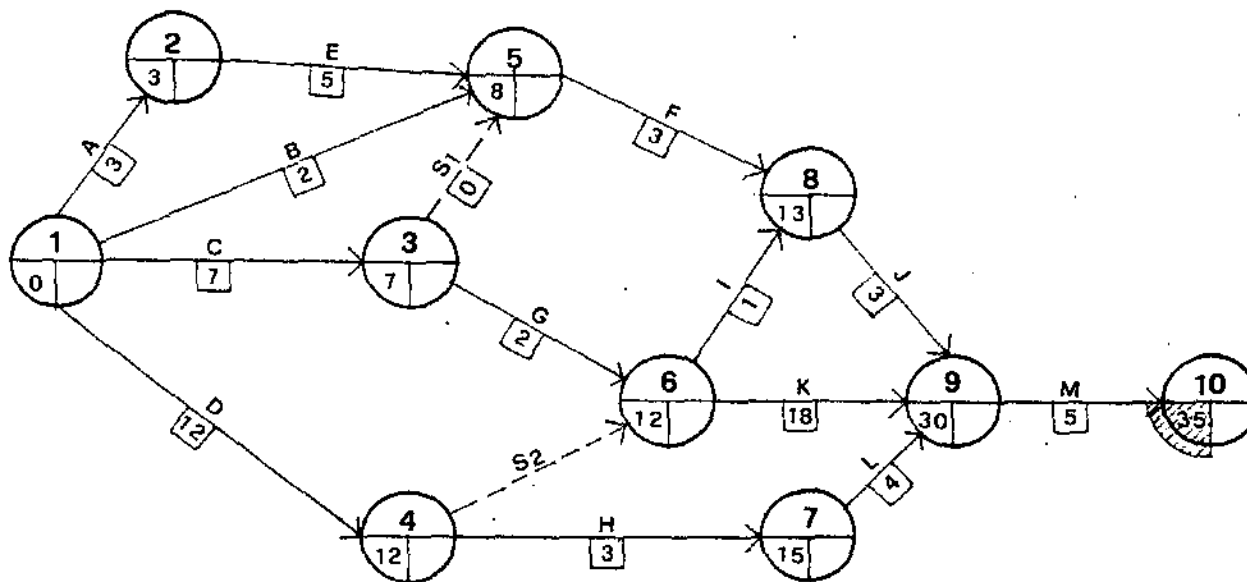


FIGURA 28

Cálculo de los tiempos más lejanos

Al último evento del diagrama se le asigna un tiempo más lejano igual al tiempo más próximo. Para poder calcular el tiempo más lejano de cualquier otro evento i , se deben calcular antes los tiempos más lejanos de todos los eventos posteriores, es decir los que estén al final de todas las flechas que empiezan en i . Para cada evento posterior a i se hace el cálculo siguiente: al tiempo más lejano del evento j posterior a i se le resta la duración de la actividad (i, j) .

Una vez realizados los posibles cálculos se escoge el mínimo y ese es el tiempo más lejano del evento i . Una vez determinado, se anota en el lugar correspondiente.

Volviendo al ejemplo anterior: Para obtener el dato del evento 3.

De 3 parten 3-5-8-9-10, 3-6-8-9-10 y 3-6-9-10

El camino 3-5-8-9-10 dura $0+3+3+5 = 11$ unidades

El camino 3-6-8-9-10 dura $2+1+3+5 = 11$ unidades

El camino 3-6-9-10 dura $2+18+5 = 25$ unidades

De acuerdo con la regla, el tiempo más lejano se obtiene de restar el camino más largo del tiempo más lejano del último evento.

En este caso $35-25 = 10$

De la misma manera se analizan todos los eventos.

Estos valores de tiempos son sólo auxiliares que tienen por objeto calcular los tiempos en que deben comenzar y acabar las actividades.

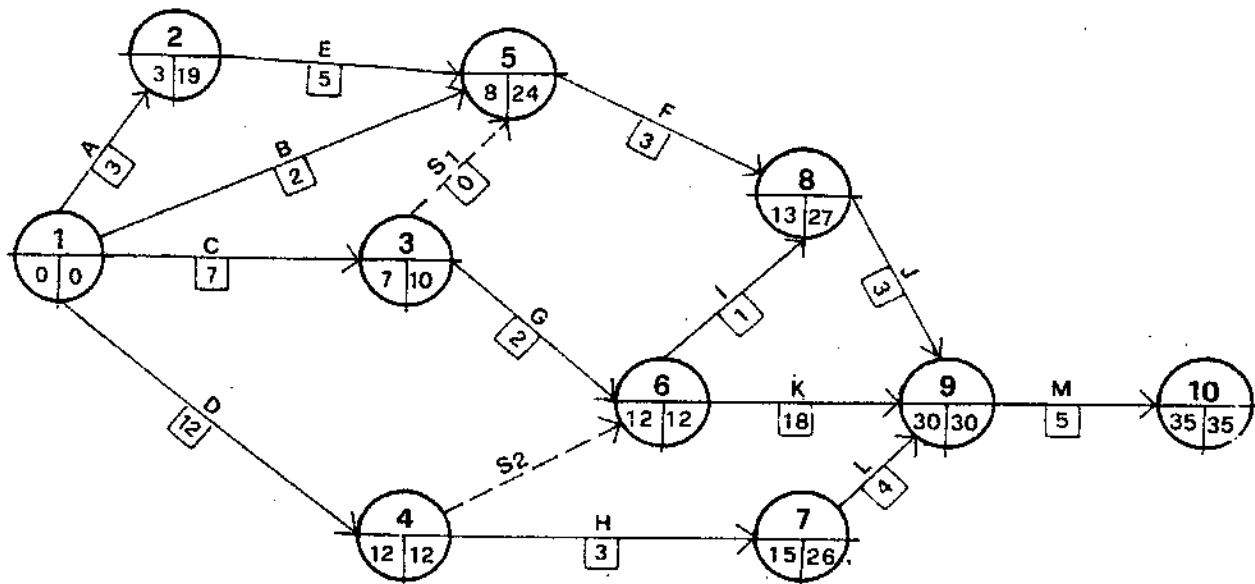


FIGURA 29

Para aclarar esto se verá el siguiente ejemplo:

Al nodo i concurren las actividades A, B, C. Solo el plazo mínimo de terminación de una de las tres actividades debe coincidir con el valor T_{Pi} ; las otras dos pueden haber finalizado antes.

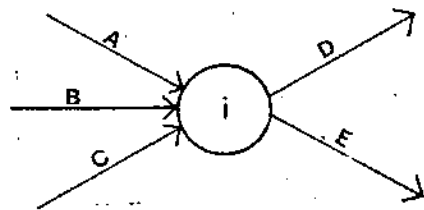


FIGURA 30

D y E sólo pueden comenzar en el momento T_{Pi} . Así mismo solo D o solo E deben comenzar en el momento T_{Ui} . En cambio A, B y C deben estar concluidos - en T_{Ui} .

4.2.3 EL CAMINO O LA RUTA CRITICA

Es la ruta más larga del diagrama, en términos de tiempo; es la cadena de actividades cuya realización consume más tiempo.

A las actividades de este camino se les llama actividades críticas y el retraso de cualquiera de ellas provoca el retraso de todo el proyecto. Un diagrama puede tener más de un camino crítico. Es importante hacer resaltar el camino crítico con doble línea o con el empleo de color.

Cuando coinciden los tiempos de terminación más próximo y más lejano no existe libertad para elegir el comienzo o el final de esa actividad, por lo tanto la actividad será considerada crítica. Las actividades del camino crítico determinan la duración global del proyecto.

En el ejemplo utilizado con anterioridad se representa el camino crítico con doble línea. En todos los eventos que forman el camino crítico coinciden los valores TP y TU.

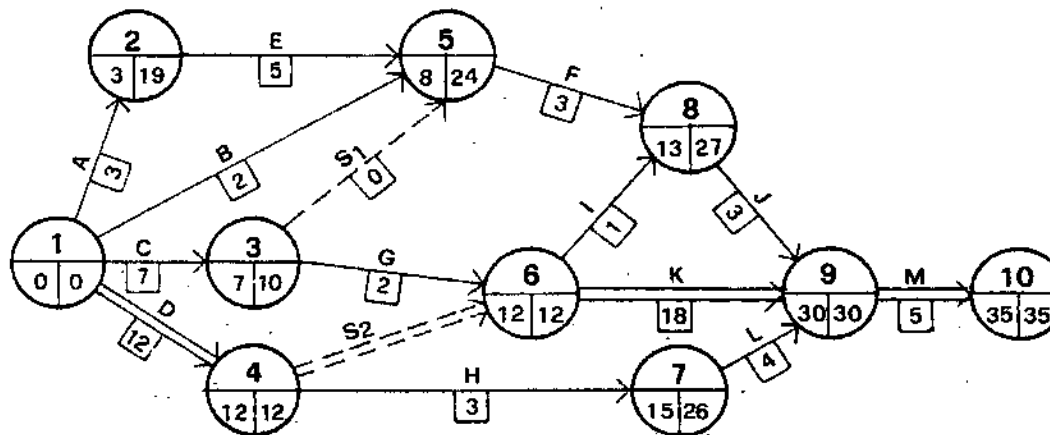


FIGURA 31

4.2.4 CALCULO DE HOLSURAS O MARGENES:

Habiendo ya definido los diferentes tipos de holuras o márgenes que puede tener una actividad se procederá a calcular estas holuras.

Para calcular el tiempo de holura total se utilizará la siguiente expresión:

$$HT_{ij} = (TU_j - TP_i) - d_{ij}$$

El tiempo de holura libre se calcula con:

$$HL_{ij} = (TP_j - TP_i) - d_{ij}$$

El tiempo de holura independiente se calcula así:

$$TIH_{ij} = (TP_j - TU_i) - d_{ij}$$

CUADRO DE TIEMPOS:

ACT.	D _{ij}	TP _i	TP _j	TU _i	TU _j	HT	HL	HI
1 2	A	3	0	3	0	19	0	0
1 5	B	2	0	8	0	24	6	6
1 3	C	7	0	7	0	10	0	0
1 4	D	12	0	12	0	12	0	0
2 5	E	5	3	8	19	24	0	0
5 8	F	3	8	13	24	27	2	0
3 6	G	2	7	12	10	12	3	0
4 7	H	3	12	15	12	26	0	0
6 8	I	12	12	13	12	27	0	0
8 9	J	3	13	30	27	30	14	14
6 9	K	18	12	30	12	30	0	0
4 9	L	4	15	30	26	30	11	0
9 10	M	5	30	35	30	35	0	0
3 5	S ¹	0	7	10	24	17	1	0
4 6	S ²	0	12	12	12	12	0	0

El punto normal señala el tiempo indispensable para realizar una actividad o proyecto al menor costo directo posible. Su ejecución en un tiempo menor del normal representará un aumento del costo correspondiente.

El punto límite señala el menor tiempo en el cual se ha de realizar una actividad al menor costo directo posible.

Arriba de este punto la introducción de más recursos para la realización de una actividad o proyecto representará un gasto inútil ya que habrá un incremento en el costo, sin ninguna reducción en el tiempo.

Como en la práctica sólo se examina un número limitado de puntos se trabaja con la curva práctica, formada por segmentos de rectas como se muestra en la figura siguiente:

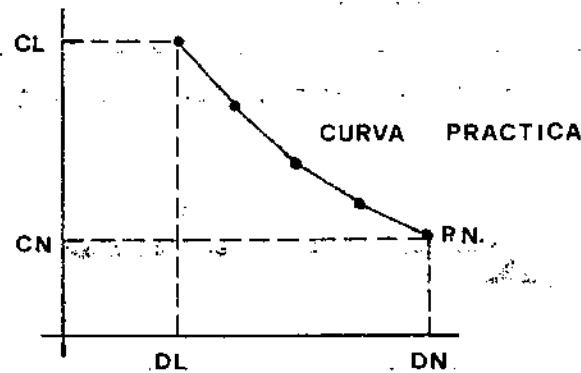


FIGURA 33

Para cada actividad se puede obtener su curva de costo-tiempo como se indica en la siguiente figura:

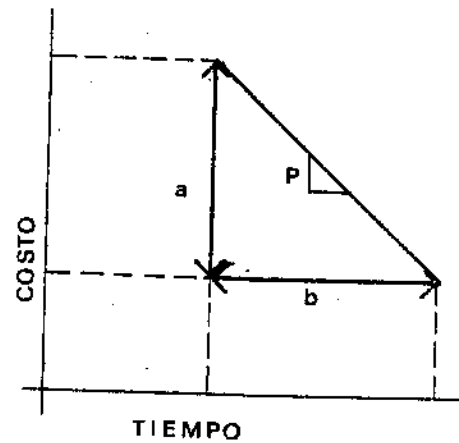


FIGURA 34

En donde $P = \frac{a}{b}$

P = pendiente de costo de la actividad

a = diferencia entre el costo límite y el costo normal (CL-CN)

b = diferencia entre la duración normal y la duración límite (DN-DL)

Sustituyendo estas igualdades en la fórmula anterior, se tiene:

$$P = \frac{CL-CN}{DN-DL}$$

La pendiente de costo representa el costo que significa acelerar la actividad por unidad de tiempo.

4.2.6 COMPRESION Y DECOMPRESION DE ACTIVIDADES:

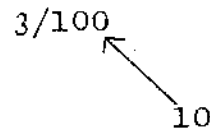
La solución óptima de un proyecto se encuentra entre el punto normal y el punto límite. Los puntos intermedios señalan el costo y tiempo de las acti

vidades para diversas posibilidades de ejecución.

Para encontrar la solución de duración mínima, algunas actividades deberán ser aceleradas, o sea, deberá reducirse su tiempo de ejecución con el costo.

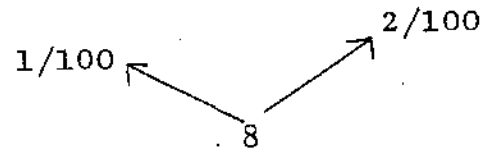
A la aceleración de la duración de una actividad se le conoce como COMPRESION. Cuando se comprime una actividad, se eleva su costo por tener que emplearse una cantidad de recursos mayor que la normal. Una actividad se puede comprimir independientemente de las otras o de la posición que ocupe en el diagrama.

Para indicar la capacidad de compresión de una actividad y su pendiente de costo, al número que indica la duración normal de la misma se le agrega un quebrado y una flecha en la forma siguiente:



En donde el número en la parte inferior (10) significa la duración normal de una actividad, el numerador del quebrado (3) significa que esa actividad puede comprimirse tres unidades de tiempo y el denominador (100) indica que cada unidad de tiempo que se acelere esa actividad, costará 100 unidades de recurso.

Cuando se comprime una parte de la capacidad de una actividad se indica de la forma siguiente:



El quebrado de la izquierda significa que la actividad puede comprimirse una unidad de tiempo a un costo de 100 unidades de recurso.

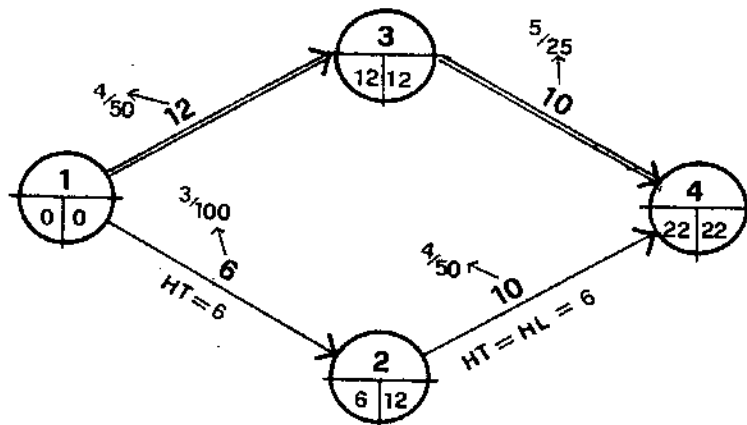
El quebrado de la derecha significa que la actividad podría prolongarse en su ejecución dos días con una disminución del costo de 100 unidades de recurso por cada unidad de tiempo.

Ejemplo: Se dispone de 100 unidades de un recurso y queremos acortar lo más posible la duración del proyecto. El problema que se presenta es introducir el recurso en la actividad que represente el máximo acortamiento de la duración del proyecto al mínimo costo.

Los datos de las actividades del proyecto se muestran en el cuadro siguiente:

ACTIVIDAD	CN	CL	DN	DL	P
1 - 3	320	520	12	8	50
1 - 2	100	400	6	3	100
ACTIVIDAD	CN	CL	DN	DL	P
3-4	700	825	10	5	25
2-4	100	300	10	6	50

Diagrama de flechas del ejemplo



PROYECTO	
DURACION NORMAL	22
COSTO NORMAL	1220

FIGURA 35

Primera compresión: se comprime la actividad 1-2 (pendiente 100)

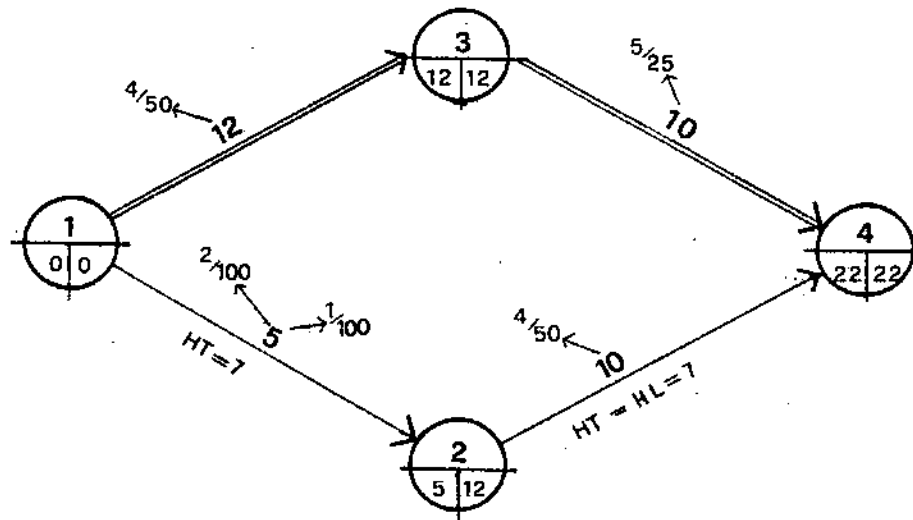


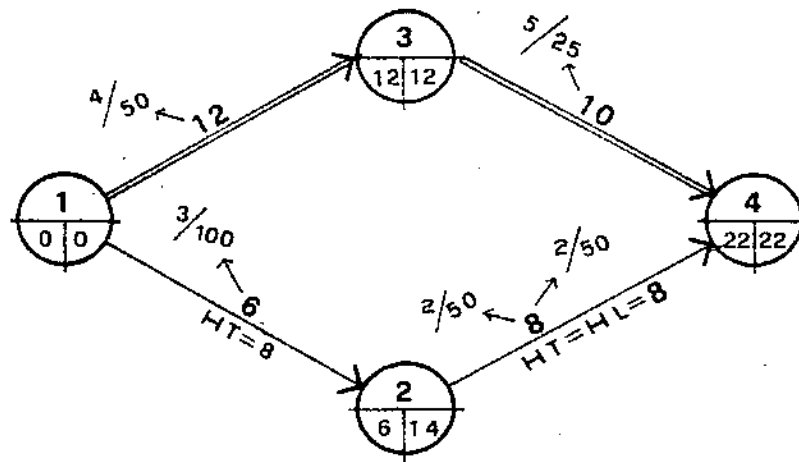
FIGURA 36

PROYECTO	
DURACION	22
COSTO	1320

Como la pendiente es 100 se puede reducir la duración de la actividad únicamente un día a un costo de 100 unidades. Sin embargo, nótese que la duración total del proyecto no ha cambiado, siendo siempre de 22 unidades de tiempo, - en cambio el costo ha subido a 1320 unidades.

La holgura total de la actividad 1-2 se ha incrementado en una unidad. También la holgura libre y la holgura total de la actividad 2-4 se han incrementado en una unidad de tiempo.

Segunda compresión: Se introducen las 100 unidades de recurso en la actividad 2-4 cuya pendiente tiene un valor de 50.



PROYECTO	
DURACION	22
COSTO	1320

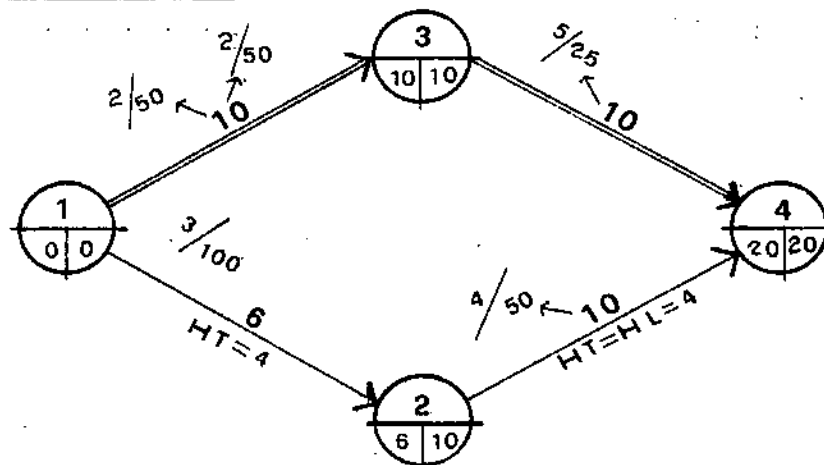
FIGURA 37

Al introducir las 100 unidades de recurso en la actividad 2-4 se logra disminuir dos unidades de tiempo esa actividad.

El costo total se ha incrementado en 100 unidades sin lograr reducir la duración total del proyecto que continúa siendo de 22 unidades de tiempo.

La holgura libre y total de la actividad 1-2 también ha aumentado dos unidades.

Tercera compresión: Se comprime la actividad crítica 1-3.



PROYECTO	
duración	20
COSTO	1320

FIGURA 38
53

La pendiente de la actividad 1-3 es de 50, luego se puede reducir dos unidades su duración. En este caso se ha logrado reducir en dos unidades la duración total del proyecto, siendo ésta, ahora, de 20 unidades.- El costo normal se ha incrementado en 100 para un total de 1320 unidades.

Las holguras de las actividades 1-2 y 2-4 han variado tal y como se indica en el diagrama.

Cuarta Compresión: Se comprime la actividad crítica 3-4 cuya pendiente es de 25.

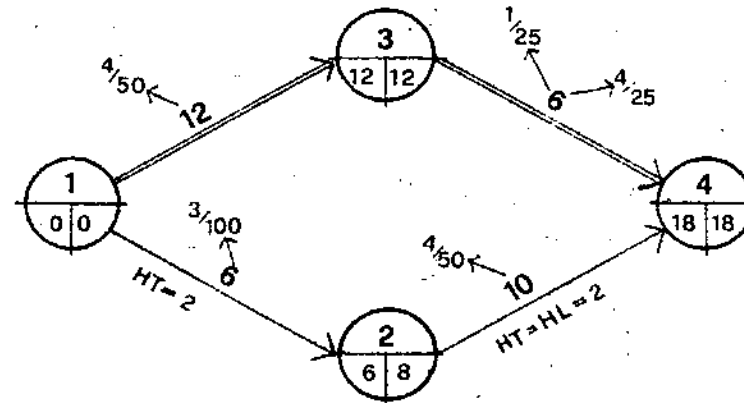


FIGURA 39

PROYECTO	
DURACION	18
COSTO	1320

Con el mismo incremento de 100 unidades se logra reducir en cuatro unidades la duración del proyecto siendo ahora de 18. Las holguras de las actividades 1-2 y 2-4 varían según se muestra en la figura anterior.

En el ejemplo desarrollado se nota que la mejor solución es la cuarta compresión. Se puede concluir que al realizar compresiones en un proyecto se deben seguir los siguientes pasos:

- 1) Comprimir primero las actividades del camino crítico.

- 2) Tachar las actividades que no pueden comprimirse
- 3) Elegir la actividad con la menor pendiente de costo.
- 4) Determinar la capacidad de compresión de la actividad elegida y su costo correspondiente.
- 5) Determinar si existen limitaciones para realizar la compresión.
- 6) Realizar la compresión.
- 7) Calcular la nueva duración y costo del proyecto.

También deben tenerse presente las limitaciones que se pueden presentar al comprimir una actividad. Estas limitaciones son las siguientes:

-Por su límite propio de compresión: esta capacidad de compresión está señalada por el numerador del quebrado. En él se indica la duración máxima que una actividad puede comprimirse. En el ejemplo la actividad 1-3 tiene un límite propio de compresión de 4 unidades de tiempo; la limitación propia de la actividad 1-2 es de 3 unidades de tiempo.

-Por holgura: en ciertos casos la compresión total de una actividad no puede realizarse porque se excede la holgura de otras actividades relacionadas con la actividad a comprimirse, existiendo la posibilidad de que se vuelvan críticas; la compresión de las actividades del ejemplo están limitadas por la holgura de las actividades 1-2 y 2-4 que es de 6 unidades de tiempo; al consumir totalmente esta holgura, el proyecto se vuelve "crítico" o sea que hemos alcanzado su punto límite, más allá del cual no se logra ninguna reducción del tiempo al introducir nuevos recursos.

-Por caminos críticos en paralelo: cuando aparecen dos caminos críticos en un mismo diagrama de flechas, toda compresión que se haga debe implicar disminuciones iguales de tiempo en ambos caminos, porque de lo contrario, no se lograría ninguna reducción en la duración del proyecto.

-Por caminos críticos que han alcanzado su duración límite: Cuando todas las actividades de un camino crítico han alcanzado su duración límite es físicamente imposible seguir comprimiendo el camino crítico. Al suceder esta situación debe terminarse el análisis del proyecto porque no se obtiene ninguna reducción en la duración total del proyecto si se comprimen las otras actividades no críticas.

Decompresión de Actividades:

La decompresión es otra forma de llegar a la solución óptima de un proyecto siguiendo el procedimiento inverso a la compresión. Se basa en el aumento de la duración límite hasta alcanzar la duración normal. El primer paso para decomprimir una actividad es obtener la solución de duración límite por eliminación de las holguras libres de las actividades no críticas.

Se debe dar prioridad a las actividades con la mayor pendiente para obtener el mayor ahorro en el costo por incremento en la duración de estas actividades. Cuando se han agotado las posibilidades de decompresión de las actividades no críticas, se ha alcanzado la solución de duración límite.

Luego se decomprimen las actividades críticas eligiendo aquella que tiene la mayor pendiente de costo. A este paso se le conoce como "Decompresiones - Generales".

Solución Óptima:

Además del costo directo, el costo total de un proyecto está compuesto por el costo indirecto en que se incurre hasta la total ejecución del proyecto. Este costo indirecto es proporcional al tiempo y por lo tanto debe ser añadido al costo total.

Para determinar la solución óptima costo-duración de un proyecto se traza la curva costo directo-tiempo y la curva costo indirecto en un mismo plano coordinado.

Para obtener la curva costo total se suman la curva costo directo y la curva costo indirecto.

Al examinar la curva total se nota que hay un punto en el cual el costo es el menor y que corresponde a la región más baja de esta curva. Ese punto, precisamente señala el costo y duración óptima del proyecto.

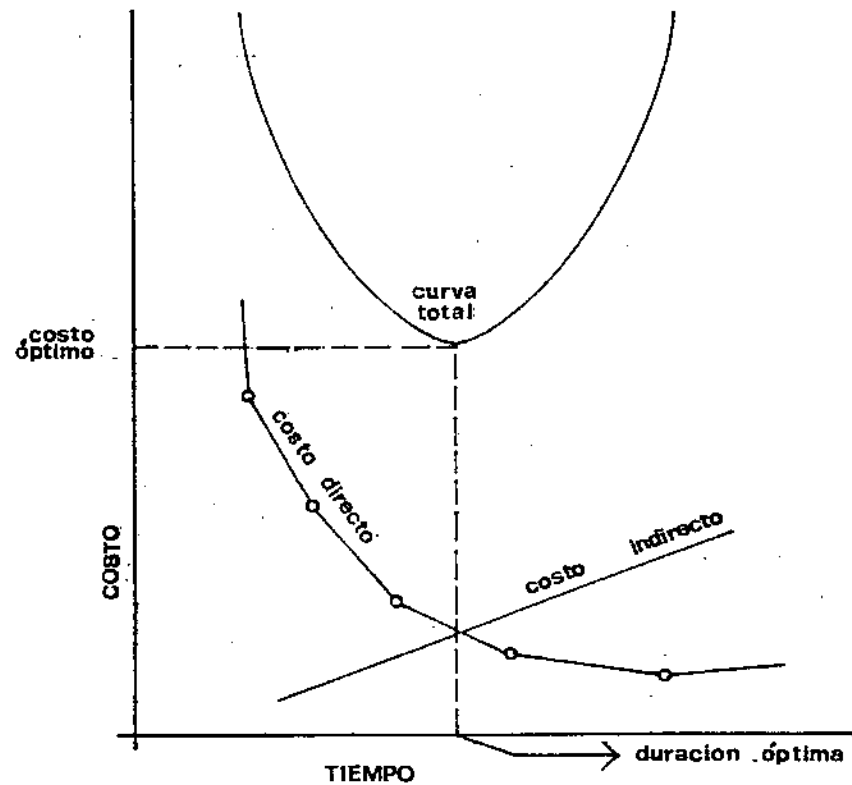


FIGURA 40

4.3 FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DEL PERT

La abreviatura PERT se ha hecho famosa en la representación del método de mallas. Sin embargo, hay una línea divisoria en la utilización del PERT y el CPM. El PERT se presta más a planes de desarrollo y a proyectos a largo plazo, como la ejecución del proyecto de un cohete en instalaciones militares mientras, el CPM parece adecuarse más al sector industrial de la construcción. A pesar de lo anterior se hará una descripción de los rasgos básicos del PERT. El método PERT tiene en cuenta la incertidumbre que afecta a los plazos previstos para la ejecución de las actividades. Esto lo logra con la introducción del cálculo de probabilidades, criterios que indican dónde la planificación es relativamente segura y dónde es especialmente incierta. Esto permite emitir un juicio sobre la seguridad del plazo fijado para la terminación de un determinado proyecto.

4.3.1 ESTIMACION DE TIEMPOS.

El cálculo de una red de PERT, se basa en tres estimaciones de la duración de un proceso unitario cualquiera. Estos tres valores se conocen como:

- Tiempo más probable
- Tiempo favorable (o más corto)
- Tiempo desfavorable (o más tardío)

Los tiempos favorables y desfavorables son valores extremos que se alcanzan en circunstancias especiales.

El tiempo favorable se escoge de tal manera que no es posible finalizar una actividad sometida a las variables previstas en un tiempo menor.

El resultado presupone las circunstancias más favorables.

El tiempo desfavorable, por el contrario, sólo puede alcanzarse en las circunstancias más adversas. Se tienen en cuenta los posibles fallos y repeticiones así como otros acontecimientos imprevisibles, lluvias fuertes, tormentas, etc.

El tiempo probable responde a un transcurso normal del proceso.

De estos tres valores se deduce el tiempo medio esperado (t_e) el cual sirve de base a cálculos posteriores, como en el CPM la duración de la actividad. Además para cada t_e se determina la variancia la cual es una medida asociada a la incertidumbre para cada tiempo esperado. La determinación de estos dos valores se basa en la curva de distribución de las probabilidades, distribución beta.

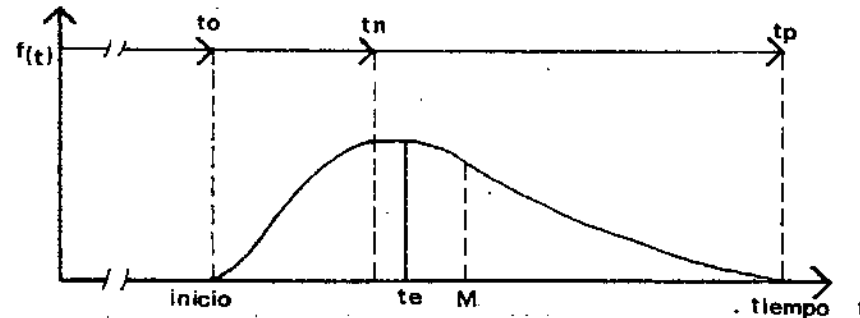


FIGURA 41

En donde

t_o = tiempo favorable

t_p = desfavorable

t_n = tiempo probable

El tiempo esperado se calcula como sigue:

$$t_e = \frac{t_o + 4 t_n + t_p}{6}$$

en la que:

- t_e = tiempo esperado
- t_o = tiempo optimista o favorable
- t_n = tiempo normal o probable
- t_p = tiempo pesimista o desfavorable

Esta fórmula fué utilizada en el cálculo del PERT al notarse la necesidad de emplear el tiempo esperado como una medida ponderada de las tres estimaciones de tiempo. Esta fórmula es muy similar a la utilizada en matemáticas como "distribución beta".

En esta ley los tiempos optimista y pesimista corresponden a los extremos izquierdo y derecho de la curva de distribución, siendo el tiempo normal su valor más probable o moda.

La medida de la incertidumbre en la duración de las actividades está dada por la desviación estándar cuya expresión es la siguiente:

$$s = \frac{t_p - t_o}{6}$$

Otro valor importante es la variancia, la cual expresa en cierta medida, cuál es la situación de los valores extremos respecto al valor medio. La expresión de la variancia es:

$$V_e = \frac{(t_p - t_o)^2}{6}$$

En donde: V_e = Variancia (cuadrado de la desviación estándar)

t_p = tiempo pesimista

t_o = tiempo optimista

Como la desviación estándar mide incertidumbre, mientras más pequeño sea el intervalo más cierta será la duración de la actividad. La certeza en la duración de una actividad se da solamente cuando la desviación estándar y la variancia son nulas o sea cuando las tres estimaciones de tiempo son iguales.

Con base al tiempo esperado se determina el camino crítico siguiendo los mismos pasos que en el CPM. En el PERT a cada una de estas tareas y su duración se le asocia la desviación estándar o la variancia.

4.3.2 Cálculo del tiempo más temprano esperado TE y su variancia VE

Tomando el tiempo medio esperado de las actividades se calcula el camino crítico, tal como se ha hecho en el CPM. A cada uno de los tiempos se le liga su correspondiente variancia o su desviación estándar, para incluir la incertidumbre asociada a cada actividad.

Los tiempos medios esperados son iguales a los tiempos normales utilizados en el CPM - para el mismo caso, lo cual permite hacer una comparación de los métodos.

El cálculo por medio del PERT para los tiempos más tempranos esperados (TE) para cada evento y sus correspondientes variancias se hacen de la misma forma que el cálculo de tiempos más tempranos en el CPM.

Para obtener la variancia de cada evento se suman las variancias de las actividades que determinan el TE de los eventos.

En el PERT no se considera la mayor de las sumas de las variancias de dos ó

más cadenas de actividades que llegan a un evento cualquiera, sino que su valor se toma sumando las variancias de las actividades que definen su TE, aunque sea un valor más pequeño.

Este hecho señala un peligro: Pueden existir otras cadenas cuya incertidumbre sea mayor y que en la práctica pueden ser las determinantes en decidir el tiempo real al cual se cumple un evento. Por esta razón cuando se emplee el PERT debe controlarse el desarrollo del proyecto con mucho cuidado para que pueda tener un significado práctico.

Los datos obtenidos se escriben en un cuadro que se dibuja cerca del evento.

TE	VE
TL	VL

En la casilla superior izquierda se coloca el tiempo de terminación más temprana; en la casilla superior derecha, la variancia correspondiente a ese tiempo.

En la casilla inferior izquierda se indica el tiempo de terminación más tardía y en la casilla inferior derecha, su variancia correspondiente.

4.3.3 Cálculo del tiempo más tardío esperado (TL) y su variancia (VL)

Para efectos de programación real de los tiempos para eventos con riesgos específicos, se determinan los tiempos de terminación más tardíos esperados, calculándose de la misma forma que los tiempos de terminación más tardíos en el CPM.

Las variancias correspondientes se obtienen de la misma forma que las VE so lo que empezando por el evento final del proyecto.

Cuando los valores de los tiempos para un mismo evento son distintos se le llama a esta diferencia "Holgura del evento" y corresponde al mismo concepto de holgura del CPM.

Existen dos variancias para cada evento. La variancia VE mide la incertidumbre en el camino que consume más tiempo, hasta el evento considerado, y la VL mide la incertidumbre que se puede encontrar a lo largo del camino que consume más tiempo partiendo del evento considerado hasta el evento final.

5-EJEMPLO SIMPLIFICADO

5 EJEMPLO SIMPLIFICADO

Para ayudar a aclarar el procedimiento general en la utilización del CPM y del PERT se utilizará un ejemplo simplificado en el cual se omitirán actividades de segundo y tercer orden en los procesos del proyecto.

El ejemplo a desarrollar considerará que en el proyecto se han hecho ya, los cimientos, el sistema portante y losas de un edificio de 10 X 10M y se programarán las actividades a partir de levantados hasta la conclusión de la obra.

ACTIVIDAD	DESCRIPCION	VOLUMEN DE TRABAJO	DURACION	PERSONAL
A	Levantado de Tabiques	132 M ²	33 días	5
B	Colocación tubería eléctrica en pared	27 M	6	2
C	Zanjas y colocación de drenajes	1.8M ³ -18M	7	3
D	Instalación de Agua	20 M	4	2
E	Alambrado eléctrico en losa	22 U	3	2
F	Limpieza general	100 M ²	3	1
G	Colocación de pisos	100 M ²	14	4
H	Colocación de plafoneras y placas	22 U	1	2
I	Colocación de puertas y ventanas	10 U	3	2
J	Colocación de artefactos sanitarios	2 U	1	2
K	Pulido y lustrado de pisos	100 M ²	6	2

LISTADO DE ACTIVIDADES, REQUISITOS Y DURACION

ACTIVIDADES	REQUISITOS	DURACION (DIAS)
A Levantado de Tabiques	0	33
B Instalación de energía eléctrica.	A	6
C Zanjas y colocación de drenajes	A	7
D Instalación de Agua	A	4
E Alambrado eléctrico en losa	B	3
F Limpieza General	C	3
G Colocación de Pisos	D, E, F	14
H Colocación de Plafoneras y Placas	E	1
I Colocación de Puertas y Ventanas	G	3
J Colocación de Artefactos Sanitarios	G	1
K Pulido y lustrado de pisos	H, I	6

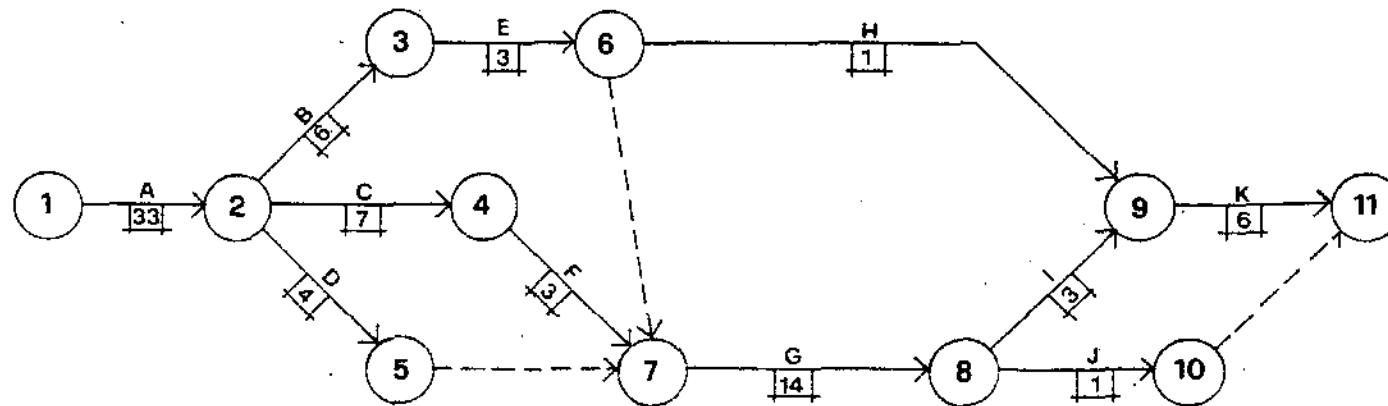


DIAGRAMA CON TIEMPOS MAS TEMPRANOS Y MAS TARDIOS

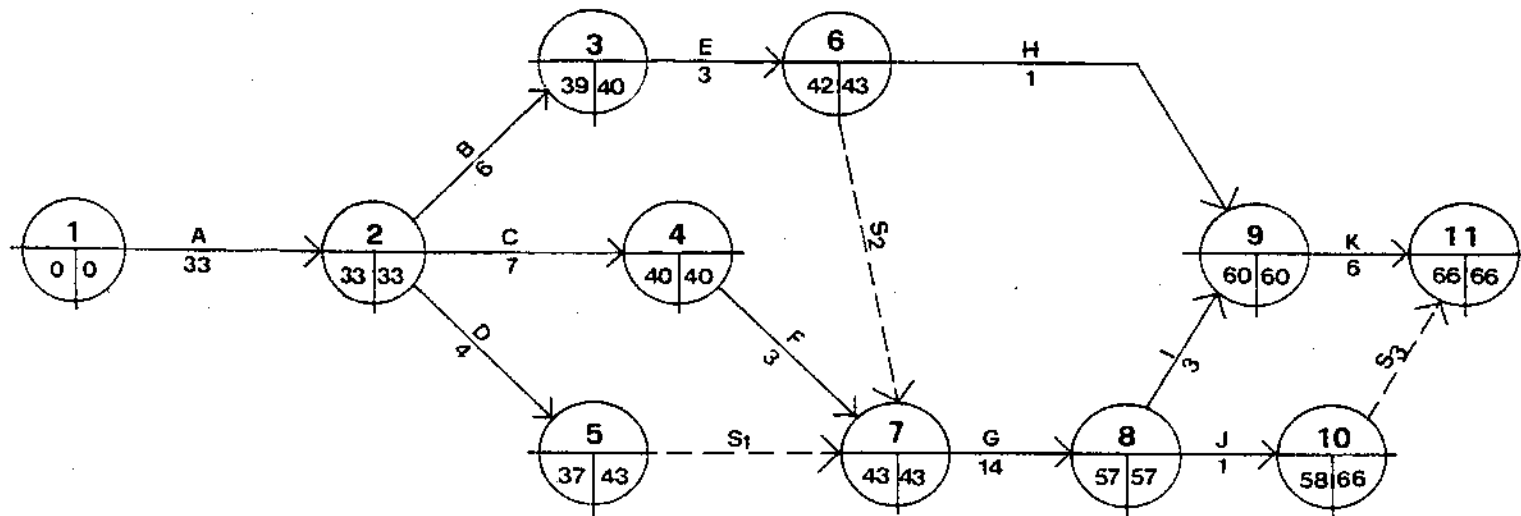


DIAGRAMA CON HOLGURAS Y DETERMINACION DE RUTA CRITICA

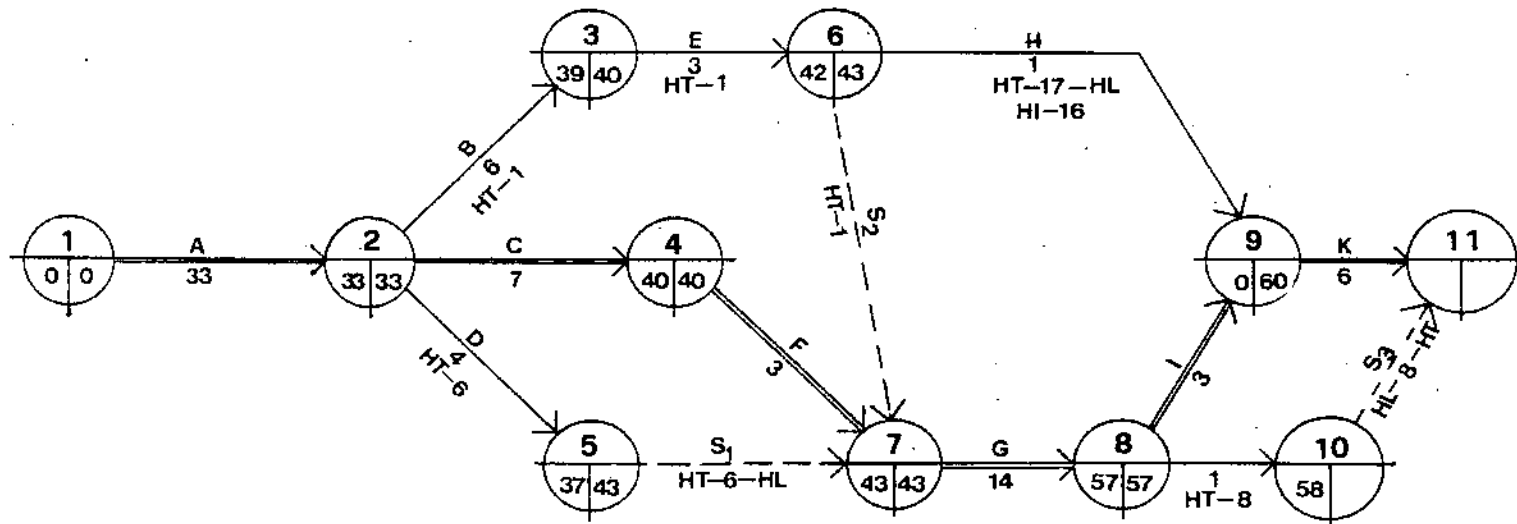
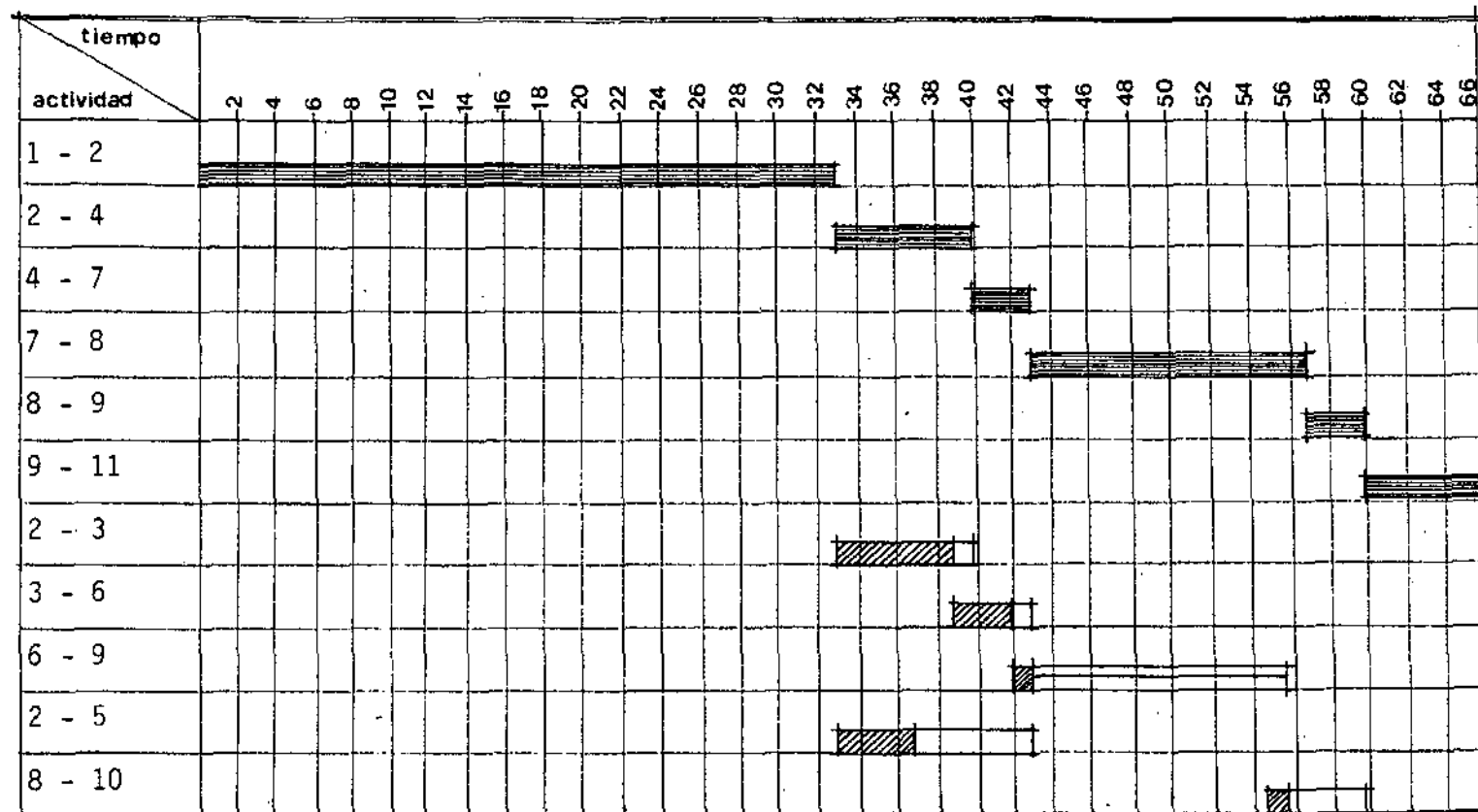


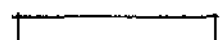
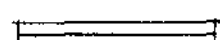


DIAGRAMA DE GANTT CON REPRESENTACION DE HOLGURAS



-  ACTIVIDAD CRITICA
-  ACTIVIDAD NO CRITICA
-  HOLGURA TOTAL
-  HOLGURA LIBRE

CUADRO DE TIEMPOS

i - j	ACT.	DUR.	TPi	TPj	TUi	TUj	HT	HL	HI
1 - 2	A	33	0	33	0	33	0	0	0
2 - 3	B	6	33	39	33	40	1	0	0
2 - 4	C	7	33	40	33	40	0	0	0
2 - 5	D	4	33	37	33	43	6	0	0
3 - 6	E	3	39	42	40	43	1	0	0
4 - 7	F	3	40	43	40	43	0	0	0
7 - 8	G	14	43	57	43	57	0	0	0
6 - 9	H	1	43	60	43	60	17	17	16
8 - 9	I	3	57	60	57	60	0	0	0
8 -10	J	1	57	58	57	66	8	0	0
9 -11	K	6	60	66	60	66	0	0	0
5 - 7	S ₁	0	37	43	43	43	6	6	0
6 - 7	S ₂	0	42	43	43	43	1	0	0
10 -11	S ₃	0	58	66	66	66	8	8	0

FORMULAS UTILIZADAS:

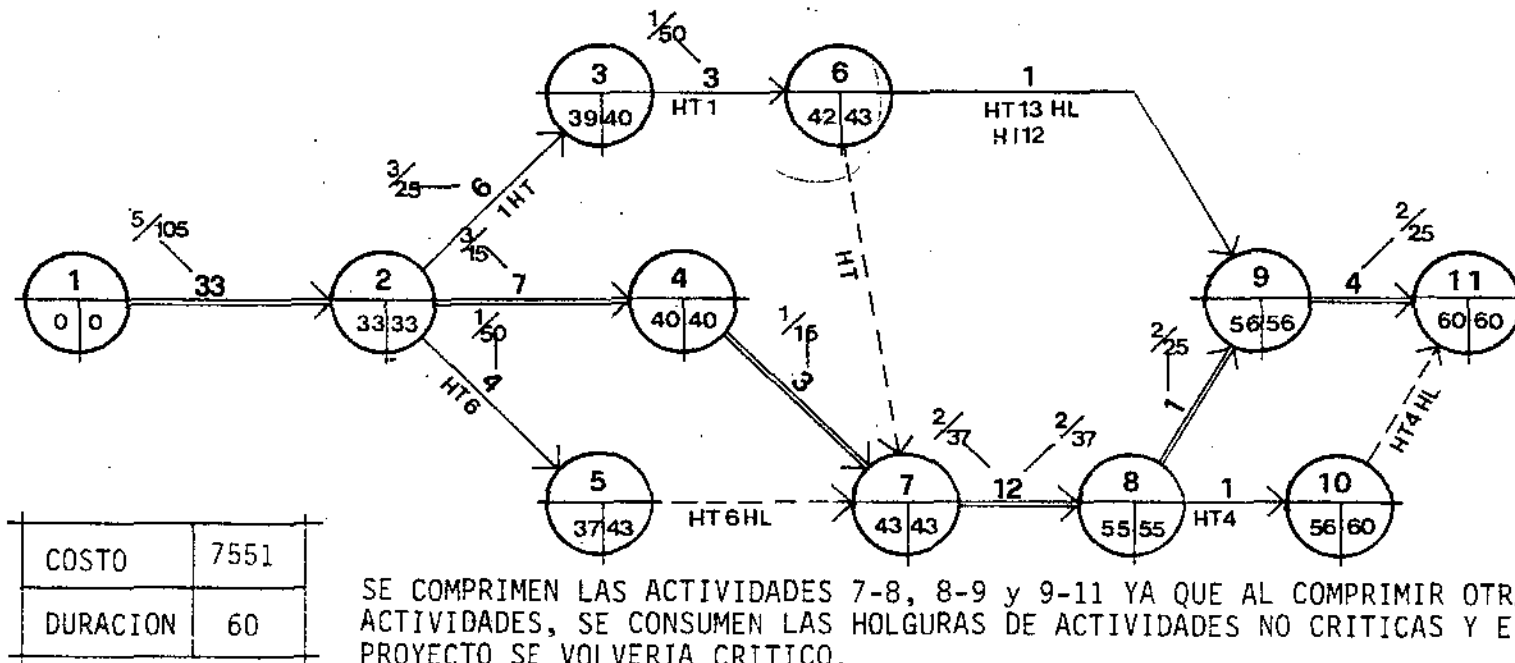
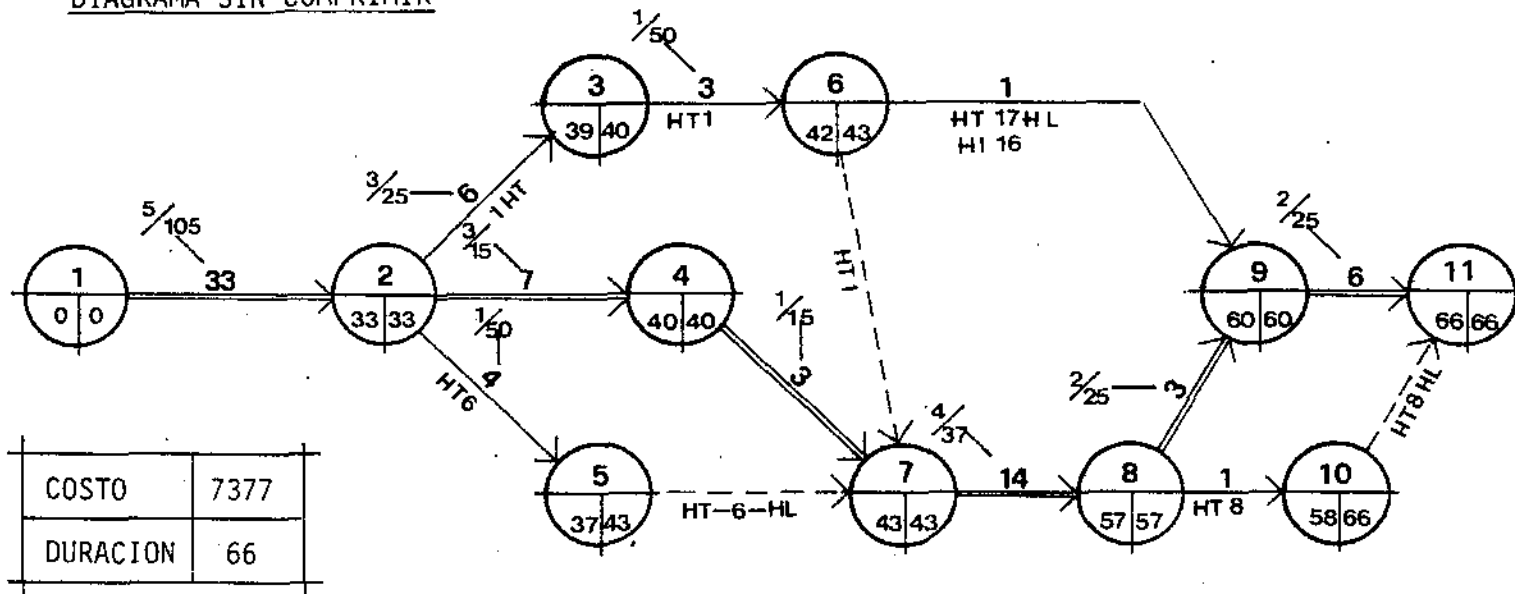
$$HT = (TUj - TPi) - D_{ij} \qquad HL = (TPj - TPi) - D_{ij}$$

$$HI = (TPj - TUi) - D_{ij}$$

SE DETERMINARA LA PENDIENTE DE COSTO DE CADA ACTIVIDAD PARA CLARIFICAR LA UTILIZACION DE COMPRESIONES Y LAS VENTAJAS QUE ESTAS REPRESENTAN.

ACT.	CN	CL	DN	DL	P
A	3435	3960	33	28	105
B	350	425	6	3	25
C	500	545	7	4	15
D	400	450	4	3	50
E	250	300	3	2	50
F	60	75	3	2	15
G	952	1000	14	10	37
H	100	100	1	1	-
I	850	900	3	1	25
J	230	230	1	1	-
K	250	300	6	4	25
S1					
S2					
S3					
TOTAL	7377		66		

DIAGRAMA SIN COMPRIMIR



VALORES PERT DE LAS ACTIVIDADES

ACTIVIDAD		to	tn	tp	te	S	Ve
i	j						
1	2	28	33	40	33	2	4
2	3	3	6	10	6	1.16	1.34
2	4	4	7	12	7	1.33	1.77
2	5	2	4	8	4	1	1
3	6	1	3	6	3	0.83	0.69
4	7	1	3	5	3	0.66	0.44
7	8	10	14	20	14	1.66	2.76
6	9	1	1	3	1	0.33	0.11
8	9	1	3	6	3	0.83	0.69
8	10	1	1	4	1	0.5	0.25
9	11	4	6	8	6	0.66	0.44

VER GRAFICA PAG. 72

FORMULAS USADAS: $te = \frac{to + rtn + tp}{6}$

$$S = \frac{tp - to}{6}$$

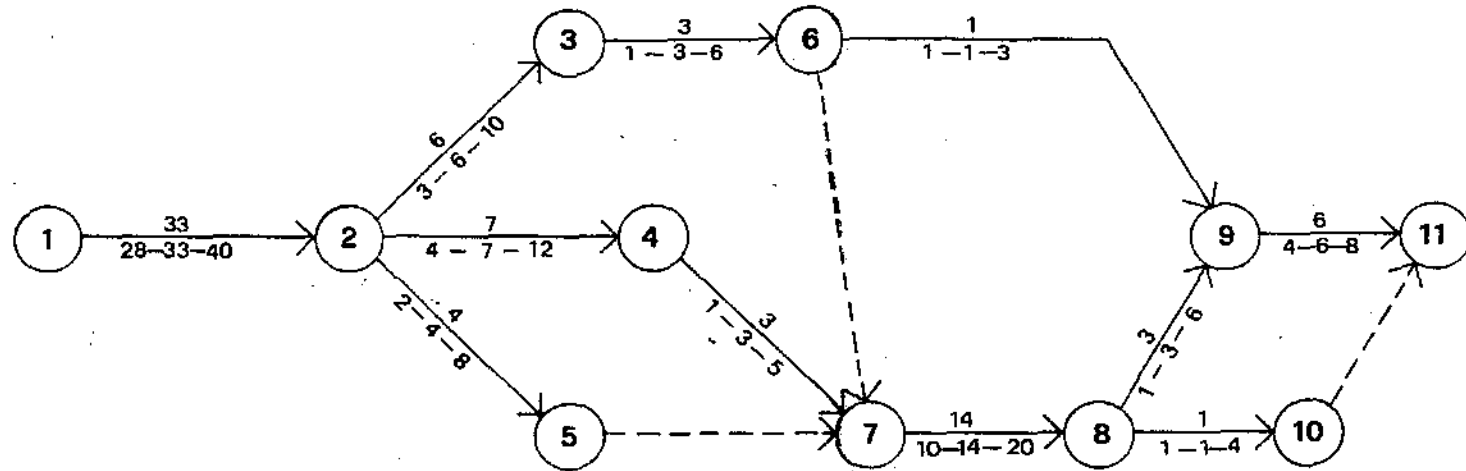
$$Ve = S^2$$

VALORES PERT DE LOS EVENTOS

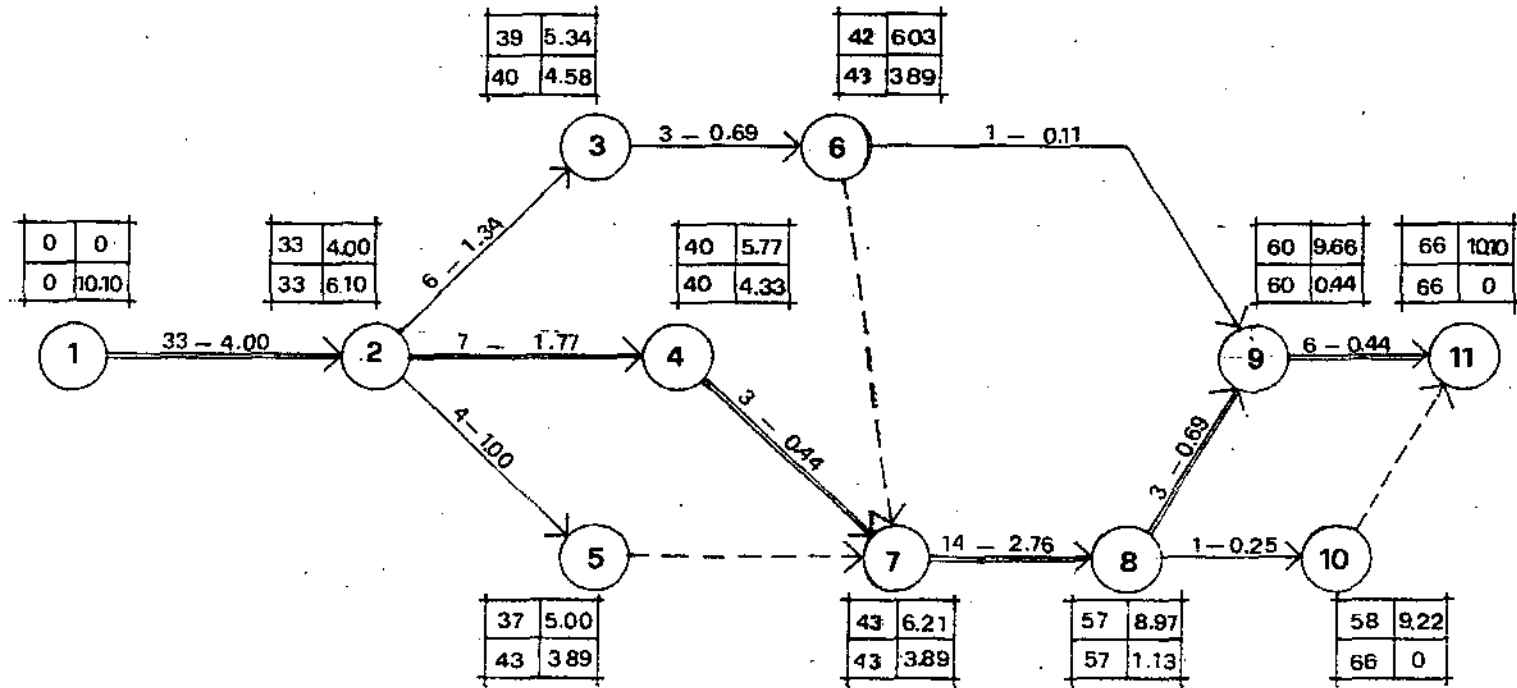
EVENTO No.	TE	VE	TL	VL
1	0	0	0	10.10
2	33	4.00	33	6.10
3	39	5.34	40	4.58
4	40	5.77	40	4.33
5	37	5.00	43	3.89
6	42	6.03	43	3.89
7	43	6.21	43	3.89
8	57	8.97	57	1.13
9	60	9.66	60	0.44
10	58	9.22	66	0
11	66	10.10	66	0

VER GRAFICA PAG.

VALORES PERT DE LAS ACTIVIDADES



VALORES PERT DE LOS EVENTOS



6-INFORME SOBRE LA ENCUESTA

6. INFORME SOBRE LA ENCUESTA

SEÑALAMIENTO DEL PROBLEMA INVESTIGADO

El problema de estudio fué el conocimiento de la utilización de los métodos e instrumentos de programación CPM, PERT y GANTT, en la construcción de obras arquitectónicas por los arquitectos y constructores de la ciudad de Guatemala.

Específicamente se investigó la reducción de costos en la construcción al utilizar métodos de programación y al hacerlo, los resultados vinieron a ratificar la hipótesis de que el uso de los métodos de programación antes mencionados constituyen un instrumento de valor en la ejecución del proyecto arquitectónico.

REVISION DE LA LITERATURA

Se hizo una revisión de la literatura disponible en la biblioteca de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos; en especial interesaba revisar el tesario para determinar si existían estudios anteriores sobre el problema a investigar en la encuesta por realizar y se pudo comprobar que el area de estudio está prácticamente intocada por dicha facultad para la ciudad capital de Guatemala. Por tanto, el presente trabajo aporta datos que en algún momento pueden ser utilizados por los estudiantes y profesionales de Arquitectura.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Para poder analizar la información recopilada en los instrumentos de trabajo, se preparó de la manera que se describe a continuación: elaboración de tablas de resultados, gráficas de porcentajes y gráficas graduales.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

La descripción de los resultados se refiere a los cuadros y gráficas realizadas en base a los datos obtenidos en la encuesta, los cuales muestran información importante de acuerdo con los objetivos del presente estudio. Los Arquitectos, en su mayoría, marcaron que conocían todos los métodos e instrumentos de programación manual que aparecen en el cuestionario (ver cuadro 2 y gráfica 2.1); pero, solamente el 48% programan sus actividades de construcción, utilizando los métodos de la siguiente manera: 10% CPM combinado con GANTT, 2% CPM y 36% GANTT. Reportando reducción de costos, solamente el 12% que utiliza CPM, -- mientras que el 36% que utiliza únicamente GANTT no tienen reducción de costos (ver cuadro 6 y gráfica 6.1).

Todo lo contrario sucedió con los constructores, quienes no marcaron que conocían todos los métodos e instrumentos de programación manual que aparecen en el cuestionario y sin embargo, el 100% programan sus actividades constructivas, utilizando los métodos de la siguiente manera: el 64% CPM, 20% CPM combinado con GANTT, 13% solo GANTT y 3% PERT.

Reportando reducción de costos el 87% que utilizan CPM y PERT mientras que el 13% que sólo utilizan GANTT no reporta reducción de costos (ver cuadro 6 y gráfica 6.1). Hay que hacer notar que todos los constructores (de los cuales 29 son ingenieros civiles), respondieron a las preguntas con seguridad, se notó que tienen pleno conocimiento del asunto. Todo lo contrario sucedió con los Arquitectos a quienes en su mayoría se les notó inseguros y aproximadamente la tercera parte de la muestra no respondió a las preguntas en el momento de la entrevista, solicitando se les dejara el cuestionario para estudiarlo y pensar las respuestas y se recogiera más tarde.

PREGUNTA No. 3: Conoce algún método o instrumento de programación manual?

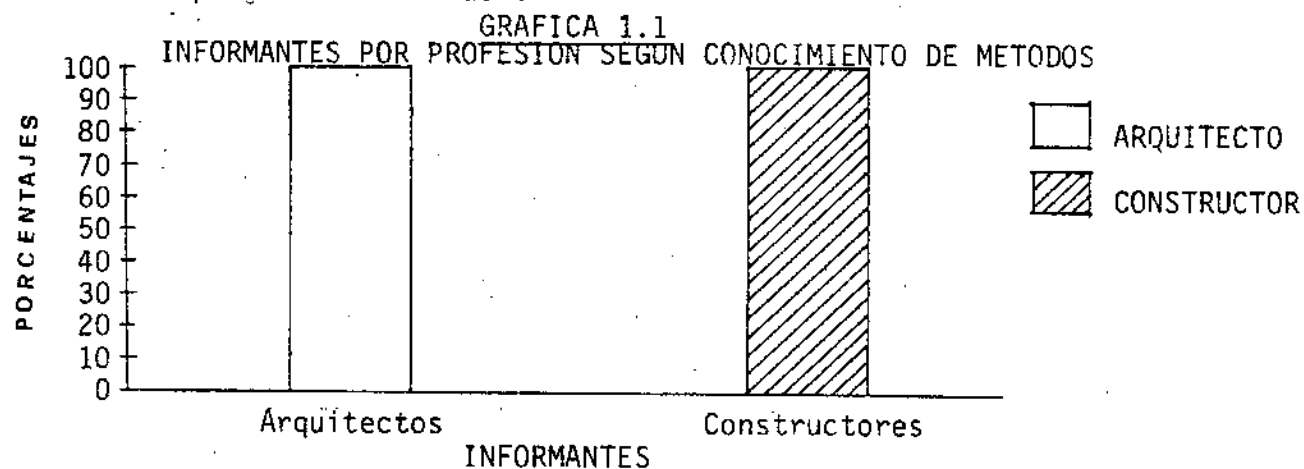
CUADRO 1

INFORMANTES POR PROFESION SEGUN CONOCIMIENTO DE METODOS

Conocimiento Métodos	Informante		
	Por profesión		
	Total	Arquitectos	Constructores
Total	72	42	30
SI	72	42	30
NO	-	-	-

Fuente: Boleta de encuesta.

Del total de Arquitectos y Constructores encuestados, el 100% tiene conocimiento de alguno de los métodos de programación manual.



Fuente: Datos Cuadro 1.

PREGUNTA No. 4: Cuál(es) de los siguientes métodos e instrumentos de programación conoce?

CUADRO 2

INFORMANTES POR METODOS CONOCIDOS SEGUN PROFESION

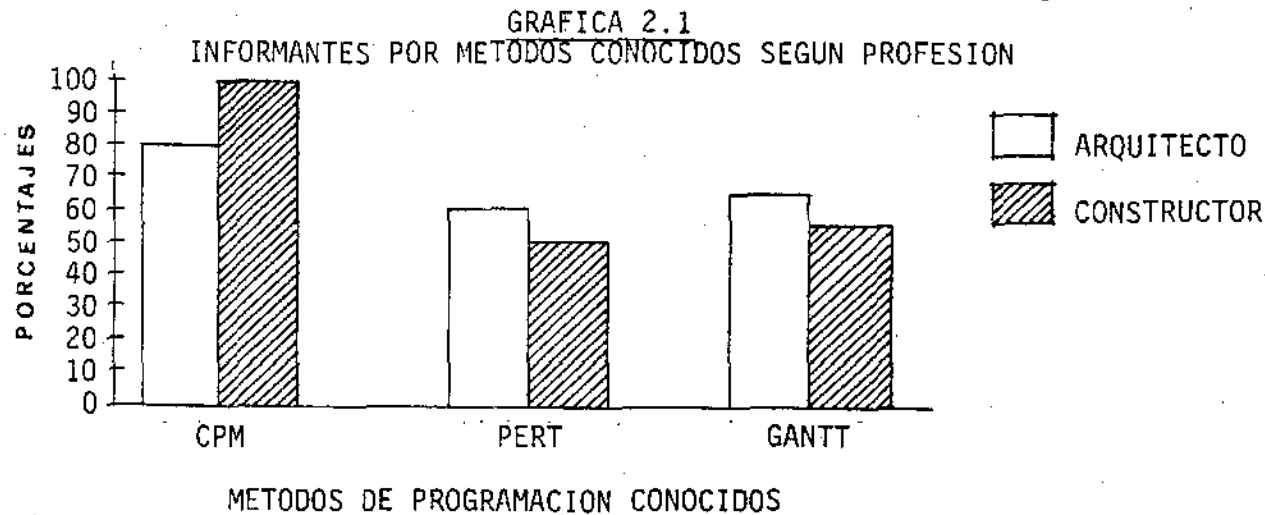
Informantes	Total Informantes	Métodos de programación conocidos							
		CPM	%	PERT	%	GANTT	%	OTRO	%
Arquitectos	42	34	80	25	60	26	62	--	--
Constructores	30	30	100	15	50	16	53	--	--

Fuente: Boleta de encuesta.

*Estos datos son de pregunta que admite más de una respuesta.

De los 42 Arquitectos encuestados, 80% conocen el CPM, 60% el PERT y 62% el GANTT.

De los 30 constructores encuestados el 100% conocen el CPM, 50% el PERT y 53% el GANTT.



Fuente: Datos cuadro 2

PREGUNTA No. 5: Programa usted sus actividades de construcción de obras?

CUADRO 3

INFORMANTES POR PROGRAMACION DE ACTIVIDADES DE CONSTRUCCION SEGUN PROFESION

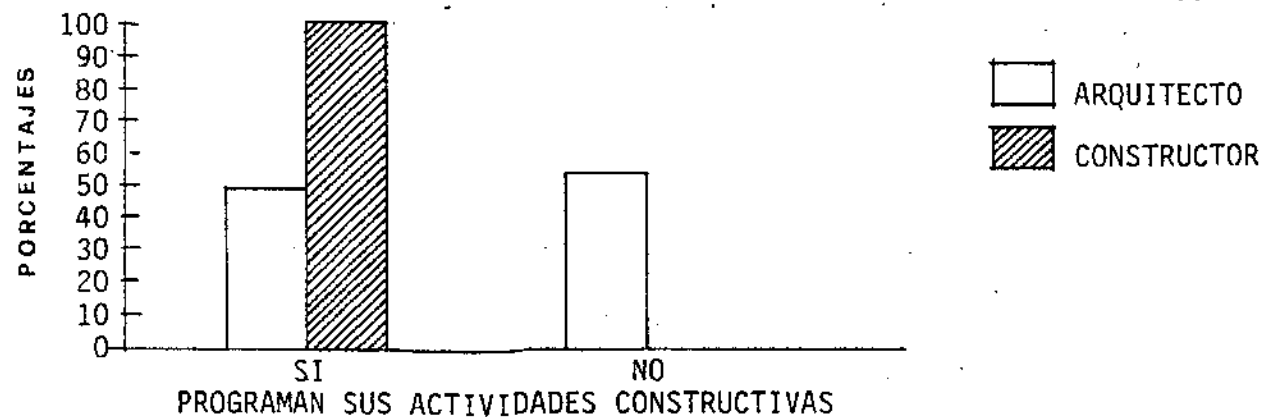
Profesión	Informantes					
	Por programación de actividades de construcción.					
	TOTAL	%	SI	%	NO	%
TOTAL	<u>72</u>		<u>50</u>		<u>22</u>	
Arquitectos	42	100	20	48	22	52
Constructores	30	100	30	100	-	-

Fuente: Boleta de encuesta.

De los 42 Arquitectos encuestados, el 48% programan sus actividades constructivas (ver - pág. 81), mientras el 52% no lo hace.

De los 30 Constructores encuestados, el 100% programan sus actividades constructivas (ver pág. 81)

GRAFICA 3.1
INFORMANTES POR PROGRAMACION DE ACTIVIDADES DE CONSTRUCCION SEGUN PROFESION



Fuente: Datos cuadro 3.

PREGUNTA No. 6: Si su respuesta anterior fué afirmativa, qué método de programación manual utiliza?

CUADRO 4

INFORMANTES POR METODOS UTILIZADOS SEGUN PROFESION

Informantes	Total Informantes	Métodos de Programación utilizados					
		CPM	%	PERT	%	GANTT	%
Arquitectos	42	5	12	-	-	19	46
Constructores	30	25	83	1	3	10	33

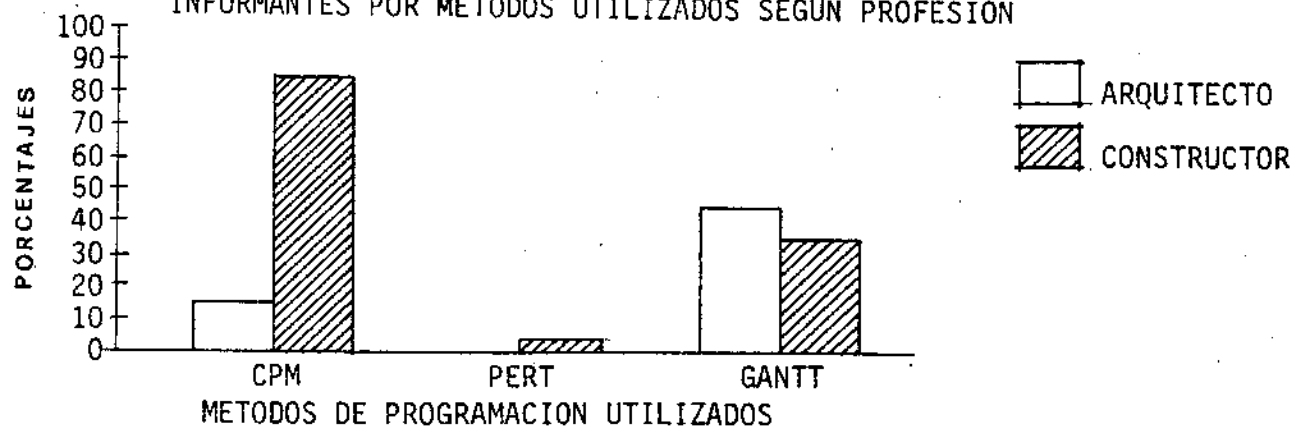
Fuente: Boleta de encuesta.

*Estos datos son de pregunta que admite más de una respuesta.

De los 42 Arquitectos encuestados 12% utilizan CPM, el 46% el GANTT. De los 30 constructores encuestados el 84% utilizan CPM, el 3% el PERT y 33% GANTT.

GRAFICA 4.1

INFORMANTES POR METODOS UTILIZADOS SEGUN PROFESION



Fuente: Cuadro 4

PREGUNTA No. 7: La utilización de métodos de programación manual, le ha reducido los costos en la construcción de obras?

CUADRO 5

INFORMANTES POR REDUCCION DE COSTOS EN LA UTILIZACIÓN DE METODOS DE PROGRAMACION SEGUN PROFESION.

PROFESION	Informante					
	Por reducción de costos					
	Total	%	SI	%	NO	%
TOTAL	50		32		18	
Arquitectos	20	48	5	12	15	36
Constructores	30	100	26	87	4	13

Fuente: Boleta de encuesta.

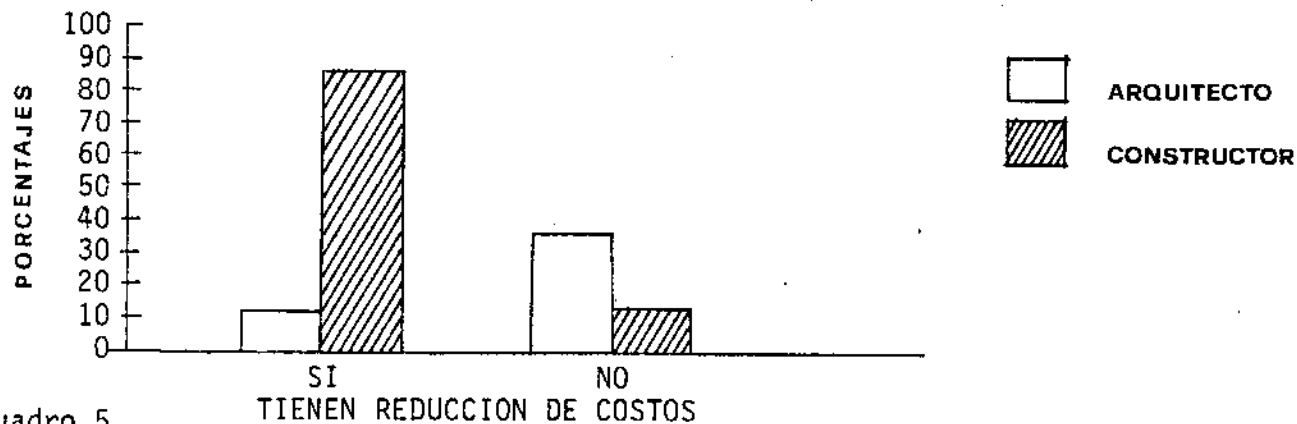
*Porcentajes tomados en relación al total de la muestra (42 Arquitectos y 30 Constructores)

De los 42 Arquitectos encuestados solo 20 es decir el 48% programan sus actividades constructivas, de estos, sólo 5 o sea el 12% dicen tener reducción de costos.

De los 30 Constructores encuestados el 100% programan sus actividades constructivas, de éstos, son 26 es decir el 87% dicen tener reducción de costos.

GRAFICA 5.1

INFORMANTES POR REDUCCION DE COSTOS EN LA UTILIZACIÓN DE METODOS DE PROGRAMACION SEGUN PROFESION.



Fuente: Cuadro 5.

PREGUNTA No. 6: Si su respuesta anterior fué afirmativa, que método o instrumento de programación utiliza?

CUADRO 6

INFORMANTES POR UTILIZACION DE METODOS E INSTRUMENTOS COMBINADOS O SOLOS, EN LA PROGRAMACION DE SUS ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS, SEGUN PROFESION.

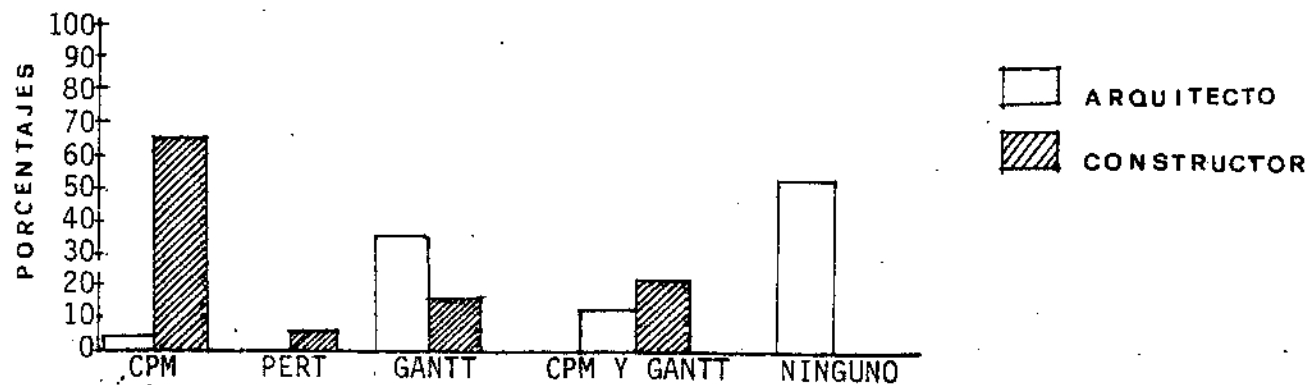
Profesión	Total Informantes	Métodos Combinados o solos, utilizados en programación de actividades constructivas.										
		%	CPM	%	PERT	%	GANTT	%	CPM Y GANTT	%	NINGUNO	%
Total	72		20		1		19		10		22	
Arquitectos	42	48	1	2			15	36	4	10	22	52
Constructores	30	100	19	64	1	3	4	13	6	20	--	--

Fuente: Boleta de encuesta.

De los 42 Arquitectos encuestados el 2% utilizan CPM, 36% GANTT, 10% CPM combinado con GANTT y 52% no programan sus actividades constructivas. De los 30 Constructores encuestados 64% utilizan CPM, 3% PERT, 13% GANTT, 20% CPM combinado con GANTT.

GRAFICA 6.1

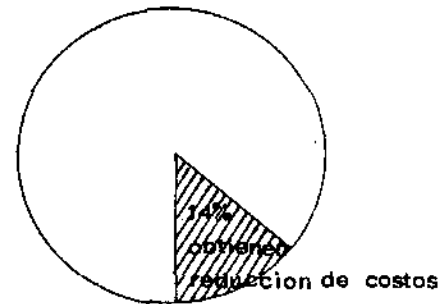
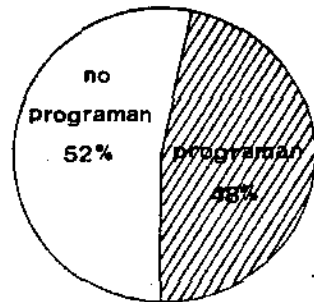
INFORMANTES POR UTILIZACION DE METODOS E INSTRUMENTOS COMBINADOS O SOLOS SEGUN PROFESION.



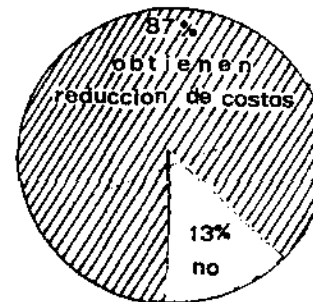
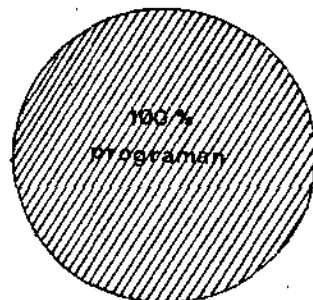
Fuente: Datos Cuadro 6.

GRAFICAS GRADUALES DE PORCENTAJES

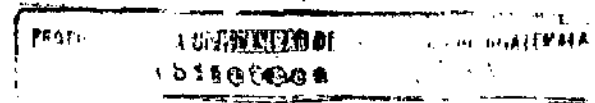
Las siguientes gráficas relacionan el uso de métodos e instrumentos de programación manual (CPM, PERT y GANTT), en la construcción de obras, con la obtención de reducción de costos, según profesión.



ARQUITECTOS



CONSTRUCTORES



7-CONCLUSIONES

CONCLUSIONES:

1. El conocimiento de los métodos de programación, es condición esencial para que el Arquitecto o constructor puedan programar las actividades de construcción de obras.
2. La reducción de costos en la construcción es un fenómeno que generalmente depende de la utilización de métodos de programación en las actividades constructivas.
3. La utilización del Diagrama de GANTT, como único instrumento de programación no reduce costos.
4. A pesar del tiempo que tienen estos métodos de haber sido creados, no han perdido su valor.
5. Algunas de las empresas constructoras visitadas, realizan su programación con ayuda de computadoras y éstas trabajan con base principalmente en las técnicas de ruta crítica.
6. Los métodos de ruta crítica se auxilian para su aplicación, con el diagrama de GANTT por ser de más fácil comprensión para el personal de permanencia constante en la obra.
7. En las obras públicas por contrato, se presenta el problema de la inconstancia en la entrega del financiamiento, lo que provoca descontrol en el programa.
8. Los resultados de la encuesta confirman que la programación con los métodos CPM (Arquitectos 12%; Constructores 84%) y PERT (Arquitectos 0%; Constructores 3%) reducen los -- costos de la obra arquitectónica.
9. Es realmente lamentable que el Arquitecto por desconocimiento de las bases teóricas y -- conceptuales de los sistemas CPM y PERT, desconocen también el gran valor que ellos representan en la proyección de las actividades constructivas, perdiendo con ello la ventaja de reducir los costos de la obra Arquitectónica considerablemente.

8-RECOMENDACIONES

8. RECOMENDACIONES

- a. Para asegurar el cumplimiento del programa, es necesaria una supervisión constante en la obra que controle la ejecución de las actividades constructivas según su secuencia y en las fechas programadas.
- b. Al programar las actividades constructivas, es necesario que la estimación de costos esté basada en un estudio cuidadoso de la realidad, para evitar lamentables pérdidas; especialmente cuando no se tiene mucha experiencia en construcción.
- c. En las obras públicas por contrato es de gran importancia para el cumplimiento del programa, que el financiamiento le sea entregado al contratista en las fechas previstas por él; para que todas las actividades constructivas se realicen en el tiempo programado.
- d. Para adquirir experiencia en programación de actividades constructivas utilizando los métodos de ruta crítica, se recomienda al Arquitecto y Constructor empezar con los proyectos pequeños.
- e. Para obtener los beneficios de los métodos de ruta crítica, específicamente del CPM y PERT, los directivos de empresas constructoras deben requerir, fomentar y animar su aplicación en la construcción de obras Arquitectónicas.

- f. Se recomienda al Arquitecto y Constructor que la planificación inicial de una red de actividades constructivas se haga con mucho cuidado, ya que aproximadamente el 50% del éxito del programa depende de ello.
- g. En base a los resultados de las encuestas realizadas a Arquitectos y Constructores se afirma que la utilización de los métodos CPM y PERT en la programación de las actividades constructivas son validos pues reducen el costo de la obra. Se recomienda a la Facultad de Arquitectura de la USAC que implemente, en los cursos de Taller síntesis intermedio, la enseñanza y utilización de dichos métodos en los proyectos pequeños; ésto dará al estudiante, la práctica que le será de gran utilidad en su que hacer profesional.

9-ANEXOS

ENCUESTA SOBRE CONOCIMIENTO Y UTILIZACION DE LOS METODOS CPM Y PERT EN LA CONSTRUCCION DE OBRAS

OBJETIVO. Conocer el grado de utilización de los métodos de programación manual CPM y PERT, en la construcción de obras arquitectónicas y saber si su uso reduce costos.

INSTRUCCIONES. Escriba con letra clara, preferentemente de molde, y/o marque con una "X" el cuadrado correspondiente () según sea el caso.

I. IDENTIFICACION

INFORMANTE

- 1. Arquitecto
- 2. Constructor

II. CONOCIMIENTO

3. Conoce algún método e instrumento de programación manual?

- Si
- No

4. Cuál (es) de los siguientes métodos e instrumentos de programación conoce?

- CPM
- PERT
- GANTT
- Otro (especifique)

III. UTILIZACION

5. Programa usted sus actividades de construcción de obras?

- Si
- No

6. Si su respuesta anterior fue afirmativa, qué método de programación manual utiliza?

7. La utilización de métodos de programación manual le ha reducido los costos en la construcción de obras?

- Si
- No

IV. OTROS

8. Observaciones.

9. Lugar y Fecha _____

BOLETA TIPO "A" CORRESPONDE A ARQUITECTOS

BOLETA TIPO "B" CORRESPONDE A CONSTRUCTORES

A-2 Condominio Vistalago, S.A.
Edificio El Fortín de las Conchas.

A-4 Colonia Magisterial Quetzaltenango (150 viviendas)
Guardería Nazareth Zona 18

A-33 Centro Comercial 12 Calle Zona 9
Colonia La Adelina, Santa Lucía Cotzumalguapa

A-34 Casas Puerto Quetzal

A-42 Centros Deportivos para la Confederación

B-1 Complejo Deportivo Totonicapán
Alcantarillado de Pajapita, San Marcos
Centro de Salud Tipo B Progreso

B-2 Proyecto Villa Sol (12 a 15 casas)

B-3 Puentes en Huehuetenango
Instituto Básico de Mixco

B-4 Reparación Muelle de Santo Tomás

B-5 Centro Capitol
Paiz Vista Hermosa
Lomas del Sur

B-6 Construcción del Puente Tambor
Colonia San Francisco
Centros de Salud de Occidente
Colonia Colombia

B-7 Alcantarillado Coatepeque

Remodelación Ave. Petapa
Boulevard Vista Hermosa

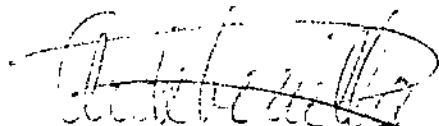
- B-8 Proyecto Habitacional Vista Hermosa (80 casas)
- B-9 Proyecto de Construcción de Carreteras
- B-10 Residencial Bulevar Sur I, II y III
- B-11 Mejoramiento Acueducto Retalhuleu
Escuela Josefina Alonso, Jocotales
Gimnasio para gimnasia bajo techo, Zona 5
- B-12 Molino de las Flores III
Centro Comercial Molino de las Flores
- B-13 Casas particulares
- B-14 Nimajuyú Zona 21
- B-15 Bodega del Puerto Quetzal "UNECPA"
- B-16 Teatro Nacional
- B-17 Guatel, Cobán
Guatel, Salamá
- B-18 Edificio Reforma Obelisco
- B-19 Escuela Normal Rural Pedro Molina, Chimaltenango
Estadio "El Condor" Jutiapa
- B-20 Edificio de Guatel Totonicapán
Hospital de Totonicapán
Hospital de San Marcos
- B-21 Valcasa
Urbanización Villa Lobos
El Tesoro IV
Hospital de Quetzaltenango

- B-22 Edificio Los Arcos - Real América
Administración Puerto Quetzal
Zona Militar de Retalhuleu
- B-23 Base Militar Retalhuleu
Cuadras de Intendencia del Ejército
- B-24 Villas Club El Dorado
- B-25 Complejo Deportivo Galcasa
Sistema Drenaje Frances en Campos Deportivos
- B-26 Residencias Particulares
- B-27 Hospital IGSS Totonicapán
Enrocamiento al este del rompeolas este en Puerto Quetzal
- B-28 Caribe Motores
Seminario Mayor
Orfelinato de Esquipulas
- B-29 Residenciales Villa Nueva
Lotificación La Leyenda San Pedro Ayampuc
- B-30 Colonia San Jorge, Zona 11

10-BIBLIOGRAFIA

- 1 ANTILL, James M. y Ronald Woodhead. Método de la ruta crítica y su aplicación a la -- construcción. México, Limusa, 1967
- 2 BRUNI GONZALEZ, Eugenio. Manual de métodos modernos de planificación, programación y control de procesos productivos, CPM, PERT, RAMPS. Guatemala, Talleres de impresión de INTECAP, 1978.
- 3 CHUEN TAO, Luis Yu. Aplicación práctica de PERT Y CPM. Primera edición, México, Deusto.
- 4 GEREZ GRIJALVA. El enfoque de sistemas. 2da. Edición, México, Limusa, 1980.
- 5 HILLIER LIEBERMANN. Introducción a la investigación de operaciones. 3a. Edición, México, Ingramex, S.A. 1982.
- 6 MARTINO R.L. Administración y control de proyectos. New York, American Management Association.
- 7 MONTANO, Agustín. Iniciación al método del camino crítico. México, Editorial Trillas, 1968.
- 8 PRAWDA, Juan. Métodos y modelos de investigación de operaciones. Cuarta Edición, México, Limusa, 1982.
- 9 RODRIGUEZ CABALLERO, Melchor. Aplicación en ingeniería de métodos modernos de planeación, programación y control de procesos productivos. 5a. Edición, México, Limusa 1981.
- 10 THIERAUF, Robert y Richard Gross. Toma de decisiones por medio de investigación de operaciones. 7a. Edición, México, Limusa, 1981.
- 11 ULLMANN, John. Métodos cuantitativos de investigación. 1era. Edición, México, Limusa - 1976.
- 12 VIDESTOBAR, Amando. Análisis y control de costos de ingeniería. Guatemala, Piedra Santa, 1978.

- 13 WAGNER, Gerhard. Los sistemas de planificación CPM y PERT aplicados a la construcción.
Barcelona, Gustavo Gili, S.A.
- 14 ZADERENKO, S. G. Sistema de programación por camino crítico PERT, CPM, MAN, SCHEDULING
RAMPS. 3era. Edición, Buenos Aires, Mitre, 1968.

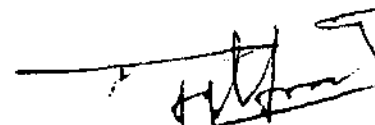


M. de E.P.U. ARGENTINA DIAZ DE BONILLA
Alumna Sustentante.



ARQ. MARCO ANTONIO RIVERA
Asesor de Tesis

IMPRIMASE



ARQ. FRANCISCO CHAVARRIA SMEATON
Decano Facultad de Arquitectura

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD
Biblioteca
FEMALA
1