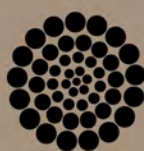


Tópicos de administración de proyectos para ingeniería

Autores

**María de Lourdes López Cruz
Julio César Flores Contreras
Magdalena Hernández Cortez
Nivardo Chávez Rodríguez
Lot Rojas Mora**



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Redes Temáticas



**INSTITUTO
TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE TIERRA BLANCA**

TÓPICOS DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS PARA INGENIERÍA

AUTORES

MARÍA DE LOURDES LÓPEZ CRUZ
JULIO CÉSAR FLORES CONTRERAS
MAGDALENA HERNÁNDEZ CORTEZ
NIVARDO CHÁVEZ RODRÍGUEZ
LOT ROJAS MORA

EDITORIAL

©RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. 2020



EDITA: RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C.
DUBLÍN 34, FRACCIONAMIENTO MONTE MAGNO
C.P. 91190. XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO.
CEL 2282386072
PONCIANO ARRIAGA 15, DESPACHO 101.
COLONIA TABACALERA
DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC
C.P. 06030. MÉXICO, D.F. TEL. (55) 55660965
www.redibai.org
redibai@hotmail.com

ISBN: 978-607-8617-92-0



9 786078 161792 0

Sello editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C.
(607-8617)
Primera Edición, Xalapa, Veracruz, México.
No. de ejemplares: 200
Presentación en medio electrónico digital: Cd-Rom formato PDF 5 MB
Fecha de aparición 01/12/2020
ISBN 978-607-8617-92-0



RED IBEROAMERICANA
DE ACADEMIAS DE
INVESTIGACIÓN A.C.

SELLO EDITORIAL
INDAUTOR/ISBN
607-8617

Dublín 34
Fracc. Monte Magno
Xalapa, Ver.
C.P. 91193

**CERTIFICACIÓN EDITORIAL DEL LIBRO ELECTRÓNICO TÓPICOS DE
ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS PARA INGENIERÍA
(ISBN 978-607-8617-92-0)**

La Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C. con el sello editorial N° 607-8617 otorgado por la agencia mexicana de ISBN, hace constar que el libro electrónico **TÓPICOS DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS PARA INGENIERÍA** con ISBN 978-607-8617-92-0; es publicado por nuestro sello con fecha del 01 de diciembre de 2020 cumpliendo con todos los requisitos de calidad científica y normalización que exige nuestra política editorial.

Tópicos de administración de proyectos para ingeniería fue arbitrado bajo el sistema de administración y publicación de libros electrónicos OJS versión 3.2.0.3. del Public Knowled Project cuyo desarrollo promueve las tecnologías para el uso de la investigación académica. El proceso de arbitraje constó de dos etapas.

La primera revisión fue realizada por parte de la Secretaría Técnica de la REDIBAI. AC, en conjunto con el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca quien verificó que la propuesta cumpliera con los requisitos básicos establecidos: enfoque temático, extensión, apego a las normas de citación, estructura, formato, entre otros. Posteriormente el trabajo pasó a una primera lectura a cargo del Editor en Jefe que forma parte del Comité Editorial del sello editorial, quien determinó la pertinencia de la propuesta y decidió que cumplía con los requisitos de calidad académica. Esta fase se desarrolló en un tiempo de 15 días.

En la segunda etapa el trabajo se sometió al proceso de evaluación de pares académicos a través del procedimiento doble ciego, a cargo de árbitros anónimos especialistas en el tema pertenecientes a instituciones educativas a nivel nacional e internacional, lo que busca garantizar la calidad de las revisiones. Ningún veredicto de los dictaminadores fue contradictorio, por lo que no se recurrió a un tercer árbitro para tomar la decisión final de publicarlo, el resultado de este esfuerzo académico y científico fue aprobado. Este proceso comprendió de dos meses.



RED IBEROAMERICANA
DE ACADEMIAS DE
INVESTIGACIÓN A.C.

SELLO EDITORIAL
INDAUTOR/ISBN
607-8617

Dublín 34
Fracc. Monte Magno
Xalapa, Ver.
C.P. 91193

El proceso de evaluación de las dos etapas se desarrolló en un tiempo promedio de 2 meses y medio, iniciado desde el momento de su recepción el 24 de agosto de 2020, hasta la terminación del arbitraje el 07 de noviembre de 2020 y se publicó el 01 de diciembre de 2020 tomando en cuenta los criterios de originalidad, pertinencia, relevancia de los hallazgos, manejo de la teoría especializada, rigor metodológico, congruencia, claridad argumentativa y calidad de la redacción.

El cuerpo de arbitraje estuvo integrado por los cuerpos académicos pertenecientes al comité científico de la REDIBAI MyD y al comité científico del Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca

Todos los soportes concernientes a los procesos editoriales y de evaluación reposan en Editorial REDIBAI, las cuales ponemos a disposición de la comunidad académica interna y externa en el momento que se requiera.

Atentamente

Xalapa Enríquez, Veracruz, a 01 de diciembre de 2020

MTRO. DANIEL ARMANDO OLIVERA GÓMEZ

Editor

Secretario Ejecutivo de la REDIBAI A.C.



TÓPICOS DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS PARA INGENIERÍA

AUTORES

MARÍA DE LOURDES LÓPEZ CRUZ
JULIO CÉSAR FLORES CONTRERAS
MAGDALENA HERNÁNDEZ CORTEZ
NIVARDO CHÁVEZ RODRÍGUEZ
LOT ROJAS MORA



INDICE

GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN.....	9
TEMARIO.....	10

CONTENIDO

UNIDAD I CONCEPTOS DE LA ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS	15
1.1 Definición de proyectos.....	15
1.1.1 Características de un proyecto.....	16
1.1.2 Ejemplo de proyecto.....	17
1.1.3 Tipos de proyecto.....	18
1.2 Fases de la administración de proyectos.....	18
1.2.1 Planeación.....	18
1.2.2 Programación.....	19
1.2.3 Control.....	20
1.3 Planificación de los parámetros de un proyecto.....	21
1.3.1 Definición y alcance del proyecto.....	21
1.3.2 La estructura de la división del trabajo.....	23
1.3.3 Estimación de tiempos, costos y recursos.....	25
1.3.3.1Tiempo.....	26
1.3.3.2Costos.....	28
1.3.3.3Disponibilidad de recursos.....	32
1.4 Actividades del proyecto.....	34
1.4.1 Relaciones de precedencia.....	34
1.4.2 Relaciones secuenciales.....	35
1.4.2.1 Reglas para formar la tabla de secuencias.....	35
1.5 Control mediante Gráfica de Gantt.....	39
1.5.1 Metodología para representar un proyecto.....	39
1.5.2 Desventajas de la gráfica de Gantt.....	40
1.5.3 Ventajas de la gráfica de Gantt.....	41
1.6 Actividades de aprendizaje para el alumno.....	42
1.7 Ejercicios y respuestas.....	43
1.7. 1 Ejercicio de tablas de sucesión y grafica de Gantt.....	43
1.9 Autoevaluación.....	45

UNIDAD II REPRESENTACIÓN DE UN PROYECTO MEDIANTE UNA RED		
2.1. Redes de actividades.....		47
2.1.1 Elementos de una red.....		48
2.1.2 Elaboración de una red.....		49
2.1.3 Red con actividades en los nodos.....		50
2.1.3.1 Características de las redes con actividades en los nodos...		50
2.1.4 Red con actividades en las flechas.....		55
2.1.4.1 Reglas que se deben respetar para construir una red.....		58
2.1.4.2 Ventajas de la planeación y programación por redes.....		59
2.1.4.3 Algunas recomendaciones para construir la red son:.....		59
2.2 Análisis de redes de actividades		64
2.2.1 CPM.....		64
2.2.2 PERT.....		64
2.3 Cálculos de la ruta crítica.....		64
2.3.1 Determinación de la ruta crítica.....		65
2.3.1.1 Determinación de ruta crítica en red con actividades en los nodos.....		66
2.3.1.2 Determinación de las holguras para red con actividades en los nodos.....		72
2.3.1.3 Determinación de ruta crítica en red con actividades en las flechas (eventos).....		74
2.3.1.4 Determinación de las holguras para red con actividades en las flechas (eventos).....		79
2.4 Probabilidad de cumplimiento de la programación del proyecto.....		79
2.4.1 Pasos para realizar el método PERT.....		80
2.5 Actividades de aprendizaje para el alumno.....		86
2.6 Ejercicios y respuestas.....		88
2.6.1 Ejercicio de cálculo de la ruta crítica y holguras.....		88
2.6.2 Método PERT.....		90
2.7 Autoevaluación.....		93

UNIDAD III OPTIMIZACIÓN DE REDES DE ACTIVIDADES		95
3.1	Relaciones tiempo-costos.....	96
3.1.1	Concepto de costo contra tiempo.....	96
3.1.2	Método de reducción por ciclos.....	100
3.1.2.1	Pasos del método de reducción por ciclos.....	100
3.1.3	Método de aproximación de Siemens (SAM).....	114
3.1.3.1	Pasos del método SAM.....	114
3.2	Organización de los recursos.....	124
3.2.1	Asignación de recursos.....	124
3.2.2	Balanceo de recursos.....	125
3.2.2.1	Método Shaffer.....	125
3.2.2.2	Método Fondahl.....	134
3.3	Actividades de aprendizaje para el alumno.....	141
3.4	Ejercicios y Respuestas.....	142
3.4.1	Ejercicio de reducción de ciclos.....	142
3.5	Autoevaluación.....	146
 UNIDAD IV: PAQUETE COMPUTACIONAL PARA ADMINISTRAR PROYECTOS		
		149
4.1	Un problema ejemplo para CPM.....	151
4.2	Ingresando los datos del problema en modo gráfico.....	154
4.3	Estimando la ruta crítica en redes de proyectos mediante CPM.....	155
4.4	Ruta crítica usando tiempos normales.....	156
4.5	Ruta crítica usando tiempos normales en modo gráfico.....	157
4.6	Resumiendo las rutas críticas.....	158
4.7	Estado actual del proyecto.....	159
4.8	Ruta crítica usando tiempos de quiebre.....	160
4.9	Análisis de costos de ejecución.....	161
4.10	Modelos PERT.....	163
4.11	Estimando la ruta crítica.....	165
4.12	Probabilidad de cumplimiento de un proyecto.....	166
4.13	Actividades de aprendizaje para el alumno.....	167
4.14	Ejercicios y Respuestas.....	168
4.14.1	Ejercicio ruta crítica y holgura mediante el Software WinQSB.....	168
4.14.2	Ejercicio método PERT mediante el Software WinQSB.....	168
4.15	Auto evaluación.....	168

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 División del proyecto de la construcción de la bodega. Alternativa 1..	24
Figura 1.2 División del proyecto de la construcción de la bodega. Alternativa 2.....	25
Figura 1.3 Mano requerida en el tiempo.....	32
Figura 1.4 Grafica de Gantt del ejercicio 1.....	44
Figura 2.1 Representación de la actividad A.....	51
Figura 2.2 Actividades de inicio A y B.....	52
Figura 2.3 Agregando actividades C y D simultáneamente.....	53
Figura 2.4 Actividad E sucesora de las actividades D, B.....	53
Figura 2.5. Red de la cometa con actividades en los nodos.....	54
Figura 2.6. Representación de una actividad.....	55
Figura 2.7. Representación de una actividad ficticia.....	56
Figura 2.8 Actividades que pueden iniciarse simultáneamente.....	56
Figura 2.9. La actividad D tiene como prerequisites a las actividades predecesoras A, B y C.....	57
Figura 2.10. Las actividades B y C tienen la misma actividad predecesora (A) y la misma sucesora (D).....	57
Figura 2. 11 Las actividades D y E tienen una actividad predecesora común (A), sin embargo, también tienen predecesoras distintas (B y C).....	58
Figura 2.12 Actividades iniciales A y B.....	60
Figura 2.13. Agregando las actividades C y G.....	61
Figura 2.14. Agregando la actividad E.....	62
Figura 2.15. Se añade la actividad F.....	62
Figura 2.16. Se agrega la actividad G.....	63
Figura 2.17. Red para la elaboración de una cometa.....	63
Figura 2.18. Actividad A representada en un nodo, con tiempos primeros y últimos de inicio y terminación.....	66
Figura 2.19. Red de la cometa con actividades en los nodos.....	67
Figura 2.20. Red con los tiempos primeros y últimos de inicio para cada actividad del cometa y cálculo de la ruta crítica.....	71
Figura 2.21 Representación de la actividad (i, j) con las nomenclaturas definidas en los eventos o nodos.....	74
Figura 2.22 Red para la elaboración de una cometa, con los tiempos para cada actividad.....	75
Figura 2.23. Red con los tiempos primeros y últimos de inicio para cada evento de la cometa.....	78

Figura 2.24 Red para el proyecto del ejemplo 2.2.....	80
Figura 2.25 Muestra los tiempos y su camino crítico.....	82
Figura 2.26 Distribución normal para tiempos de terminación del ejemplo 2.2..	85
Figura 2.27 Fecha de terminación para 95% de confianza.....	85
Figura 2.28 Red con actividades en los nodos y su ruta crítica.....	89
Figura 2.29 Red con actividades en los nodos vacíos.....	91
Figura 2.30 Red con actividades en los nodos calculando la ruta crítica.....	92
Figura 3.1 Función de Compensación Costo- tiempo.....	98
Figura 3.2 Red original mostrando la duración del proyecto y la ruta crítica.....	103
Figura 3.3 Ruta crítica y nuevos valores de HL.....	105
Figura 3.4 Ruta crítica, nueva duración del proyecto y nuevos valores de HL	107
Figura 3.5 Red con reducción de 1 semana en G.....	109
Figura 3.6 Ruta crítica, nueva duración del proyecto y nuevos valores de HL ciclo 2.....	110
Figura 3.7 Red con reducción de 1 semana en A.....	112
Figura 3.8 Ruta crítica, nueva duración del proyecto y nuevos valores de HL ciclo 3.....	113
Figura 3.9 Red del problema de cinco actividades para aplicar el método SAM.....	118
Figura 3.10 Red para el método Shaffer.....	128
Figura 3.10A Grafica de Gantt para el método Shaffer.....	129
Figura 3.11 Red poniendo a B requisito de C.....	130
Figura 3.11A Grafica de Gantt para la figura 3.11.....	131
Figura 3.12 Red donde C requisito de E.....	132
Figura 3.12A Grafica de Gantt para la red de la figura 3.12.....	133
Figura 3.13 Red para el ejemplo 3.4.....	135
Figura 3.13 A Ejes de la gráfica de Gantt.....	136
Figura 3.14 Grafica de la actividad A.....	137
Figura 3.15 Actividades programadas A y B.....	137
Figura 3.16 Programación de actividades B después de A.....	138
Figura 3.17 Se programa la actividad C.....	138
Figura 3.18 Se programa la actividad E.....	139
Figura 3.19 Se agrego a la gráfica la actividad F.....	139
Figura 3.20 Se agrego la actividad D.....	140
Figura 3.21 Programación final del proyecto con sus respectivos recursos.....	141
Figura 3.22 Red de reducción de ciclos.....	143
Figura 3.23 Red del ensayo reduciendo B 1 semana.....	144
Figura 3.24 Red del 1 ciclo reduciendo B 5 semanas.....	145

Figura 4.1 Muestra los datos generales del proyecto.....	149
Figura 4.2 Diferentes distribuciones probabilísticas.....	151
Figura 4.3 Datos del ejercicio.....	152
Figura 4.4 Especificaciones del problema.....	152
Figura 4.5 Ventana para agregar los nodos (actividades) del proyecto.....	154
Figura 4.6 Datos correspondientes a la actividad que representa.....	155
Figura 4.7 Red completa del ejercicio.....	155
Figura 4.8 Menú resolver y analizar.....	156
Figura 4.9 Análisis de la actividad gráfica.....	157
Figura 4.10 Red con actividades críticas.....	158
Figura 4.11 Menú de actividades que debieron ser ejecutadas.....	159
Figura 4.12 Menú de resultados y análisis de desempeño.....	161
Figura 4.13 Probabilidad de terminación del proyecto.....	167

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Actividades para la construcción de una bodega. Alternativa 1.....	23
Tabla 1.2 Actividades para la construcción de una bodega. Alternativa 2.....	24
Tabla 1.3 Construcción de una bodega. Alternativa 1, con actividades predecesoras.....	36
Tabla 1.4 Tabla de secuencia para la construcción de una bodega. Alternativa 1.....	36
Tabla 1.5 Construcción de una bodega. Alternativa 2, con actividades predecesoras.....	37
Tabla 1.6 Tabla de secuencia para la construcción de una bodega. Alternativa 2.....	38
Tabla 1.7 Actividades de aprendizaje.....	42
Tabla 1.8 Datos del ejercicio 1.....	43
Tabla 1.9 Tabla de secuencia para el mantenimiento de un clima.....	43
Tabla 1.10 Datos del ejercicio 2.....	44
Tabla 1.11 Tabla de secuencia para el ejercicio 2.....	45
Tabla 1.12 Datos del problema de autoevaluación.....	46
Tabla 2.1 Actividades para construir una cometa.....	52
Tabla 2.2 Asignación de tiempos a cada una de las actividades.....	67
Tabla 2.3 Muestra los tiempos necesarios para la realización del método PERT.....	80
Tabla 2.4 Cálculo del tiempo esperado y varianza para cada actividad.....	81
Tabla 2.5 Actividades de aprendizaje de la unidad II.....	86
Tabla 2.6 Actividades del ejercicio 1.....	88
Tabla 2.7 Información para la realización del ejercicio PERT.....	90
Tabla 2.8 Cálculo del tiempo esperado y varianza del ejercicio PERT.....	91
Tabla 2.9 Información del ejercicio de autoevaluación II.....	94
Tabla 3.1 Un pequeño proyecto de mantenimiento consta de siete tareas. A continuación, se dan los datos.....	102
Tabla 3.2 Muestra las reducciones del proyecto y sus costos totales.....	114
Tabla 3.3 Datos normales y de reducción para el problema de cinco actividades.....	117
Tabla 3.4 Posibles rutas y su duración.....	119
Tabla 3.5 Rutas a acortarse.....	119
Tabla 3.6 Cálculo del PR y CM de cada actividad.....	120
Tabla 3.7 Matriz de costo – tiempo.....	120
Tabla 3.8 Contiene los CME de cada actividad.....	121

Tabla 3.9 Primera iteración de acortamiento.....	123
Tabla 3.10 Todos los ciclos de acortamiento del problema.....	123
Tabla 3.11 Con cinco actividades y dos tipos de recursos limitados, designados como R1 Y R2.....	128
Tabla 3.12 Datos para el ejemplo del método Fondahl.....	134
Tabla 3.13 Actividades de aprendizaje de la unidad III.....	142
Tabla 3.14 Muestra los datos necesarios para el ejercicio de reducción de ciclos.....	143
Tabla 3.15 Datos para el ejercicio de autoevaluación Unidad III método SAM.	146
Tabla 3.16 Datos para el ejercicio de autoevaluación Unidad III método SHAFFER.....	147
Tabla 4.1 Información disponible de cada actividad.....	153
Tabla 4.2 Actividades críticas.....	156
Tabla 4.3 Duración y costo del proyecto.....	157
Tabla 4.4 Actividades de la ruta crítica.	158
Tabla 4.5 Introducción de datos.....	159
Tabla 4.6 Menú para resolver ruta crítica con tiempo de quiebre.....	160
Tabla 4.7 Resumen de la solución del ejercicio 4.1.....	160
Tabla 4.8 Nueva ventana de análisis de desempeño.....	161
Tabla 4.9 Ejecución del proyecto en 29 días.....	162
Tabla 4.10 Tiempo ideal para ejecutar las actividades.....	163
Tabla 4.11 Datos del ejemplo 4.2.....	164
Tabla 4.12 Especificación del problema.....	164
Tabla 4.13 Ventana para ingresar tiempos.....	165
Tabla 4.14 Ruta crítica del problema 4.2.....	166
Tabla 4.15 Actividades de aprendizaje de la unidad IV.....	168
Tabla 4.16 Datos del ejercicio de autoevaluación IV.....	168

INTRODUCCIÓN

En la actualidad toda industria, empresa u organización de servicio se halla en un proceso de restauración para lograr un funcionamiento más eficaz en un mundo cada vez más competitivo, en cada segmento de la organización se acrecienta la intensidad de abatir los costos y los tiempos de sus procesos productivos; la costeabilidad o efectividad en los costos, es el resultado final de la aplicación de la administración de proyectos, esta utilización es el factor para el mejoramiento en la productividad en una compañía, una planta industrial o una institución de servicios, por eso se buscan desarrollar nuevos métodos, que nos sirvan para optimizar, controlar los costos y tiempos de operación mediante la planeación adecuada de las actividades de un proyecto.

Esta antología se concentra en la solución de problemas prácticos que por lo general se encuentran los ingenieros industriales o personas encargadas de la administración, la gerencia, etc. la antología presupone conocimientos del método, así como la planificación, estimación, cálculo de los costos, con base a esto se explica la técnica de minimización de tiempos totales de proyectos, tales como el método de la ruta crítica o CPM (Crítical Path Method) y la técnica de evaluación y revisión de programas o PERT (Program Evaluation and Review Technique), dentro de éstos se contemplan métodos que nos permiten analizar proyectos en los cuales se considera que los recursos son limitados e ilimitados, a su vez utiliza la aplicación de un Software para la solución de problemas de este tipo.

TEMARIO

1.- DATOS DE LA ASIGNATURAS

<p>Nombre de la signatura: Administración de Proyectos</p> <p>Carrera: Ingeniería industrial</p> <p>Clave de la asignatura: INU-0401</p> <p>Horas teoría-horas prácticas-créditos: 1 2 4</p>
--

2.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones (cambios y justificación)
Instituto Tecnológico de Celaya del 11 al 15 de agosto 2003.	Representante de las academias de ingeniería Industrial de los Institutos Tecnológicos.	Reunión Nacional de Evaluación Curricular de la Carrera de Ingeniería Industrial
Instituto tecnológico de Matamoros del 2003.	Academias de Ingeniería Industrial y Económico Administrativo.	Análisis y enriquecimiento de las propuestas de los programas diseñados en la reunión nacional de evaluación.
Instituto tecnológico de La Laguna del 26 al 30 de abril 2004.	Comité de Consolidación de la carrera de Ingeniería Industrial.	Definición de los programas de estudio de la carrera de Ingeniería Industrial.

3.- UBICACIÓN DE LA ASIGNATURA

a).- Relación con otras asignaturas del plan de estudio

Anteriores	
Asignatura	Temas
Probabilidad	Distribución Normal
Posteriores	
Asignatura	Temas
Administración Gerencial	Proceso administrativo

b).- Aportación de la asignatura al perfil del egresado

- Analiza y determina actividades, secuencias, tiempos y costos para la realización de un proyecto.
- Organiza, planea, controla e informa para la toma de decisiones acerca del proyecto

4.- OBJETIVO(S) GENERAL (ES) DEL CURSO

Planeará, organizará, integrará recursos, dirigirá y controlará un proyecto en tiempo y costo

5.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Conceptos de la administración de Proyectos	1.1 Definición de proyecto 1.2 Fases de la administración de proyectos 1.3 Planificación de los parámetros de un proyecto 1.3.1 Definición y alcance del proyecto 1.3.2 La estructura de la división del trabajo 1.3.3 Las especificaciones del proyecto 1.3.4 Estimación de tiempos, costos y recursos 1.4 Actividades del proyecto 1.4.1 Relaciones de precedencia 1.4.2 Relaciones de secuencia 1.5 Matriz de asignación de responsabilidades 1.6 Control mediante gráfica de Gantt
2	Representación de un proyecto mediante una red	2.1 Redes de actividades 2.1.1 Elementos de una red 2.1.2 Red con actividades en nodos 2.1.3 Red con actividades en las flechas 2.2 Análisis de redes de actividades 2.2.1 CPM 2.2.2 PERT 2.3 Cálculos de la ruta crítica 2.3.1 Determinación de la ruta crítica 2.3.2 Determinación de las holguras 2.4 Probabilidad de cumplimiento de la programación del proyecto
3	Optimización de redes de actividades	3.1 Relaciones tiempo-costos 3.1.1 Conceptos de costo contra tiempo 3.1.2 Método de reducción por ciclos 3.1.3 Método aproximado de Siemens (SAM) 3.2 Organización de los recursos. 3.2.1 Asignación de recursos 3.2.2 Balanceo de recursos
4	Control y Cierre del proyecto	4.1 Control: importancia y métodos de control 4.1.1 Gráficas de avance 4.1.2 Gráfica de rendimiento 4.2 Cierre del proyecto 4.2.1 Objetivo del cierre del proyecto 4.2.2 Aceptación del proyecto 4.2.3 Informe de cierre del proyecto 4.2.4 Evaluación y retroalimentación

6.- APRENDIZAJES REQUERIDOS

- Conocer la distribución normal y cálculos de probabilidad.
- Conocer las características del proceso administrativo
- Conocer los conceptos principales de costos fijos y variables

7.- SUGERENCIAS DIDACTICAS

- Propiciar la búsqueda y selección de la información previa a la clase, de los temas del programa
- Representar un proyecto de la vida real, por medio de un grafica de Gantt y de una red en todos sus componentes de costo y tiempo, antes y después de la reducción del tiempo.
- Realizar ejercicios en equipo al termino de cada tema
- Utilizar paquetes computacionales de aplicación

8.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

- Participar en clases
- Cumplir con las tareas y ejercicios
- Realizar trabajos de investigación
- Presentar exámenes orales y escritos
- Presentar avances del proyecto
- Exponer el proyecto final

9.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

Unidad 1.- Conceptos de la administración de Proyectos

Objetivo Educacional	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
Conocerá los conceptos básicos de la administración de proyectos y la forma de lograr los objetivos	1.1 Buscar y seleccionar información previa a la exposición del tema. 1.2 Aplicar la división del trabajo definiendo su especificación, costo, tiempo y recursos requeridos mediante ejemplos. 1.3 Aplicar la gráfica de Gantt en un cronograma de actividades mediante ejercicios que el educando realiza.	1, 2, 3, 8, 12

Unidad 2.- Representación de un proyecto mediante una red.

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
Desarrollará la red de las actividades y sus relaciones, de un proyecto, identificando las actividades críticas en tiempo y costo.	2.1 Buscar y seleccionar información previa a la exposición del tema. 2.2 Resolver ejercicios elaborando redes de actividades de proyectos que el educando desarrolla. 2.3 Resolver ejercicios en forma gráfica y analítica por parte del educando.	3, 7, 9, 11

Unidad 3.- Optimización de redes de actividades

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
Aplicará las técnicas de comprensión de redes para la optimización de recursos	3.1 Buscar y seleccionar información previa a la exposición del tema. 3.2 Resolver ejercicios mediante métodos de comprensión de redes para la optimización de que incluyen la programación y el balanceo de recursos cuando estos estén limitados.	2, 5, 11

Unidad 4.- Control y Cierre del proyecto

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
Elegirá el método de control del proyecto y tomará las decisiones adecuadas para el logro de los objetivos. Elaborará el informe final del proyecto.	4.1 Buscar y seleccionar información previa a la exposición del tema. 4.2 Resolver ejercicios en los que se elaboren las gráficas de avance y rendimiento del proyecto por parte del educando 4.3 Resolver ejercicios en forma gráfica y analítica por parte del educando.	1, 4, 6, 10

10.- FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Angus, Robert B y Gudersen, Norman A.
“Planning, performing and controlling projects”
Prentice Hall. N.J. 1997
2. Baker, Sunny
“Administre sus proyectos”
Prentice Hall. México
3. Cleland, D. I.M

11.- PRÁCTICAS

- Desarrollar un proyecto propuesto por el alumno
- Elaborar proyectos mediante el uso del software apropiado

UNIDAD I

I. CONCEPTOS DE LA ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

COMPETENCIA DE LA UNIDAD: El alumno al final de la unidad conocerá los conceptos básicos de la administración de proyectos y la forma de lograr los objetivos.

1.1 DEFINICIÓN DE PROYECTOS

Los proyectos pequeños, grandes y/o complejos son realizados en la mayoría de las empresas ya sea para la producción de bienes u ofrecer servicios. Los proyectos nacen para satisfacer necesidades y en ellos se pone en juego la creatividad, así como la racionalidad para el óptimo aprovechamiento de los recursos.

La técnica de trabajar por proyectos es usada cuando se requiere producir productos únicos, como una obra de arte, un edificio, un puente, una película, etc. cuando se trabaja por proyecto, no existe un flujo del producto como en el caso de la producción continua, sin embargo, existe una secuencia lógica y técnica de operaciones que contribuyen al logro de los objetivos definidos del proyecto.

Un astillero requiere de miles de tareas para poder lograr la construcción de un buque tanque, el cual requiere meses para poderse construir. La construcción de un centro comercial es un proyecto grande y complejo que requiere muchas tareas, dinero, tiempo y hombres para su realización. El logro de dichos proyectos no es fácil, ya que existe un gran número de relaciones e interpretaciones de todas las actividades que lo componen.

Definición: Es un conjunto de actividades únicas, relacionadas entre sí de acuerdo con una secuencia funcional y lógica que tiene un inicio y un fin, encaminada al logro de un objetivo.

Dentro de la literatura de la administración de proyectos podemos encontrar varias definiciones del término proyecto, pero hay ciertas características que los identifican y diferencian de otros tipos de procesos, dichas características se mencionan a continuación.

1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE UN PROYECTO

- Tiene un principio y un fin determinado.
- Único: no se repetirá.
- Importante. Es una obra de envergadura por lo que requiere una cantidad significativa de los recursos disponibles, o bien, el producto final será muy relevante para los objetivos y estrategias de la organización general.
- Complejo. Requieren múltiples y diversas actividades o acciones individuales interrelacionadas entre sí, todas ellas encaminadas al logro de objetivo del proyecto.
- Su capacidad para variar productos es muy alta.
- Establece requisitos generales propios.

Las empresas emprenden en mayor o menor grado proyectos con las características mencionadas anteriormente. En algunas empresas los proyectos se realizarán esporádicamente y para algunas otras el hecho de trabajar con proyectos es algo muy normal.

1.1.2 EJEMPLO DE PROYECTOS

- Construcción de un hotel.
- Construcción y equipamiento de un centro de cómputo.
- Manufactura de barcos.
- Manufactura de aviones.
- Producción de una película
- Lanzamiento de un nuevo producto al mercado.
- Proyecto de investigación.
- Construcción de un puente.
- Colocación de un satélite.
- Mantenimiento de una planta productiva.
- Construcción de un aeropuerto.

Los proyectos consisten en un número determinado de actividades, las cuales deben realizarse unas después de que se han terminado otras, algunas en forma simultánea, de acuerdo con una secuencia lógica y funcional que tiene un inicio y un fin.

Todo proyecto debe ser terminado en un tiempo específico, con la calidad requerida y a un costo óptimo, utilizando recursos físicos, económicos y humanos junto a las técnicas apropiadas para el logro de dichos proyectos.

Una vez que se toma la decisión de llevar a cabo un proyecto, se le asigna la responsabilidad a una persona, que de aquí en adelante llamaremos el administrador del proyecto.

1.1.3 TIPOS DE PROYECTOS

- Proyectos de inversión
- Proyectos de gestión
- Proyectos de investigación y desarrollo
- Proyectos de investigación aplicada
- Proyectos educativos
- Proyectos institucionales
- Proyectos gubernamentales.

1.2 FASES DE LA ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

La administración de grandes proyectos involucra tres fases:

- **Planeación.**
- **Programación.**
- **Control.**

1.2.1 PLANEACIÓN

La fase de la **planeación** se refiere a las decisiones que se toman al inicio, Una vez detectado el programa o la oportunidad que se nos presenta, es cuando decidimos realizar el proyecto.

La planeación comienza con el establecimiento del objetivo del proyecto, para que posteriormente se pueda definir el trabajo y fraccionarlo en actividades. Aquí se estiman los recursos necesarios y se sitúa al administrador del proyecto y al equipo de trabajo. El equipo es integrado por varios departamentos de la organización y puede incluir personal de tareas como: ingeniería, producción, mercadotecnia y contabilidad. La definición del proyecto implica identificar las variables controlables y no controlables involucradas, estableciendo los límites de este.

Actividades que lo conforman:

- Establecer el o los objetivos del proyecto.
- Definir el proyecto.
- Nombrar el personal clave.
- Organizar el equipo de trabajo.
- Definir las tareas importantes.
- Establecer criterios de desempeño.
- Estimar los recursos materiales y financieros.

1.2.2 PROGRAMACIÓN

La fase de **Programación** es donde asignamos tiempos, recursos físicos y humanos a cada una de las actividades del proyecto. Esta fase comienza con la elaboración de una lista de todas las actividades del proyecto. Se debe seleccionar el método a usar en la fase de programación, haciendo una compensación entre los métodos sofisticados y el costo. Posteriormente se estiman la duración de cada una de las actividades y se ordenan en su secuencia lógica para que formen una red a partir de la cual se obtiene el programa. En esta fase también se asignan los recursos necesarios para la realización de cada una de las actividades.

Los requerimientos de recursos son mejor administrados dando atención especial a las necesidades del personal, materiales y financieras.

Cada una de las gráficas que se usarán, ofrecen algún medio para comparar los niveles reales con los planeados. Las gráficas por computadora pueden proporcionar ese tipo de datos con bases de tiempo real, a cualquier nivel de detalle que el administrador del proyecto considera apropiado.

Actividades que la conforman:

- Estimar los tiempos para cada actividad.
- Establecer la secuencia de las actividades del proyecto.
- Asignar el personal a cada tarea.
- Asignar los recursos materiales y financieros para cada actividad.
- Seleccionar las herramientas técnico-administrativas a usar.

1.2.3 CONTROL

La fase de **Control** nos permite ver el avance del proyecto y del consumo de recursos. Se compara lo real contra lo planeado en cuanto a tiempo, costo y desempeño de acuerdo con el plan del proyecto. Cuando se presentan desviaciones considerables deberán tomarse acciones correctivas. El uso de algún software nos permite hacer la supervisión en forma casi continua.

Algunas acciones correctivas pueden ser: incluir revisión del plan, reasignación de fondos, cambios de personal u otros cambios de los recursos, de tal manera que el proyecto vuelva a ser factible y realista.

Actividades que la conforman:

- Fijar sistemas de información
- Desarrollar estándares.
- Monitorear el avance del proyecto para revisión y actualización.
- Medir resultados.
- Tomar medidas correctivas.
- Premiar los buenos resultados.

1.3 PLANIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UN PROYECTO

Como se dijo anteriormente, el proyecto está formado por un conjunto de actividades. Una parte muy importante en la planeación es identificar correctamente cada una de estas actividades. La identificación de las actividades y sus interrelaciones requiere un análisis del proyecto y muchas decisiones son hechas tomando en cuenta los recursos a ser usados y la secuencia de los elementos del proyecto. Los términos comúnmente usados como sinónimo de actividad son “tareas” y “trabajo”. Esta parte de la planeación no es fácil, ya que implica un análisis exhaustivo del proyecto para poder dividirlo en tareas que estén bien identificadas por el personal involucrado en el desarrollo de este, así como asignar y responsabilizar al equipo de trabajo por las tareas que le corresponde realizar.

1.3.1 DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO

Definición de actividad: Una actividad es cualquier porción de un proyecto la cual consume tiempo y/o recursos y tiene bien definido su inicio y su final.

Las actividades pueden incluir trabajo físico, trabajo de escritorio, negociaciones contractuales, operaciones con máquinas, etc.

No existe una forma para decir que tan grande o pequeña debe ser una actividad, tampoco existe una manera óptima de dividir el proyecto en actividades, eso depende del grado de detalle al que se desea realizar la planeación. Si el número de actividades en que se descompone del proyecto es muy grande se tendrá una planeación muy a detalle.

Alguna de las pautas a seguir para definir una actividad son las siguientes:

- 1.- Cada tarea debe tener un inicio y un fin bien definidos en el concepto del proyecto.
- 2.- La determinación de cada actividad debe ser necesaria para la conclusión del proyecto.
- 3.- Debe haber algunas personas responsables de la conclusión de cada actividad.
- 4.- Todas las relaciones entre las actividades habrán de ser explícitas.

La definición de las actividades es muy importante para el logro del proyecto, ya que es aquí donde empezamos a construir el camino que tendremos que seguir para lograr la realización del proyecto. El tiempo que le dediquemos a esta etapa se reflejará en una mejor planeación, coordinación y programación. Es importante que el administrador del proyecto y el personal que va a definir las tareas tengan los conocimientos técnicos para la realización de este. La división del trabajo en actividades debe ser hecha por personal con alto grado de conocimientos técnicos y experiencia en proyectos similares, de manera que se pueda hacer una relación de todas las actividades necesarias para la conclusión del proyecto.

Es necesario que además de tener la relación se tenga una descripción de cada una de las actividades que permita comprender su contenido, las condiciones de ejecución y la importancia de estas.

Se debe tener en cuenta que a mayor detalle de la planeación se tendrá más actividades, facilitando la programación y el control del proyecto, siempre y cuando no se caiga en demasiadas actividades, de manera que sea contraproducente y se pierda el control del proyecto total.

1.3.2 LA ESTRUCTURA DE LA DIVISIÓN DEL PROYECTO (NIVEL DE TALLE)

El nivel de detalle en la planeación ha sido asociado con preguntas de seguridad y economía en la presentación del proyecto. Hay muchos otros factores involucrados en la determinación más apropiada del nivel de detalle. En consideración, cualquier actividad con miras a ampliarse, condensarse o eliminarse, el programador debe de hacerse las siguientes preguntas para poder tomar la decisión:

1. ¿Quién usara la red y cuáles son sus intereses y nivel de control?
2. ¿Es posible ampliar una actividad en más detalle?
3. ¿Hay áreas de responsabilidad involucradas en la actividad las cuales deben de tratarse más a detalle?
4. ¿La seguridad de la lógica o la estimación del tiempo se ve afectada a mayor o menor detalle?

Estas preguntas son solamente una guía para las decisiones que deban de tomarse en cada caso. Generalmente después de trabajar con una o más redes la persona desarrolla cierta habilidad para determinar el nivel de detalle apropiado. No existen reglas para determinar el nivel de detalle óptimo.

En el ejemplo siguiente veremos diferentes niveles de detalle.

Ejemplo 1.1 Actividades para la construcción de una bodega. Alternativa 1.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
A	Proyecto arquitectónico
B	Compra de materiales.
C	Trazo del terreno.
D	Cimientos.
E	Firme de piso.
F	Columnas de perfecto armado.
G	Colocar estructura de acero.
H	Levantar muros de block
I	Colocar techo de lamina
J	Colocar ventanas y puertas
K	Instalación eléctrica
L	Pintura

Tabla 1.1 Actividades para la construcción de una bodega. Alternativa 1

Representación gráfica de la división del proyecto.

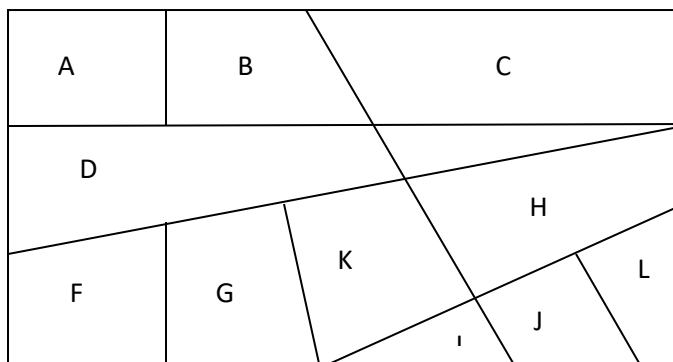


Figura 1.1 División del proyecto de la construcción de la bodega. Alternativa 1

El plan se puede realizar a más detalle, en el siguiente ejemplo se considera la construcción de la bodega desglosando en más actividades el proyecto.

Ejemplo 1.2 Actividades para la construcción de una bodega. Alternativa 2.

Tabla 1.2 Actividades para la construcción de una bodega. Alternativa 2

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
A	Proyecto arquitectónico
B	Tramitar permisos legales
C	Compra de materiales
D	Construir bodega para materiales
E	Acondicionar el terreno
F	Trazo
G	Excavación para cimientos
H	Cimientos
I	Relleno
J	Firme de piso
K	Fabricación de estructura de acero
L	Columnas de concreto
M	Colocar estructura de acero
N	Levantar muros de block
O	Colocar techo de lamina
P	Colocar ventanas y puertas
Q	Colocar vidrios
R	Instalación eléctrica
S	Pintar bodega
T	Limpieza general

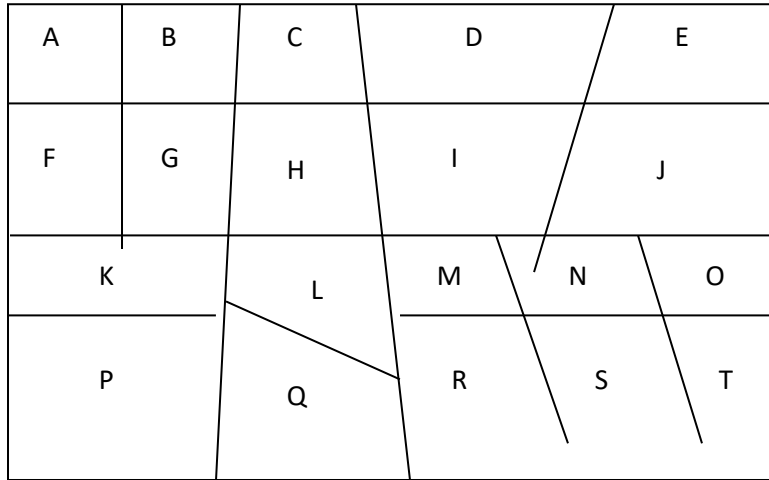


Figura 1.2 División del proyecto de la construcción de la bodega. Alternativa 2

Como se podrá observar, el número de actividades en que se puede dividir el proyecto depende del grado de detalle que se desee. En la construcción de la bodega para la alternativa 1 tenemos 12 actividades, mientras que para la alternativa 2 tenemos 20 actividades, son más actividades que para la alternativa 1, lo cual quiere decir que el proyecto tiene un análisis más detallado y a mayor número de actividades se requerirá mayor trabajo y esfuerzo para coordinarlas.

1.3.3 ESTIMACIÓN DE TIEMPOS, COSTOS Y RECURSOS

Una vez hecha la división del proyecto en actividades, se procede a planificar los tres parámetros de un proyecto: tiempos, costo y recursos.

Estos datos los podemos obtener de diferentes fuentes, por ejemplo:

- Datos de actividades similares realizadas anteriormente
- Estudios de tiempos previos.
- Experiencia ajuicio propio, etc.

Las estimaciones no son fáciles sino por el contrario, resulta difícil hacerlas.

1.3.3.1_ *Tiempo*

Para estimar el tiempo de cada una de las actividades de un proyecto, comúnmente nos basamos en los tiempos de actividades iguales o similares. Si nosotros tomamos tiempo actual para desarrollarlo como una variable aleatoria, entonces tenemos actividades que tal vez nunca han sido desarrolladas y contienen un número considerable de elementos.

Estas actividades son llamadas actividades variables (probabilística) y tienen como característica una variación relativamente grande en su tiempo de ejecución actual. Ejemplo de este tipo de actividades son: el diseño o desarrollo de un nuevo producto o la tarea de construir puentes al aire libre durante la estación de lluvias. De otra manera estamos hablando de actividades de tipo determinístico, donde el tiempo medio de ejecución se conoce con precisión.

Algunas características acerca de la duración de una actividad

La duración de una actividad cualquiera depende esencialmente de los siguientes factores de ejecución:

- a).- Cantidad y calidad de los recursos que se apliquen a la ejecución de la actividad.
- b).- Métodos de ejecución utilizados.
- c).- Condiciones en que se ejecute.

Si fuese posible repetir la actividad en cuestión conservando los factores anteriores, la duración de la actividad sería la misma, en este caso estaríamos hablando de actividades de tipo de determinístico, donde el tiempo de ejecución se conoce con precisión y su varianza es despreciable. Ejemplo de actividades determinísticas son: establecer operaciones de mantenimiento y trabajos de construcción.

En el caso de otro tipo de proyectos, la estimación de las actividades se hace en forma directa. Dada una cantidad definida de trabajo y el tamaño de la cuadrilla disponible, el tiempo requerido para realizar el trabajo se determina dividiendo su cantidad entre la productividad de la cuadrilla. La productividad implica la tasa esperada o promedio del trabajo realizado por unidad de tiempo, ésta se obtiene de una de las tres fuentes: registros publicados sobre productividad, las propias tablas sobre productividad obtenidas de proyectos pasados o la experiencia acumulada de los ingenieros responsables del proyecto.

Sin embargo, la experiencia demuestra la presencia ineludible de factores que dependen del pasado en los tres factores de ejecución anteriores, lo que da como resultado que el tiempo de duración de la actividad sea del tipo probabilístico. La variabilidad depende del grado de control que se tenga de los factores de ejecución.

Determinación de la distribución de probabilidad de la duración de una actividad.

La distribución de probabilidad de la duración de una actividad, de acuerdo con los factores de ejecución mencionados anteriormente, puede determinarse mediante uno de los dos procedimientos siguientes:

- a) Repetir la actividad un número suficiente de veces y hacer un análisis estadístico de las duraciones observadas.
- b) Suponer la distribución de probabilidad y hacer una estimación de los parámetros de esta, con base en ciertas duraciones estimadas por especialistas en la ejecución de la actividad.

El procedimiento **a)** es el único realmente confiable; sin embargo, con frecuencia sólo es factible emplearlo cuando la actividad forma parte de un proceso repetitivo. La mayoría de las veces hay necesidad de recurrir al procedimiento **b)**, en cuyo

caso se tiene una infinidad de distribuciones que pueden elegirse. En la unidad 2 se describe una forma para determinar la distribución de probabilidad con la finalidad de usarla en el método PERT.

El obtener una estimación razonable de la duración de la actividad es vital para la exactitud global del programa de fechas. Las duraciones se estiman en horas, turnos, días, semanas o meses, dependiendo de la naturaleza del proyecto. Mientras más información se tenga disponible con respecto a los detalles del proyecto más exacta será la duración estimada de sus actividades.

1.3.3.2 Costos

Los costos asociados con un proyecto pueden ser clasificados en directos o indirectos, para ciertos propósitos.

Los **costos directos**, típicamente incluyen materiales y mano de obra directa; o si el trabajo es ejecutado por una empresa exterior, los costos directos son tomados como los precios de subcontratación.

Los costos relacionados con la duración del proyecto como un todo, son los **costos indirectos**, aquí entra todo costo de aquello que es indispensable para la realización del proceso pero que no intervienen directamente en la ejecución de las actividades, estos pueden abarcar costos de supervisión y otros comúnmente incluidos, tales como los intereses cargados sobre la inversión del proyecto y costos de penalización por no terminarlo en la fecha señalada, impuestos, permisos, gratificaciones, servicios legales y médicos.

El costo directo de un proyecto es con frecuencia aproximadamente proporcional a la duración de este.

El problema **tiempo-costo**, está encaminado a la tarea de determinar un programa de todas las actividades del proyecto, las cuales deben considerar explícitamente ambos tipos de costos, directos e indirectos.

Muchas industrias (notablemente la industria de la construcción) normalmente asumen que el mejor tiempo de realización para una actividad específica es aquel que minimiza los costos directos totales de ejecución de la actividad. Este tiempo es usualmente más grande que el tiempo mínimo requerido para cumplir la actividad, porque la utilización de trabajo en tiempo extra o equipo y materiales más caros son excluidos por el requisito de mínimo costo directo. Una razón por la que algunas políticas conservadoras existen hoy es sin duda la falta de un procedimiento de planeación y programación. Las siguientes son buenas razones por las cuales al seleccionar el tiempo de ejecución de la actividad que minimiza el costo directo no es óptima, por lo que gradualmente desaparecerá.

- 1) Durante la realización de un proyecto, por ejemplo, la construcción de una carretera o el desarrollo de un nuevo proyecto, los recursos son ocupados en una forma poco común. Desde el punto de vista del valor del dinero en el tiempo, esto representa un gasto que se incrementa rápidamente tanto como se incrementa el tiempo requerido para terminar el proyecto. No hay una buena razón de que el gasto de terminar tarde o la utilidad de terminar temprano no deba ser dividida explícitamente entre el contratista y el contratante.
- 2) Puesto que los costos indirectos asociados con un proyecto se incrementan con el tiempo, usualmente en forma lineal, es ventajoso desde el punto de vista de la compañía realizar el trabajo para reducir el tiempo requerido para terminar el proyecto.

- 3) Con el advenimiento del método del camino crítico (CPM), el problema tiempo-costo, puede ser determinado con suficiente anticipación y seguridad para ser usados en una propuesta o concurso.

Por las características del método del camino crítico una relación segura puede ser desarrollada entre los costos directos y el tiempo requerido para completar el proyecto. Entonces una curva de costos totales puede ser obtenida agregando los costos indirectos. Normalmente la curva de costo total alcanzará un mínimo en algún tiempo de la duración normal del proyecto.

Técnicas de costeo de los proyectos.

El costeo en los proyectos no es sino la base primaria para el desarrollo de los presupuestos de los que partirán los planes formales escritos en términos monetarios. Determinar la trayectoria futura que se piensa seguir o lograr para algún aspecto del proyecto, como pueden ser los costos de construcción y arranque, de producción, los gastos de administración y ventas, los costos financieros, etcétera.

El presupuesto en el contexto del proyecto de inversión se refiere a la cuantificación monetaria de las operaciones a futuro, teniendo como marco de referencia las premisas establecidas en el estudio de mercado y en el estudio técnico. Persigue el propósito de demostrar una visión objetiva de los movimientos de ingreso y egreso que se generan al realizar la ejecución, puesta en marcha y operación del proyecto.

En particular cada presupuesto se puede elaborar a precios corrientes o a precios constantes. Ambos tipos de precios son útiles, ya que en los precios corrientes se pueden prever situaciones relacionadas con la liquidez del proyecto, y los precios constantes son las bases para evaluar la rentabilidad.

Los precios corrientes son los precios de mercado o nominales. Se toman en un momento determinado para valorar los insumos y los productos del proyecto. Estos precios se ven afectados a futuro por las estimaciones del comportamiento de la inflación. En contraste, el uso de precios constantes supone, de manera implícita, que la inflación futura afectará de manera similar tanto a los precios de venta de los productos como a los de adquisición de insumos, de tal forma que no habrá cambios de precios relativos entre ellos.

Alternativamente, se pueden utilizar precios constantes que contemplen variaciones discretas en el tiempo únicamente para un reducido grupo de insumos o de productos, lo cual supone que si habrá modificaciones en los precios relativos para los productos. En estos casos es necesario establecer explícitamente las hipótesis correspondientes, ya que de otra manera se contará con pocos elementos para considerar la rentabilidad del proyecto.

Proceso inicial de costeo:

1.- Construcción de la matriz de insumos, la cual comprende tres tipos de entradas básicas:

- Generadas directamente, cuya decisión recae en los promotores del proyecto.
- Generada por ponderación de alternativas, para lo cual se recomienda el uso y aplicación de árboles de decisión.
- Generadas por presupuestación mediante el uso del método de precios unitarios, cuya aplicación se centra en los procesos de construcción o fabricación.

2. – Análisis de alternativas y cotización de estas.

3.- Desarrollo de presupuesto de obra y fabricación, de acuerdo con las bases del diseño generado por el estudio de factibilidad.

4.- Proyección de la obtención y aplicación de los recursos en el ciclo de vida del proyecto mediante presupuesto de caja.

El ingeniero de costos es quien se dedica a estimar, pronosticar, reducir y controlar los costos de capital para que mejoren continuamente la factibilidad económica.

1.3.3.3 Disponibilidad de recursos.

Todos los métodos de camino crítico (CPM), enfatizan el desarrollo de un plan y un programa factible para determinar el proyecto. La red del plan claramente visualiza las actividades del proyecto y su orden de ejecución. Por la añadidura de los tiempos estimados para la realización de cada actividad, estas pueden ser calendarizadas. La calendarización proporciona un medio conveniente para checar el programa con respecto a la utilización del personal y de algún otro recurso. Un ejemplo de tal chequeo se muestra en la figura 1.3.

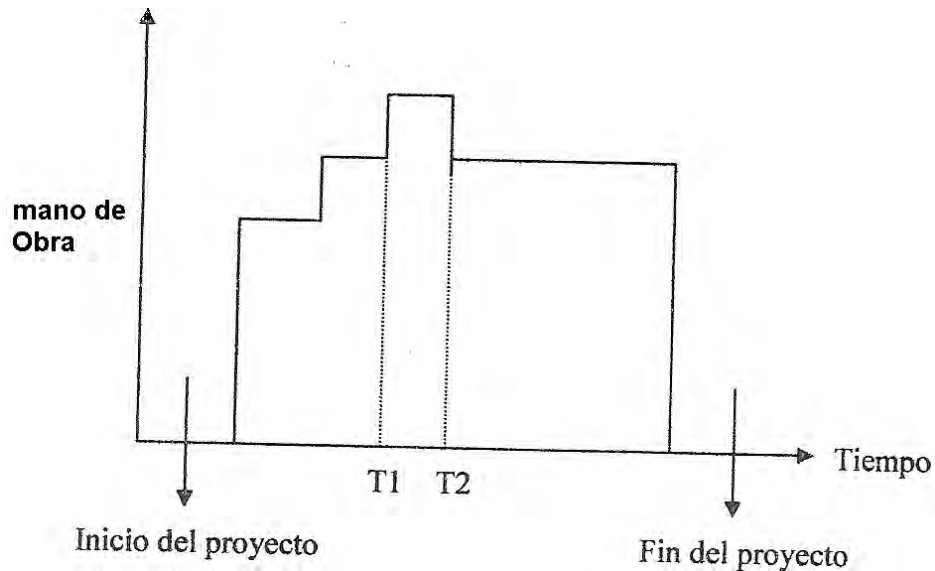


Figura 1.3 Mano requerida en el tiempo.

Así, si el pico de la demanda para este recurso en particular (el cual ocurre en el intervalo de tiempo T1 a T2) es a juicio excesivo, el método del camino crítico provee una forma de replantear y programar el proyecto eliminando este pico. Primero, una rutina de cómputo indica donde ciertas actividades programadas pueden ser movidas hacia delante o hacia atrás en el tiempo sin afectar el tiempo total del proyecto. Entonces el método del camino crítico hace posible simular de una empresa sencilla el efecto de varios cambios al programa o cambios en el plan del proyecto y de esta manera determinar un camino. Aceptable para eliminar el pico de la demanda.

Recursos requeridos para realizar una actividad.

Los recursos requeridos para realizar una actividad dependen de numerosos factores, entre los que se pueden citar los siguientes:

- a) Número de unidades en que se puede medir la actividad.
- b) Duración requerida para la actividad.
- c) Métodos posibles de ejecución de acuerdo con los requisitos tecnológicos de la actividad, la duración requerida y los recursos disponibles.
- d) Número de unidades de actividad que se pueden hacer en una unidad conveniente de tiempo, ciertos grupos básicos de trabajo integrados por cierto personal y equipo.
- e) Espacio, combustible y servicios requeridos por cada grupo básico de trabajo.
- f) Cantidades de material requeridos por cada unidad de actividad.
- g) Precios de materiales y de equipo que deben ser adquiridos para la ejecución de la actividad.
- h) Salarios de personal técnico y administrativo que intervienen en la ejecución de la actividad.
- i) Gastos diversos que impliquen la realización de la actividad.

1.4 ACTIVIDADES DEL PROYECTO

1.4.1 RELACION DE PRECEDENCIA

Las actividades que componen un proyecto siguen una secuencia lógica y tecnológica para el logro de éste. Una vez que se han identificado cada una de las actividades y estimados el tiempo para cada una de ellas, es necesario ordenarlas de tal manera que respeten esa secuencia.

En general existen relaciones de precedencia debido a restricciones de la siguiente naturaleza.

- a) Restricciones físicas o tecnológicas.
- b) Restricciones de seguridad para el personal y el equipo.
- c) Restricciones debido a la limitación de recursos.
- d) Restricción por políticas administrativas.

Ahora veremos cómo se relacionan entre sí las tareas, de manera que se respeten las restricciones arriba mencionadas, para eso se deben formular las preguntas siguientes:

- ¿Qué tarea(s) debe(n) ser realizadas al inicio?
- ¿Qué actividades pueden realizarse simultáneamente?
- ¿Qué actividades necesitan terminarse antes de que empiece otra?
- ¿Qué actividades pueden iniciarse sin depender de la terminación de alguna otra actividad?
- ¿Qué actividades identifican la terminación del proyecto?

Las tareas que van inmediatamente antes de otra actividad se llaman actividades predecesoras y las que van después se les llaman actividades sucesoras. Las actividades que no tienen actividades predecesoras se conocen como actividades de inicio del proyecto.

Para llevar a cabo ordenadamente esta fase de la planeación es recomendable preparar una tabla, denominada “tabla de secuencia”.

1.4.2 RELACIONES SECUENCIALES

Con la información anterior podemos construir la tabla de secuencias. En la tabla de secuencias se escriben las descripciones de todas las actividades que componen el proyecto como títulos de renglones y de las columnas (en este caso se escribió la letra que identifica a la actividad), de tal manera que a cada actividad corresponda un solo renglón y una sola columna, por lo que deberá haber igual número de renglones que de columnas.

1.4.2.1 Reglas para formar la tabla de secuencias:

1. Se analiza la actividad correspondiente a cada uno de los renglones, y se determina que actividades pueden hacerse inmediatamente después de terminada la actividad en cuestión. Para esto, se recorre el renglón examinando las columnas de la tabla, y colocando una X en los casilleros de las columnas que corresponde a las actividades que puedan realizarse inmediatamente después. Estas actividades son llamadas sucesoras.
2. Se analiza la actividad correspondiente a cada una de las columnas y se determina que actividades deben precederle inmediatamente antes de poder iniciar la actividad en cuestión. Para esto recorre la columna examinando los renglones de la tabla y colocando una X en los casilleros de los renglones

que corresponde a las actividades que deben ejecutarse inmediatamente antes. Estas actividades son llamadas predecesoras.

Una vez realizada la tabla, se hace una revisión para ver si la secuencia es correcta. Tomando el ejemplo de la construcción de una bodega. Alternativa 1 con actividades de precedencia; ver tabla 1.3; la tabla de secuencia queda como en la tabla 1.4.

Tabla 1.3 Construcción de una bodega. Alternativa 1, con actividades predecesoras

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECEDENCIA
A	Proyecto arquitectónico	----
B	Compra de materiales.	A
C	Trazo del terreno.	B
D	Cimientos.	C
E	Firme de piso.	D
F	Columnas de perfecto armado.	D
G	Colocar estructura de acero.	F
H	Levantar muros de block	E, F
I	Colocar techo de lamina	G
J	Colocar ventanas y puertas	H
K	Instalación eléctrica	H, I
L	Pintura	J, K

Tabla 1.4 Tabla de secuencia para la construcción de una bodega.

Alternativa 1
ACTIVIDADES SUCESORAS O SIGUIENTES

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A		X										
B			X									
C				X								
D					X	X						
E								X				
F							X	X				
G									X			
H										X	X	
I											X	
J												X
K												X
L												

Puede el lector observar que la columna de la actividad A, no tiene ninguna X, ello se debe a que es una actividad inicial y no tiene actividades predecesoras. El renglón correspondiente a la actividad L, no tiene ninguna X, ya que ésta es una actividad

Final.

Tomando el ejemplo de la construcción de una bodega. Alternativa 2 con actividades de precedencia, ver tabla 1.5; la tabla de secuencia queda como en la tabla 1.6.

Tabla 1.5 Construcción de una bodega. Alternativa 2, con actividades predecesoras

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECEDENCIAS
A	Proyecto arquitectónico	
B	Tramitar permisos legales	A
C	Compra de materiales	A
D	Construir bodega para materiales	C
E	Acondicionar el terreno	A
F	Trazo	E
G	Excavación para cimientos	B, D, F
H	Cimientos	C, E, G
I	Relleno	H
J	Firme de piso	I
K	Fabricación de estructura de acero	C
L	Columnas de concreto	H
M	Colocar estructura de acero	K, L
N	Levantar muros de block	F, J
O	Colocar techo de lamina	M
P	Colocar ventanas y puertas	N
Q	Colocar vidrios	P
R	Instalación eléctrica	N, O
S	Pintar bodega	P, R
T	Limpieza general	Q, S

Tabla 1.6 Tabla de secuencia para la construcción de una bodega. Alternativa 2

ACTIVIDADES SUCESORAS O SIGUIENTES

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
A		X	X		X															
B							X													
C				X				X			X									
D							X													
E						X		X												
F							X							X						
G								X												
H									X			X								
I										X										
J														X						
K													X							
L													X							
M															X					
N																X		X		
O																		X		
P																	X		X	
Q																				X
R																			X	
S																				X
T																				

Se recomienda construir la tabla de secuencias para facilitar la representación del plan en forma de una red.

1.5 CRONTROL MEDIANTE UNA GRAFICA DE GANTT.

La grafica de Gantt o de barras como también se le conoce, fue desarrollada por Henry L. Gantt., ingeniero industrial que la introdujo a principio del siglo XX. En febrero de 1918 publicó un artículo sobre este tema en Industrial Management.

La grafica de Gantt fue la primera herramienta utilizada por las personas encargadas de la realización de proyectos, es una herramienta muy sencilla y útil en el caso de proyectos de pocas actividades, pero no en el caso de un gran número de actividades. Esta grafica muestra objetivamente las duraciones y las fechas de inicio y terminación de cada actividad.

Una gráfica de Gantt es básicamente una gráfica de barras que muestra la relación entre las actividades a lo largo del tiempo.

1.5.1 METODOLOGÍA PARA REPRESENTAR UN PROYECTO

1. Se identifican todas las actividades que componen el proyecto.
2. Se estima el tiempo de duración de cada una de las actividades.
3. Se traza un eje vertical y otro horizontal.
4. En el eje vertical se listan las actividades de que se compone el proyecto, de manera que a cada actividad corresponda un renglón.
5. En el eje horizontal se representan las unidades de tiempo. Las unidades para usar dependen de la duración total del proyecto.
6. Seleccione una actividad cuyos requisitos ya estén dibujados en la gráfica (al inicio cualquier actividad sin actividades predecesoras) y represéntela mediante una barra o línea en la gráfica respetando lo siguiente:
 - a) Localice dicha actividad en el eje horizontal.

- b) La longitud de la barra representa la duración de la actividad en referencia al eje horizontal.
- c) La barra comienza donde terminan el último de sus requisitos (actividades predecesoras).

Repita el paso 6 hasta que todas las actividades hayan sido representadas. La duración total del proyecto está representada por el tiempo de terminación de la última actividad. Se puede convertir la escala de tiempo a una escala de días calendario, haciendo coincidir el origen de la escala con la fecha de inicio del proyecto.

1.5.2 DESVENTAJAS DE LA GRAFICA DE GANTT

La grafica de Gantt como método para planeación programación y control presenta las siguientes desventajas:

- Debido a la dificultad para representar la secuencia de ejecución de un gran número de actividades, sólo es posible descomponer el proyecto en las actividades principales o en establecer proyectos con pocas actividades.
- La grafica de Gantt no muestra las interdependencias y las relaciones entre las actividades.
- No es posible identificar que actividades son las que controlan y determina la duración del proyecto, es decir, todas las actividades son aparentemente de igual importancia.
- Cuando el diagrama de barras es el único medio para hacer la planeación y programación de un proyecto es imposible prever con cierta seguridad los recursos (materiales, personal, equipo, capital, etcétera) requeridos para su realización.

Entonces se nos puede presentar que la demanda de dichos recursos no sea en forma equilibrada y tengamos periodos en los que se tenga personal de equipos desocupados, materiales en inventario o contrataciones extras por la demanda misma del proyecto; por lo que es difícil optimizar los recursos disponibles.

Más adelante se verá el desarrollo de la planeación usando la técnica de redes resuelve muchas de las desventajas de la gráfica de Gantt. Sin embargo, la gráfica de Gantt usada en la planeación de proyectos pequeños nos representa las siguientes ventajas.

1.5.3 VENTAJAS DE LA GRAFICA DE GANTT

- Útil y sencilla para proyectos de pocas actividades.
- Fácil de entender por personas no familiarizadas con técnicas cuantitativas
- Da una representación global del proyecto.
- La mayoría de los paquetes de software existentes para la administración de proyectos muestran y dan reportes usando las gráficas de Gantt.

La grafica de Gantt también puede ser usada para observar el avance del proyecto, por lo general se hace trazando una línea de color diferente a la línea original o rellenando la barra hasta donde se tiene el avance de la actividad. Estos permiten rápidamente ver el avance del proyecto y retrasos que pudieran estarse presentando.

Por lo general esta herramienta se usa en combinación con otras técnicas de programación, difícil no encontrarla cuando se trate de administrar un proyecto. En capítulos posteriores, combinada con otra técnica nos será de gran utilidad para asignar los recursos requeridos durante el tiempo de ejecución del proyecto.

1.6 ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE PARA EL ALUMNO

Para llegar al objetivo establecido en la unidad I se recomienda realizar las siguientes actividades de aprendizaje. Las actividades propuestas están diseñadas de acuerdo con la infraestructura del ITSTB.

Tabla 1.7 Actividades de aprendizaje

Tema	Actividad de Aprendizaje
1.1	1.- Construcción del propio conocimiento. Los alumnos anotan en una hoja lo que para ellos es: Proyecto 2.- Comentar en clases.
1.2	1.- Investigar las fases de la administración de proyectos. 2.- Realizar un cuadro donde se ponga lo más importante de cada una de las fases. 3.- Comentarlas en clase.
1.3	1.- En equipos leen el material, realizan preguntas entre ellos del contenido del material, para obtener participaciones.
1.4	1.- Investigar que es precedencia y secuencia 2.- Proporcionar una lista de actividades en desorden y los alumnos deberán ordenar las actividades obteniendo las actividades predecesoras u sucesoras.
1.5	1.- Realizar la matriz de asignación de responsabilidades del ejercicio 1.4.
1.6	1.- Investigar grafica de Gantt. 2.- Realizar la gráfica de Gantt del ejercicio del punto 1.4

1.7 EJERCICIOS Y RESPUESTAS

1.7. 1 EJERCICIO DE TABLAS DE SUCESIÓN Y GRAFICA DE GANTT.

Ejercicio 1. Las actividades que a continuación se describe, son necesarios para el mantenimiento de un clima de 2000 BTU de capacidad.

Tabla 1.8 Datos del ejercicio 1

Actividades	Descripción	Actividad predecesora	Duración (Hrs.)
A	Quitar clima	---	1
B	Revisar y detectar falla	A	4
C	Comparar pieza	B	3
D	Lubricación general	B	2
E	Cambiar piezas	C	3
F	Poner carga de gas	D, E	2
G	Pintar gabinete	A	2
H	Probar funcionamiento	F	1
I	Colocar clima	G, H	1

Tabla 1.9 Tabla de secuencia para el mantenimiento de un clima.

		ACTIVIDADES SUCESORAS →								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
ACTIVIDADES PREDECESORAS ↓	A		X					X		
	B			X	X					
	C					X				
	D						X			
	E						X			
	F								X	
	G									X
	H									X
	I									

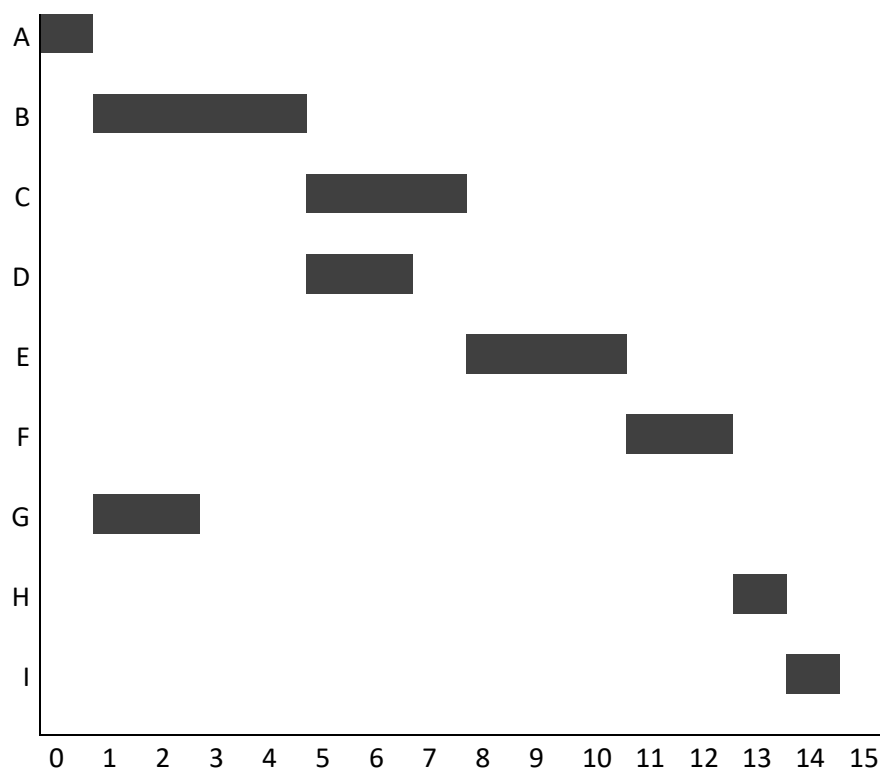


Figura 1.4 Grafica de Gantt del ejercicio 1

La duración del proyecto es de 15 horas.

Ejemplo 2. Se desea fabricar un librero de madera de cedro con las siguientes dimensiones: 2 m. de ancho, 2,5 m. de alto y 60 cm. de profundidad. El fabricante divide el proyecto en las siguientes actividades.

Tabla 1.10 Datos del ejercicio 2

Actividades	Descripción	Actividad predecesora	Duración (Hrs.)
A	Diseño del librero	---	4
B	Compra del material	A	1
C	Adquisición de la herramienta	A	1
D	Cepillado de la madera	B, C	2
E	Corte de piezas	D	4
F	Resanar	E	3
G	Ensamblar piezas	F	4
H	Pintar	G	5
I	Dejar secar	H	3

Tabla 1.11 Tabla de secuencia para el ejercicio 2.

ACTIVIDADES SUCESORAS →

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A		X	X						
B				X					
C				X					
D					X				
E						X			
F							X		
G								X	
H									X
I									

↓ ACTIVIDADES PREDECESORAS

1.8 AUTOEVALUACIÓN

PREGUNTAS

- 1.- Defina el término proyecto.
- 2.- Piense en cualquier proyecto y divídalo en sus actividades. Muestre dos alternativas.
- 3.- Construya la tabla de secuencia para los dos diferentes niveles de detalle del ejercicio 2.
- 4.- Estime los tiempos de duración para cada una de las actividades del proyecto del ejercicio 2
- 5.- Construya la gráfica de Gantt del ejercicio 4.
- 6.- El departamento de diseño de nuevos productos de la fábrica VLSA desea diseñar un nuevo artículo, el gerente divide el proyecto en las actividades que a continuación se menciona.

PROBLEMA

Tabla 1.12 Datos del problema de autoevaluación.

Actividades	Descripción	Actividad predecesora	Duración (Hrs.)
A	Investigación de mercado	----	2
B	Diseño del nuevo producto	A	3
C	Diseño del empaque	A	2
D	Análisis de la demanda	B, C	1
E	Compra de materiales	D	1
F	Fabricar producto	B, E	4
G	Fabricar empaque	C, E	2
H	Empacar el producto	F, G	1
I	Distribuir a mayoristas	H	1
J	Campaña de publicidad	I	3

- a).- Construya la tabla de secuencia.
- b).- Construya la gráfica de Gantt.

UNIDA II

REPRESENTACIÓN DE UN PROYECTO MEDIANTE UNA RED

OBJETIVO DE LA UNIDAD: El alumno al final de la unidad desarrollará la red de las actividades y sus relaciones, de un proyecto, identificando las actividades críticas en tiempo y costo.

2.1 REDES DE ACTIVIDADES

Como se mencionó anteriormente, un proyecto es un conjunto actividades para ejecutar en una secuencia específica, y una actividad es una tarea que debe de ser ejecutada consumiendo tiempo y/o recursos. Un objetivo muy importante de la administración de proyectos es minimizar el tiempo total del proyecto sujeto a la restricción de recursos. Existen dos técnicas ampliamente usadas en la administración de proyectos: el método de la ruta crítica o CPM por sus siglas en inglés (Critical Path Method) este método es útil en la administración de proyectos cuando el tiempo de ejecución de cada una de las actividades se conoce con relativa certeza, la otra técnica es llamada de evaluación y revisión de programas o PERT (Program Evaluation and Review Technique) una de las características de esta técnica es que el tiempo de realización de cada actividad no se conoce con certeza. Estas técnicas usan la representación gráfica del proyecto mediante una red y técnicas cuantitativas que nos permiten calcular el tiempo total del proyecto e identificar que actividades controlan el proceso en sí.

Actualmente el uso de paquetes de cómputo nos permite realizar los análisis con un número muy grande de actividades, a la vez que podemos controlar el avance del proyecto y en caso necesario tomar las decisiones pertinentes para que el proyecto se termine en el tiempo deseado.

Existen diferencias entre estos dos métodos pues el CPM usa tiempos determinísticos para las actividades y el PERT usa tiempos probabilísticos, sin embargo, la tendencia actual es la unión de los dos enfoques.

El objetivo de la presente unidad es explicar las técnicas de la administración de proyectos que nos permitan planear, programar y controlar un proyecto basándose en la técnica de redes.

2.1.1 ELEMENTOS DE UNA RED.

El primer paso para iniciar el método del camino crítico es la identificación de todas las actividades que integran el proyecto y la relación de precedencia entre ellas, que se trató en la unidad anterior, ahora vamos a desarrollar la presentación gráfica mediante una red.

En cierto sentido la red es sólo una representación gráfica de la planeación del proyecto. El plan pudo haber existido previamente en alguna otra forma, en la mente del director del proyecto, en un reporte escrito o en alguna gráfica de barras. En la práctica, sin embargo, la preparación de una red usualmente influye en las decisiones de la planeación actual y dan como resultado un plan que es más comprensible conteniendo más detalle y es con frecuencia, diferente del pensamiento original acerca del cómo deberá ejecutarse el proyecto. Estos cambios son derivados de la disciplina del método de redes, el cual requiere de un gran grado de análisis acerca del proyecto, cosa que no hace el plan narrado o la gráfica de barras (Gráfica de Gantt) u otros tipos de descripciones del proyecto.

Así, la construcción de una red frecuentemente es una ayuda y una parte integral de la planeación del proyecto. En realidad, la fase de planeación está comprobado, es la parte más beneficiosa de las aplicaciones del camino crítico.

El CPM y el PERT usan la representación de una red para escribir y estructurar las actividades de un proyecto que muestra cada actividad a ser ejecutada; sus actividades predecesoras y sus sucesoras. Las redes están compuestas por nodos y flechas para representar estas actividades y su relación de precedencia.

Para construir una red se necesita conocer bien la estructura del proyecto. El esfuerzo que se gaste para identificar la estructura del proyecto es de gran valor para la comprensión de este.

2.1.2 ELABORACIÓN DE UNA RED

Una red es un número finito de elementos o nodos y flechas o arcos conectados que representan un proyecto.

Hay dos formas de elaborar una red, usando nodos o flechas, cada uno tiene un significado diferente dependiendo del enfoque en que se utilice. En esta unidad se tratarán los dos enfoques siguientes:

- a) Redes representadas con actividades en los nodos.
- b) Redes representadas con actividades en las flechas.

Puede adaptarse cualquier de los dos enfoques para dibujar una red del proyecto. Es importante que al elegir un paquete de cómputo para la administración de proyectos se conozca que enfoque utiliza, en el mercado existen paquetes para cualquier de los dos enfoques. Una ventaja, es el hecho de que, en la representación de actividades en los nodos, no tenemos la necesidad de usar actividades ficticias (más adelante se definirá lo que es una actividad ficticia).

En esta unidad, empezaremos por aquel enfoque en el que la actividad está representada por un nodo y al final de este, cuando la actividad está representada por una flecha.

2.1.3 RED CON ACTIVIDADES EN NODOS

Se va a construir la red en la cual los nodos nos representan las actividades y las flechas sólo nos indican la relación de precedencia, en este enfoque la flecha no consume tiempo de recursos. Una característica de este enfoque es que no necesitamos usar actividades ficticias para poder respetar la secuencia lógica del proyecto, esto hace más sencillo aprender a construir la red porque el aspecto que más se facilitará cuando la red está representada por actividades en las flechas es aprender a usar las actividades ficticias. Anteriormente, este enfoque tenía la desventaja de que los programas de cómputo habían sido diseñados para actividades en las flechas y no aceptaban la anotación en los nodos, la cual contiene sólo un número o letra para identificar la actividad. El software Microsoft Project acepta este enfoque. En general debemos de seguir respetando las reglas de construcción de redes.

2.1.3.1 Características de las redes con actividades en los nodos.

- Una actividad está representada por un nodo el cual consume tiempo y/o recursos.
- La flecha indica únicamente precedencia y su longitud no tiene significado.
- Existe un nodo inicial y un nodo final en cada red, normalmente no consume tiempo de recursos.
- De preferencia al realizar la red las flechas no deben cruzarse, aunque en el software esto no parase importar.

La actividad la representamos como se muestra en la figura 2.1

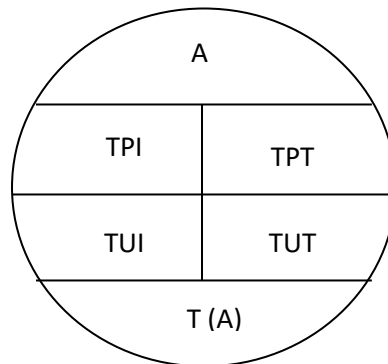


Figura 2.1 Representación de la actividad A.

Iniciamos identificando la siguiente nomenclatura que se usara en las fórmulas que nos van a descubrir los diversos cálculos programados, en primer término, identificamos a una actividad arbitraria en un nodo con sus respectivos tiempos primeros y últimos de inicio y terminación. El nodo que representa a la actividad ha sido dividido en la forma de la figura 2.1. La actividad la identificamos por un número o una letra mayúscula, en este caso por la letra A y la duración de la actividad la identificamos con $T(A)$.

- TPI=** Tiempo Primero de iniciar la Actividad.
- TPT=** Tiempo Primero de Terminación de la Actividad.
- TUI=** Tiempo Último de Iniciar la Actividad.
- TUT=** Tiempo Último de terminación de la Actividad.

Consideremos el siguiente ejemplo para ilustrar la construcción de una red con actividades en los nodos.

Ejemplo 2.1

Una fábrica de juguetes está contemplando la elaboración de cometas. Las actividades necesarias se tienen que realizar de acuerdo con la tabla 2.1. Construya la red con actividades en los nodos.

Tabla 2.1 Actividades para construir una cometa.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PREDECESORAS
A	Cortar plástico para la forma del cometa	----
B	Hacer el marco de madera	----
C	Realizar perforaciones y colocar remaches	A
D	Pegar los transferibles de imágenes	A
E	Colocar cordel a través de las perforaciones	C, B
F	Colocar la cola del cometa	B
G	Colocar mensaje de advertencia	D, E
H	Doblarlo para su envío	F, G

Iniciamos con un nodo el cual puede ser representación de una actividad o un nodo con tiempo cero para cuando hay más de una actividad inicial o sea que no tiene actividades predecesoras. En nuestro ejemplo tenemos las actividades A y B sin actividades predecesoras, por lo que vamos a usar un nodo con tiempo cero, lo podemos identificar con una letra o le podemos poner inicio. Inmediatamente colocamos dos nodos que nos representan las actividades A y B, conectados por una flecha con el nodo de inicio, como se muestra en la figura 2.2

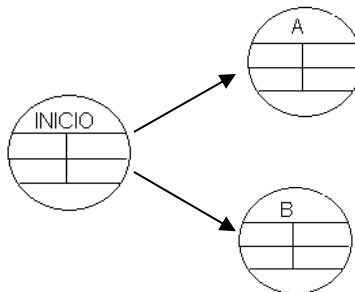


Figura 2.2 Actividades de inicio A y B

Después tenemos que la actividad C y D tienen como único prerequisite a la actividad A, por lo que ponemos dos nodos que se conectan por medio de flechas con el nodo A, como se representa en la Figura 2.3

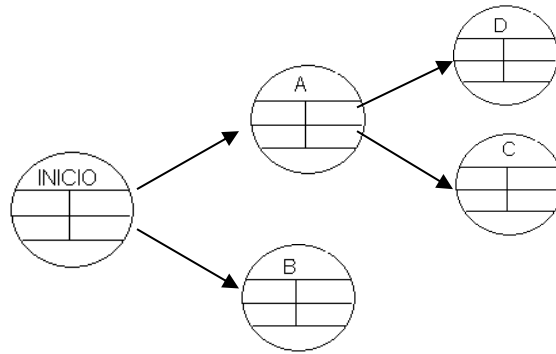


Figura 2.3 Agregando actividades C y D simultáneamente.

Analizando la información de las actividades de la tabla 2.1 se puede observar que la actividad E tiene como actividades predecesoras inmediatas a C y B, entonces colocamos el nodo que nos representa esa actividad y lo conectamos por flechas con sus actividades predecesoras tal como se muestra en la Figura 2.4.

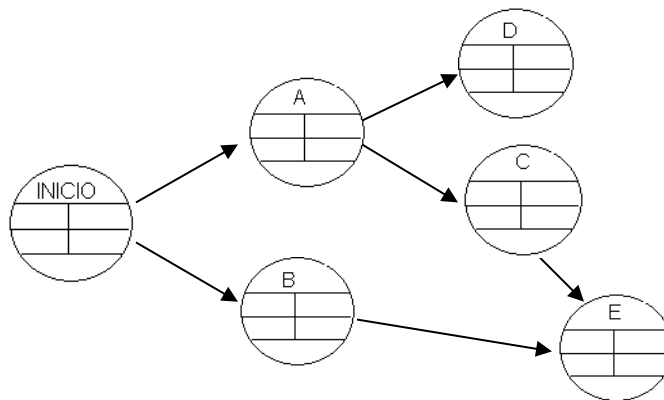


Figura 2.4 Actividad E sucesora de las actividades D, B

Como podrá el alumno darse cuenta, es muy sencillo ir construyendo la red mediante este enfoque. El número de flechas no está limitado ya que ellos no representan actividades, sólo nos indican la secuencia de las actividades de un proyecto.

Por último, vamos a agregar las actividades F, G y H, la actividad F va después de D y E. La actividad G va después de la actividad E y D. La actividad H inicia después que se hayan terminado F y G, éste se representa en la Figura 2.5

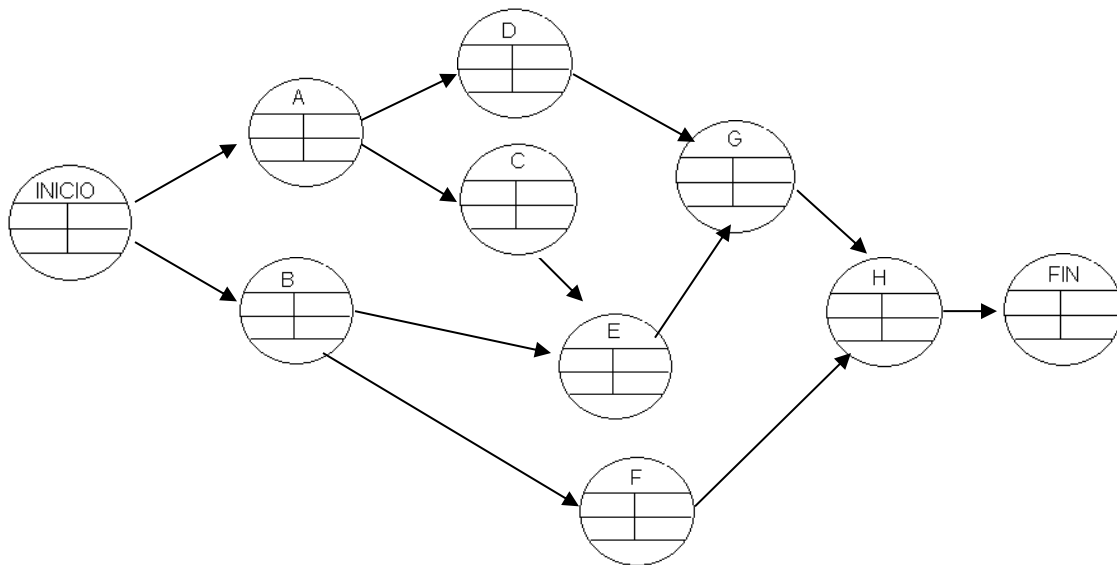


Figura 2.5. Red de la cometa con actividades en los nodos

Las actividades que no consumen tiempo ni recurso son las actividades inicio y fin y las usamos cuando hay más de una actividad inicial o final.

Puede observar en la Figura 2.5 que se colocó un nodo de inicio y un nodo fin, estos nodos no consumen tiempo ni recursos, el nodo final puede haberse eliminado quedando como el último nodo el de la actividad H, ya que la red debe de iniciar con un nodo y terminar con un nodo, en nuestro ejemplo se puso un nodo final pero no era necesario.

2.1.4 RED CON ACTIVIDADES EN LAS FLECHAS

Una **flecha** representa una actividad. La actividad consume tiempo, recursos y su inicio y fin deben de estar bien definidos. Cada flecha debe tener una etiqueta para identificar esa actividad, normalmente usamos letras mayúsculas o la pareja de números correspondientes a los eventos inicial y final de la flecha que representa a la actividad. A lo largo de la flecha debemos poner el tiempo estimado para esa actividad.

Estas actividades las representamos por flechas sólidas. El sentido de la flecha indica la secuencia en la que debe ocurrir cada evento. La longitud de la flecha no tiene ningún significado a menos que se esté usando un diagrama de redes a escala de tiempo.

Un **nodo** representa un evento y nos indica el inicio o el fin de una actividad. Teóricamente un evento es un punto instantáneo en el tiempo. Un evento normalmente lo representamos gráficamente por un círculo numerado.

La representación de una actividad se muestra en la Figura 2.6

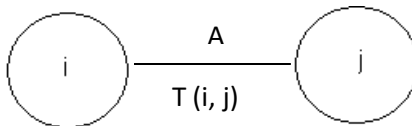


Figura 2.6. Representación de una actividad.

En la Figura 2.6 la actividad la podemos identificar por la letra A o por los nodos de inicio y terminación de dicha actividad (i, j), numere los nodos en la red de tal manera que el nodo inicial tenga un número menor que el nodo final. La duración de la actividad la identificamos por T(i, j).

Actividades ficticias, son actividades que no consumen tiempo ni recursos, pero necesarias en algunos casos para representar la secuencia lógica del proyecto.

Estas actividades las representamos por medio de flechas punteadas, como se muestra en la figura 2.7.

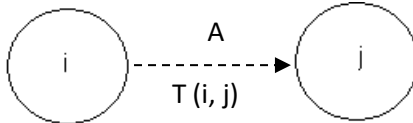


Figura 2.7. Representación de una actividad ficticia.

Las actividades que pueden iniciarse simultáneamente se presentan con flechas que salen del mismo evento, ver figura 2.8, en ella se puede observar que las flechas que representan a las tres actividades salen del evento 0, lo cual quiere decir que las actividades A, B y C tiene la posibilidad de iniciarse simultáneamente.

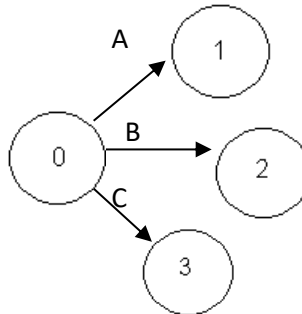


Figura 2.8 Actividades que pueden iniciarse simultáneamente.

Todas las actividades que llegan a un nodo indican que son prerequisites de aquellas que salen de él. En la figura 2.9. podemos observar que la actividad D no puede iniciar, hasta que las actividades A, B y C estén terminadas. A las actividades

A, B y C se les conoce como actividades predecesoras. Esto no implica que A, B y C deban terminar simultáneamente.

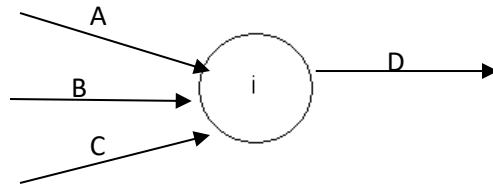


Figura 2.9. La actividad D tiene como prerequisites a las actividades predecesoras A, B y C

Algunas veces tenemos que hacer uso de las actividades ficticias para poder representar la secuencia lógica del proyecto a realizar, un uso de esta actividad se presenta cuando dos actividades tienen el mismo predecesor y sucesor como se presenta en la figura 2.10

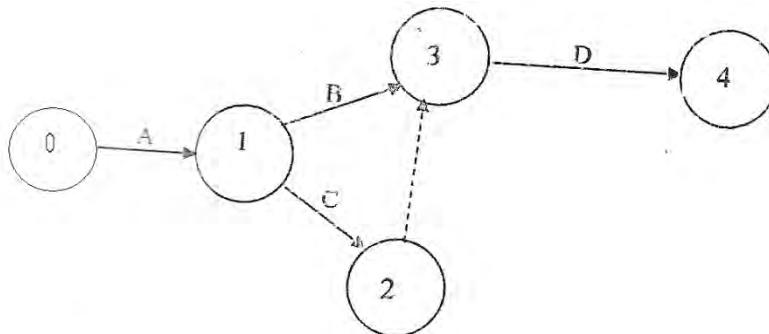


Figura 2.10. Las actividades B y C tienen la misma actividad predecesora (A) y la misma sucesora (D).

Otro ejemplo del uso de actividades ficticias es cuando existen dos actividades que tienen un predecesor común y al mismo tiempo, también tienen predecesores distintos, esto se muestra en la figura 2.11.

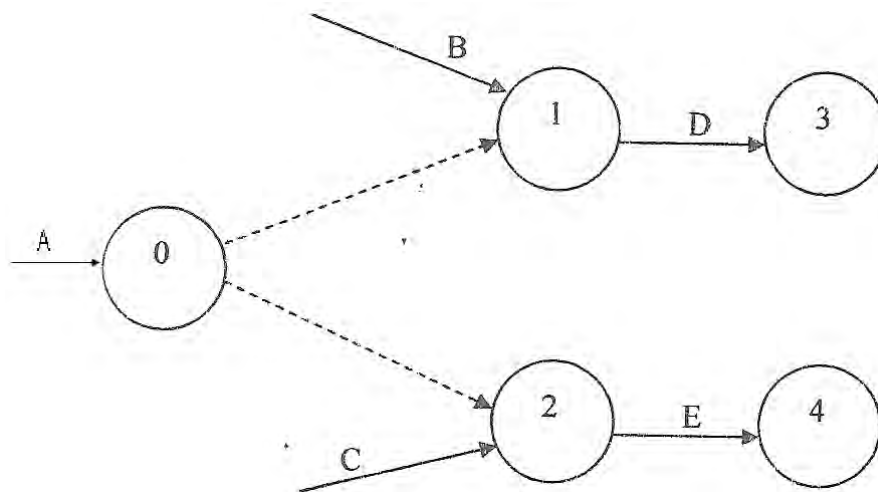


Figura 2. 11 Las actividades D y E tienen una actividad predecesora común (A), sin embargo también tienen predecesoras distintas (B y C).

En algunos proyectos pequeños tal vez no se necesiten las actividades ficticias, pero en proyectos grandes y complejos pueden necesitarse de varias de ellas. La forma de representar un proyecto no es única, pero se debe usar el mínimo número de actividades ficticias requeridas para representar la secuencia lógica del proyecto.

2.1.4.1 Reglas que se deben respetar para construir una red.

1. Cada actividad debe ser representada por una y solamente una flecha o arco.
2. La flecha o arco implica solamente precedencia lógica. La longitud de la flecha no tiene ningún significado (una excepción a esta regla es cuando se analizan redes a escala de tiempo).
3. Dos nodos no pueden estar conectados directamente por más de una flecha.

4. Antes de que una actividad pueda empezar, todas las actividades predecesoras deben ser terminadas.
5. Una red puede tener solamente un nodo o evento inicial, un nodo o evento final, y varios nodos intermedios.

Ahora se enumeran algunas ventajas de la representación de un proyecto mediante la red de actividades.

2.1.4.2 Ventajas de la planeación y programación por redes.

- a) Se tiene una base disciplinaria para la planeación del proyecto.
- b) Coordinan el proyecto total y cada una de las actividades interrelacionadas.
- c) Muestran las relaciones de cada actividad con el proyecto total.
- d) Obligan la planeación lógica de todas las actividades.
- e) Facilitan la organización del trabajo y su asignación.
- f) Identifican las relaciones de precedencia y secuencia de actividades que son especialmente críticas.
- g) Proporcionan estimaciones de tiempo de terminación y/o costo, y un estándar para comparar con los valores reales.
- h) Facilitan el mejor uso de los resultados identificando áreas donde los recursos humanos, materiales o financieros pueden asignarse.
- i) Muestran claramente el plan del proyecto, el cual puede ser interpretado con facilidad por cualquier persona conectada con el proyecto en su conjunto o con una fase de él.

2.1.4.3 Algunas recomendaciones para construir la red son:

- a) Ordenar los nodos de manera que el número menor sea para el nodo inicial y el número mayor para el nodo final.

- b) Todas las flechas de la red deben estar dirigidas, más o menos de izquierda a derecha.
- c) Tratar de que no existan cruces de flechas.
- d) Ponerle el número a los nodos hasta que se haya terminado de construir la red.

Consideremos el ejemplo 2.1 el cual se realizó con actividades en nodos, para ilustrar la construcción de una red con actividades en las flechas.

Para iniciar la construcción de la red, comience por dibujar un nodo y desígnelo como nodo cero, este nodo representará el inicio del proyecto. Ahora observe que actividades no tienen actividades predecesoras inmediatas o prerequisites y dibuje la flecha correspondiente a cada una de ellas, puede ser una o varias actividades iniciales, estas actividades pueden comenzar inmediatamente porque no depende de ninguna otra actividad.

En este ejemplo las actividades A y B no tienen prerequisites, entonces dibuje dos flechas y su nodo terminado a cada una de ellas, ahora coloque sobre cada flecha la letra con que identificar a cada actividad quedando la gráfica como se muestra en la figura 2.12.

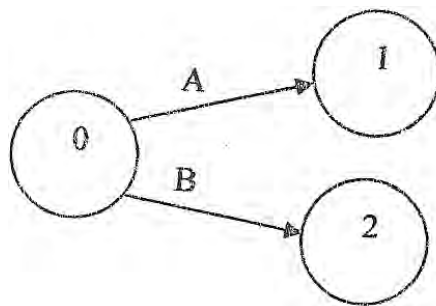


Figura 2.12 Actividades iniciales A y B

En la Figura 2.12 el nodo 1 representa el punto terminal de la actividad A y el nodo 2 es el punto final de la actividad B. Ahora para cada actividad conteste las siguientes preguntas.

1. ¿Qué actividades pueden iniciarse inmediatamente después de la actividad en cuestión?
2. ¿Qué actividades pueden preceder inmediatamente a la actividad en cuestión?
3. ¿Qué actividades pueden realizarse en forma simultánea?

Analizando la información de la tabla 2.1 observe que las actividades C y D, pueden iniciar simultáneamente una vez que la actividad A esté terminada. Esto queda representado en la Figura 2.13

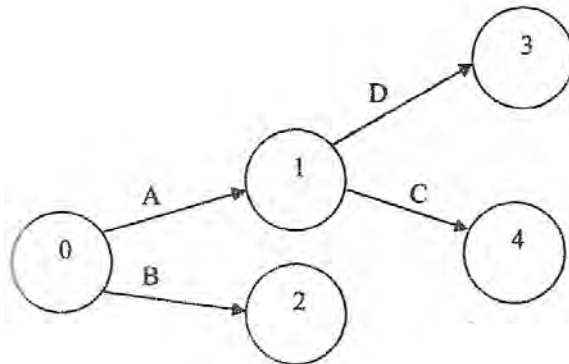


Figura 2.13. Agregando las actividades C y G.

Nos vamos nuevamente a la tabla 2.1 y observamos que la actividad E tiene como actividades predecesoras inmediatas a las actividades B y C, podemos trazar una actividad ficticia que conecte el nodo 2 y el nodo 4 y de ahí sacar una flecha que represente la actividad E, pero como es conveniente no abusar de las actividades ficticias en forma innecesaria, vamos a sobreponer el nodo 2 en el nodo 4 y sacamos la flecha que representará la actividad E, quedando la Figura 2.14.

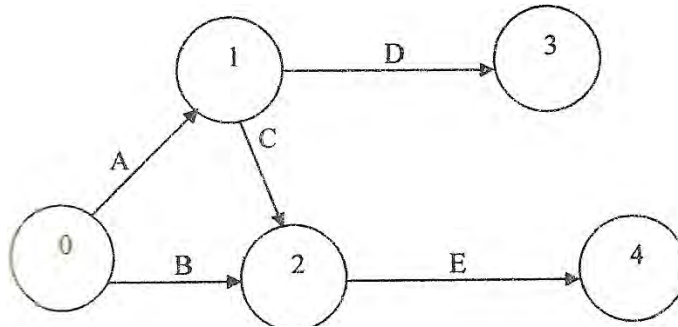


Figura 2.14. Agregando la actividad E

Ahora vamos a graficar la actividad F, para que empiece esta actividad deben de haber terminado las actividades B y C, entonces ponemos una flecha que salga del nodo 2 como se muestra en la Figura 2.15.

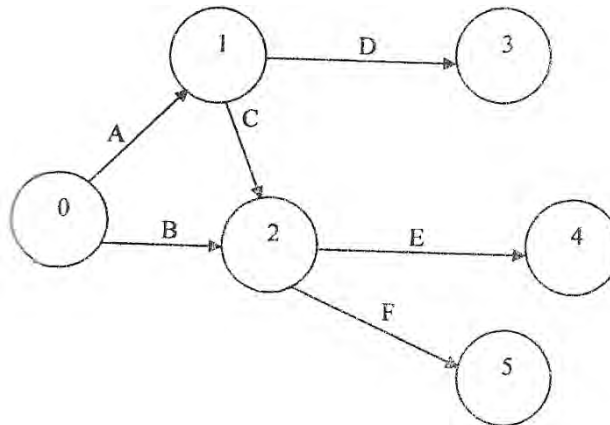


Figura 2.15. Se añade la actividad F.

Analizando la tabla 2.1 observemos que la actividad que sigue es la actividad G, la cual va después de que se terminen las actividades D y E. Empalmando los nodos 3 y 4 y sacando la flecha anteponiéndola al nodo que resulta del empalme, tenemos que la flecha resultante esta mostrada en la Figura 2.16.

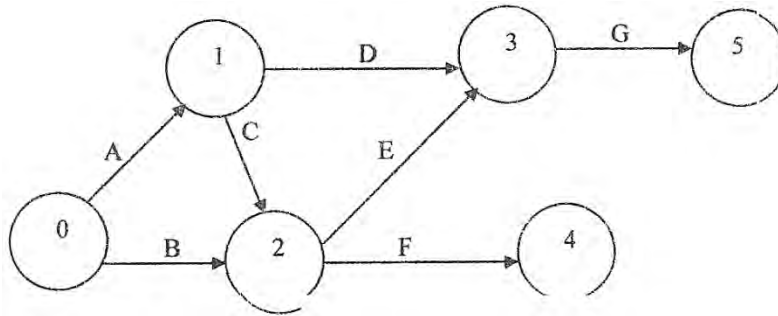


Figura 2.16. Se agrega la actividad G.

Por último, la actividad a programar es la actividad H, esta actividad va inmediatamente después de que las actividades F y G se hayan terminado. Empalmado los nodos 4 y 5 y del nodo resultante sacar una flecha que represente la actividad H lo cual se muestra en la figura 2.17, como ya han sido programadas todas las actividades, esta figura es la que nos representa el proyecto total.

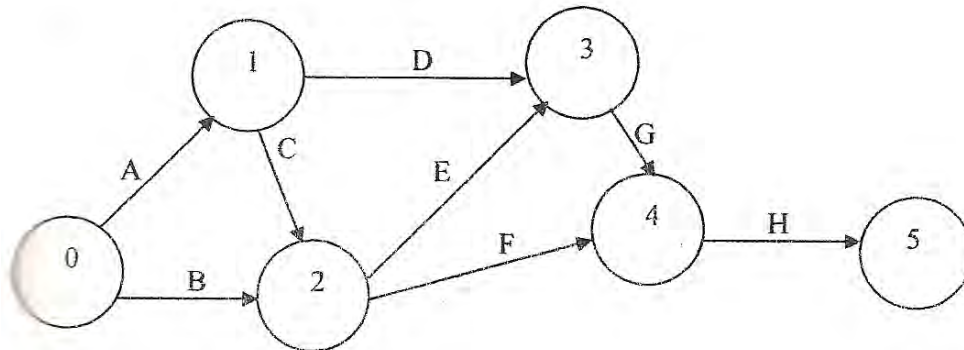


Figura 2.17. Red para la elaboración de una cometa.

En este ejemplo, no hubo necesidad de usar actividades ficticias, pero en la medida que el proyecto crece éste se complica y la mayoría de las veces necesitamos de las actividades ficticias para poder representar la secuencia lógica del proyecto que se esté realizando. Observe que al primer intento no podemos hacer la gráfica, está la vamos modificando de acuerdo con el análisis de cada una de las actividades que

se van agregando a las actividades iniciales, no hubo necesidad de actividades ficticias pero dos veces se tuvieron que hacer ajustes en los nodos, por eso se recomienda que se enumeren los nodos hasta que se tenga terminada la red. Recuerde que las actividades las podemos identificar con una letra o con los números correspondientes a los eventos inicial y final de la flecha que representa dicha actividad.

2.2 ANÁLISIS DE REDES DE ACTIVIDADES.

2.2.1 CPM

2.2.2 PERT

2.3 CÁLCULOS DE LA RUTA CRÍTICA

Después de construir la red, vamos a iniciar la programación del proyecto, podemos decir que consta de dos fases:

- a) Selección del tiempo de ejecución de cada actividad.
- b) Selección del tiempo de inicio de cada actividad.

En esta sección se aprenderá a usar la red con la asignación de tiempos para cada una de las actividades, la técnica del camino crítico como se dijo anteriormente, usa para sus análisis tiempos predeterminísticos, esta técnica nos permite dar respuesta a las siguientes preguntas.

1. ¿Cuál es la fecha de terminación del proyecto?
2. ¿Cuáles son las fechas programadas de inicio y terminación de cada una de las actividades del proyecto?

3. ¿Cuáles actividades deben de terminarse en el tiempo programado, para no incrementar la duración del proyecto? A este tipo de actividades se les conoce como actividades críticas.
4. ¿cuánto pueden demorarse las actividades no críticas sin retrasar la fecha de terminación del proyecto?

Contestar las preguntas anteriores es difícil desde el diagrama de red, por lo cual después de construir la red el siguiente paso es estimar los tiempos de ejecución para cada una de las actividades que componen el proyecto.

2.3.1 DETERMINACIÓN DE LA RUTA CRÍTICA

Los cálculos de la programación necesarios de la programación descritos en esta unidad tratan con la estimación del tiempo medio de la duración de la actividad. El tiempo estimado para cada actividad está dado en horas.

Vamos a calcular la duración del proyecto terminando el camino crítico o ruta crítica de la red. La red puede tener más de un camino o ruta crítica. Se define una ruta como la secuencia de actividades conectadas desde el nodo inicio hasta el nodo final, como se puede observar en la figura 2.23 existe más de una ruta que nos lleva del nodo cero al nodo cinco (para el caso con actividades en las flechas). Por ejemplo, tenemos la ruta A-D-G-H la cual tiene una duración de nueve horas, otra ruta es la B-F-H con una duración de 18 horas y la ruta B- E- G- H que tiene una duración de 19 horas. Para terminar el proyecto deben de realizarse las actividades de todas las rutas por lo que necesitamos conocer cuál es la ruta más larga en tiempo, de manera que todas las actividades del proyecto puedan ser realizadas. A esta ruta más larga se le conoce como **ruta crítica**. Las actividades que la componen se les conoce como **actividades críticas**, estas actividades deben de ser ejecutadas tal como fueron programadas, ya que un retraso en alguna de ellas

alarga la duración total del proyecto. Por eso es importante identificar estas actividades y ejercer mayor control sobre ellas.

Existen dos tipos de análisis, uno en el cual el cálculo se hace sobre el tiempo de los eventos (flechas) y el otro que resuelve el tiempo de las actividades (nodos). Primero se explicará el cálculo sobre las actividades y posteriormente sobre los eventos.

2.3.1.1 Determinación de ruta crítica en red con actividades en los nodos.

Se hará la colocación de los valores en una actividad representada por un nodo.

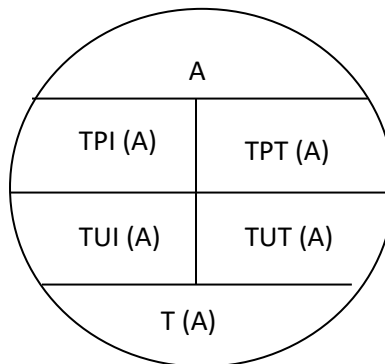


Figura 2.18. Actividad A representada en un nodo, con tiempos primeros y últimos de inicio y terminación.

A continuación, se determinará la ruta crítica en redes con actividades en los nodos; se utilizará el ejemplo 2.1. El cual se le agrega la columna del tiempo, necesario para calcular la ruta crítica, mostrada en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Asignación de tiempos a cada una de las actividades.

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PREDECESORAS	TIEMPO (HRS.)
A	Cortar plástico para la forma del cometa	----	5
B	Hacer el marco de madera	----	15
C	Realizar perforaciones y colocar remaches	A	5
D	Pegar los transferibles de imágenes	A	2
E	Colocar cordel a través de las perforaciones	C, B	2
F	Colocar la cola del cometa	B	2
G	Colocar mensaje de advertencia	D, E	1
H	Doblarlo para su envío	F, G	1

En la figura 2.19 Nos muestra la red con actividades en los nodos, más adelante se explicará paso a paso como se determina la ruta crítica.

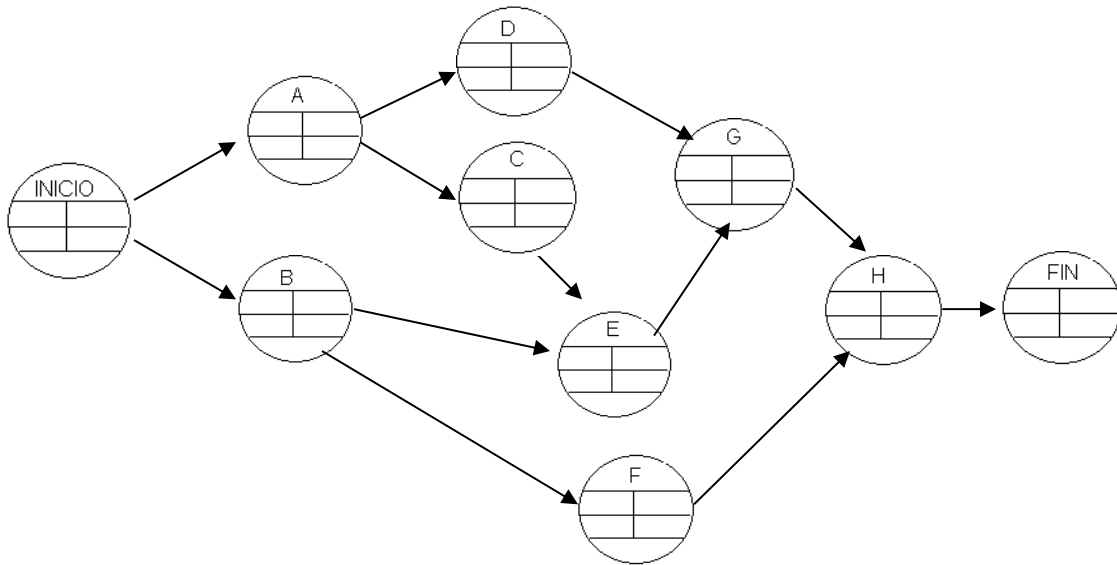


Figura 2.19. Red de la cometa con actividades en los nodos

Pasos para calcular la ruta crítica.

Primera fase (Inicio-Fin).

En esta fase hacia adelante, iniciamos con un tiempo cero para el primer nodo, y avanzamos hacia adelante a través de la red hasta el nodo final. Los cálculos hacia adelante se basan en el hecho de que ninguna actividad puede ocurrir hasta que todas las actividades predecesoras inmediatas se hayan terminado.

Pasos de la fase hacia adelante

- 1.- Para la actividad inicial asigne $TPI = 0$
- 2.- $TPI (i) = \text{Max} (TPT)$ de las actividades predecesoras inmediatas a la actividad i . (cuando son 2 o más actividades predecesoras a i).
- 3.- Establezca $TPT (i) = TPI (i) + T (i)$

Para nuestro ejemplo comenzamos los cálculos con el nodo INICIO el cual no consume tiempo por lo que hacemos:

$$TPI (INICIO) = 0 \quad TPT (INICIO) = 0 + 0 = 0$$

Continuando, tenemos la Actividad A la cual no tiene actividades predecesoras por ser actividad inicial por lo que tenemos:

$$TPI (A) = 0 \quad TPT (A) = TPI (A) + T (A) = 0 + 5 = 5$$

Ahora calculamos los tiempos de la actividad B la cual también es actividad inicial

$$\text{TPI} (B) = 0 \quad \text{TPT} (B) = \text{TPI} (B) + T (B) = 0 + 15 = 15$$

Las actividades C y D tienen como actividad predecesora inmediata a la actividad A, por lo que sus tiempos primeros de inicio son iguales al tiempo primero de terminación de A, sus cálculos son:

$$\text{TPI} (C) = \text{TPT} (A) = 5 \quad \text{TPT} (C) = \text{TPI} (C) + T (C) = 5 + 5 = 10$$

$$\text{TPI} (D) = \text{TPT} (A) = 5 \quad \text{TPT} (D) = \text{TPI} (D) + T (D) = 5 + 2 = 7$$

La actividad E tiene como predecesoras inmediatas a B y C y como vimos al inicio de esta fase (1) cuando existen 2 o más actividades predecesoras el $\text{TPI} (i)$ será el $\text{TPT} (j)$ Máximo de las actividades predecesoras. Los cálculos son los siguientes:

$$\text{TPI} (E) = \text{MAX} \left\{ \begin{array}{l} \text{TPT} (B) = 15 \\ \text{TPT} (C) = 10 \end{array} \right. \quad \text{TPI} (E) = 15 \quad \text{TPT} (E) = 15 + 2 = 17$$

Para las actividades restantes se hace en forma similar.

$$\text{TPI} (F) = \text{TPT} (B) = 15 \quad \text{TPT} (F) = \text{TPI} (F) + T (F) = 15 + 2 = 17$$

$$\text{TPI} (G) = \text{MAX} \left\{ \begin{array}{l} \text{TPT} (D) = 7 \\ \text{TPT} (E) = 17 \end{array} \right. \quad \text{TPI} (G) = 17 \quad \text{TPT} (G) = 17 + 1 = 18$$

$$\text{TPI} (H) = \text{MAX} \left\{ \begin{array}{l} \text{TPT} (G) = 18 \\ \text{TPT} (F) = 17 \end{array} \right. \quad \text{TPI} (H) = 18 \quad \text{TPT} (H) = 18 + 1 = 19$$

$$\text{TPI} (\text{FIN}) = \text{TPT} (H) = 19 \quad \text{TPT} (\text{FIN}) = \text{TPI} (\text{FIN}) + T (\text{FIN}) = 19 + 0 = 19$$

Segunda fase (Fin – Inicio)

Esta fase es para determinar los tiempos últimos de inicio de cada actividad de la red, esto es, cuál es el tiempo más tardío en que puede ocurrir una actividad sin retrasar la terminación total del proyecto. El paso hacia atrás lo iniciamos eligiendo el camino más corto. Para determinar los tiempos últimos de inicio y terminación de cada actividad. Los pasos son los siguientes:

Pasos de la fase hacia adelante

- 1.- $TUT (n) = TPT (n)$ donde n es la actividad final.
- 2.- $TUT (i) = MIN (TUI)$ de las actividades sucesoras inmediatas a la actividad i. (cuando son 2 o más actividades sucesoras a i).
- 3.- Establezca $TUI (i) = TUT (i) - T (i)$

comenzamos los cálculos con el nodo FIN el cual no consume tiempo por lo que hacemos:

$$TUT (FIN) = 19 \quad TUI (FIN) = 19 - 0 = 19$$

$$TUT (H) = TUI (FIN) = 19 \quad TUI (H) = TUT (H) - T (H) = 19 - 1 = 18$$

$$TUT (F) = TUI (H) = 18 \quad TUI (F) = TUT (F) - T (F) = 18 - 2 = 16$$

Se procede en igual forma para las actividades G, D, E, C, pues solo tienen una actividad sucesora, los valores para las actividades A y B que tienen más de una actividad sucesora se procede de la siguiente manera.

$$TUT(A) = MIN \left\{ \begin{array}{l} TUI (D) = 15 \\ TUI (C) = 10 \end{array} \right. \quad TUT(A) = 10 \quad TUI (A) = 10 - 5 = 5$$

El mismo procedimiento de la actividad A para B quedando $TUT (B) = 15$ y $TUI (B) = 0$

El cálculo de los tiempos primeros y últimos para cada actividad se encuentran representados en la figura 2.20 en la cual también se muestra la ruta crítica.

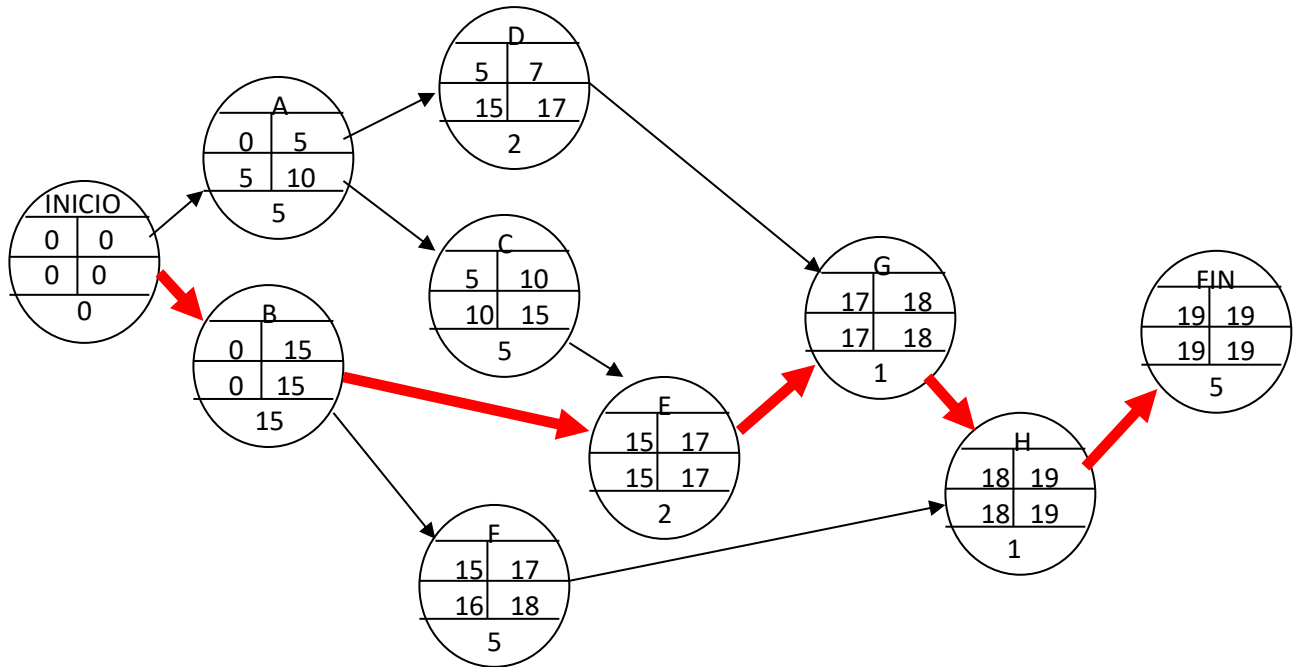


Figura 2.20. Red con los tiempos primeros y últimos de inicio para cada actividad del cometa y cálculo de la ruta crítica.

Las actividades que componen la ruta crítica están conectadas por flechas de mayor grosor y color rojo.

Cualquiera que sea la forma de representar el proyecto (nodos o flechas), las actividades críticas serán las mismas, así como las holguras de las actividades independiente del método. El procedimiento de cálculo es siempre sobre las actividades sin importar la red. Lo descrito anteriormente se comprobará cuando se determine la ruta crítica con actividades en las flechas.

Con la información de la red de la figura 2.20 podemos dar respuesta a algunas de las preguntas realizadas anteriormente.

Ya estamos en condiciones de responder a la pregunta.

¿Cuál es la duración del proyecto?

Esta información nos la da el tiempo del último evento.

La **duración total** del proyecto es de 19 horas.

¿Cuáles son las actividades que forman la ruta crítica?

Las actividades cuyos tiempos TPI, TUI son iguales; y los tiempos TPT y TUT son iguales (holgura de las actividades = 0; este cálculo se explicará más adelante).

B, E, G, H.

Otro dato que es importante conocer es la holgura, con la información obtenida podemos conocer estos datos.

2.3.1.2 Determinación de las holguras para red con actividades en los nodos.

Hay varios tipos de holguras definidos dentro de la literatura, en esta antología vamos a calcular las más importantes; éstas son la **holgura total** y la **holgura libre**. La definición de holgura es la diferencia entre dos puntos en el tiempo, por lo que las holguras representan intervalos de tiempo. La holgura la colocamos arriba de la actividad si es holgura total, o sobre la flecha si es entre actividad y actividad (holgura libre de la actividad), esto si lo cree necesario en algún momento.

Cada tipo de holgura tiene una interpretación y aplicación diferente como se describe a continuación:

Las holguras totales de las actividades se determinan mediante la diferencia de sus tiempos, primero y último de inicio o la diferencia entre sus tiempos primero y último de terminación, puede ver en la figura 2.20 que las actividades B, E, G y H tienen holgura cero y forman la ruta crítica y las actividades A, C, D y F, tienen holguras diferentes de cero, sus cálculos se muestran a continuación:

$$HT(i) = TUI(i) - TPI(i)$$

$$HT(A) = TUI(A) - TPI(A) = 5 - 0 = 5$$

$$HT(C) = TUI(C) - TPI(C) = 10 - 5 = 5$$

$$HT(D) = TUI(D) - TPI(D) = 15 - 5 = 10$$

$$HT(F) = TUI(F) - TPI(F) = 16 - 15 = 1$$

La holgura libre de la actividad nos indica la cantidad de tiempo que se puede retrasar la actividad sin afectar el tiempo de inicio de las actividades siguientes. Esta holgura es parte de la holgura total por lo que es siempre menor o igual a ella.

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

$$HL(A) = 5 - 5 = 0$$

$$HL(B) = 15 - 15 = 0$$

$$HL(C) = 15 - 10 = 5$$

$$HL(D) = 17 - 7 = 10$$

$$HL(E) = 17 - 17 = 0$$

$$HL(F) = 18 - 17 = 1$$

$$HL(G) = 18 - 18 = 0$$

$$HL(H) = 19 - 19 = 0$$

Con los valores de tiempos primeros de inicio y último de inicio calculados anteriormente, los cuales se muestran en la figura 2.20. el administrador del proyecto debe tener la capacidad de tomar decisiones para saber cuándo hacer uso de este tiempo de holgura para aprovechar en forma óptima los recursos disponibles.

2.3.1.3 *Determinación de ruta crítica en red con actividades en las flechas (eventos)*

La siguiente nomenclatura será usada en las fórmulas y discusiones las cuales describen los diversos cálculos programados. Estas definiciones y fórmulas subsecuentes serán dadas en términos de una actividad designada arbitrariamente como (i, j) , actividad con evento predecesor i y evento sucesor j .

$T(i, j)$ = Tiempo de la duración (i, j) .

$TP(i)$ = Tiempo primero de inicio, éste es el mismo de ocurrencia más temprano del evento.

TU = Tiempo último de inicio del evento i , éste es el tiempo más tardío en que puede ocurrir el evento sin retrasar la duración total del proyecto.

Los términos antes definidos los podemos representar sobre una red como se muestra en la Figura 2.21.

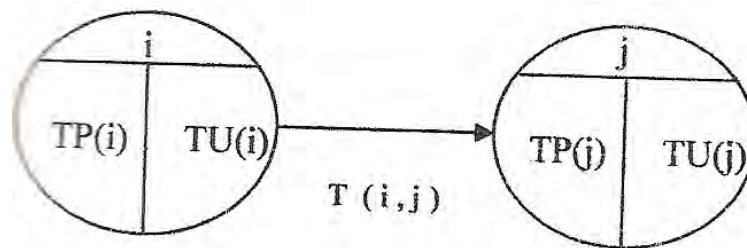


Figura 2.21 Representación de la actividad (i, j) con las nomenclaturas definidas en los eventos o nodos.

El cálculo básico de la programación es ejecutado igual que en actividades en los nodos en dos fases, la primera fase incluye un paso hacia adelante , en esta fase se calcula los tiempos primeros y la segunda fase es un paso de retrospección a través de la red en el cual obtenemos los tiempos últimos de inicio para cada evento.

Pasos para calcular la ruta crítica.

Primera fase:

Pasos de la fase hacia adelante

1. Haga $TP(i) = 0$ para el evento inicial.
2. Establezca que $TP(j) = \text{MAX.} [TP(i) + T(i, j)]$ para todos los eventos i predecesores inmediatamente de j .

Para el ejemplo 2.1 mostrado en la tabla 2.2, la red con actividades en las flechas queda como en la figura 2.22, en la cual la red tiene asignado los tiempos para cada actividad.

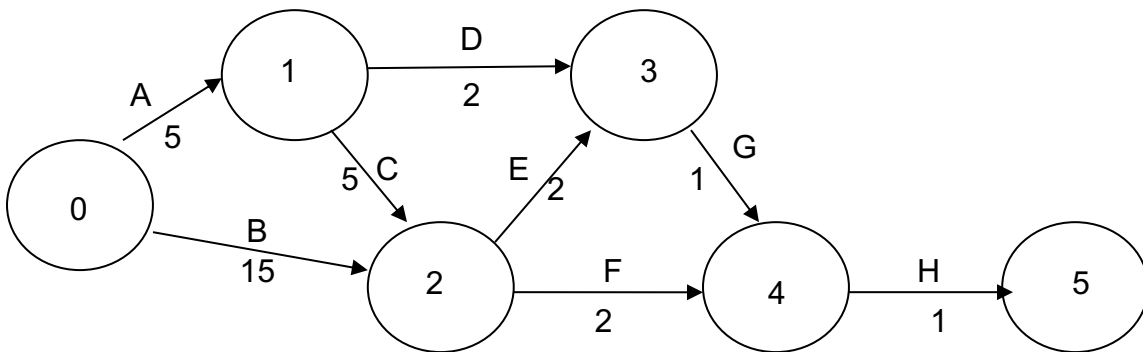


Figura 2.22 Red para la elaboración de una cometa, con los tiempos para cada actividad.

Iniciamos con asignarle cero al tiempo más temprano de inicio del evento cero, esto es $TP(0) = 0$, ahora vamos a calcular el tiempo primero de ocurrencia para el evento 1, ya que este puede ocurrir una vez que se termine la actividad A, entonces el $TP(1)$ es igual para su madre cero y el tiempo duración de A, esto queda

De la manera siguiente:

$$TP(0) = 0$$

$$TP(1) = TP(0) + T(0, 1) = 0 + 5 = 5$$

Ahora vamos a calcular el tiempo para el nodo 2, observe que no se puede haber calculado primero este nodo, pues no tenía calculados los tiempos de todos los eventos predecesores, recuerde que esto es necesario para el cálculo de cada uno de los eventos de la red. El evento 2 puede ocurrir hasta que se terminen las actividades B y C. El tiempo primero de inicio del evento 2 es:

$$TP(2) = \text{MAX} \begin{cases} TP(0) + T(0, 2) = 0 + 15 = 15 \\ TP(1) + T(1, 2) = 5 + 5 = 10 \end{cases} \quad TP(2) = 15$$

Por lo tanto, el valor de $TP(2) = 15$, ya que es el valor máximo de sus tiempos predecesores, y este evento no puede presentarse hasta que se hayan terminado las actividades predecesoras B y C.

Estos valores, los tiempos primeros de inicio, deben de irse colocando en la red a medida que se avance en el análisis, por eso se hacen las divisiones de cada nodo como se mostró en la figura 2.22. Vamos al nodo 3, las actividades que deben quedar terminadas antes de alcanzar dichos eventos son D y E para las cuales ya están calculados los valores de sus eventos predecesores, quedando sus cálculos como sigue:

$$TP(3) = \text{MAX} \begin{cases} TP(1) + T(1,3) = 5 + 2 = 7 \\ TP(2) + T(2,3) = 15 + 2 = 17 \end{cases} \quad TP(2) = 17$$

Una vez que se ha calculado el tiempo primero de inicio para cada uno de los eventos (4, 5), continuamos con el paso hacia atrás.

Segunda fase.

Pasos de la fase hacia atrás:

- 1.- Hga $TU(n) = TP(n)$ donde n es el evento final.
- 2.- Determine $TU(i) = \text{MIN} [TU(j) - T(i,j)]$ para todos los eventos j sucesoras de i.

Para nuestro ejemplo iniciamos el regreso en el nodo 5.

Hacemos:

$$TU(5) = TP(5) = 19$$

Continuamos el regreso con el nodo 4, podemos observar la red y vemos que sólo hay un evento sucesor por lo que tenemos:

$$TU(4) = TU(5) - T(4,5) = 19 - 1 = 18$$

Ahora calculamos el tiempo último de inicio para el evento 3, recuerde que se deben tener calculados los tiempos últimos de inicio de todos los eventos sucesores del evento en cuestión, por esta razón no se puede calcular primero el evento 2, ya que necesita tenerse el tiempo último de inicio del evento 3. Sólo hay una forma de regresar del evento 4 al evento 3 por lo que el evento 3 queda:

$$TU(3) = TU(4) - T(3,4) = 18 - 1 = 17$$

Para calcular el tiempo último de inicio del evento 2, se considera el tiempo último del evento 4, y el del evento 3; ya que esos dos eventos son sucesores al evento 2.

Los cálculos se realizan de la siguiente manera:

$$TU(2) \text{ MIN} \begin{cases} TU(3) - T(2,3) = 17 - 2 = 15 \\ TU(4) - T(2,4) = 18 - 2 = 16 \end{cases} \quad TU(2) = 15$$

Quedando el $TU(2) = 15$; ya que es el mínimo. Este procedimiento se realiza para todos los eventos que tengan 2 o más eventos predecesores. Quedando la red como se muestra en la figura 2.23.

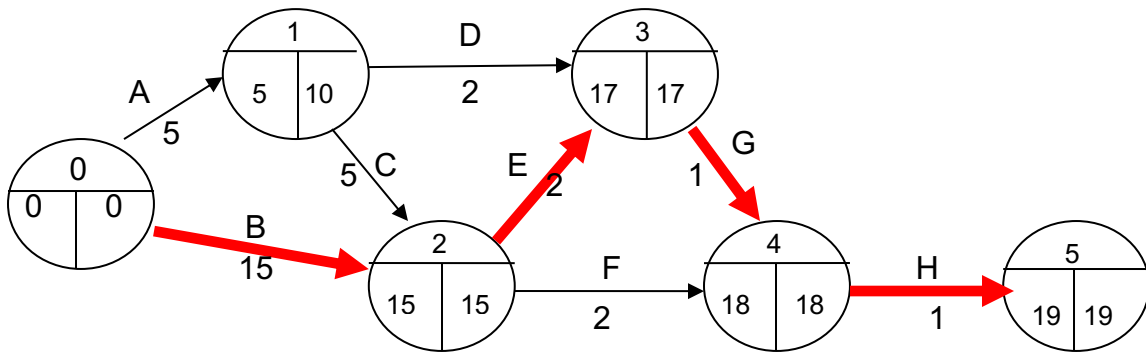


Figura 2.23. Red con los tiempos primeros y últimos de inicio para cada evento de la cometa.

Como se puede ver el tiempo total del proyecto es de 19 horas y la ruta crítica (B, E, G, H); es la misma que en el método de Nodos, como puede ver hay dos rutas B, E, G, H y B, F, H, pero como se explicó al principio se escoge la actividad más larga como ruta crítica del proyecto.

Con este ejemplo se comprueba que no importa que método se utilice para calcular la ruta crítica o la duración del proyecto, la respuesta siempre va a ser la misma.

2.3.1.4 *Determinación de las holguras para red con actividades en las flechas (eventos)*

La **holgura para un evento** es la diferencia entre su tiempo último y su tiempo primero. La holgura nos determina cuánto retraso se puede tolerar para alcanzar el evento sin retrasar la terminación total del proyecto.

$$H(i) = TU(i) - TP(i)$$

La **holgura total para la actividad (i, j)**, es lo más que se puede retrasar la terminación de cualquier actividad, sin que se incremente la duración total del proyecto, esta holgura se calcula con la siguiente forma:

$$H(i, j) = TU(j) - TP(i) - T(i, j)$$

La **holgura libre de la actividad (i, j)**, es el tiempo que se puede retrasar la actividad sin afectar el tiempo primero de inicio de cualquier otra actividad o evento en la red. Se calcula de la siguiente forma:

$$HL(i, j) = TP(j) - TP(i) - T(i, j)$$

2.4 PROBABILIDAD DE CUMPLIMIENTO DE LA PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO

Ejemplo 2.2. A continuación se aplica el método a un proyecto cuyas actividades y tiempos se muestran en la tabla 2.3. Los tiempos están dados en semanas.

Tabla 2.3 Muestra los tiempos necesarios para la realización del método PERT.

Actividad	Actividad predecesora	Tiempo optimista	Tiempo más probable	Tiempo pesimista
A	----	8	10	16
B	A	11	13	15
C	A	10	15	24
D	B	7	10	15
E	B, C	10	16	30
F	B	8	10	22
G	D, E	5	5	5
H	F, G	7	10	15
I	C	8	9	12
J	G, I, H	7	13	19

2.4.1 PASOS PARA REALIZAR EL METODO PERT

1.- Realizar la red en nodos vacíos.

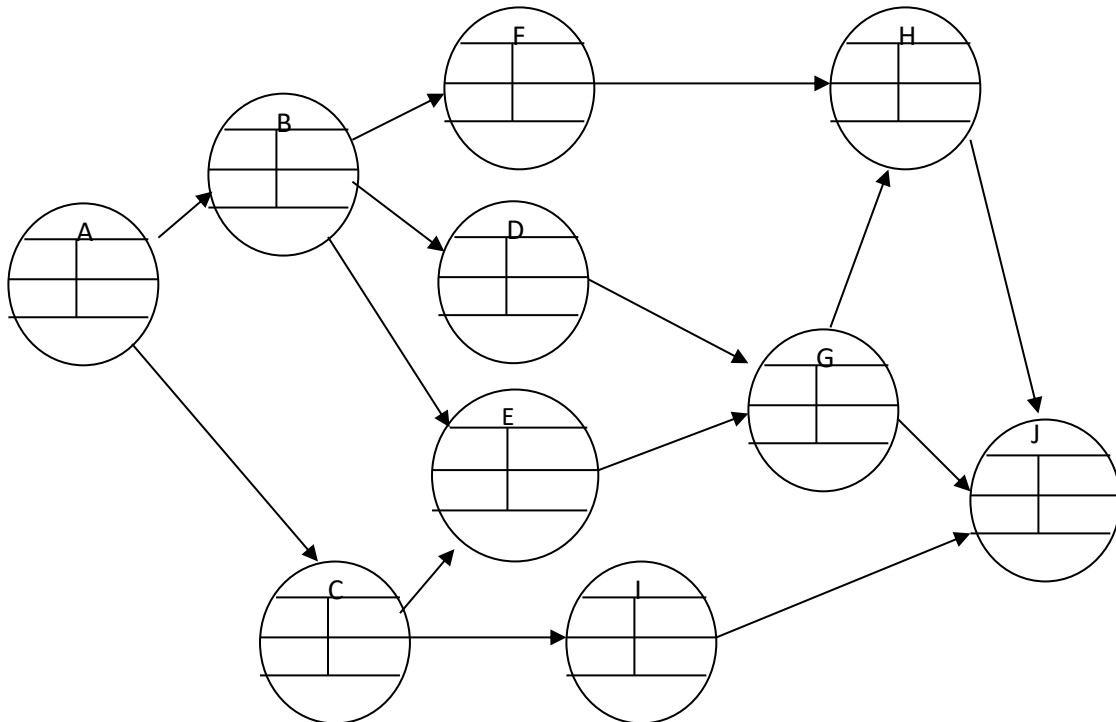


Figura 2.24 Red para el proyecto del ejemplo 2.2

Como los tiempos de las actividades son variables aleatorias, entonces el tiempo total de terminar el proyecto, también es una variable aleatoria que sigue una distribución normal (teorema 3). Lo que deseamos al aplicar el PERT es encontrar la probabilidad de terminar el proyecto dentro de un tiempo específico.

2.- Calcular el tiempo esperado para cada actividad y su varianza.

Tabla 2.4 Cálculo del tiempo esperado y varianza para cada actividad

Actividad	Tiempo esperado	Varianza
	$T = [a + 4m + b] / 6$	$\sigma^2 = [b - a]^2 / 36$
A	$T = [8 + 4(10) + 16] / 6 = 32/3$	$\sigma^2 = [16 - 8]^2 / 36 = 16/9$
B	$T = [11 + 4(13) + 15] / 6 = 39/3$	$\sigma^2 = [15 - 11]^2 / 36 = 4/9$
C	$T = [10 + 4(15) + 24] / 6 = 47/3$	$\sigma^2 = [24 - 10]^2 / 36 = 49/9$
D	$T = [7 + 4(10) + 15] / 6 = 31/3$	$\sigma^2 = [15 - 7]^2 / 36 = 16/9$
E	$T = [10 + 4(16) + 30] / 6 = 52/3$	$\sigma^2 = [30 - 10]^2 / 36 = 100/9$
F	$T = [8 + 4(10) + 22] / 6 = 35/3$	$\sigma^2 = [22 - 8]^2 / 36 = 49/9$
G	$T = [5 + 4(5) + 5] / 6 = 15/3$	$\sigma^2 = [5 - 5]^2 / 36 = 0/36 = 0$
H	$T = [7 + 4(10) + 15] / 6 = 31/3$	$\sigma^2 = [15 - 7]^2 / 36 = 16/9$
I	$T = [8 + 4(9) + 12] / 6 = 28/3$	$\sigma^2 = [12 - 8]^2 / 36 = 4/9$
J	$T = [7 + 4(13) + 19] / 6 = 39/3$	$\sigma^2 = [19 - 7]^2 / 36 = 36/9$

Ahora en lugar de tener tres tiempos estimados tenemos sólo uno, el cual es el tiempo esperado para realizar cada una de las actividades, este tiempo es el que vamos a colocar en la red y procederemos de la misma forma como se hizo con proyectos cuyos tiempos de ejecución de las actividades eran determinísticos.

3.- Asignar a las actividades de la red el tiempo esperado y calcular el tiempo esperado de terminar el proyecto.

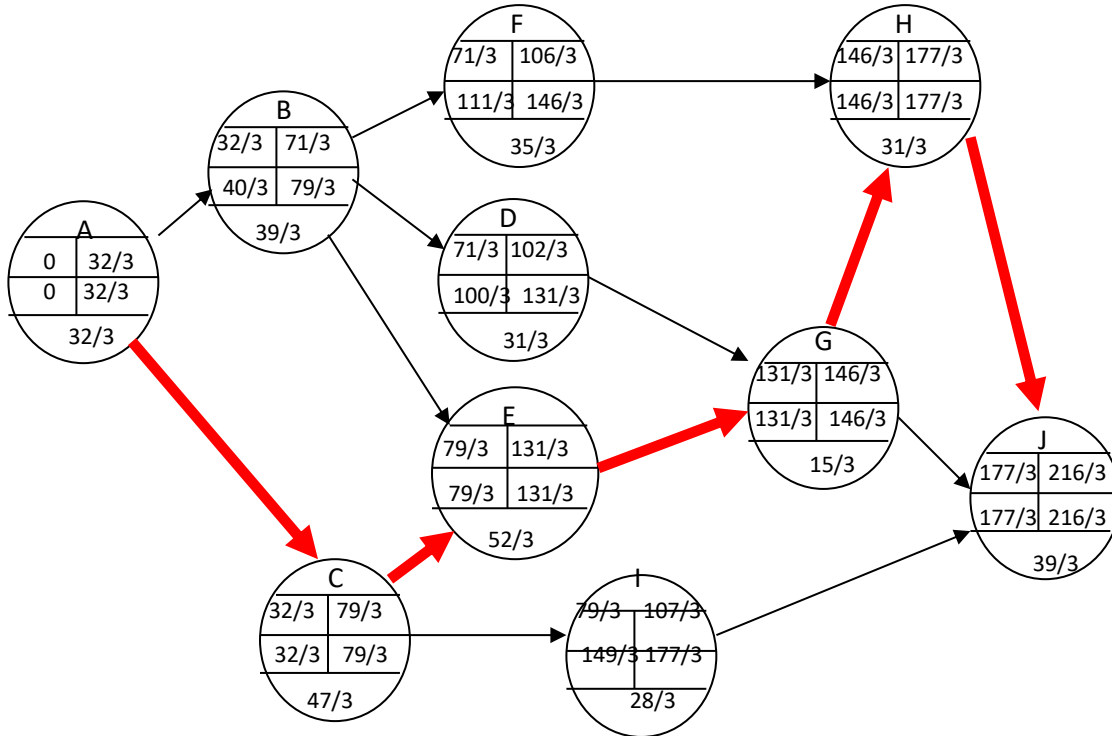


Figura 2.25 Muestra los tiempos y su camino crítico.

El **tiempo esperado de terminar el proyecto** se obtiene igual que en el CPM. Sumando los tiempos esperados de duración de las actividades que forman la ruta crítica, la actividad final nos indica cual es este tiempo, en nuestro caso observe la figura 2.25 y puede ver que es de $216/3 = 72$ semanas. Este valor le designamos la letra μ .

4.- Probabilidad de concluir el proyecto en un tiempo específico.

El tiempo de terminación calculado es un tiempo esperado y puede variar debido a que el tiempo de ejecución de cada una de las actividades son variables. Este tiempo de terminación puede ser menor si el tiempo de ejecución de las actividades resulta menor debido a que las condiciones fueron favorables o puede darse el caso contrario y entonces el tiempo esperado de terminar el proyecto puede ser mayor a 72 semanas, el administrador del proyecto necesita saber que tan confiable es este valor.

También puede existir la necesidad de conocer la probabilidad de terminar el proyecto en una fecha específica la cual puede ser impuesta arbitrariamente por la gerencia. Esta fecha la designamos con la letra X. supóngase que se desea conocer la probabilidad de terminar el proyecto en 75 semanas.

El procedimiento es el siguiente:

1.- Sea μ el tiempo esperado de terminación del proyecto.

$$\mu = 72 \text{ semanas.}$$

2.- Calcula la varianza σ^2 del tiempo de terminación del proyecto

σ^2 = Suma de las varianzas de los tiempos de las actividades de la ruta crítica

$$\sigma^2 = \text{Varianza A} + \text{Varianza C} + \text{Varianza E} + \text{Varianza G} + \text{Varianza H} + \text{Varianza J}$$

La varianza de cada una de las actividades de la ruta crítica se muestra a continuación.

$$\text{Varianza de A} = (3/4)^2 = 16/9$$

$$\text{Varianza de C} = (7/3)^2 = 49/9$$

$$\text{Varianza de E} = (10/3)^2 = 100/9$$

$$\begin{aligned} \text{Varianza de H} &= (4/3)^2 = 16/9 \\ \text{Varianza de J} &= (6/3)^2 = \underline{36/9} \\ &217/9 \end{aligned}$$

Cuando hay más de una ruta crítica, calcule la varianza de cada ruta crítica y seleccione aquella más grande como varianza del proyecto, ya que es la que implica mayor variabilidad, en este caso solo se tiene una ruta crítica por lo que el valor a ser utilizado es 217/9.

El tiempo de terminación del proyecto sigue una distribución normal con la media y la varianza calculada arriba, ahora podemos responder a la pregunta hecha anteriormente.

¿Cuál es la probabilidad de terminar el proyecto en 75 semanas?

Procedemos a convertir este valor en una variable aleatoria normal estandarizada, en la forma habitual.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sqrt{\sigma^2}}$$

$$Z = \frac{75 - 72}{\sqrt{217/9}} = 0.61$$

Ahora buscamos este valor en la tabla de la distribución estándar y encontramos que la probabilidad de terminar el proyecto en 75 semanas es de

$$0.5000 + 0.2291 = 0.7291 \times 100 = 72.91\%$$

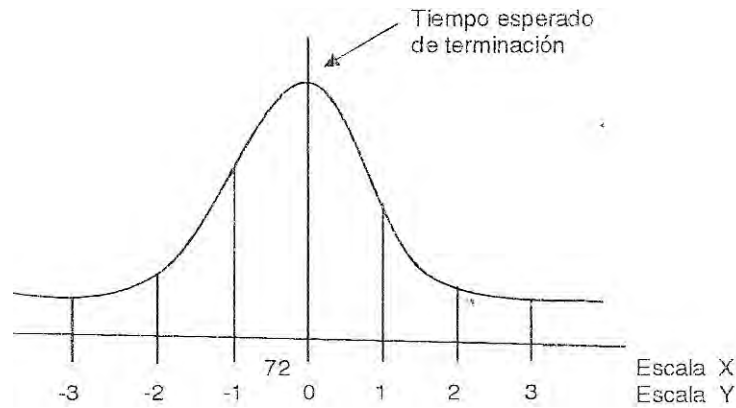


Figura 2.26 Distribución normal para tiempos de terminación del ejemplo 2.2.

Este análisis nos muestra cómo encontrar la probabilidad de terminar el proyecto en una fecha específica dada. También podemos hacernos la siguiente pregunta ¿Qué fecha de terminación deberá de comprometerse de manera que se tenga una confianza del 95% de terminar el proyecto en dicha fecha?

Procedemos a encontrar el punto donde el área bajo la curva normal que se encuentra a la izquierda del punto es del 95%, como se muestra en la figura Fig. 2.27 de la curva normal.

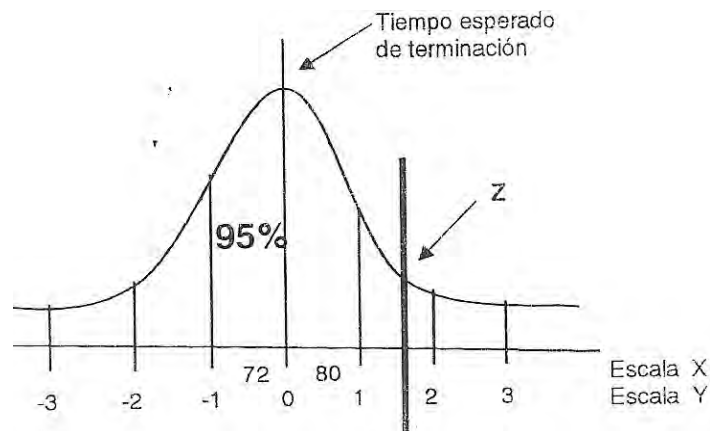


Figura 2.27 Fecha de terminación para 95% de confianza.

De la tabla normal se obtiene el valor de $Z = 1.645$ para un nivel de confianza de 95%, entonces vamos a despejar la variable X de la formula como sigue:

$$1.645 = \frac{X-72}{\sqrt{217/9}}$$

$$X = (1.645 \times \sqrt{217/9}) + 72$$

$$X = 80 \text{ semanas.}$$

El administrador puede tener el 95% de confianza de cumplir el proyecto en 80 semanas.

Esta última sección la unidad se trató con tiempos de duración variables, que en la mayoría de las veces representan las situaciones reales y debemos de saber con qué confianza podemos de decirle al cliente o a la persona que nos solicita el proyecto la fecha de terminación de este.

2.5 ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE PARA EL ALUMNO

Para llegar al objetivo establecido en la unidad II se recomiendan realizar las siguientes actividades de aprendizaje. Las actividades propuestas están diseñadas de acuerdo con la infraestructura del ITSTB.

Tabla 2.5 actividades de aprendizaje de la unidad II

Tema	Actividad de Aprendizaje
2	1.- Construcción del propio conocimiento. Los alumnos anotan en una hoja lo que para ellos es: red, nodo, ruta crítica, holgura, etc. 2.- Comentar en clases.
2.1.1	1.- Investigar los elementos de una red. 2.- Realizar un cuadro sinóptico.

<p>2.1.2 2.1.3</p>	<p>1.- Realizar la construcción de redes, según los criterios de cada método (Red con actividades en los nodos y red con actividades en las flechas). 2.- Realizar ejercicios iniciando con un grado menor de complejidad hasta aumentarlo según se vayan comprendiendo los temas.</p>
<p>2.2</p>	<p>1.- Investigar CPM y PERT 2.- Realizar un cuadro comparativo mostrando las diferencias entre cada uno de ellos.</p>
<p>2.3.1</p>	<p>1.- Investigar cómo se determina la ruta crítica 2.- Realizar un diagrama de flujo de los pasos a seguir para la determinación de la ruta crítica. 3.- Realizar ejercicios iniciando con un grado menor de complejidad hasta aumentarlo según se vayan comprendiendo el tema utilizando los ejercicios de los temas 2.1.2 y 2.1.3.</p>
<p>2.3.2</p>	<p>1.- Investigar cómo se determinan las holguras. 2.- Realizar un diagrama de flujo de los pasos a seguir para la determinación de las holguras. 2.- Realizar ejercicios iniciando con un grado menor de complejidad hasta aumentarlo según se vayan comprendiendo el tema utilizando los ejercicios de los temas 2.3.1.</p>
<p>2.4</p>	<p>1.- Investigar los pasos para encontrar la probabilidad de cumplimiento de la programación del proyecto. 2.- Realizar una tarjeta donde describa los pasos a seguir para la solución de problemas PERT 3.- Realizar ejercicios iniciando con un grado menor de complejidad hasta aumentarlo según se vayan comprendiendo el tema.</p>

2.6 EJERCICIOS Y RESPUESTAS

2.6.1 EJERCICIO DE CÁLCULO DE LA RUTA CRÍTICA Y HOLGURAS

Tabla 2.6 actividades del ejercicio 1

Actividad	Precedencia	Tiempo (Semanas)
A	----	5
B	A	3
C	A	4
D	B, C	2
E	D	3
F	C, E	6
G	E, F	5
H	G	3

Realiza los siguientes incisos.

- a).- Red con actividades en los nodos.
- b).- ¿Cuánto tiempo dura el proyecto?.
- c).- ¿Cuáles son las actividades de la ruta crítica?.
- d).- Holgura de las actividades.
- e).- Holgura libre.

a).- Red con actividades en los nodos.

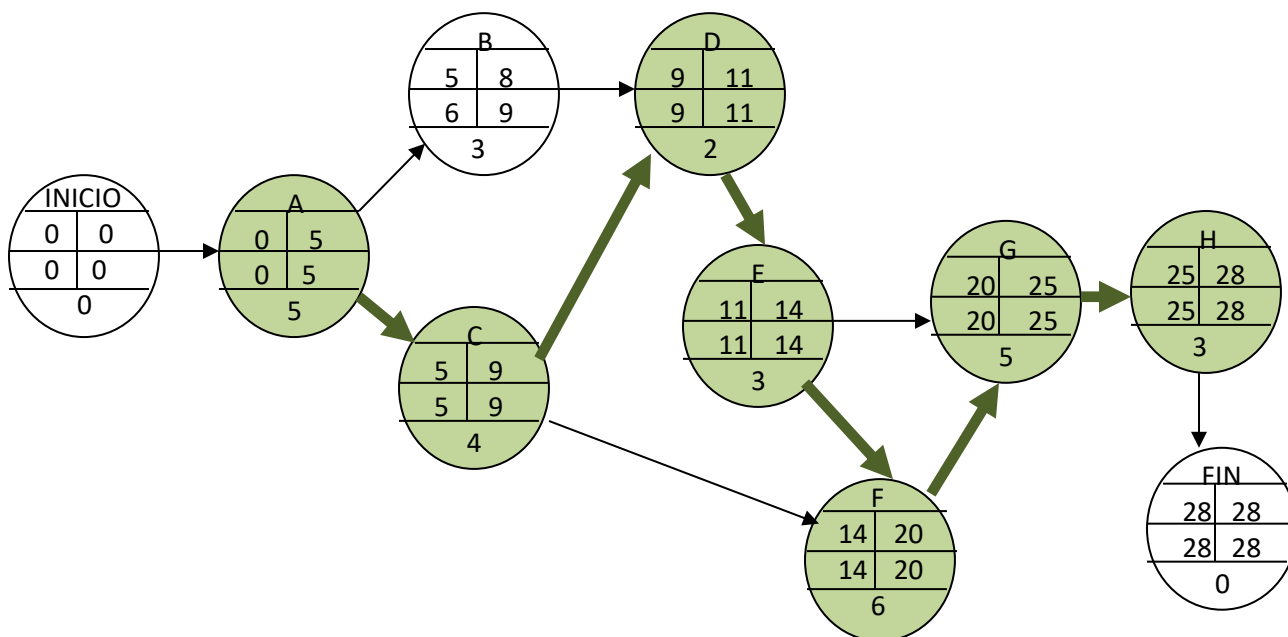


Figura 2.28 Red con actividades en los nodos y su ruta crítica

b).- ¿Cuánto tiempo dura el proyecto?

28 semanas

c).- ¿Cuáles son las actividades de la ruta crítica?

A, C, D, E, F, G, H

d).- Holgura de las actividades.

$$H(A) = 0 - 0 = 0$$

$$H(B) = 6 - 5 = 1$$

$$H(C) = 5 - 5 = 0$$

$$H(D) = 9 - 9 = 0$$

$$H(E) = 11 - 11 = 0$$

$$H(F) = 14 - 14 = 0$$

$$H(G) = 20 - 20 = 0$$

$$H(H) = 25 - 25 = 0$$

e).- Holgura libre.

$$HL(A) = 5 - 5 = 0$$

$$HL(B) = 9 - 8 = 1$$

$$HL(C) = 9 - 9 = 0$$

$$HL(C-F) = 14 - 9 = 5$$

$$HL(D) = 11 - 11 = 0$$

$$HL(E) = 14 - 14 = 0$$

$$HL(F) = 20 - 20 = 0$$

$$HL(G) = 25 - 25 = 0$$

$$HL(H) = 28 - 28 = 0$$

2.6.2 MÉTODO PERT

Tabla 2.7 Información para la realización del ejercicio PERT

Actividad	Actividad predecesora	Tiempo optimista (a)	Tiempo más probable (m)	Tiempo pesimista (b)
A	---	4	7	10
B	---	2	5	8
C	A	6	8	10
D	A, B	5	7	11
E	B	3	5	9
F	D, E	7	10	15
G	C	2	5	8
H	G	4	6	12
I	F	6	9	12
J	H, I	10	13	16
k	J	8	8	12

1.- Realizar la red en nodos vacíos.

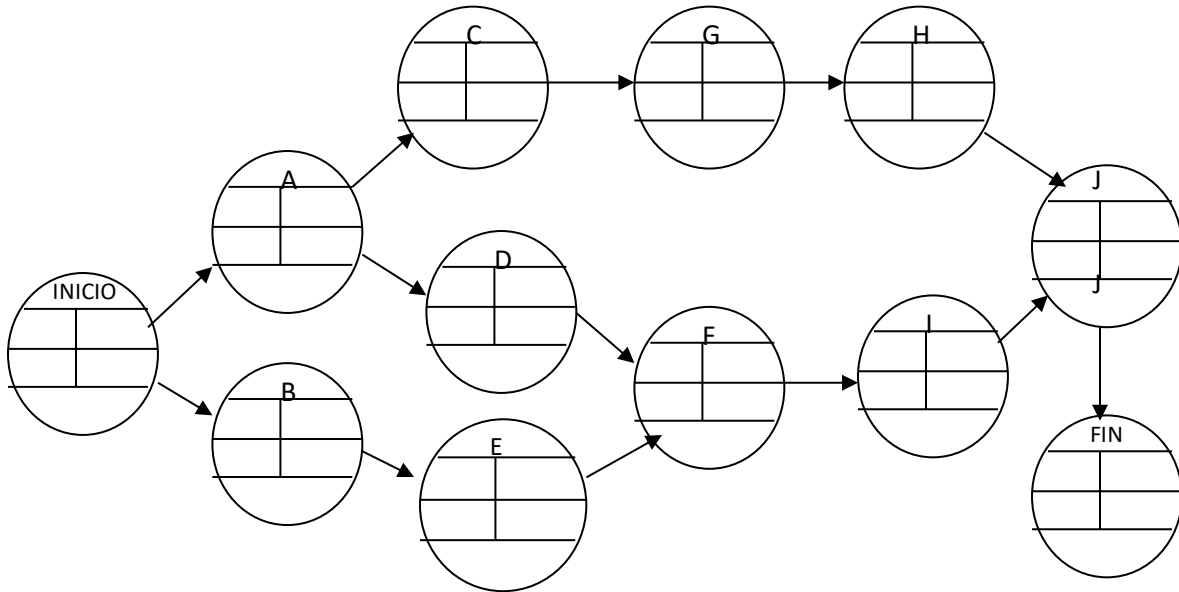


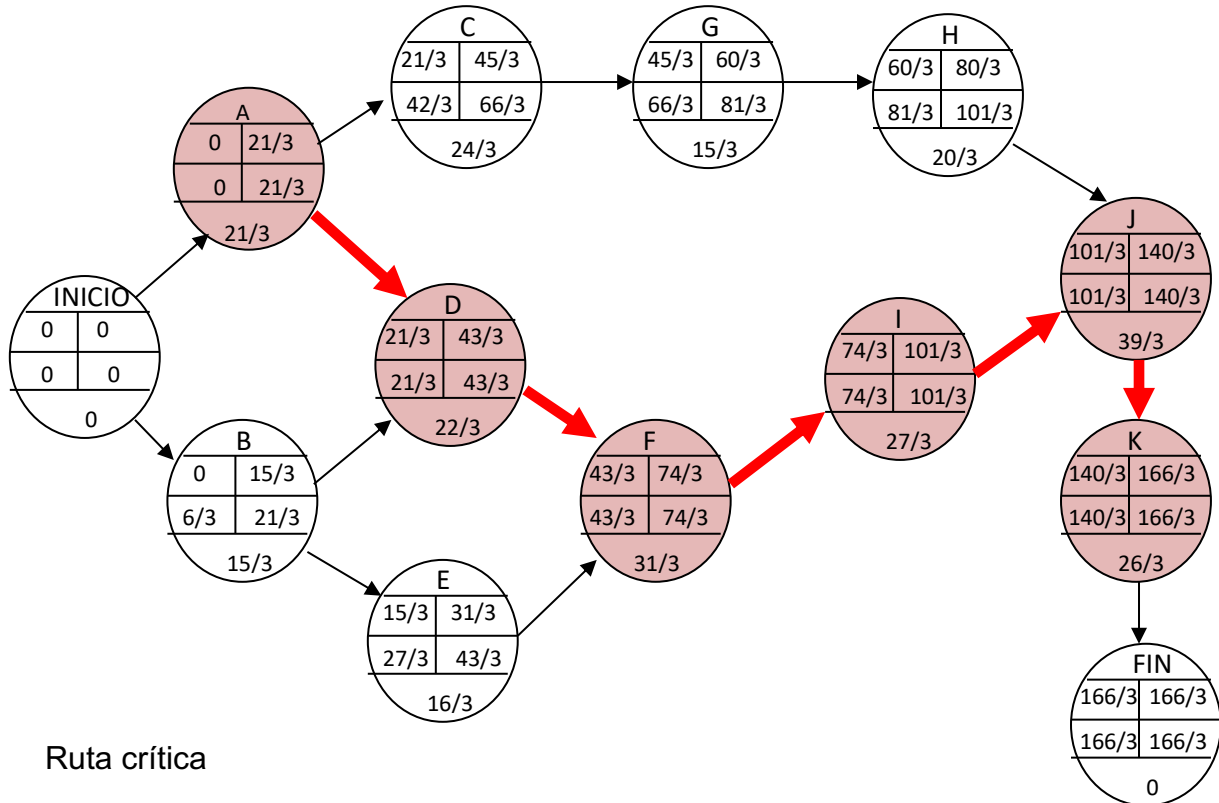
Figura 2.29 Red con actividades en los nodos vacíos

2.- Calcular el tiempo esperado para cada actividad y su varianza.

Tabla 2.8 Cálculo del tiempo esperado y varianza del ejercicio PERT

Actividad	Tiempo esperado	Varianza
	$T = [a + 4m + b] / 6$	$\sigma^2 = [b - a]^2 / 36$
A	$T = [4 + 4(7) + 10] / 6 = 21/3$	$\sigma^2 = [10 - 4]^2 / 36 = 9/9$
B	$T = [2 + 4(5) + 8] / 6 = 15/3$	$\sigma^2 = [8 - 2]^2 / 36 = 9/9$
C	$T = [6 + 4(8) + 10] / 6 = 24/3$	$\sigma^2 = [10 - 6]^2 / 36 = 4/9$
D	$T = [5 + 4(7) + 11] / 6 = 22/3$	$\sigma^2 = [11 - 5]^2 / 36 = 9/9$
E	$T = [3 + 4(5) + 9] / 6 = 16/3$	$\sigma^2 = [9 - 3]^2 / 36 = 9/9$
F	$T = [7 + 4(10) + 15] / 6 = 31/3$	$\sigma^2 = [15 - 7]^2 / 36 = 16/9$
G	$T = [2 + 4(5) + 8] / 6 = 15/3$	$\sigma^2 = [8 - 2]^2 / 36 = 9/9$
H	$T = [4 + 4(6) + 12] / 6 = 20/3$	$\sigma^2 = [12 - 4]^2 / 36 = 16/9$
I	$T = [6 + 4(9) + 12] / 6 = 27/3$	$\sigma^2 = [12 - 6]^2 / 36 = 9/9$
J	$T = [10 + 4(13) + 16] / 6 = 39/3$	$\sigma^2 = [16 - 10]^2 / 36 = 9/9$
K	$T = [8 + 4(8) + 12] / 6 = 26/3$	$\sigma^2 = [12 - 8]^2 / 36 = 4/9$

3.- Asignar a las actividades de la red el tiempo esperado y calcular el tiempo esperado de terminar el proyecto.



Ruta crítica

A, D, F, I, J, K

Figura 2.30 Red con actividades en los nodos calculando la ruta crítica

4.- Probabilidad de concluir el proyecto en un tiempo específico.

¿Cuál es la probabilidad de terminar el proyecto en 60 semanas?

El procedimiento es el siguiente:

1.- Sea μ el tiempo esperado de terminación del proyecto.

$$\mu = 166/3 \text{ semanas.}$$

2.- Calcula la varianza σ^2 del tiempo de terminación del proyecto

$\sigma^2 =$ Suma de las varianzas de los tiempos de las actividades de la ruta crítica

$\sigma^2 =$ Varianza A + Varianza C + Varianza E + Varianza G + Varianza H + Varianza J

J

La varianza de cada una de las actividades de la ruta crítica se muestra a continuación.

Varianza de A =	9 / 9
Varianza de D =	9 / 9
Varianza de F =	16 / 9
Varianza de I =	9 / 9
Varianza de J =	9 / 9
Varianza de K =	<u>4 / 9</u>
	56/9

$$Z = \frac{X - \mu}{\sqrt{\sigma^2}}$$

$$Z = \frac{60 - 166/3}{\sqrt{56/9}} = 1.87$$

Se busca este valor en la tabla Z siendo 0.4693

$$Z = 0.5 + 0.4693 = 0.9693 \times 100 = 96.93\%$$

La probabilidad de que el proyecto termina en 60 semanas es del 96.93% y de que no termine en este tiempo es de 3.07%.

2.7 AUTOEVALUACIÓN

PREGUNTAS

- 1.- ¿Cuáles son las formas de elaborar una red?
- 2.- ¿Cuál es el uso de las actividades ficticias?
- 3.- ¿En qué consiste el método de actividades representadas en las flechas?
- 4.- ¿En qué consiste el método de actividades representadas en los nodos?

PROBLEMAS

1.- Se desea fabricar un nuevo producto de plástico, un muñeco de nieve para la próxima navidad. El jefe de producción divide el proyecto en las actividades dadas en la tabla siguiente:

Tabla 2.9 información del ejercicio de autoevaluación II

Actividades	Descripción	Actividades predecesoras	Duración semanas
A	Investigación de mercado	---	2
B	Diseño del nuevo producto	A	3
C	Análisis de la demanda	B	2
D	Compra de materiales	B, C	1
E	Manufactura de ensayo	D	1
F	Preparación de las líneas de producción	E	2
G	Corrida de producción	C, D, F	4
H	Distribución	G	2
I	Campaña de publicidad	D	2
J	Ofertas de ventas	H, I	1

UNIDAD III OPTIMIZACIÓN DE REDES DE ACTIVIDADES

OBJETIVO DE LA UNIDAD: El alumno al final de la unidad aplicará las técnicas de compresión de redes para la optimización de recursos.

En las unidades anteriores hemos concentrado la atención en los aspectos del tiempo de CPM / PERT y de un conjunto de tiempos de inicio y terminación más tempranos y tardíos para cada una de las actividades. A cada actividad se le ha asignado un tiempo de duración al cual le llamamos duración normal. En la presente unidad vamos a estudiar dos técnicas que nos permiten hacer un análisis de compensación entre **costo-tiempo**. En todos los procedimientos desarrollados en esta unidad se supone que los recursos son ilimitados. Si este no es el caso o el personal solo se requiere en ciertos días, entonces los procedimientos de la siguiente unidad son más apropiados que los descritos aquí.

El principal propósito de esta unidad es el de explicar el procedimiento que determine los programas para reducir la duración total del proyecto, con un mínimo incremento en los costos totales del proyecto.

Los métodos que se estudiarán en la presente unidad nos permiten dar respuesta a las siguientes preguntas.

1. ¿cuál es el costo mínimo de un proyecto?
2. ¿Cuál es el tiempo mínimo en el que se puede realizar el proyecto?
3. ¿Cuál es el incremento en costo al reducir cantidad de tiempo, la duración total del proyecto?

Compresión de una red

El hecho de reducir el tiempo de una actividad se le llama compresión. El tiempo normal de una actividad lo podemos reducir en algunas actividades del proyecto, mediante la asignación de recursos adicionales, lo que implica un aumento en los costos. No todas las actividades permiten ser reducidas, es importante conocer en un proyecto que actividades se pueden reducir y el costo que como consecuencia tiene esto, ya que en algunos casos el cliente desea reducir el tiempo total de terminación del proyecto o la gerencia desea conocer el costo del proyecto, si éste es reducido cierta cantidad del tiempo total esperado.

Procedimiento para comprimir redes

Existen varios métodos para contestar las preguntas hechas al inicio de la unidad. Cualquiera que sea el método debe de tenerse la siguiente guía.

- a) Reducir siempre actividades en la ruta o rutas críticas.
- b) Reducir siempre las actividades menos costosas.
- c) Debe cuidarse la aparición de nuevas rutas críticas.

3.1 RELACIONES TIEMPO-COSTO

3.1.1 CONCEPTOS DE COSTO CONTRA TIEMPO

La más interesante aplicación de restricción de tiempo y en el cual se basa el desarrollo del procedimiento CPM costo-tiempo, surge cuando nos preguntamos ¿cuál es el balance justo del valor de tiempo ahorrado contra el incremento en costo de ese ahorro? Estas situaciones ocurren frecuentemente, por ejemplo, en las revisiones principales de grandes sistemas tales como plantas químicas,

construcción de aviones, barcos etc. aquí el valor del tiempo ahorrado es muy alto, y además es conocido con precisión.

En estas aplicaciones lo esencial del problema consiste en desarrollar un procedimiento para encontrar el costo mínimo del tiempo ahorrado. Esto supone que algunos trabajos se pueden hacer más rápidamente, si más recursos están disponibles para ello. Los recursos pueden ser hombre, maquinas y/o materiales. Suponemos que esos recursos pueden ser estimados y medidos, reducidos a unidades monetarias y resumidos a un costo por unidad de tiempo. Dada la disponibilidad de la función costo-tiempo para cada una de las actividades del proyecto, el administrador puede elegir el tiempo de terminación del proyecto que más convenga en una situación dada.

El desarrollo del procedimiento básico CPM costo-tiempo, está basado en un número de términos especiales los cuales son definidos a continuación

Costos directos de una actividad: Aquí se incluyen los costos de materiales, equipo y trabajo directo (hora-hombre) requerido para ejecutar la actividad en cuestión. Si la actividad está siendo realizada por un subcontratista, entonces el costo directo de la actividad es igual al precio de los que cobre el subcontratista.

Costos indirectos del proyecto: puede incluir costos de supervisión, intereses cargados sobre la inversión acumulada del proyecto, costo de penalización por terminar el proyecto después de la fecha especificada. Estos costos son asociados con el proyecto, no en forma individual con cada actividad.

Punto normal costo-tiempo de la actividad: El costo de la actividad normal es igual al mínimo costo requerido para realizar la actividad, y su duración correspondiente se llama tiempo normal, el cual es usado en la planeación y programación del camino crítico.

Punto tope costo-tiempo de la actividad: el tiempo tope es el tiempo de duración mínimo posible de la actividad, esto es, se realiza la actividad en forma intensiva sin reparar en costos, con el fin de reducir el tiempo de ejecución de la actividad lo más que se pueda. El costo tope es el costo asociado al tiempo.

Conforme se aumentan recursos a una actividad, ésta disminuye su tiempo, pero incrementa su costo de ejecución, sin embargo, las actividades no pueden reducirse inmediatamente si no que tienen un solo límite más allá de este límite, solo se incrementa el costo directo sin una reducción adicional de tiempo.

El punto normal y el punto tope son por las coordenadas (t_n, c_n) y (T_t, C_t) respectivamente, como se muestran en la figura 3.1

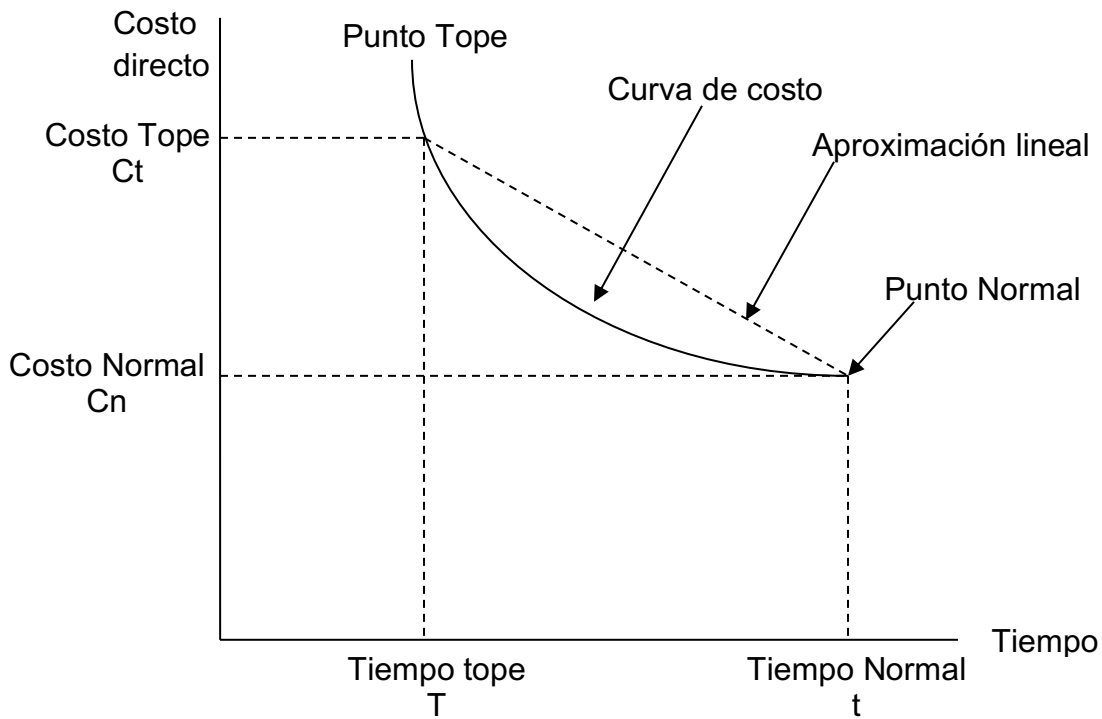


Figura 3.1 Función de Compensación Costo- tiempo

Se supone que los recursos son infinitamente divisibles, tal que todos los tiempos entre T_n y T_t son factibles, y la relación m costo-tiempo está dada por la línea sólida. Se asume que esta es convexa tal como se muestra en la figura 3.1 y puede aproximarse adecuadamente a una línea recta punteada.

Dado que se puede construir la función costo-tiempo para cada una de las actividades, el administrador del proyecto, tiene la oportunidad de elegir dentro de los límites permitidos, la duración total del proyecto. Observe que existe un programa de tiempo mínimo y también un programa de costo mínimo, y entre estos programas existe un conjunto de programas factibles.

A continuación, se realizarán las técnicas que nos permiten determinar la mejor combinación costo-tiempo para dar respuesta a las preguntas, que se plantearon al inicio de esta unidad.

Antes de aplicar el método es necesario definir la siguiente terminología.

T_n = Tiempo normal; tiempo esperado de ejecución de la actividad en situación normal.

C_n = Costo normal; costo asociado con el tiempo normal de la actividad.

T_t = Tiempo tope; el menor tiempo posible para terminar la actividad.

C_t = Costo tope; Costo asociado con el menor tiempo posible de ejecución de la actividad.

CM = Costo marginal; es lo que cuesta reducir en una unidad de tiempo la actividad.

PR = Posible reducción; es el máximo de unidades de tiempo que se pueden reducir en cada actividad.

CT = Costo Total; es el costo del proyecto el cual está formado por la suma del costo indirecto y costos directos.

DD= Duración deseada del proyecto; es un dato exógeno, depende de la decisión del

3.1.2 MÉTODO DE REDUCCIÓN POR CICLOS

Este método nos permite construir la curva de costo total del proyecto, de manera que podemos saber cuál es el costo total mínimo o muy cercano a él y cuál es el costo de compresión máxima de la red. El administrador tiene varias opciones y puede elegir según sea la prioridad del proyecto. Este método no garantiza que se encuentre el costo óptimo, pero da una solución muy cercana a dicho punto. A continuación, se dan los pasos del método.

3.1.2.1 *Pasos del método de reducción por ciclos*

PASO 0

Comenzar con duración normales para cada actividad (red original), calcular posibles reducciones y costos marginales de cada actividad.

PASO 1

Encontrar la(s) ruta(s) crítica(s) y sus costos totales

PASO 2

Seleccionar actividades críticas a reducir. Se pueden encontrar tres casos.

- i. Una ruta crítica. - Seleccionar la actividad con mínimo costo marginal y que tenga una posible reducción mayor que cero.

- ii. Varias rutas críticas independientes. - Esto es que no tienen actividades en común. Seleccionar para cada ruta crítica la actividad con menor costo marginal y que tenga posible reducción mayor que cero.
- iii. Varias rutas críticas que comparten actividades. - Seleccionar un grupo de actividades de manera que cumpla con lo siguiente:
 - La posible reducción de cada una de ellas sea mayor que cero.
 - Para cada ruta crítica exista al menos una actividad en el grupo.
 - La suma de los costos marginales de las actividades en el grupo sea mínima.

PASO 3

Realizar el ensayo e Identificar holguras libres que disminuyeron; al disminuir en una unidad de tiempo todas las actividades seleccionadas del paso 2 y seleccionar la mínima afectada (PRHL).

PASO 4

Identificar la mínima de las posibles reducciones de las actividades (PRM) seleccionadas en el paso 2. Reducir todas las actividades seleccionadas en el paso 2 de la manera siguiente:

Mínimo (PRHL, PRM)

PASO 5

Adaptar los costos. Si el objetivo se cumplió (depende del objetivo deseado) de por terminado el análisis, de otra manera ir al paso 3.

El objetivo del paso 3, es el de observar la aparición de nuevas rutas críticas.

EJEMPLO 3.1

A continuación, vamos a resolver un ejemplo de pocas actividades para aplicar el método.

Los costos indirectos para este proyecto se estiman en \$100 por día de duración del proyecto. El administrador desea saber cuál es el tiempo mínimo de realización del proyecto y su costo. Los datos se muestran en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Un pequeño proyecto de mantenimiento consta de siete tareas. A continuación, se dan los datos:

Actividad	Requisito	Normal		Tope	
		Duración Tn semanas	Costo Cn pesos	Duración Tt semanas	Costo Ct pesos
A	----	10	160	8	400
B	----	13	150	10	300
C	----	9	400	7	600
D	A	15	300	10	550
E	C	18	420	12	900
F	A	13	110	10	200
G	B, D	15	180	11	400

SOLUCIÓN

CICLO 0 (RED ORIGINAL)

PASO 0

Vamos primero a realizar la red, la cual la vamos a nombrar original; asignándole a las actividades el tiempo (Duración Tn semanas) y calculando la ruta crítica ver figura 3.2. Y después vamos a calcular los costos marginales (CM de cada una de las actividades) y su posible reducción (PR).

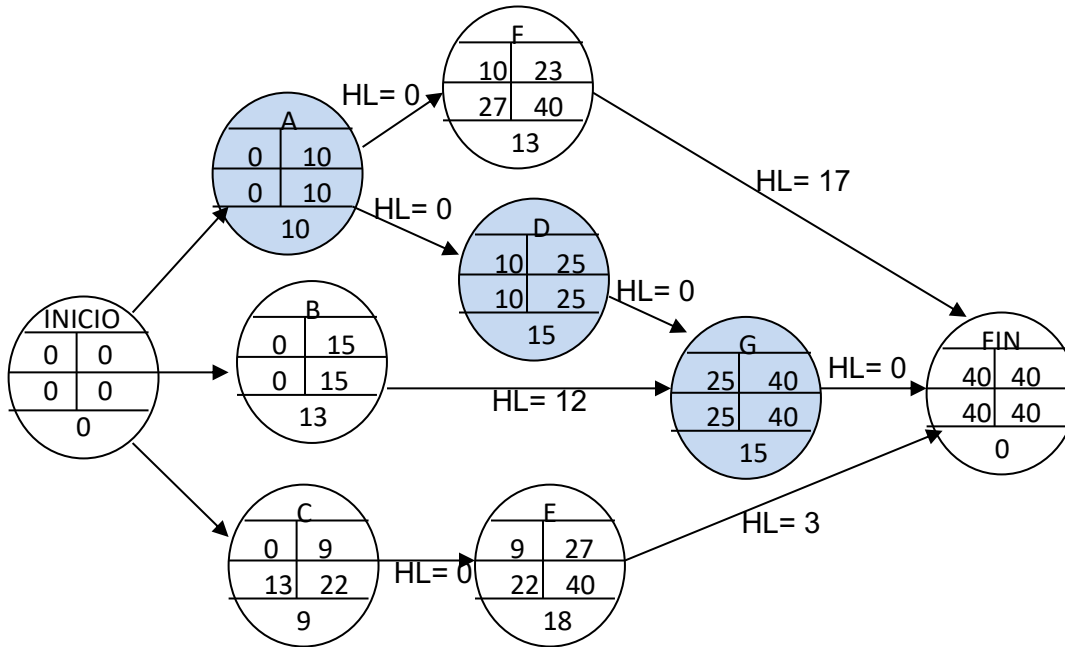


Figura 3.2 Red original mostrando la duración del proyecto y la ruta crítica.

$$\text{Costo Marginal (CM)} = (Ct - Cn) / (Tn - Tt)$$

$$CM(A) = (400 - 160) / (10 - 8) = 120$$

$$CM(B) = (300 - 150) / (13 - 10) = 50$$

$$CM(C) = (600 - 400) / (9 - 7) = 100$$

$$CM(D) = (550 - 300) / (15 - 10) = 50$$

$$CM(E) = (900 - 420) / (18 - 12) = 80$$

$$CM(F) = (200 - 110) / (13 - 10) = 30$$

$$CM(G) = (400 - 180) / (15 - 11) = 55$$

Posible Reducción (PR) = (Tn –Tt)

$$PR (A) = (10 - 8) = 2$$

$$PR (B) = (13 - 10) = 3$$

$$PR (C) = (9 - 7) = 2$$

$$PR (D) = (15 - 10) = 5$$

$$PR (E) = (18 - 12) = 6$$

$$PR (F) = (13 - 10) = 3$$

$$PR (G) = (15 - 11) = 4$$

PASO 1

Vamos a encontrar su(s) ruta(s) crítica(s). La red resultante y sus tiempos se muestran en la Figura 3.2

Podemos observar que solo tenemos una ruta crítica formada por las actividades A – D – G.

Los costos para esta red son los siguientes:

COSTOS TOTALES = Costos directos $\sum C_n$ + C.I (Duración del proyecto) + (PR Tiempo de reducción) (CM de la actividad reducida).

$$COSTOS TOTALES = 1720 + 100 (40) = \$ 5, 720$$

Como se dieron cuenta no se consideraron PR y CM; por que aún no realizamos ninguna reducción. Esta fórmula se aplica completa a partir de que se empieza a reducir la red.

PASO 2

Ahora vamos a seleccionar que actividad crítica hay que reducir, se nos presenta el caso i, donde solo hay una ruta crítica, se elige la actividad con menor costo marginal y cuya posible reducción sea mayor que cero.

CM (A)	CM (D)	CM (G)
120	50	55


 Menor Costo Marginal

Por lo tanto, la actividad seleccionada para reducir es D.

¿Cuántas unidades de tiempo hay que reducir? Esta respuesta se obtiene cuando se realiza el ensayo reduciendo en una unidad la actividad seleccionada (siempre en el ensayo se reducirá solo una unidad) y pasar al paso 3.

ENSAYO 1 Reducir D 1 semana. Quedando D= 15 - 1= 14 semanas.

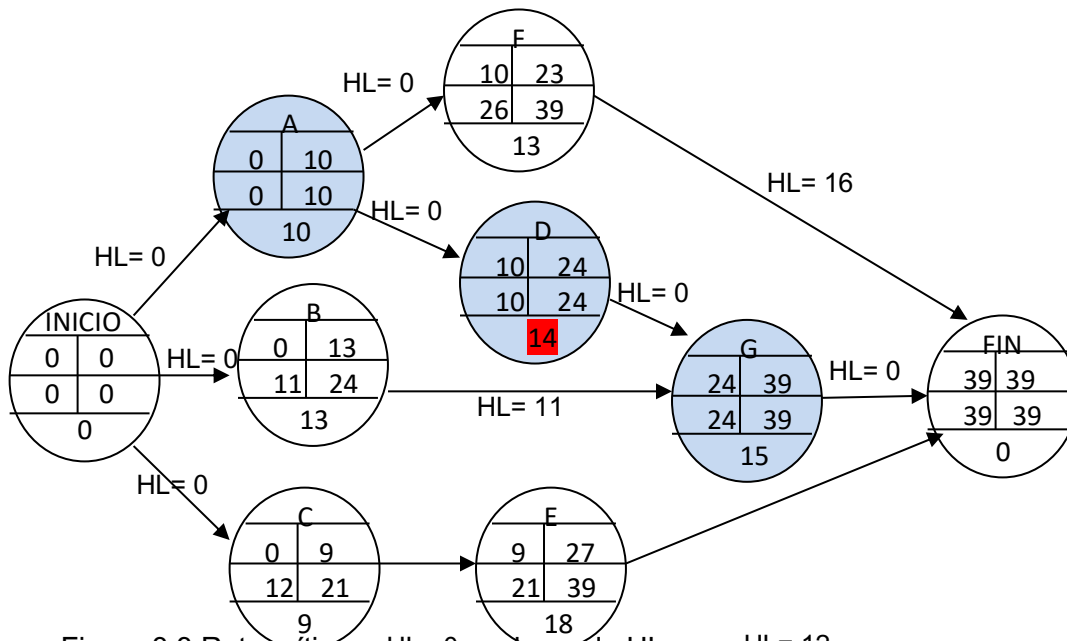


Figura 3.3 Ruta crítica y niveles valores de HL

HL = 12

PASO 3

En este paso vamos a ver qué actividades se afectan, al reducir en una unidad de tiempo la actividad D anteriormente seleccionada en el paso 2, comparando las HL de la red original y la del ensayo 1. La figura 3.3 nos muestra los nuevos valores.

<p>Holguras afectadas</p> <p>B, G = 12</p> <p>E, FIN = 13</p> <p>F, FIN = 17</p>	<p style="font-size: 3em;">}</p>	<p>HL de la red original</p>	<p>Holguras afectadas</p> <p>B, G = 11</p> <p>E, FIN = 12</p> <p>F, FIN = 16</p>	<p style="font-size: 3em;">}</p>	<p>HL de la red del ensayo 1</p>
--	----------------------------------	------------------------------	--	----------------------------------	----------------------------------

PRHL = Mim (12, 13, 17) \leftarrow Se escoge el menor
 PRHL = 12

No se consideraron los valores de HL del ensayo; ya que los ensayos son ficticios y únicamente nos sirven para ver que HL disminuyen con respecto a las HL de los ciclos.

PASO 4

Ahora vamos a seleccionar la mínima de las posibles reducciones de la(s) actividad(es) seleccionada(s) en el paso 2, en este caso solo se seleccionó a la actividad D, y su posible reducción es 5. Por lo que tenemos que:

$$PRM = \text{Min. PR} (D) = (5) = 5$$

Entonces la actividad D, debe de reducirse al mínimo valor de entre PRHL y PRM.

$$\text{MIN} = (\text{PRHL}, \text{PRM}) = (12, 5) = 5$$

Por lo tanto, la actividad D se debe reducir en 5 semanas, quedando su nueva duración de 10. La nueva red se muestra en la figura 3.4. No se olvide actualizar la posible reducción de la actividad D. su nueva PR (D) = 0

CICLO 1 Reducir D 5 semanas D= 15-5 10 semanas

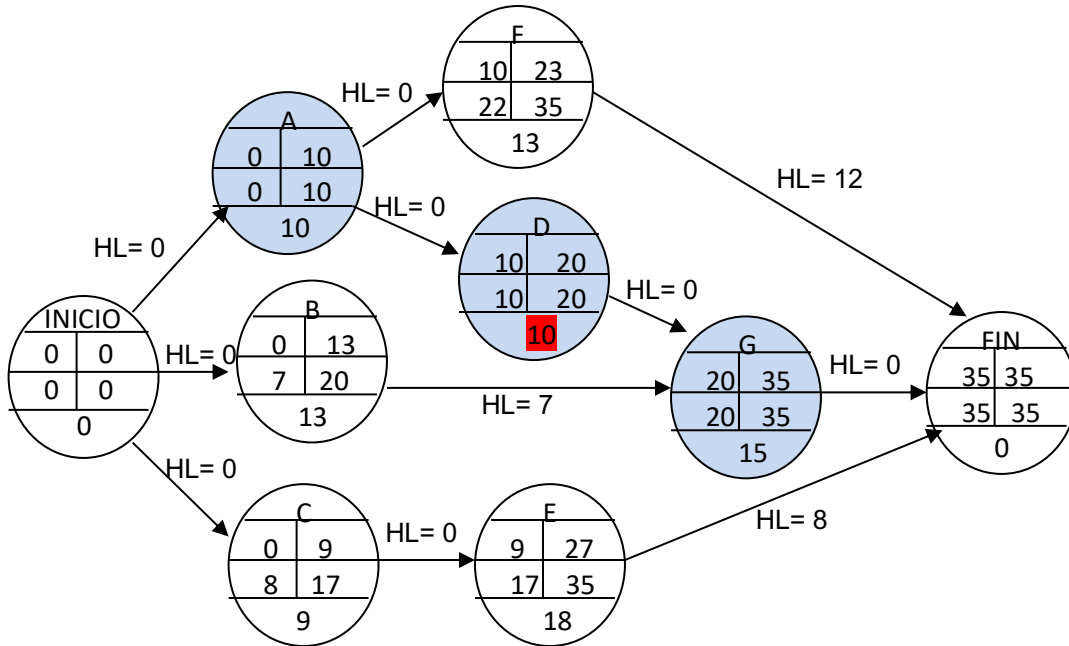


Figura 3.4 Ruta crítica, nueva duración del proyecto y nuevos valores de HL

PASO 5

Considerando la red de la figura 3.4 Hay que calcular los costos para esta red, se actualiza el costo indirecto y se agrega el costo por reducción de tiempo de la actividad D. quedando como sigue:

$$\text{COSTOS TOTALES} = \text{Costos directos } \sum C_n + \text{C.I (Duración del proyecto)} + (\text{PR Tiempo de reducción}) (\text{CM de la actividad reducida}).$$

$$\text{COSTOS TOTALES} = 1720 + 100 (35) + (5) (50)$$

$$\text{COSTOS TOTALES} = \$ 5470$$

Con 35 semanas de duración del proyecto el costo total es de \$5470, reduciéndose 5 semanas y \$300.

Iniciamos nuevamente el proceso.

PASO 1

Considerando la red de la figura 3.4 del ciclo 1 (siempre considerar los ciclos nunca los ensayos) no se generó nuevas rutas por lo que tenemos

RUTA CRÍTICA A – D - G

PASO 2

Seleccionamos la actividad G, pues es la de menor costo marginal y $PR > 0$. La actividad D no se toma en cuenta porque su $PR = 0$

CM (A)	CM (D)	CM (G)
120	50	55
	↑	↑
Menor costo marginal, pero $PR=0$		Menor costo marginal, después de D

PASO 3

ENASAYO 2 Reducir G 1 semana. Quedando G= 10 semanas.

Vamos a reducir en una semana la actividad seleccionada G, para ver qué actividades se ven afectadas en sus holguras libres. Los nuevos valores se muestran en la Figura 3.5

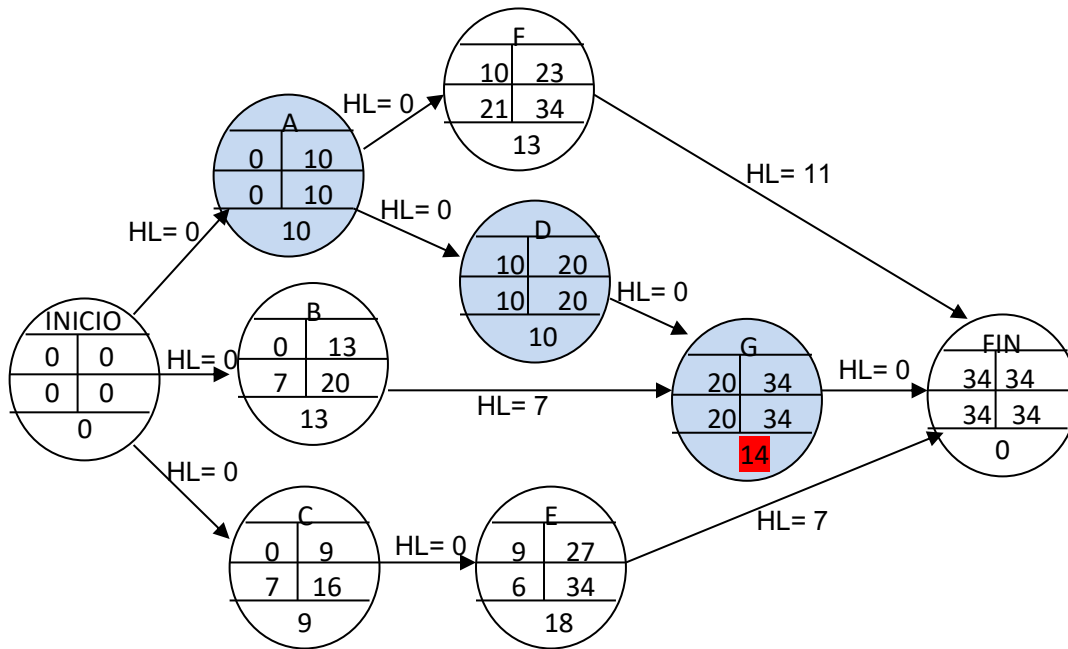


Figura 3.5 Red con reducción de 1 semana en G.

Podemos observar en la figura 3.5 que las holguras libres afectadas son de las actividades E y F. elegimos la menor holgura libre de dichas actividades de la figura 3.5

$$PRHL = \text{Min} (HL(E), HL(F)) = (12, 8) = 8$$

PASO 4

Como solo elegimos la actividad G en el paso 2, entonces tenemos $PRM = PR(G) = 4$. Ahora elegimos 1° reducción de la actividad G como sigue:

$$\text{Min}(PRHL, PRM) = (8, 4) = 4$$

En la figura 3.6 se muestran los cálculos para reducción de la actividad G en 4 semanas. Actualizamos la posible reducción de la actividad G, quedando como

$$PR(G) = 0$$

CICLO 2 Reducir G 4 semanas $G = 15 - 4 = 11$ semanas

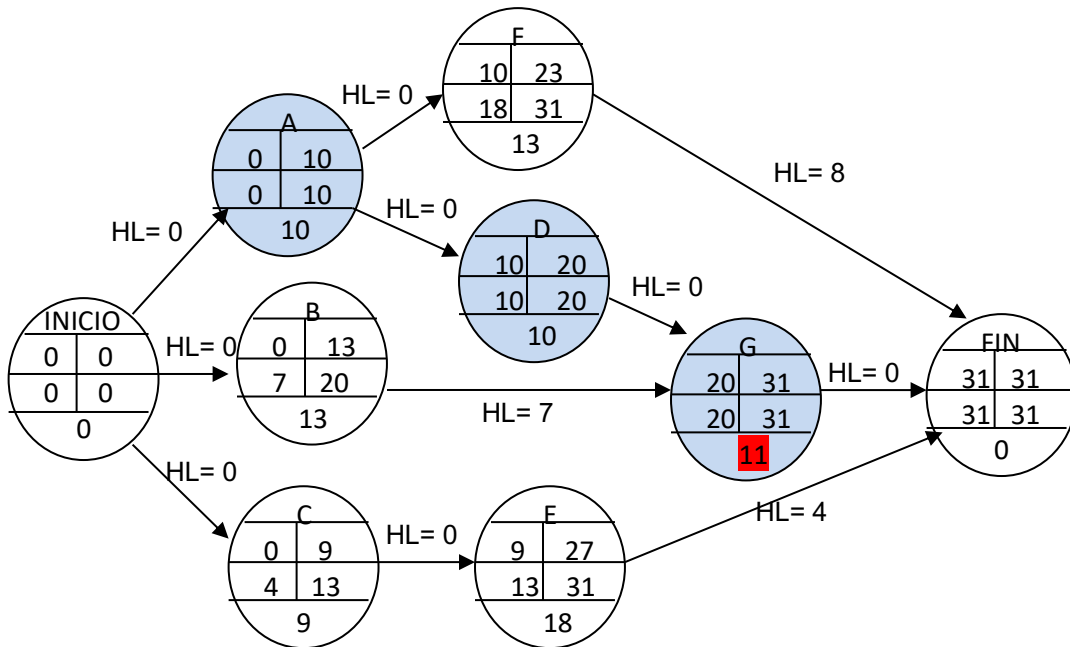


Figura 3.6 Ruta crítica, nueva duración del proyecto y nuevos valores de HL ciclo 2

PASO 5

Lo costos directos para la red de la figura En la figura 3.6 se muestra a continuación.

$$\text{COSTOS TOTALES} = 1720 + 100 (31) + (4) (55)$$

$$\text{COSTOS TOTALES} = \$ 5040$$

Con 31 semanas de duración del proyecto el costo total es de \$5040, reduciéndose 9 semanas y \$680.

Iniciamos nuevamente.

PASO 1

Considerando la red de la figura 3.6 (ciclo 2) no se generaron nuevas rutas

RUTA CRÍTICA A – D - G

PASO 2

Tenemos el caso i, y solo queda por reducir a la actividad A, ya que la posible reducción de las actividades D y G es cero. La actividad seleccionada entonces será la actividad A.

PASO 3

Veremos que holguras libres se ven afectadas al reducir una semana la actividad A, los cálculos de las holguras libres modificadas se muestran en la figura 3.7

ENSAYO 3 REDICIR A 1 SEMANA $10 - 1 = 9$

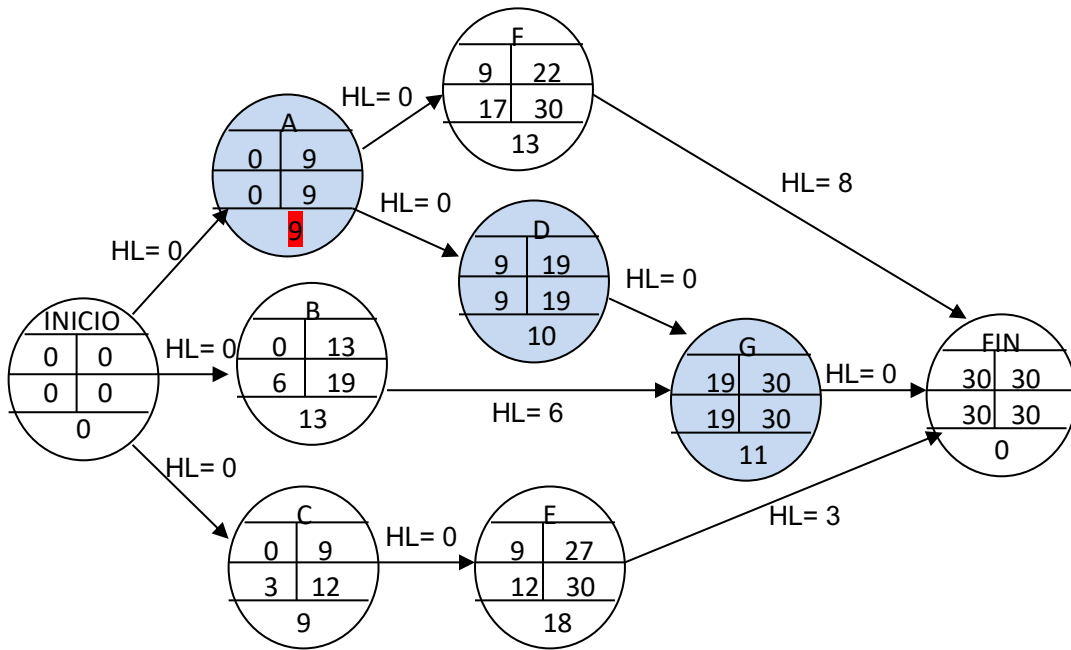


Figura 3.7 Red con reducción de 1 semana en A.

Holguras libres afectadas

$$HL (B) \text{ Y } HL (E)$$

$$PRHL = Mm (7, 4) = 4$$

PASO 4

La actividad seleccionada en el paso 2, fue la actividad A, entonces tenemos que $PRM = (2)$. Por lo que la reducción de la actividad A se obtiene:

$$Mm (PRHL, PRM) = (4, 2) = 2$$

Hay que reducir la actividad A en 2 semanas, los cálculos de la red se muestran en la figura 3.8.

CICLO 3 Reducir A 2 semanas A = 10 – 2 = 8 semanas

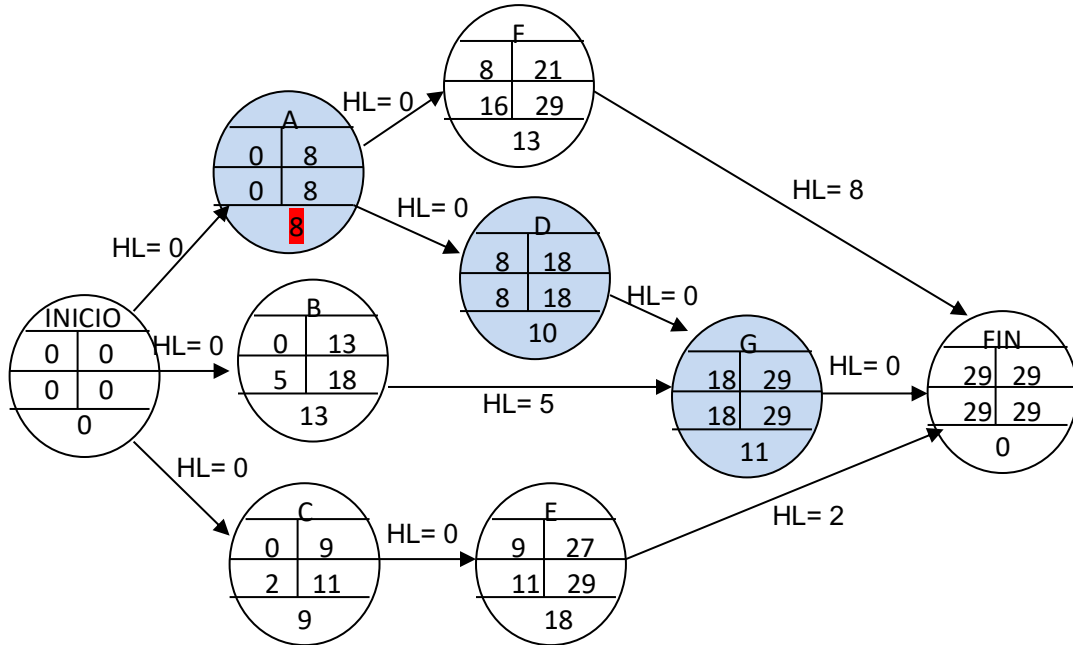


Figura 3.8 Ruta crítica, nueva duración del proyecto y nuevos valores de HL ciclo 3

Los costos para este ciclo son:

$$\text{COSTOS TOTALES} = 1720 + 100 (29) + (2) (120)$$

$$\text{COSTOS TOTALES} = \$ 4860$$

PASO 1

RUTA CRÍTICA A – D - G

Ya no podemos reducir más la red, ya que solo tenemos una ruta crítica y sus actividades ya no se pueden reducirse más, por lo tanto, es su compresión máxima.

RESUMEN:

Tabla 3.2 Muestra las reducciones del proyecto y sus costos totales

CICLO	DURACIÓN Semanas	COSTO TOTAL
0	40	\$ 5720
1	35	\$ 5470
2	31	\$ 5040
3	29	\$ 4860

En el resumen se puede observar que el costo óptimo se presenta en el ciclo 3; lo que se deseaba determinar en este caso era la duración mínima del proyecto, ésta se presenta en el ciclo 3 con duración de 29 semanas y un costo total de \$4860 reduciéndose 11 semanas y \$860.

3.1.3 MÉTODO APROXIMADO DE SIEMENS (SAM)

Un método para encontrar un programa comprimido en tiempo es el método Sam, este es un método heurístico, por lo que no garantiza soluciones óptimas, pero da muy buenos resultados y tiene la ventaja de ser sencillo y fácil de aplicar.

En este método una característica es que necesitamos conocer cuál es la duración deseada del proyecto, este es un dato exógeno. El método trata de encontrar el costo total mínimo del proyecto, para la duración deseada.

Antes de aplicar el método es necesario definir la siguiente terminología.

3.1.3.1 Pasos del método SAM

1. Iniciar con duraciones normales y construir la red de las actividades que componen el proyecto.

2. Determinar todas las posibles rutas de la red, así como los tiempos de duración normal de cada una de ellas. (La trayectoria más larga es la ruta crítica).
3. Determinar la duración deseada del proyecto DD.
4. Determinar cuánto debe acortarse cada ruta para cumplir con la duración fijada en el paso anterior. La cantidad que se debe acortar una ruta se calcula restando al tiempo de duración normal de la ruta, el tiempo deseado de duración del proyecto. Algunas trayectorias no necesitan acortarse. Cuando el tiempo de duración normal es menor o igual al tiempo deseado.
5. Calcular el costo marginal (CM) ; así como la cantidad máxima que se puede acortar cada actividad del proyecto (PR).
6. Desarrollar la matriz de costo – tiempo como sigue:
 - a) Cada renglón es una actividad.
 - b) Cada columna es una ruta. Solo se incluyen aquellas rutas que necesitan acortarse.
 - c) En dos columnas registre el costo marginal posible reducción de cada actividad.
 - d) Los totales de las columnas representan la cantidad mínima que se debe acortar las trayectorias para poder acortar la duración del proyecto al tiempo deseado.
 - e) En cada columna tache las actividades que no intervienen en la ruta que representa la columna.
7. Determinar el costo marginal efectivo (CME) para cada actividad, modificando el costo marginal actual registrado en una de las columnas de la matriz, de acuerdo con el siguiente procedimiento:
 - a) Determinar cuáles rutas no han sido acortadas adecuadamente (inicialmente ninguna ruta estará acortada en la matriz).

- b) Dividir el costo marginal de cada actividad entre el número de rutas que no han sido adecuadamente acortadas y que incluyen a la actividad. Esto da el CME.
 - c) Registrar para cada actividad en la matriz CME.
 - d) Revisar los CME de las actividades cuando alguna ruta ha sido acortada adecuadamente. No todas las actividades requieren modificación de costos efectivos. El procedimiento para la revisión está en el inciso b) del paso 7.
8. Seleccionar la columna (ruta) que aun tenga la mayor demanda de acortamiento. Inicialmente la columna seleccionada será la ruta crítica original. Si la mayor demanda es común a más de una ruta, discriminar a favor de la trayectoria que contenga la actividad con CME menor. En esta columna, seleccionar la actividad a reducir, la cual es aquella con el CME, limitando la selección a aquellas actividades que aún tienen tiempo disponible para reducir ($PR > 0$). Si este costo efectivo es común a más de una actividad en la columna elegida, use el siguiente procedimiento para seleccionar la actividad.
- a) Discriminar a favor de la actividad que es común al mayor número de rutas aun no adecuadamente acortadas.
 - b) Si persiste empate de las actividades, discriminar a favor de la actividad que permite la mayor cantidad de acortamiento.
 - c) Si la selección de una actividad para acortar no puede aún ser única, discriminar a favor de la actividad dentro de la columna seleccionada que es común al mayor número de rutas en la matriz (rutas adecuadamente y no adecuadamente acortadas).
9. La cantidad que la actividad seleccionada en el paso 8 se acorta, se determina de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- a) La demanda por acortamiento insatisfecha en cualquier columna que contenga la actividad (ignorar rutas que ya hayan sido acortadas adecuadamente)
- b) El posible acortamiento actual de la actividad.
- c) La cantidad menor de los criterios (a) y (b), es la cantidad de tiempo que se acorta la actividad seleccionada.

El efecto del procedimiento del paso 9, es acortar tanto tiempo como sea posible a la actividad seleccionada sin cambiar el CME y sin exceder el posible acortamiento de la actividad.

- 10. Cuando el acortamiento posible de una actividad se agote ($PR = 0$), se tacha la fila de esta actividad. Cuando se cumplan las demandas de una ruta, se tacha la columna. Al tacharlas, se les elimina del análisis posterior.
- 11. Repetir los pasos del 7 al 10 hasta que todas las rutas sean adecuadamente acortadas (esto se indica al pie de cada columna), algunas rutas resultan más cortas de lo que se necesita, debido a que algunas actividades son comunes a varias rutas y reducir una actividad simultáneamente reduce la longitud de las rutas.

EJEMPLO 3.2

Para hacer una aplicación del método, considérense los datos de la tabla 3.3. Es un problema de solo cinco actividades para que el alumno se familiarice con la técnica.

Tabla 3.3 datos normales y de reducción para el problema de cinco actividades.

Actividad	Predecesora inmediata	Normal		Tope	
		Duración Tn Semanas	Costo Cn Pesos	Duración Tt Semanas	Costo Ct pesos
A	-----	20	50	15	100
B	-----	15	70	10	220
C	A, B	8	100	5	220
D	B	19	80	4	170
E	C	10	70	8	90

Suponga que los costos indirectos para este proyecto son de \$150 por día de duración. El administrador desea conocer el Costo Total del proyecto para una duración de 30 semanas.

SOLUCIÓN

PASO 1

Primero hacemos la red, asignando los tiempos normales No es necesario hacer los cálculos de los tiempos de inicio y terminación, ya que solo nos interesa todas las posibles rutas y su duración normal. Quedando la red como se muestra en la figura 3.9

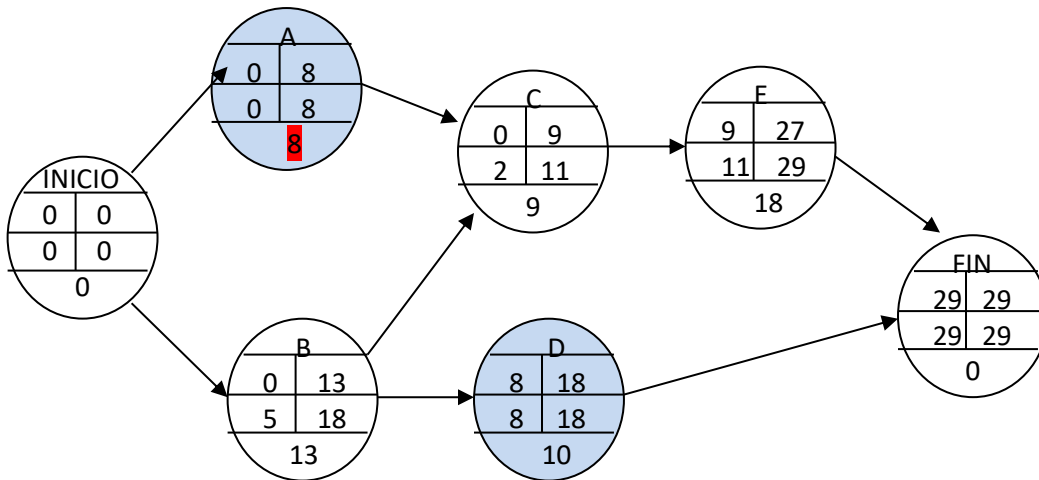


Figura 3.9 Red del problema de cinco actividades para aplicar el método SAM.

PASO 2

Ahora observemos la red ponemos todas las posibles rutas y su duración

Tabla 3.4 posibles rutas y su duración.

Rutas	Duración normal
A, C, E	38 semanas
B, C, E	33 semanas
B, D	34 Semanas

PASO 3

La duración deseada es $DD = 30$ semanas.

PASO 4

En este paso vamos a determinar el posible acortamiento (PA) en cada ruta. Este lo obtenemos de la diferencia de la duración normal y la duración deseada, quedando como sigue:

Tabla 3.5 Rutas a acortarse

Rutas	Duración normal
A, C, E	38 semanas
Rutas	Duración normal
A, C, E	$38 - 30 = 8$
B, C, E	$33 - 30 = 3$
B, D	$34 - 30 = 4$

Se puede ver que todas las rutas necesitan acortarse.

PASO 5

Ahora se calculará el costo marginal (CM) y la posible reducción (PR) de cada actividad. Para la actividad A su posible reducción es la diferencia de su duración normal y su duración tope ($20 - 155$), su costo marginal es el cociente que resulte de dividir la diferencia del costo tope y el costo normal entre su posible reducción ($100 - 50$) / $5 = 10$.

Lo mismo hacemos para las demás actividades, dando como resultado la siguiente información:

Tabla 3.6 Cálculo del PR y CM de cada actividad

Actividad	PR	CM
A	$20 - 15 = 5$	$(100 - 50) / 5 = 10.$
B	$15 - 10 = 5$	$(220 - 70) / 5 = 30.$
C	$8 - 5 = 3$	$(220 - 100) / 3 = 40.$
D	$19 - 4 = 15$	$(170 - 80) / 15 = 6.$
E	$10 - 8 = 2$	$(90 - 70) / 2 = 10.$

PASO 6

En este paso se va a construir la matriz de costo- tiempo, el número de renglones es el número de actividades del proyecto, en este caso, cinco y el número de columnas igual a el número de rutas que necesitan acortamiento, más tres columnas que son para actividad, posible acortamiento y costos marginal como se muestra en la tabla 3.7 en la parte inferior de la columna de cada ruta, vamos a colocar su posible acortamiento.

No. De renglones = No. De actividades del proyecto
 No. De columnas = No. De rutas que necesitan acortarse + Act., PR, CM.

			Rutas		
Actividad	PR	CM	B,C	B, C, E	A, C, E
A	5	10			
B	5	30			
C	3	40			
D	15	6			
E	2	10			
Posible acortamiento			4	3	8

Las celdas que están de color son todas las actividades que no se encuentran en la ruta de posible acortamiento.

PASO 7

Ahora se va a calcular el costo marginal efectivo de cada actividad, en nuestro ejemplo el CME de la actividad A lo obtenemos dividiendo el CM entre el número de rutas que contienen a la actividad A. (10/ 1) y lo colocamos en él. Espacio disponible del renglón, para B su CME resulta de dividir 30 entre 2, ya que dos rutas contienen a dicha actividad, y así se hace para las demás actividades dando como resultado la tabla 3.8

$$CME = \frac{CM}{\text{Núm. de rutas que contienen a la actividad}}$$

$$CME_A = 10 / 1 = 10$$

$$CME_B = 30 / 2 = 15$$

$$CME_C = 40 / 2 = 20$$

$$CME_D = 6 / 1 = 6$$

$$CME_E = 10 / 2 = 5$$

Tabla 3.8 Contiene los CME de cada actividad

			Rutas		
Actividad	PR	CM	B,C	B, C, E	A, C, E
A	5	10			10
B	5	30	15	15	
C	3	40		20	20
D	15	6	6		
E	2	10		5	5
Posible acortamiento			4	3	8

PASO 8

Nuestro siguiente paso es seleccionar la ruta con el mayor posible acortamiento, si observamos la matriz vemos que es la ruta ACE con un PA = 8. Dentro de estas columnas seleccionamos ahora la actividad E por ser la menor CME, en este caso no se presentaron empates.

Se explicará paso a paso:

a) ¿Qué ruta se va a cortar?

Ruta de mayor PA en este caso es A, C, E = 8.

b) ¿Qué actividad se va a reducir?

Actividad que tenga el menor CME de la ruta seleccionada en este caso es

E = 5

PASO 9

Una vez seleccionada la actividad E, vamos a determinar cuánto debe de acortarse, observando la matriz de la figura 3.7, vemos que su posible reducción es 2, y los posibles acortamientos de las rutas donde interviene esta actividad son 8 y 3, se debe de elegir el menor de estos valores.

Mínimo (PA = 8), (PA = 3), (PR = 2)

Lo explicaremos nuevamente

a) ¿Cuánto se va a reducir la actividad?

Se compara PR y las posibles reducciones donde se encuentra la actividad seleccionada y se elige el menor.

$PR_E = 2$

$PA_{B, C, E} = 3$

$PA_{A, C, E} = 8$

El valor seleccionado es 2, por lo tanto, la actividad E debe de reducirse en 2 unidades de tiempo.

PASO 10

Actualizamos la información de la matriz y nos queda la tabla 3.8 Observe que se han reducido los valores PA y PR. El renglón de la actividad E ha sido eliminado, ya que su nueva posible reducción es cero. Los posibles acortamientos de las rutas

ACE y BCE son ahora de 6 y 1. Observe que en lado izquierdo se ha aumentado una columna, en ella aparece la primera reducción de las actividades, o sea los datos actuales PR de las actividades y un renglón con los nuevos valores de PA. Ahora vamos a eliminar el renglón de la actividad E pues su PR = 0. Al decir eliminar, significa que ya no lo vamos a tomar en consideración en el análisis para el próximo ciclo. Ver tabla 3.9

Tabla 3.9 Primera iteración de acortamiento.

1°	Actividad	PR	CM	Rutas		
				B,C	B, C, E	A, C, E
5	A	5	10			10
5	B	5	30	15	15	
3	C	3	40		20	20
15	D	15	6	6		
0	E	2	10		5	5
Posible acortamiento				4	3	8

PASO 11

Como no se eliminó ninguna ruta los CME no sufren modificaciones. Nuevamente volvemos a elegir la ruta que necesita mayor acortamiento, siendo la ruta A - C – E la cual necesita acortarse en 6, y se repiten los pasos del 7 al10, hasta que las rutas hayan sido adecuadamente acortadas. La matriz de la tabla 3.10 nos muestra todos los ciclos de acortamiento.

Tabla 3.10 Todos los ciclos de acortamiento del problema.

4	3	2	1°	Actividad	PR	CM	Rutas		
							B,C	B, C, E	A, C, E
0	0	0	5	A	5	10			10
5	5	5	5	B	5	30		30	
2	3	3	3	C	3	40		20	20
11	11	15	15	D	15	6	6		
0	0	0	0	E	2	10		5	5
Posible acortamiento							4	3	8
							4	1	6
							4	1	1
							0	1	1
							0	0	0

Observe que al cerrarse la ruta BC, se elimina la columna y los CME sufren cambio, por lo cual vuelven a calcularse. En este ejemplo el CME que cambia es el de la actividad E, su nuevo valor es 30 ya que solo existe una ruta por acortar donde interviene esta actividad.

PASO 12

El costo total de terminar el proyecto en 30 semanas se obtiene sumando el costo directo de las actividades en tiempo normal, el costo indirecto y los costos adicionales por reducción de tiempo del proyecto. A continuación, este costo se expresa de la manera siguiente:

$$\text{Costo Directo} = \sum C_n$$

$$\text{Costo Indirecto} = CI \times DD$$

$$\text{Costo de reducción} = (\text{reducción} \times \text{CM de la act.}) + (\text{Red} \times \text{CM de la act.})$$

$$\text{Costo total del proyecto} = \text{Costos directos} + \text{Costos Ind.} + \text{Costos de reducción.}$$

$$\text{Costo directo} = \$ 370$$

$$\text{Costos Indirectos} = \$ 150 \times 30 \text{ semanas} = \$ 4500$$

$$\text{Costos de reducción} = (2 \times 10) + (5 \times 10) + (4 \times 6) + (1 \times 40) = \$ 134$$

$$\text{Costo Total} = 370 + 4500 + 134 = \$ 5004$$

Con 30 semanas del proyecto los costos son de \$ 5004.

3.2 ORGANIZACIÓN DE LOS RECURSOS

3.2.1 ASIGNACIÓN DE RECURSOS

Existe una gran variedad de métodos heurístico, su diferencia entre ellos en la manera de asignar prioridades a las diferentes actividades en conflicto en cierto punto en el tiempo. La selección de reglas de prioridad depende de las necesidades del administrador del proyecto, tamaño, tipo, ambiente de este. Con el uso de la

computadora tenemos la posibilidad de programar el proyecto rápidamente bajo ciertos criterios y seleccionar el más apropiado a la situación en cuestión.

Hay algunos casos donde el administrador del proyecto estará tentado de contravenir las fechas de un programa que se haya obtenido a partir de restricciones en la asignación de recursos. Estas situaciones incluyen la necesidad de:

1. Devolver un equipo costos de la planta en el menor tiempo posible.
2. un padrón cíclico de días de fiestas para la mano de obra ejemplada sobre una base.
3. despedir pronto al personal con los salarios más altos en el proyecto.

El administrador del proyecto puede decidir implementar recursos adicionales cuando lo considere necesario para el logro de los objetivos del proyecto.

Los métodos heurísticos permiten la selección de las reglas de prioridad y la especificación de otras restricciones.

3.2.2 BALANCEO DE RECURSOS

3.2.2.1 Método Shaffer

Método heurístico que nos permite encontrar buenas soluciones a problemas que se nos presentan cuando tenemos restricciones en los recursos disponibles para realizar un proyecto. Un problema muy común que se presenta a la hora de realizar un proyecto.

El objeto del método es respetar las limitaciones de los recursos procurando que la terminación del proyecto aumente lo mínimo con respecto al tiempo de duración que tendría el proyecto si no tuviera estas limitaciones.

Fundamento del método

Sean dos variables X e Y en conflicto, esto es, programadas en el mismo periodo pero que exceden los recursos disponibles para ese periodo. alguna de ellas se debe retrasar haciendo una de ellas requisito de la otra. Suponga x se hace requisito de Ym, una estimación del posible incremento en la duración del proyecto es:

$$\Delta xy = TPT_x + t(y) - TUT_y$$

Esto es, la actividad Y se inicia ahora tan pronto como termine X. el tiempo más pronto en que terminara Y se obtiene como sigue:

$$TPT_y = TPT_x + t(Y)$$

Dado que TUT indica el tiempo último de terminación de Y que es lo más tarde que se puede terminar esta actividad sin retrasar la duración del proyecto, entonces el incremento de X1 representa el posible incremento en la duración del proyecto.

$$\Delta XY = TPT_x + t(Y) - TUT_y = TPT_x - (TUT_y - t(Y))$$

$$\Delta XY = TPT_x - TUI_y$$

A fin de minimizar el incremento A, se debe minimizar TPTx y maximizar TUIy, por lo tanto, de las actividades en conflicto se escoge X como aquella con mínimo TPT y a Y como aquella con máximo TUI y se impone X como requisito de Y.

En la relación de X se usan todas las actividades en conflicto, sin embargo, para seleccionar Y se limita solo a aquellas actividades que se inician en el periodo actual, para evitar el tener que dividir una actividad al querer mover solamente la parte que resta por ejecutar.

PASOS DEL METODO SHAFFER

PASO 1

Dibuje la red y la gráfica de Gantt. Ignorando la restricción de recursos. Inicie en el periodo cero (0)

PASO 2

Avance un periodo más si el proyecto se terminó ALTO

PASO 3

Si no se excede algún recurso disponible en el periodo actual ir al paso 2.

PASO 4

De entre las actividades en conflicto en el periodo actual, esto es que las programadas en el periodo y que consume el o los recursos que se excede seleccione:

X = Actividad con mínimo TPT

Y = actividad con máximo TUI

De entre las actividades que se inician en este periodo e imponga la restricción: X requisito de Y. Adapte la red y la gráfica y vaya al paso 3.

EJEMPLO 3.3:

Para las actividades y requisitos de recursos dados en la tabla 3.11 encuentre la mejor distribución de recursos. Se dispone de 7 unidades de cada recurso.

Tabla 3.11 con cinco actividades y dos tipos de recursos limitados, designados como R1 Y R2

ACTIVIDAD	PREDECESORAS	DURACIÓN	R1	R2
A	----	7	3	5
B	----	3	4	---
C	----	4	2	2
D	A	6	1	3
E	B	3	3	3

PASO 1 T = 0

Vamos a construir la red, la cual queda como se muestra en la figura 3.10

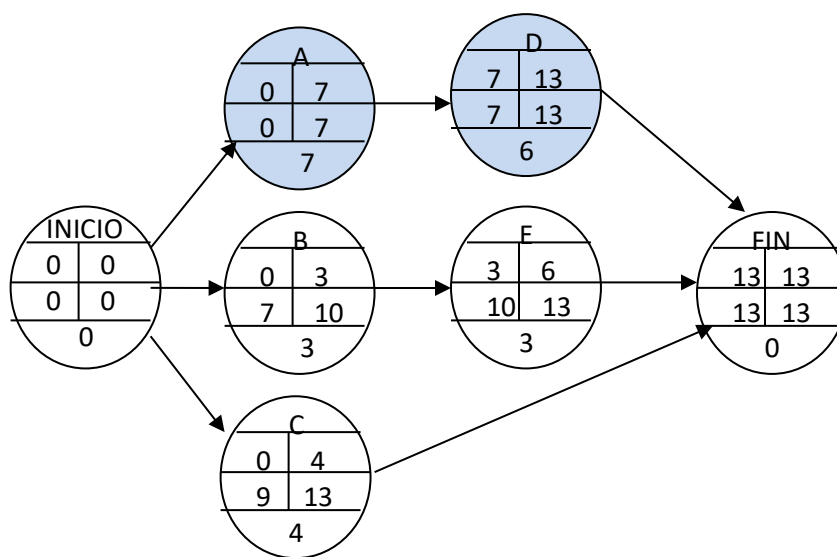
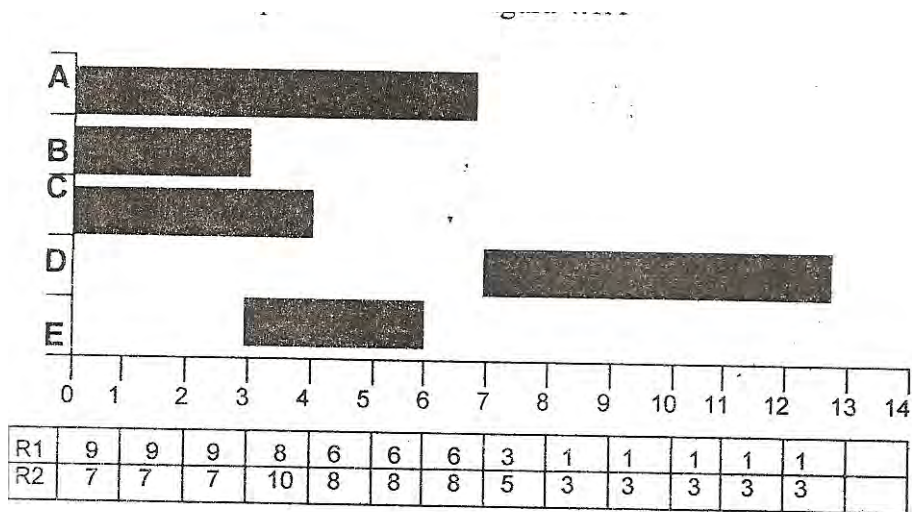


Figura 3.10 Red para el método Shaffer.

La gráfica de Gantt para la red en la Figura 3.10



PASO 2

Avanzamos un periodo más $T = 0 + 1 = 1$

PASO 3

Revisamos si no se excede algún recurso en este periodo, observamos la Figura 3.10 y vemos que se excede el recurso disponible R1 en 2 unidades, por lo tanto, vamos al paso 4,

PASO 4

Las actividades en conflicto son A, B y C. Vamos a resolver el conflicto de la manera siguiente.

$$X = \text{Min} (\text{TPT} (A), \text{TPT} (B), \text{TPT} (C)) = (7, 3, 4) = 3$$

Para seleccionar Y solo se toman en cuenta las actividades en conflicto que inicien en este periodo, en este caso las tres inician en el periodo actual. Por lo que tenemos

$$Y = \text{Max} (\text{TUI} (A), \text{TUI} (B), \text{TUI} (C)) = (0, 7, 9) = 9$$

Como X es requisito de Y, entonces la actividad B es requisito de C la nueva red se presenta en la Figura 3.11

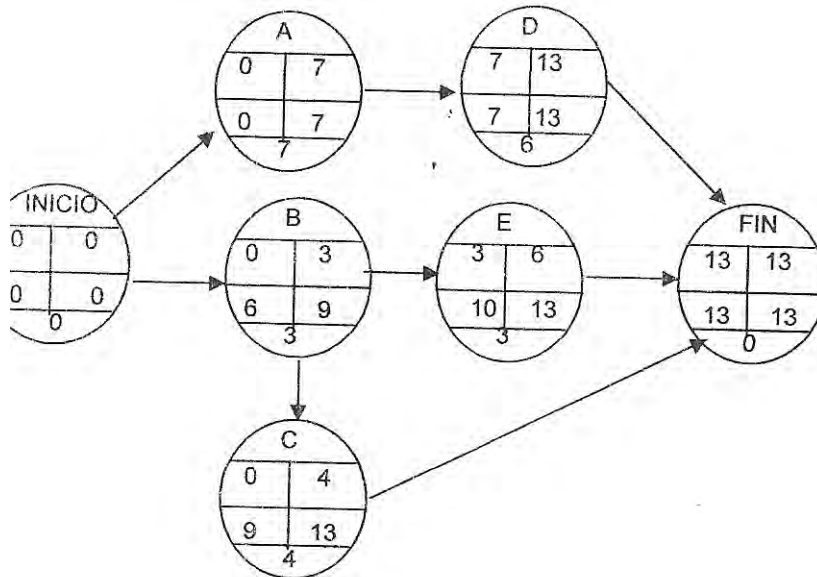


Figura 3.11 Red poniendo a B requisito de C.

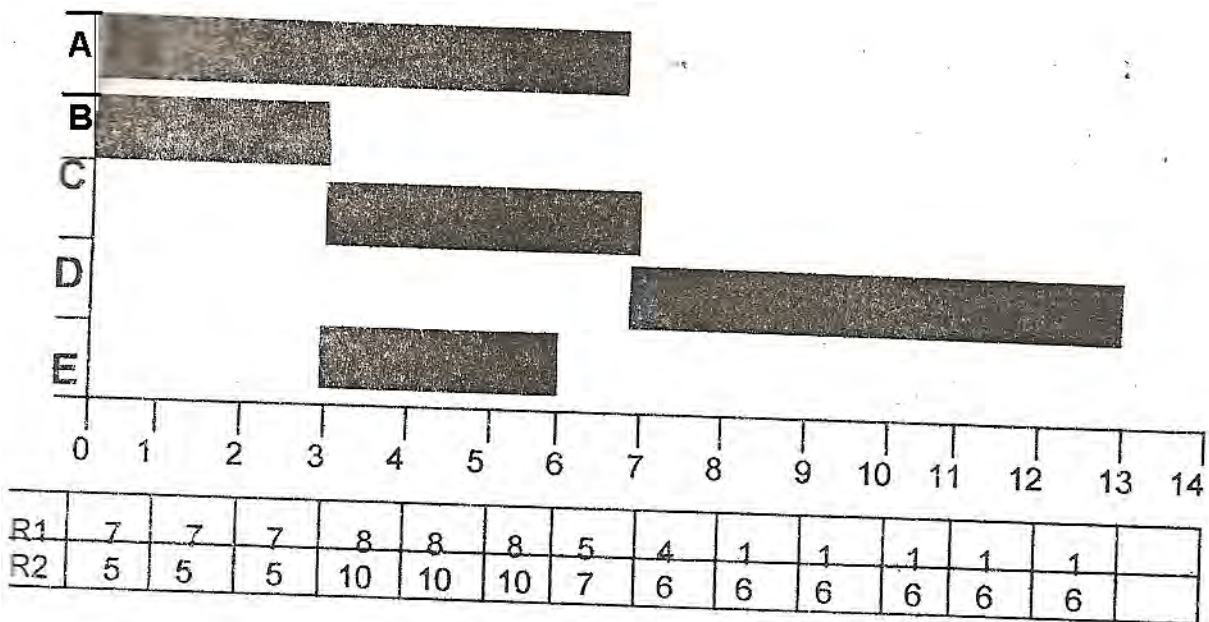


Figura 3.11A Grafica de Gantt para la figura 3.11.

PASO 2

Hacemos $T = 1 + 1 = 2$

PASO 3

Revisamos la Figura 3.12, para ver si no excede algún recurso, como no se exceden, vamos al paso 2.

PASO 2

Hacemos

$$T = 2 + 1 = 3$$

PASO 3

Vemos que en el periodo tres, se excede el límite de los recursos R1 y R2. Vamos al paso 4.

PASO 4

Las actividades en conflicto son A, C y E. entonces

$$X \text{ min } (\text{TPT } (A), \text{TPT } (C), \text{TPT } (E)) = (7, 3, 7) = 3$$

Seleccionamos la actividad C

$$Y \text{ Max } (\text{TUI } (C) \text{ TUI } (E)) = (9, 10) = 10$$

Seleccionamos la actividad E

Recuerde que para seleccionar Y solo se toman en cuenta las actividades que inician en el periodo. Entonces la actividad C es requisito de E. adaptamos la red y la gráfica de Gantt, quedando como se muestra en la figura 3.12 y la figura 3.12A.

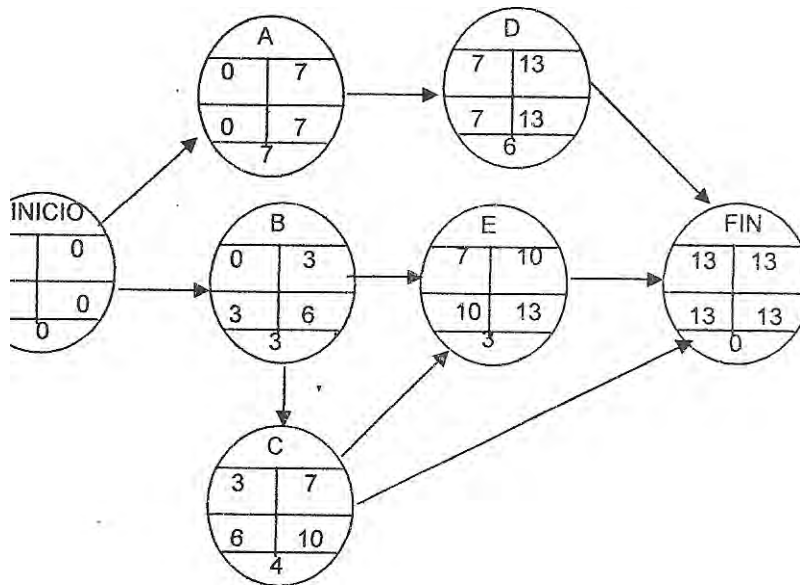


Figura 3.12. Red donde C requisito de E

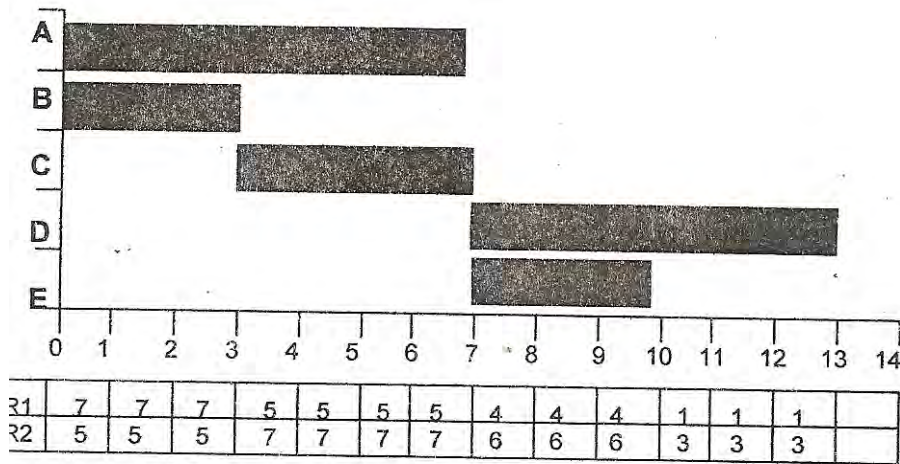


Figura 3.12A Grafica de Gantt para la red de la figura 3.12

PASO 2

$$\text{Hacemos } T = 3 + 1 = 4$$

PASO 3

Vemos que no exceden los recursos en el día 4

PASO 2

$$\text{Hacemos } T = 4 + 1 = 5$$

PASO 3

Vemos que no exceden los recursos en el día 5-

Los pasos 2 y 3 se repiten hasta el día 13 y no se encuentran más conflictos por lo que la última grafica nos da la solución final.

3.2.2.2. Método Fondahl

Este es otro método disponible para resolver problemas cuando tenemos una cantidad definida de recursos disponibles para llevar a cabo un proyecto. Al igual que el método anterior, se desea programar el proyecto de tal forma que el incremento de la duración del proyecto con respecto a su duración sin restricción de recursos sea mínimo. Es un método heurístico que da buenas soluciones.

PASOS DEL METODO

1. Dibujar la red con actividades en los nodos y los ejes de la gráfica de Gantt.
2. Ordenar las actividades de menor a mayor tiempo ultimo de inicio (TUI).
3. Programar actividades de la gráfica de Gantt de acuerdo con el orden del paso 2 de modo que:
 - i. Se respeten las precedencias.
 - ii. No se excedan los recursos disponibles.

Una vez programadas todas las actividades el proceso termina.

Vamos a resolver el siguiente ejemplo.

EJEMPLO 3.4

Usando los datos de la tabla y teniendo limitaciones de recursos de 8 unidades para R1 y 6 para R2, encuentre la solución por el método de Fondahl.

Tabla 3.12 Datos para el ejemplo del método Fondahl.

ACTIVIDAD	PREDECESORAS	DURACIÓN	R1	R2
A	----	3	3	4
B	----	7	6	2

C	A	5	1	3
D	A	2	4	3
E	B	4	2	2
F	C	6	1	3
G	D, E	2	4	3

SOLUCIÓN

PASO 1

Vamos a construir la red, con actividades en los nodos, quedando como se muestra en la Figura 3.13.

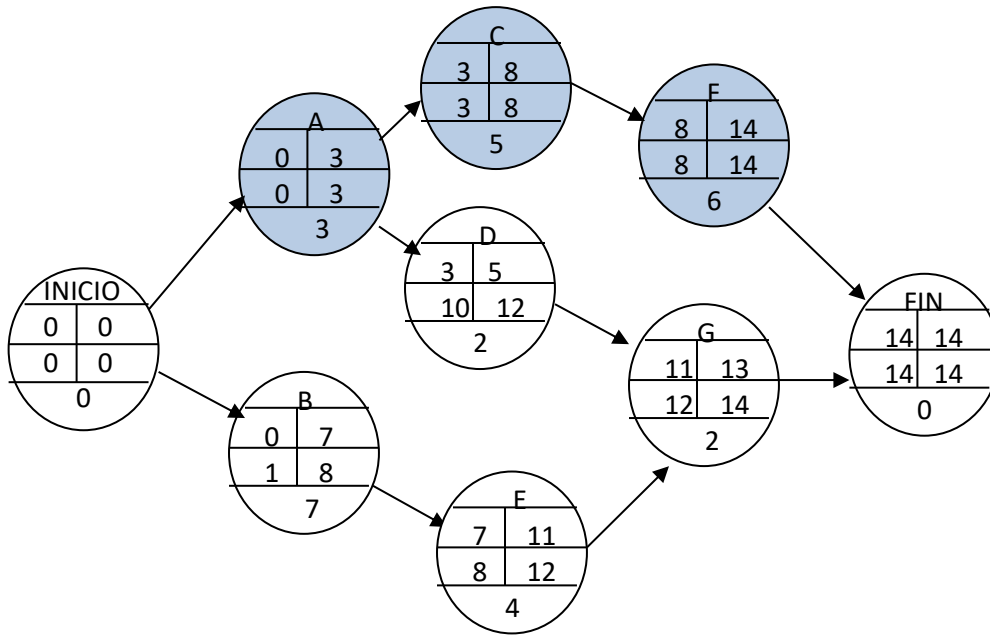


Figura 3.13 Red para el ejemplo 3.4.

Ahora ponemos los ejes de la gráfica de Gantt como se muestra en la Figura 3.13

A

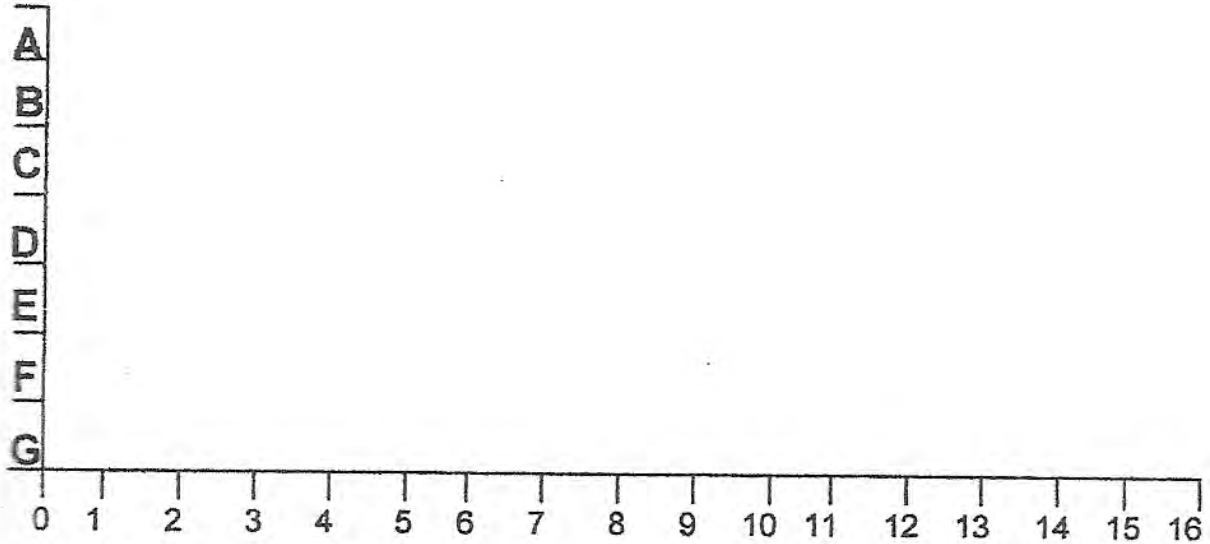


Figura 3.13 A Ejes de la gráfica de Gantt.

PASO 2

Vamos a ordenar las actividades de acuerdo con sus TUI de menor a mayor, quedando como sigue:

Actividad	A	B	C	D	E	F	G
TUI	0	1	3	8	8	10	12

PASO 3

Ahora graficamos la actividad A. esto se muestra en la figura 3.14

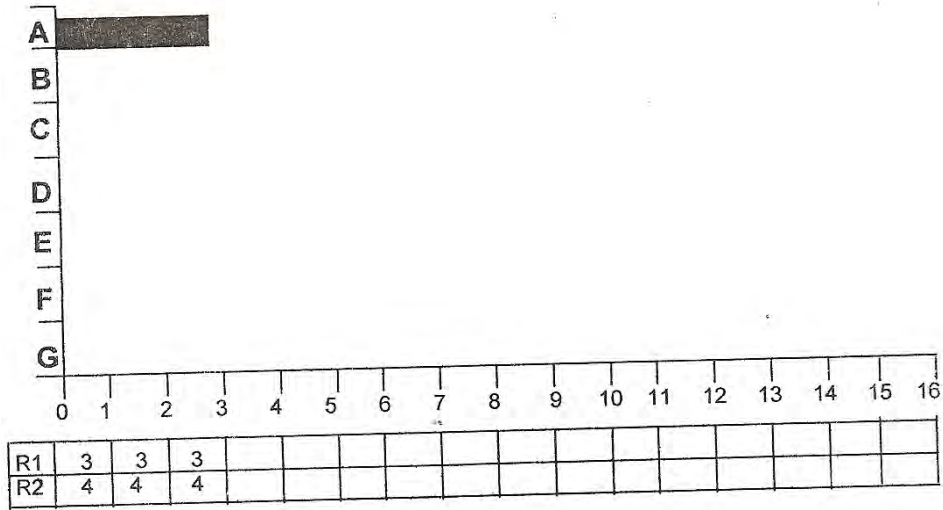


Figura 3.14 Grafica de la actividad A.

Ahora vamos a agregar la actividad que sigue en el orden, esta es B. obtenemos la figura 3.15

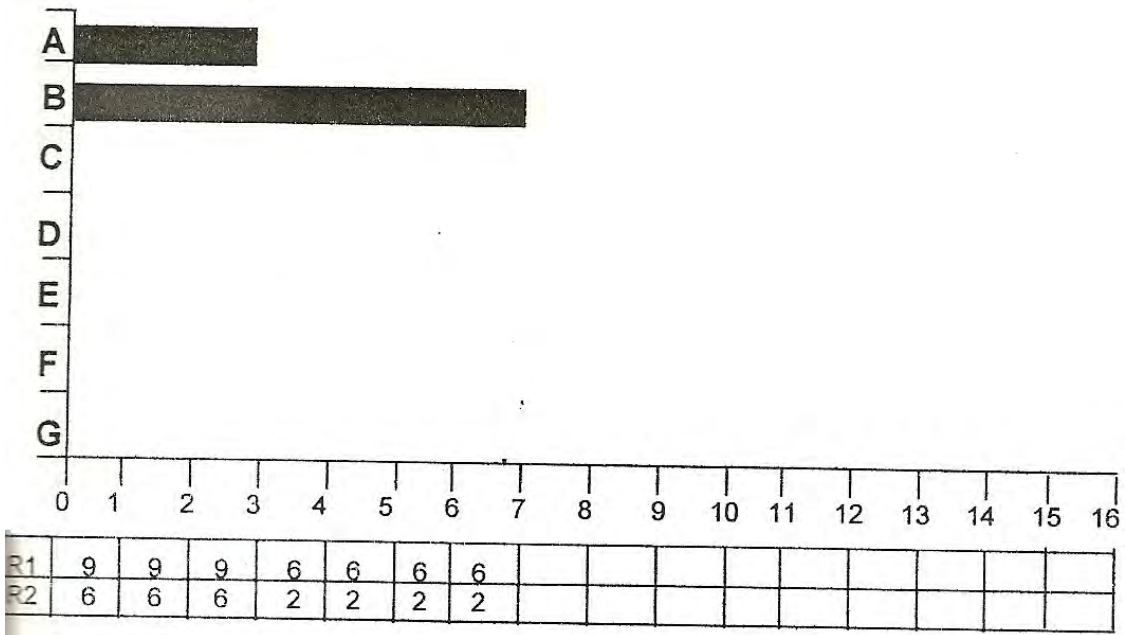


Figura 3.15 Actividades programadas A y B.

Se observa en la figura que se excedió el recurso 1, respetando precedencias, vamos a programar la actividad B. después A, como se muestra en la figura 3.16.

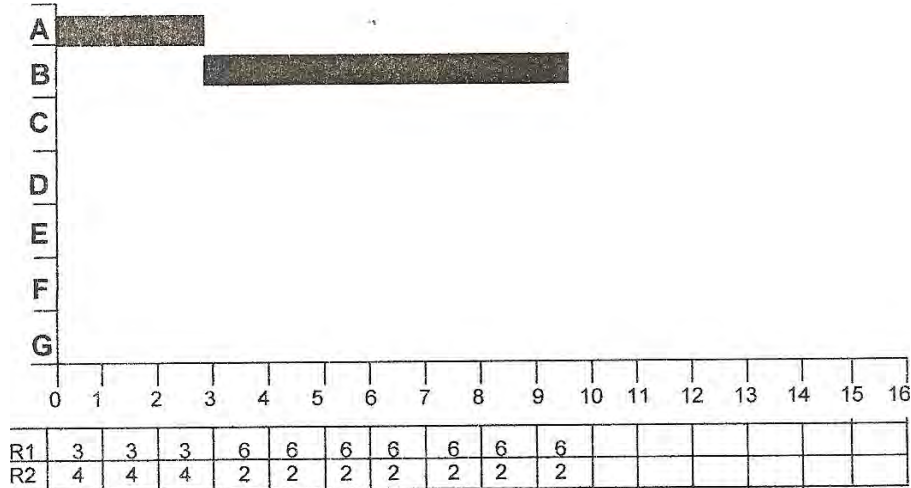


Figura 3.16 Programación de actividades B después de A

Una vez que se programa B después de A, vemos que el conflicto de recursos se ha eliminado.

Seguimos con la programación de la actividad C, tal como se muestra en la figura 3.17. Podemos ver que hasta este momento no hay conflicto pues no exceden los recursos.

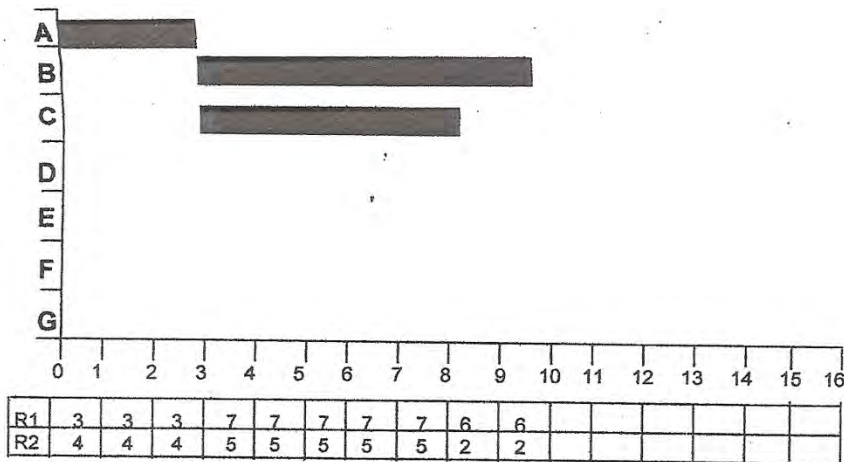


Figura 3.17 Se programa la actividad C

Podemos observar la figura 3.17 que los recursos no se exceden. Ahora se procede a graficar la actividad que sigue en el orden de acuerdo con el paso inicial, le corresponde a la actividad E quedando la programación como se muestra en la figura 3.18.

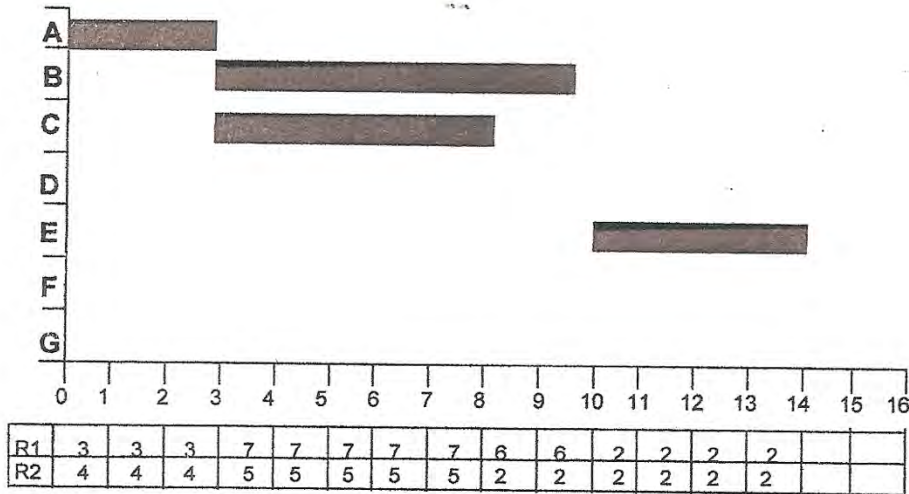


Figura 3.18 Se programa la actividad E.

No existen conflictos hasta la programación de la actividad E, por lo que continuamos en la programación de la actividad F, lo único que hay que vigilar es la precedencia de las actividades. En el caso de F su prerrequisito es la actividad C. procedemos a programar la actividad F. como se muestra en la Figura 3.19.

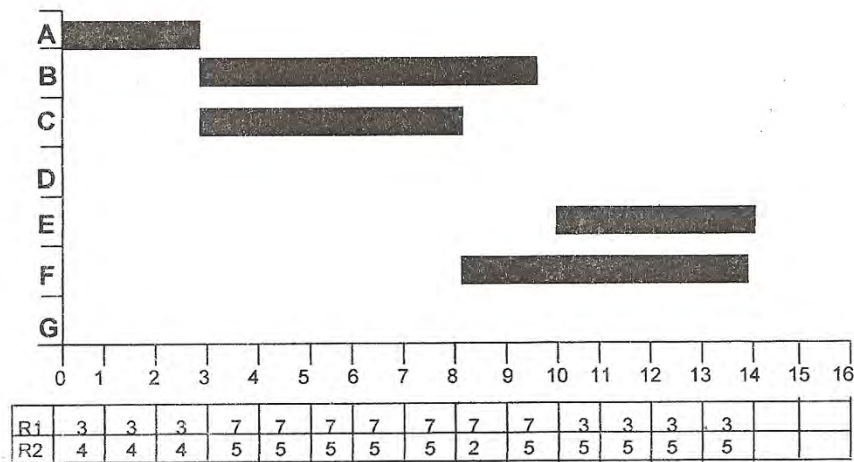


Figura 3.19 Se agrego a la gráfica la actividad F.

En la figura 3.19 no se observan conflictos, por lo que continuamos con la programación de la actividad D, esta actividad tienen como prerequisite a la actividad A la cual termina en el punto 3. La figura 3.20 nos demuestra cómo queda la programación con D.

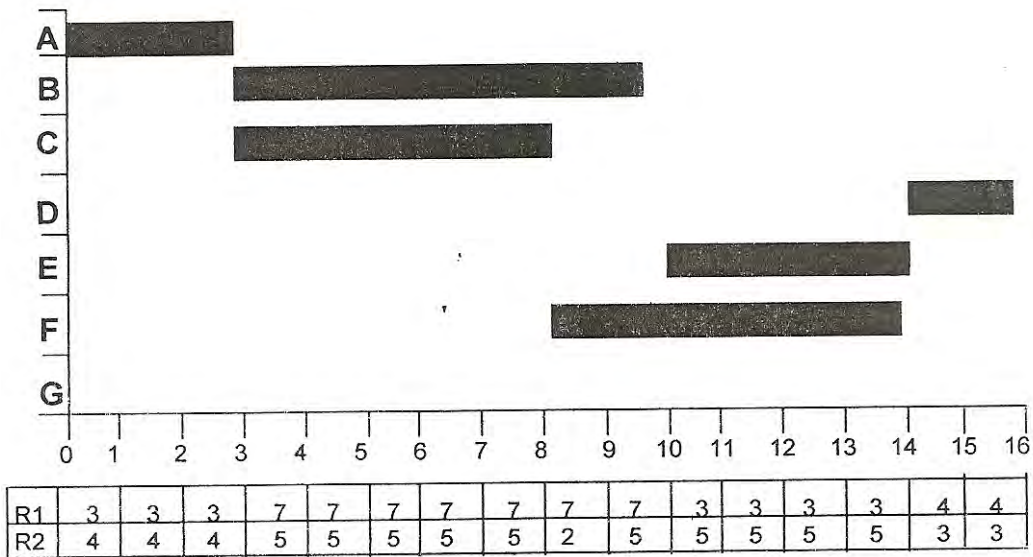


Figura 3.20 Se agrego la actividad D.

Al tratar de colocar la actividad D después de su prerequisite el cual es C, vemos que se excede el recurso R1. Por lo tanto, lo recorreremos hasta el punto 14 para que no ocasione conflictos con E y F.

Por último, se tiene que programar la actividad G, sus prerequisites son las actividades D y E, entonces iniciamos la actividad en el punto 16 que es cuando quedan terminadas las dos actividades. Esto lo podemos ver en la figura 3.21, observamos que no hay conflictos con los recursos por lo que el problema termina la programación de las actividades y la asignación de recursos del proyecto queda como se muestra en la figura 3.21.

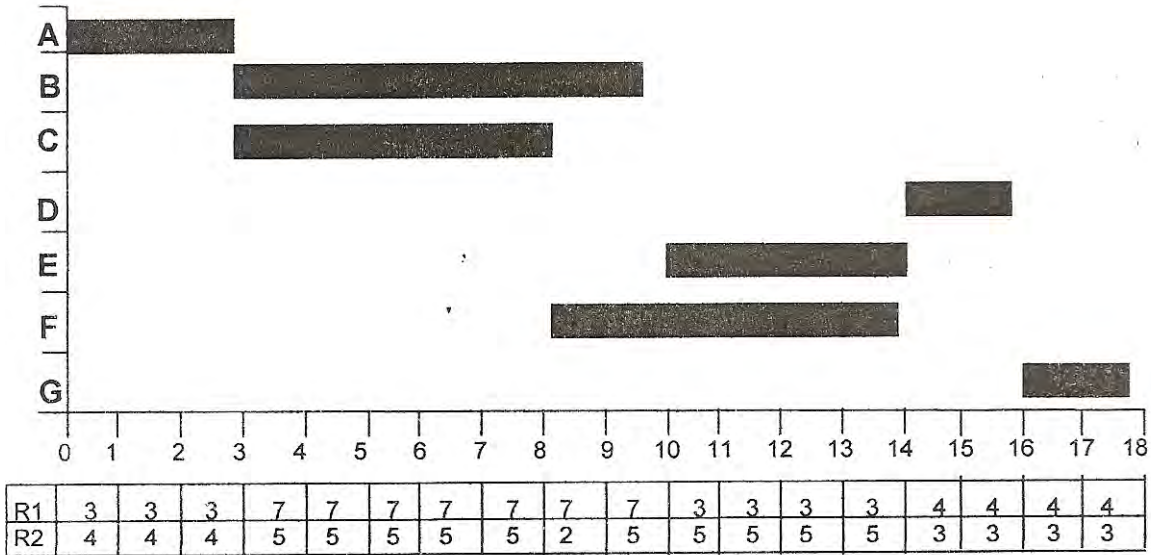


Figura 3.21 Programación final del proyecto con sus respectivos recursos.

El incremento en tiempo fue de 4 semanas con respecto al tiempo de duración del proyecto si no hubiera tenido limitación de recursos.

3.3 ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE PARA EL ALUMNO

Para llegar al objetivo establecido en la unidad III se recomiendan realizar las siguientes actividades de aprendizaje. Las actividades propuestas están diseñadas de acuerdo con la infraestructura del ITSTB.

Tabla 3.13 Actividades de aprendizaje de la unidad III

Tema	Actividad de Aprendizaje
3.1.1	1.- Investigación de los conceptos costo contra tiempo. 2.- Realizar una red semántica de los conceptos 3.- Realizar comentarios del tema ante el grupo (Alumno- facilitador).
3.1.2. 3.1.3	1.- Investigar los métodos. 2.- Realizar en equipo un diagrama de flujo del procedimiento de solución de los dos métodos. 3.- Realizar un diagrama de flujo en grupo de cada uno de los métodos aportando todos los equipos información a estos; quedando un solo diagrama para cada método para aplicarlos en la solución de los ejercicios. 4.- Realizar ejercicios de dichos temas en clase y extra-clase.
3.2	1.- Investigar el tema de organización de recursos. 2.- Realizar un resumen de la información.
3.2.1 3.2.2	1.- Formar equipos de trabajo 2.- Proporcionar la información a los equipos y leer asegurándose los integrantes de cada equipo que todos entendieran el tema. 3.- Realizarse preguntas entre equipos 4.- Realizar ejercicios de dichos temas en clase y extra-clase.

3.4 EJERCICIOS Y RESPUESTAS

3.4.1 EJERCICIO DE REDUCCIÓN DE CICLOS

Se desea determinar el costo total mínimo de un proyecto cuando todas las actividades son críticas. La duración es en semanas y el costo es en pesos. El costo indirecto es de \$120.

Tabla 3.14 Muestra los datos necesarios para el ejercicio de reducción de ciclos.

Act.	Req.	NORMAL		TOPE		CM	PR
		Duración Tn (semana)	Costo Cn (Peso)	Duración Tt (semana)	Costo Ct (Peso)		
A	----	5	400	3	800		
B	----	10	600	5	1000		
C	A, B	12	350	6	650		
D	B, C	9	120	5	500		
E	D	2	300	1	700		

RED ORIGINAL

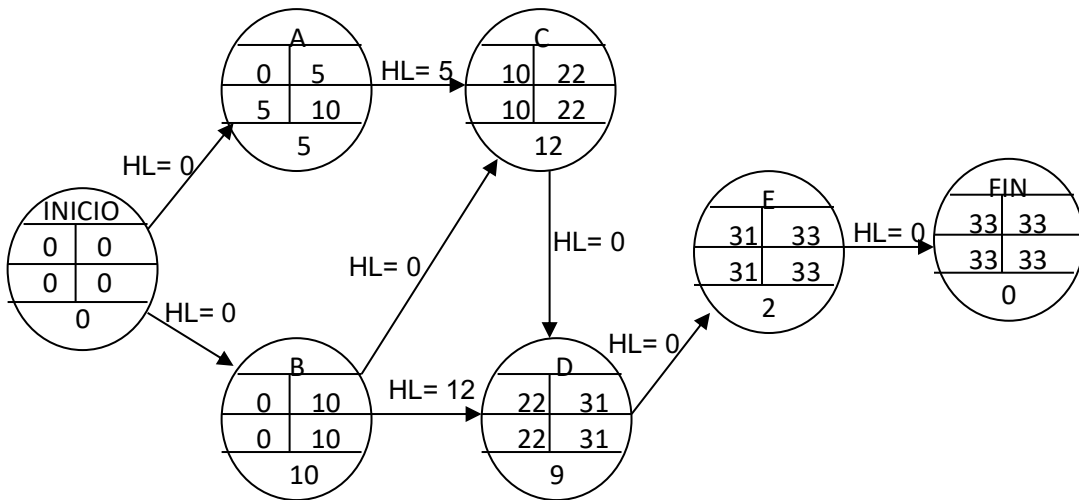


Figura 3.22 Red de reducción de ciclos

$$CM(A) = (800 - 400) / (5 - 3) = 200$$

$$CM(B) = (1000 - 600) / (10 - 5) = 80$$

$$CM(C) = (650 - 350) / (12 - 6) = 50$$

$$CM(D) = (500 - 120) / (9 - 5) = 95$$

$$CM(E) = (700 - 300) / (2 - 1) = 400$$

$$\text{Posible Reducción (PR)} = (T_n - T_t)$$

$$\text{PR (A)} = (5 - 3) = 2$$

$$\text{PR (B)} = (10 - 5) = 5$$

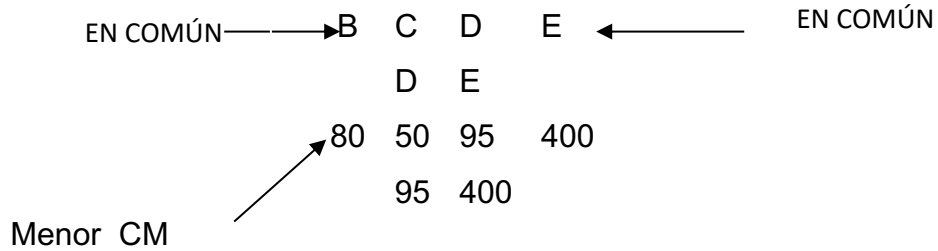
$$\text{PR (C)} = (12 - 6) = 6$$

$$\text{PR (D)} = (9 - 5) = 4$$

$$\text{PR (E)} = (2 - 1) = 1$$

$$\text{Costos totales} = 1770 + 120 (33) = \$ 5730$$

Actividades para reducir



1 ENSAYO REDUCIR B 1 SEMANA

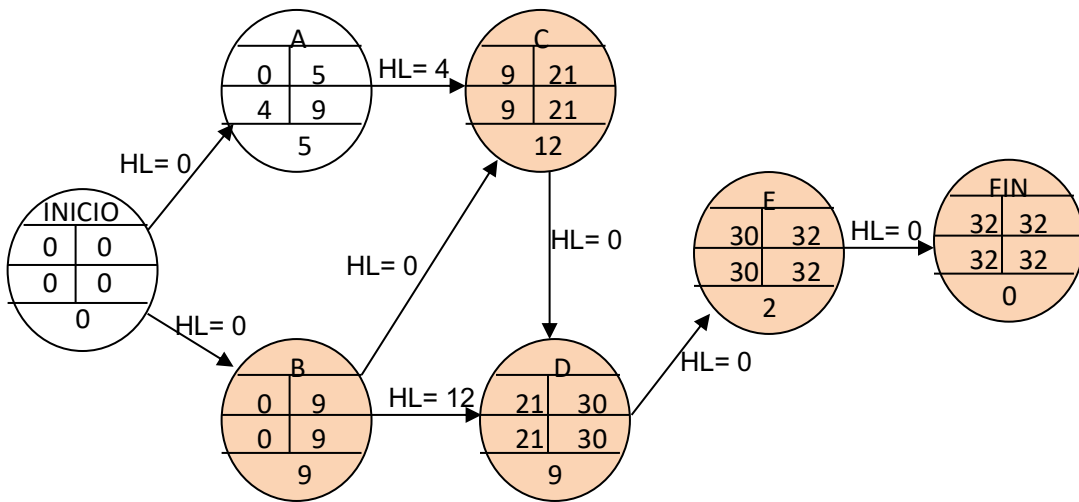


Figura 3.23 Red del ensayo reduciendo B 1 semana.

Holguras para reducir

$$A - C = 5 \qquad 5 - 5$$

1 CICLO REDUCIR B 5 SEMANAS

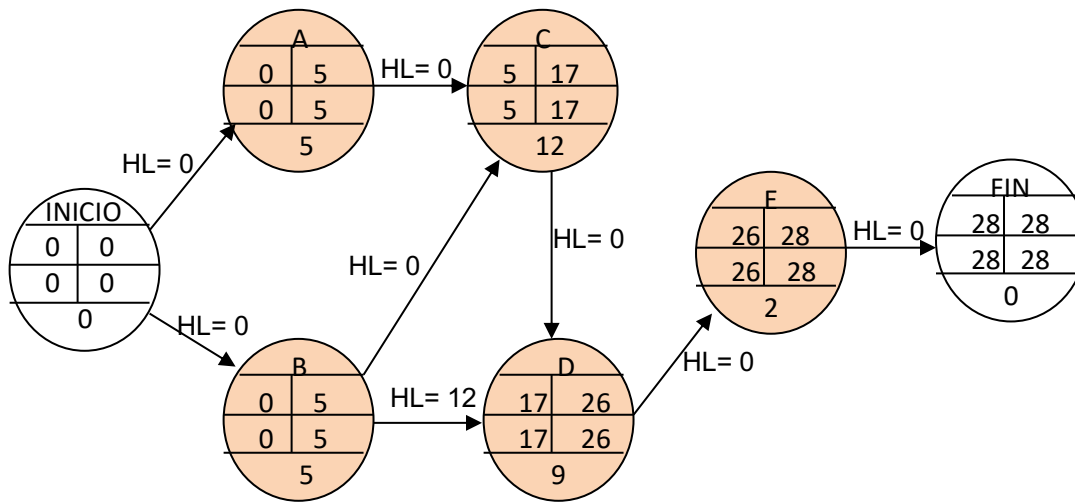


Figura 3.24 Red del 1 ciclo reduciendo B 5 semanas.

$$\text{Costos totales} = 1770 + 120 (28) + 5 (80) = \$5530$$

Los costos totales del proyecto son \$5530, con un tiempo de duración 28 horas, termina hasta aquí porque el ejercicio pide que sea cuando todas las actividades son críticas y en este ciclo todas las actividades son críticas.

3.5 AUTOEVALUACIÓN

PREGUNTAS

- 1.- ¿qué entendemos por compresión de una red?
- 2.- ¿Para qué se utiliza el método SAM?
- 3.- ¿En qué consiste el método de reducción por ciclos?
- 4.- ¿Para que se utilizan los métodos heurísticos de asignación de variables?
- 5.- ¿En qué consiste la aplicación del método SHAFFER?
- 6.- ¿En qué consiste la aplicación del método FONDHAL?
- 7.- ¿Qué diferencia existe entre estos dos métodos?

PROBLEMAS

MÉTODO SAM

Se desea determinar el costo mínimo de un proyecto que tiene las actividades dadas en la tabla 3.15, la duración es en semanas y el costo es en pesos.

Tabla 3.15 Datos para el ejercicio de autoevaluación Unidad III método SAM

Actividad	Predecesora inmediata	Normal		Tope	
		Duración Tn Semanas	Costo Cn Pesos	Duración Tt Semanas	Costo Ct pesos
A	-----	10	200	6	400
B	-----	5	120	2	230
C	A	5	80	3	120
D	A	6	180	3	240
E	B	12	240	8	320
F	C	6	120	2	160
G	D	7	230	5	330
H	D	3	210	1	320
I	E, G	11	150	9	320

Los costos indirectos son de \$70 semanales.

a).- Aplicando el método SAM determine el tiempo mínimo para realizar el proyecto con los datos dados en la tabla 3.15.

b).- Deseando una duración de 25 semanas por el método SAM cual es el costo total para esta duración.

MÉTODO SHAFFER

Para la empresa CBS necesita encontrar la mejor distribución de recursos para las actividades y requisitos dados en la tabla 3.16

Tabla 3.16 Datos para el ejercicio de autoevaluación Unidad III método SHAFFER

Actividad	Predecesora inmediata	Duración	Recurso 1	Recurso 2
A	-----	10	5	3
B	-----	5	2	-----
C	A	5	3	3
D	A	6	2	4
E	B	12	6	5
F	C	6	5	-----
G	D	7	3	2
H	D	3	2	1
I	E, G	11	7	5

a.- Realizar la mejor distribución de recursos aplicando el método SHAFFER

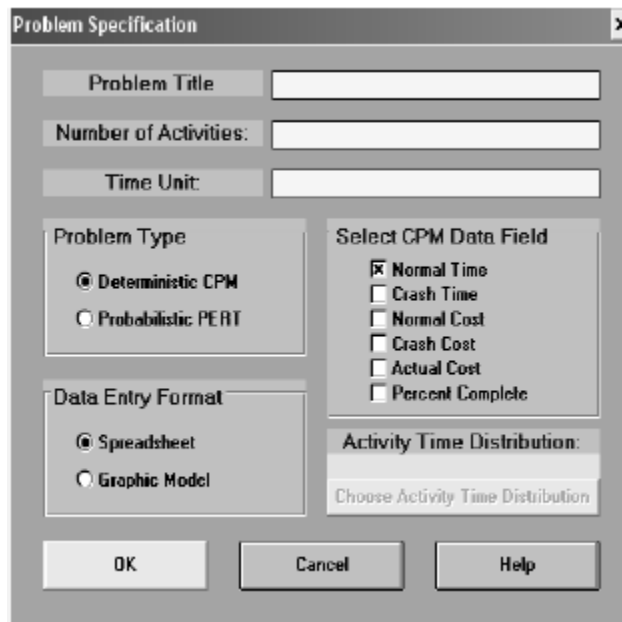
UNIDAD IV

PAQUETE COMPUTACIONAL PARA ADMINISTRAR PROYECTOS

OBJETIVO: Al final de la unidad el alumno resolverá ejercicios con apoyo del software WinQSB.

El método de la ruta crítica, **CPM**, es una herramienta de tipo determinístico para el análisis de redes de proyectos.

La opción **Nuevo Problema (New Problem)** genera una plantilla en el cual se introducirá las características de nuestro problema. Figura 4.1



The image shows a 'Problem Specification' dialog box with the following fields and options:

- Problem Title: [Empty text box]
- Number of Activities: [Empty text box]
- Time Unit: [Empty text box]
- Problem Type:
 - Deterministic CPM
 - Probabilistic PERT
- Select CPM Data Field:
 - Normal Time
 - Crash Time
 - Normal Cost
 - Crash Cost
 - Actual Cost
 - Percent Complete
- Data Entry Format:
 - Spreadsheet
 - Graphic Model
- Activity Time Distribution:
 - Choose Activity Time Distribution [Button]
- Buttons: OK, Cancel, Help

Figura 4.1 Muestra los datos generales del proyecto.

A continuación, se describirán cada una de las casillas de esta ventana:

- **Título del problema (Problem Title):** Se escribe el título con que identificamos el problema.

- **Número de actividades (Number of Activities):** Se escribe la cantidad de actividades (nodos) presentes en la red del proyecto.
- **Unidad de tiempo (Time Unit):** En este campo se especifica la unidad de tiempo trabajada en la red (Ejemplo: hora, día, mes, año...).
- **Tipo de problema (Problem Type):** Los problemas representados por redes de proyectos pueden ser analizados mediante dos métodos: **CPM Determinístico (Deterministic CPM)** y **PERT Probabilístico (Probabilistic PERT)**.
- **Formato de entrada de datos (Data Entry Format):** Permite elegir entre dos plantillas distintas para introducir los datos del modelo al programa. La primera alternativa se asemeja a una hoja de cálculo, mientras que la segunda, permite diseñar las redes en modo gráfico.
- **Campos de datos seleccionados para el CPM (Select CPM Data Field):** Esta área que aparece cuando pulsamos en la opción **CPM Determinístico (Deterministic CPM)** permitiendo seleccionar las variables de análisis que desarrollará **WINQSB** para el estudio de este tipo de redes:
 - **Tiempo normal (Normal Time):** En este campo se especifica el tiempo normal de cada actividad.
 - **Tiempo de quiebre (Crash Time):** Tiempo mínimo en el cual se podría reducir una actividad.
 - **Costo normal (Normal Cost):** Costo de realizar una actividad ejecutada en un tiempo normal. (este costo es presupuestado)
 - **Costo de quiebre (Crash Cost):** Costo incurrido al realizar una actividad en su tiempo de quiebre o crítico.
 - **Costo actual (Actual Cost):** Costo de una actividad real.
 - **Porcentaje completo (Percent Complete):** Permite realizar un análisis de costos y tiempos de forma parcial (o la totalidad) a un proyecto que ha sido ejecutado.

- Distribución del tiempo de cada actividad (Activity Time Distribution):**
 Esta opción se activa cuando se pulsa sobre la opción **PERT Probabilístico Probabilistic PERT**). El método **PERT** trabaja bajo incertidumbre, donde los tiempos de la actividad tienen posibilidad de variar de acuerdo con una distribución probabilística. Al pulsar sobre el botón **Escoger distribución del tiempo de cada actividad (Choose Activity Time Distribution)**, se desplegará una nueva ventana con diferentes distribuciones probabilísticas, como se muestra en la figura 4.2:

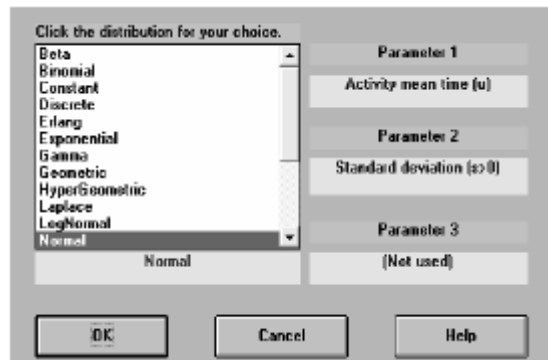


Figura 4.2 Diferentes distribuciones probabilísticas

Para escoger una distribución, simplemente seleccionamos la más adecuada y oprimiremos el botón **OK**.

4.1 UN EJEMPLO PARA CPM

Mediante un ejemplo demostraremos como se introducen los datos para la creación de un nuevo problema tipo **CPM**.

ENUNCIADO

Ejemplo 4-1:

La empresa CONSTRUCTORA S.A. programó las siguientes actividades para la construcción de una calle en concreto asfáltico (proyecto resumido – tiempo dado en días):

No	Actividad	Precedente	Tiempo Normal	Tiempo Quiebre	Costo Normal (\$)	Costo Quiebre (\$)
1	Excavación	-	15	10	1000	1200
2	Sub-Base	1	7	6	3000	3500
3	Compactación	2	2	2	700	700
4	Base	3	4	2	1200	2400
5	Compactación	4	1	1	700	700
6	Canaletes	3	6	3	1500	2700
7	Pegante	5,10	1	1	1100	1100
8	Capa asfalto	6,7	3	2	4700	5200
9	Compactación	8	1	1	800	800
10	Pruebas Base	5	2	1	400	1100
11	Pruebas Asf.	9	2	1	900	1300

Construya una red de proyectos para este caso e incluya un análisis de tiempos / costos determinístico.

Figura 4.3 Datos del ejercicio.

Una vez analizado el enunciado se sigue con la creación del modelo de redes. Procedemos a llenar la ventana **Especificaciones del problema (Problem Specification)** con los datos del ejercicio, ver figura 4.4.

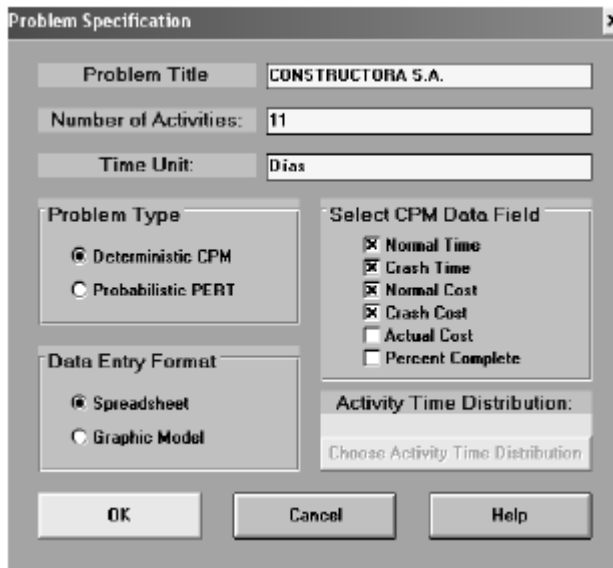


Figura 4.4 Especificaciones del problema.

Marcamos todas las opciones disponibles para **CPM** (excepto los dos últimos) con el fin de realizar un análisis integral. La tabla 4.1 permite ingresar la información disponible de cada actividad:

Tabla 4.1 Información disponible de cada actividad.

Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',')	Normal Time	Crash Time	Normal Cost	Crash Cost
1	Excavación		15	10	\$1000	\$1200
2	Sub-Base	1	7	6	\$3000	\$3500
3	Compactación	2	2	2	\$700	\$700
4	Base	3	4	2	\$1200	\$2400
5	Compactación	4	1	1	\$700	\$700
6	Canales	3	6	3	\$1500	\$2700
7	Pegante	5,10	1	1	\$1100	\$1100
8	Capa Asfalto	7,6	3	2	\$4700	\$5200
9	Compactación	8	1	1	\$800	\$800
10	Pruebas Base	5	2	1	\$400	\$1100
11	Pruebas Asf.	9	2	1	\$900	\$1300

Los puntos que aparecen en esta zona son:

- **Número de la actividad (Activity Number):** Número consecutivo de actividades.
- **Nombre de la actividad (Activity Name):** WINQSB predefine los nombres de las actividades con letras (se cambiaron a los nombres dados por el ejercicio).
- **Predecesores (Immediate Predecessor):** Se especifica el predecesor de cada actividad. Puede ser por el nombre de la actividad o por el número de esta. En el caso de que no exista predecesor se debe dejar el espacio en blanco.
- **Tiempos normales y de quiebre (Normal Time – Crash Time):** Tiempos normales y mínimos estimados por actividad.
- **Costos normales y de quiebre (Normal Cost – Crash Cost):** Costos normales y de quiebre para cada actividad.

4.2 INGRESANDO LOS DATOS DEL PROBLEMA EN MODO GRÁFICO

En la ventana para especificar los datos de un nuevo problema marcamos la opción **Modelo gráfico (Graphic Model)** para ingresar la red en modo gráfico. Debe aparecer una ventana en blanco, donde pulsaremos con el botón izquierdo del Ratón para ir agregando los 11 nodos definidos en el ejemplo, ver figura 4.5:

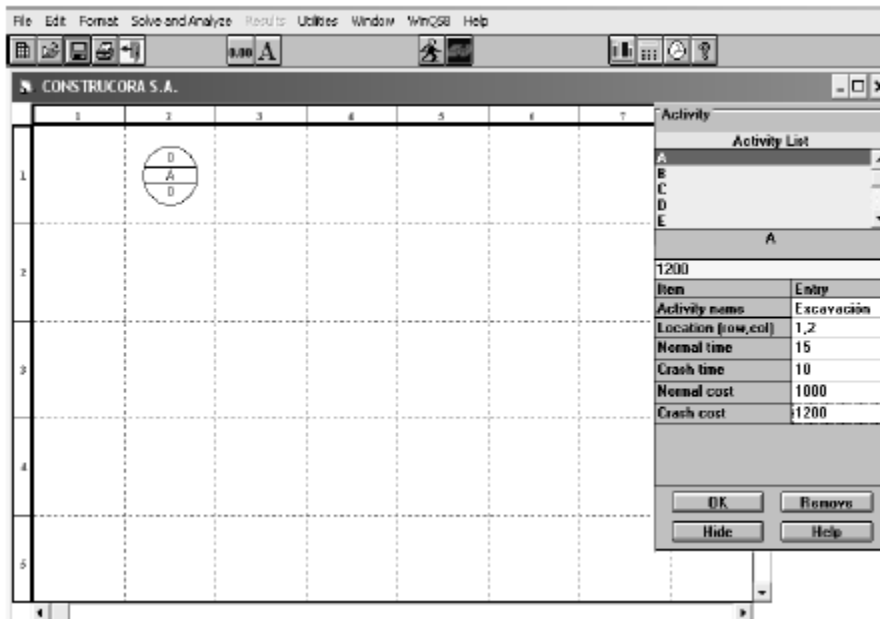


Figura 4.5 Ventana para agregar los nodos (actividades) del proyecto.

Al adicionar el primer nodo, se debe especificar los datos correspondientes a la actividad que representa, pulsando luego en el botón **OK** para aceptar los cambios, ver figura 4.6:

Activity List	
A	
B	
C	
D	
E	
A	
1200	
Item	Entry
Activity name	Excavación
Location (row,col)	1,2
Normal time	15
Crash time	10
Normal cost	1000
Crash cost	1200

Figura 4.6 datos correspondientes a la actividad que representa.

Para conectar los nodos (establecer su secuencia) pulsaremos y mantendremos pulsado con el botón izquierdo del Ratón sobre el nodo origen y arrastraremos el Ratón hacia el nodo destino. La red completa es la que se muestra en la figura 4.7:

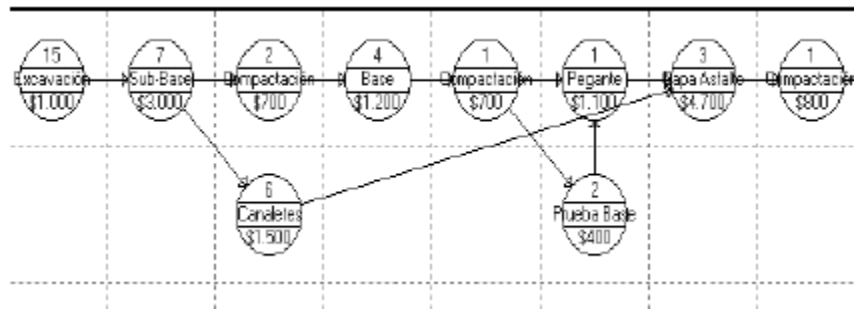


Figura 4.7 Red completa del ejercicio.

4.3 ESTIMANDO LA RUTA CRÍTICA EN REDES DE PROYECTOS MEDIANTE CPM

WINQSB resuelve las redes de proyectos (rutas críticas) desde el enfoque **CPM** empleando los tiempos normales o los tiempos de quiebre.

4.4 RUTA CRÍTICA USANDO TIEMPOS NORMALES

En el menú **Resolver y analizar (Solve and Analyze)** pulsamos sobre **Resolver ruta crítica usando tiempos normales (Solve Critical Path Using Normal Time)**.

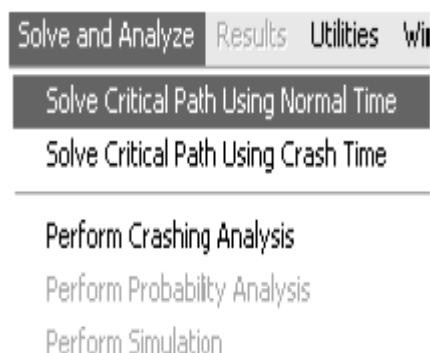


Figura 4.8 Menú resolver y analizar.

La nueva ventana muestra cuales son las actividades críticas de la red. En la columna **Sobre la ruta crítica (On Critical Path)** se puede observar las actividades críticas (marcadas con **Yes**). Tabla 4.2

Tabla 4.2 Actividades críticas.

10-09-2005 14:00:54	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
1	Excavación	Yes	15	0	15	0	15	0
2	Sub-Base	Yes	7	15	22	15	22	0
3	Compactación	Yes	2	22	24	22	24	0
4	Base	Yes	4	24	28	24	28	0
5	Compactación	Yes	1	28	29	28	29	0
6	Conaltes	no	6	24	30	26	32	2
7	Pegante	Yes	1	31	32	31	32	0
8	Capa Asfalto	Yes	3	32	35	32	35	0
9	Compactación	Yes	1	35	36	35	36	0
10	Pruebas Base	Yes	2	29	31	29	31	0
11	Pruebas Asf.	Yes	2	36	38	36	38	0
	Project	Completion	Time	=	38	Días		
	Total	Cost of	Project	=	\$16.000	(Cost on	CP =	\$14.500)
	Number of	Critical	Path(s)	=	2			

Aparecen los **tiempos más próximos de inicio y finalización (Earliest Start y Earliest Finish)**, junto a los **tiempos tardíos (Latest Start y Latest Finish)**. En la última columna tenemos los **tiempos de holgura (Slack)**. En las tres últimas filas

aparecen el **tiempo de duración total del proyecto (Project Completion Time)**, el **costo total del proyecto (Total Cost of Project)** y el **número de rutas críticas (Number of Critical Path)**:

Tabla 4.3 Duración y costo del proyecto

	Project	Completion	Time	=	38	Días		
	Total	Cost of	Project	=	\$16.000	(Cost on	CP =	\$14.500)
	Number of	Critical	Path(s)	=	2			

En el ejemplo la duración total es de 38 días, el costo de \$ 16.000 (el costo de la ruta crítica es de \$14.500) y existen dos rutas críticas.

4.5 RUTA CRÍTICA USANDO TIEMPOS NORMALES EN MODO GRÁFICO

Podemos también observar la ruta crítica en modo gráfico, pulsando sobre el menú **Resultados (Results)** y en **análisis de la actividad gráfica (Graphic Activity Analysis)**:



Figura 4.9 Análisis de la actividad gráfica

La red de proyecto para el ejemplo se muestra a continuación, en la figura 4.10:

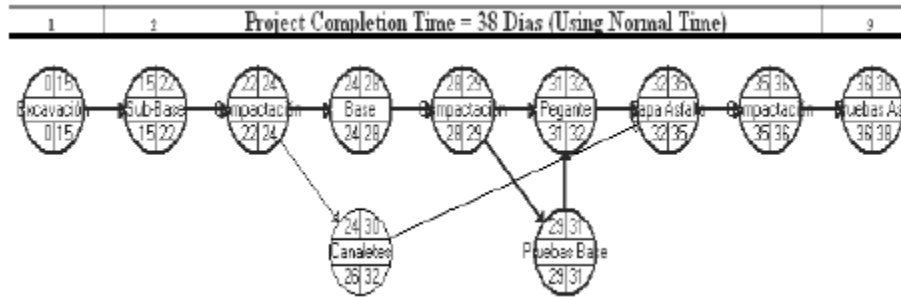


Figura 4.10 Red con actividades críticas

Las actividades (nodos) que se encuentran resaltadas forman parte de la ruta crítica.

4.6 RESUMIENDO LAS RUTAS CRÍTICAS

Al pulsar sobre el menú **Resultados (Results)** y en **Mostrar ruta crítica (Show Critical Path)** aparecerán solo las actividades pertenecientes a la ruta crítica, ver tabla 4.4:

Tabla 4.4 Actividades de la ruta crítica.

10-09-2005	Critical Path 1	Critical Path 2
1	Excavación	Excavación
2	Sub-Base	Sub-Base
3	Compactación	Compactación
4	Base	Base
5	Compactación	Compactación
6	Pegante	Pruebas Base
7	Capa Asfalto	Pegante
8	Compactación	Capa Asfalto
9	Pruebas Asf.	Compactación
10		Pruebas Asf.
Completion Time	38	38

4.7 ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

Mediante la opción **Análisis del estado del proyecto (Project Completion Analysis)** ubicado en el menú **Resultados (Results)** podemos analizar las actividades que debieron ser ejecutadas (o que se encuentran en marcha) una vez pasado cierto periodo de tiempo.

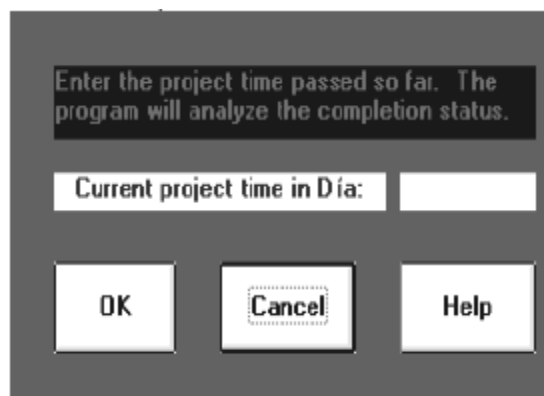


Figura 4.11 Menú de actividades que debieron ser ejecutadas.

En la casilla **Día actual de ejecución del proyecto (Current Project Time in Día)**, ingrese el día a analizar sobre el proyecto. Para el ejemplo escribamos 25 y pulsemos **OK**:

Tabla 4.5 Introducción de datos.

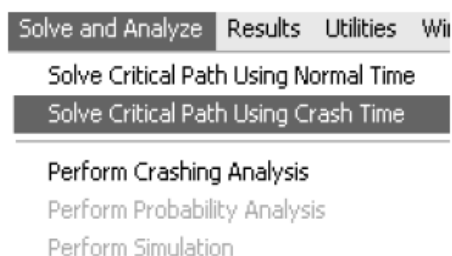
10-09-2005 13:40:11	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Latest Start	Latest Finish	Planned % Completion
1	Excavación	Yes	15	0	15	100
2	Sub-Base	Yes	7	15	22	100
3	Compactación	Yes	2	22	24	100
4	Base	Yes	4	24	28	25
5	Compactación	Yes	1	28	29	0
6	Canales	no	6	26	32	0
7	Pegante	Yes	1	31	32	0
8	Capa Asfalto	Yes	3	32	35	0
9	Compactación	Yes	1	35	36	0
10	Pruebas Base	Yes	2	29	31	0
11	Pruebas Asf.	Yes	2	36	38	0
	Overall	Project:		0	38	65.7895

En la columna ubicada al final se encuentra el **Porcentaje de ejecución** de cada actividad (**Planned % Completion**). Puede analizar que hasta el día 25 de ejecución del proyecto las actividades 1, 2 y 3 deben estar terminadas (100%), y la actividad 4 estará completada en un 25%. La ejecución total del proyecto es de 65,7895%.

4.8 RUTA CRÍTICA USANDO TIEMPOS DE QUIEBRE

En el caso de que se trabajase con los tiempos de quiebre, optaremos por la opción **Solve Critical Path Using Crash Time**. El costo total del proyecto pasa de \$16.000 a \$20.700.

Tabla 4.6 Menú para resolver ruta crítica con tiempo de quiebre.



El costo total del proyecto pasa de \$16.000 a \$20.700 como se ve en la tabla 4.7.

Tabla 4.7 resumen de la solución del ejercicio 4.1

10-09-2005 14:01:59	Activity Name	On Critical Path	Activity Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)
1	Excavación	Yes	10	0	10	0	10	0
2	Sub-Base	Yes	6	10	16	10	16	0
3	Compactación	Yes	2	16	18	16	18	0
4	Base	Yes	2	18	20	18	20	0
5	Compactación	Yes	1	20	21	20	21	0
6	Canalotes	no	3	18	21	20	23	2
7	Pegante	Yes	1	22	23	22	23	0
8	Capa Asfalto	Yes	2	23	25	23	25	0
9	Compactación	Yes	1	25	26	25	26	0
10	Pruebas Base	Yes	1	21	22	21	22	0
11	Pruebas Asf.	Yes	1	26	27	26	27	0
	Project	Completion	Time	-	27	Días		
	Total	Cost of	Project	=	\$20.700	(Cost on	CP =	\$18.000)
	Number of	Critical	Path(s)	-	2			

4.9 ANÁLISIS DE COSTOS DE EJECUCIÓN

WNQSB posee herramientas para el análisis de costos sobre proyectos. Para activar esta opción pulsemos sobre el menú **Resultados (Results)** y **Análisis de desempeño (Perform Crashing Analysis)**, ver figura 4.12:

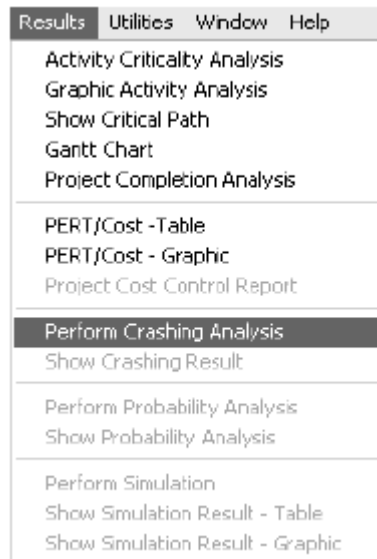


Figura 4.12 Menú de resultados y análisis de desempeño.

A continuación, describiremos la nueva ventana:

Tabla 4.8 Nueva ventana de análisis de desempeño.

Crashing Option <input checked="" type="radio"/> Meeting the desired completion time <input type="radio"/> Meeting the desired budget cost <input type="radio"/> Finding the minimum cost schedule		Project completion time and cost based on normal time: 38 Días / \$16.000 Project completion time and cost based on crash time: 27 Días / \$20.700
Desired completion time:	<input type="text"/>	OK
Late penalty per Día:	<input type="text"/>	Cancel
Early reward per Día:	<input type="text"/>	Help

Existen tres opciones para el análisis:

- **Conociendo el tiempo de terminación deseado (Meeting the Desired Completion Time):** Podremos fijar el **Tiempo deseado de duración del proyecto (Desired Completion Time)**, constituir una **Multa por retraso (Late Penalty per Day)** y una recompensa en caso de terminar antes de lo fijado (**Early Reward per Día**).
- **Conociendo el costo presupuestado deseado (Meeting the Desired Budget Cost):** Permite establecer el tiempo de las actividades (entre el tiempo normal y quiebre) que deben modificarse para alcanzar el **Costo deseado presupuestado (Desired Budget Cost)**.
- **Encontrando la programación para el mínimo costo (Finding the Minimum Cost Schedule):** Constituye el tiempo de las actividades que permiten encontrar el mínimo costo.

Por ejemplo, si deseamos la nueva programación de actividades a un mínimo costo para ejecutar el proyecto en 29 días, sabiendo que si lo terminamos antes recibiremos \$2.500 por día anticipado y si lo terminamos después, pagaremos una multa de \$10.000 por día incumplido, elegiremos la última alternativa:

Tabla 4.9 Ejecución del proyecto en 29 días.

Crashing Option <input type="radio"/> Meeting the desired completion time <input type="radio"/> Meeting the desired budget cost <input checked="" type="radio"/> Finding the minimum cost schedule		Project completion time and cost based on normal time: 38 Días \$16.000
Desired completion time: 29		Project completion time and cost based on crash time: 27 Días \$20.700
Late penalty per Día: 10000		<input type="button" value="OK"/>
Early reward per Día: 2500		<input type="button" value="Cancel"/>
		<input type="button" value="Help"/>

Se genera una tabla 4.10 que muestra el tiempo ideal en que se deben ejecutar las actividades, aprovechando la recompensa por terminar unos días antes de lo presupuestado:

Tabla 4.10 Tiempo ideal para ejecutar las actividades.

0-09-2005 15:26:28	Activity Name	Critical Path	Normal Time	Crash Time	Suggested Time	Additional Cost	Normal Cost	Suggested Cost
1	Excavación	Yes	15	10	10	\$200	\$1.000	\$1.200
2	Sub-Base	Yes	7	6	6	\$500	\$3.000	\$3.500
3	Compactación	Yes	2	2	2	0	\$700	\$700
4	Base	Yes	4	2	2	\$1.200	\$1.200	\$2.400
5	Compactación	Yes	1	1	1	0	\$700	\$700
6	Canaletes	Yes	6	3	5	\$400	\$1.500	\$1.900
7	Pegante	Yes	1	1	1	0	\$1.100	\$1.100
8	Capa Asfalto	Yes	3	2	2	\$500	\$4.700	\$5.200
9	Compactación	Yes	1	1	1	0	\$900	\$900
10	Pruebas Base	Yes	2	1	1	\$700	\$400	\$1.100
11	Pruebas Asf.	Yes	2	1	1	\$400	\$900	\$1.300
	Early	Reward:						(\$5.000)
	Overall	Project:			27	\$3.900	\$16.000	\$14.900

WINQSB nos recomienda terminar el proyecto en 27 días para restar \$5.000 a los costos por los dos días ahorrados.

4.10 MODELOS PERT

Para mostrar el funcionamiento de esta opción en el **WINQSB** modificaremos el ejemplo inicial para trabajar con tiempos normales, optimistas y pesimistas para cada actividad (**3 time estimate**).

Tabla 4.11 Datos del ejemplo 4.2

Ejemplo 4-2: La empresa CONSTRUCTORA S.A. programó las siguientes actividades para la construcción de una calle en concreto asfáltico (proyecto resumido – tiempo dado en días):					
No	Actividad	Precedente	Tiempo Optimista	Tiempo Normal	Tiempo Pesimista
1	Excavación	-	10	15	17
2	Sub-Base	1	6	7	8
3	Compactación	2	2	2	3
4	Base	3	2	4	5
5	Compactación	4	1	1	2
6	Canaletes	3	3	6	7
7	Pegante	5,10	1	1	2
8	Capa asfalto	6,7	2	3	4
9	Compactación	8	1	1	2
10	Pruebas Base	5	1	2	3
11	Pruebas Asf.	9	1	2	3

Construya una red de proyectos aplicando la metodología PERT a los tiempos estimados.

Indicamos el uso de esta distribución en la ventana (tabla 4.12) **Especificación del Problema (Problem Specification)**:

Tabla 4.12 Especificación del problema.

Al pulsar **OK** podremos ingresar los tiempos para cada actividad:

Tabla 4.13 ventana para ingresar tiempos.

Activity Number	Activity Name	Immediate Predecessor (list number/name, separated by)	Optimistic time (a)	Most likely time (m)	Pessimistic time (b)
1	Excavación		10	15	17
2	Sub-Base	1	6	7	8
3	Compactación	2	2	2	3
4	Base	3	2	4	5
5	Compactación	4	1	1	2
6	Canchales	3	3	6	7
7	Pegante	5,10	1	1	2
8	Capa asfalto	6,7	2	3	4
9	Compactación	8	1	1	2
10	Pruebas Base	5	1	2	3
11	Pruebas Asf.	9	1	2	3

Los puntos que aparecen en esta zona son:

- **Número de la actividad (Activity Number):** Número consecutivo de actividades.
- **Nombre de la actividad (Activity Name):** WINQSB predefine los nombres de las actividades con letras (se cambiaron a los nombres dados por el ejercicio).
- **Predecesores (Immediate Predecessor):** Se especifica el predecesor de cada actividad. Puede ser por el nombre de la actividad o por el número de esta. En el caso de que no exista predecesor se debe dejar el espacio en blanco.
- **Tiempos optimistas, normales y pesimistas (Optimistic Time - a, Most Likely Time - m y Pessimistic Time - b):** Tiempos normales, pesimistas y optimistas.

4.11 ESTIMANDO LA RUTA CRÍTICA

En el menú **Resolver y analizar (Solve and Analyze)** pulsamos sobre **Resolver ruta crítica (Solve Critical Path)**.

Tabla 4.14 Ruta crítica del problema 4.2

10-09-2005 16:18:02	Activity Name	On Critical Path	Activity Mean Time	Earliest Start	Earliest Finish	Latest Start	Latest Finish	Slack (LS-ES)	Activity Time Distribution	Standard Deviation
1	Excavación	Yes	14,5	0	14,5	0	14,5	0	3-Time estimate	1,1667
2	Sub-Base	Yes	7	14,5	21,5	14,5	21,5	0	3-Time estimate	0,3333
3	Compactación	Yes	2,1667	21,5	23,6667	21,5	23,6667	0	3-Time estimate	0,1667
4	Base	Yes	3,8333	23,6667	27,5	23,6667	27,5	0	3-Time estimate	0,5
5	Compactación	Yes	1,1667	27,5	28,6667	27,5	28,6667	0	3-Time estimate	0,1667
6	Canalotes	no	5,6667	23,6667	29,3333	26,1667	31,8333	2,5	3-Time estimate	0,6667
7	Pegante	Yes	1,1667	30,6667	31,8333	30,6667	31,8333	0	3-Time estimate	0,1667
8	Capa asfalto	Yes	3	31,8333	34,8333	31,8333	34,8333	0	3-Time estimate	0,3333
9	Compactación	Yes	1,1667	34,8333	36	34,8333	36	0	3-Time estimate	0,1667
10	Pruebas Base	Yes	2	28,6667	30,6667	28,6667	30,6667	0	3-Time estimate	0,3333
11	Pruebas Asf.	Yes	2	36	38	36	38	0	3-Time estimate	0,3333
	Project Completion Time		=	38	Dias					
	Number of Critical Path(s)		=	2						

La cuarta columna (**Activity Mean Time**) muestra la duración promedio de cada actividad obtenidos mediante la siguiente fórmula:

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

Siguen los **tiempos más próximos de inicio y finalización (Earliest Start y Earliest Finish)**, junto a los **tiempos tardíos (Latest Start y Latest Finish)** y los **tiempos de holgura (Slack)**. La última columna representa la desviación estándar para cada actividad:

$$Desviación = \frac{b - a}{6}$$

4.12 PROBABILIDAD DE CUMPLIMIENTO DE UN PROYECTO

Ejemplo 4-3:

Dada la información del ejemplo 2, ¿cuál es la probabilidad de concluir el proyecto en 35 días?

Al pulsar sobre el menú **Resultados (Results)** y en **Análisis Probabilístico (Performance Probability Analysis)**, se podrá determinar la probabilidad de cumplimiento en una red de proyectos. Para nuestro ejemplo, simplemente escribiremos 35 en la casilla **Tiempo deseado de ejecución (Desired Completion Time in Día)** y luego presionando el botón **Compute Probability**:

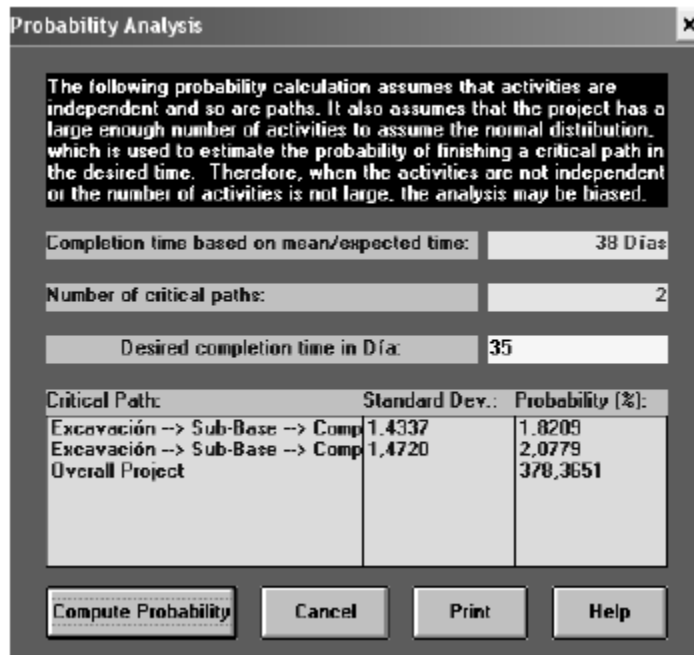


Figura 4.13 Probabilidad de terminación del proyecto

La probabilidad se calcula para las dos rutas críticas presentes en el proyecto: 1.8209% y 2.0779%. Existe entonces una probabilidad del 1.8209% de terminar el proyecto en 35 días.

4.13 ACTIVIDADES DE PRENDIZAJE PARA LOS ALUMNOS

Para llegar al objetivo establecido en la unidad IV se recomiendan realizar las siguientes actividades de aprendizaje. Las actividades propuestas están diseñadas de acuerdo con la infraestructura del ITSTB.

Tabla 4.15 Actividades de aprendizaje para la unidad IV

Tema	Actividad de Aprendizaje
	Realizar ejercicios en clase y extra-clase analizando cada uno de ellos.

4.14 EJERCICIOS Y RESPUESTAS

4.14.1 EJERCICIO RUTA CRÍTICA Y HOLGURA MEDIANTE EL SOFTWARE WINQSB

Realizar el mismo ejercicio del tema 2.6.1 (CPM) y comprobaran mediante el Software que el resultado es el mismo; duración del proyecto 28 semanas, y la comprobación de las holguras.

4.14.2 EJERCICIO METODO PERT MEDIANTE EL SOFTWARE WINQSB

Realizar el mismo ejercicio del tema 2.6.2 (método PERT) y comprobaran mediante el software que el resultado es el mismo; duración del proyecto de 55.33 y la probabilidad de que el proyecto termine en 60 semanas es de 96.93%

4.15 AUTOEVALUACIÓN

Realizar mediante el software WinQSB el siguiente ejercicio resolviendo lo que se le pide en los incisos de abajo.

Tabla 4.16 Datos del ejercicio de autoevaluación IV

Actividad	Actividad de precedencia	Tiempo (Semanas)
A	----	2
B	A	3
C	B	2
D	B, C	1
E	D	1
F	E	2
G	C, D, F	4
H	G	2
I	D	2
J	H, I	1

- a).- Realizar la red con actividades en los nodos
- b).- ¿cuáles son las actividades de la ruta crítica?
- c).- ¿Cuál es la duración del proyecto?
- d).- ¿Cuántas rutas acríicas tiene el proyecto?
- c).- ¿cuál es la holgura de las actividades?

EDITA: RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C
DUBLÍN 34, FRACCIONAMIENTO MONTE MAGNO
C.P. 91190. XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO.
CEL 2282386072
PONCIANO ARRIAGA 15, DESPACHO 101.
COLONIA TABACALERA
DELEGACIÓN CUAUHTÉMOC
C.P. 06030. MÉXICO, D.F. TEL. (55) 55660965
www.redibai.org
redibai@hotmail.com

Sello editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C. (607-8617)
Primera Edición, Xalapa, Veracruz, México.
No. de ejemplares: 200
Presentación en medio electrónico digital: Cd-Rom formato PDF 5 MB
Fecha de aparición 01/12/2020
ISBN 978-607-8617-92-0

Derechos Reservados © Prohibida la reproducción total o parcial de este libro en cualquier forma o medio sin permiso escrito de la editorial.

Tópicos de administración de proyectos para ingeniería



ISBN: 978-607-8617-92-0



9 786078 617920