



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA GUADALAJARA

DISEÑO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL  
PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS Y COSTOS  
EN LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO.

JOSÉ GERARDO NÚÑEZ VÁZQUEZ

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en  
Ingeniería Industrial con reconocimiento de Validez  
Oficial de Estudios de la SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,  
según acuerdo número 81692 con fecha 17-XII-81.

Zapopan, Jal., Marzo 11 de 1997.



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

GUADALAJARA

DISEÑO DE UN MODELO DE PROGRAMACION LINEAL  
PARA LA REDUCCION DE TIEMPOS Y COSTOS  
EN LA EJECUCION DE UN PROYECTO.

JOSE GERARDO NUÑEZ VAZQUEZ

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en  
Ingeniería Industrial con reconocimiento de Validez  
Oficial de Estudios de la SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA,  
según acuerdo número 81692 con fecha 17-XII-81.

Zapopan, Jal., Marzo 11 de 1997.

CLASIF: \_\_\_\_\_

ADQUIS: 50118

FECHA: 28 Mayo / 03

DONATIVO DE \_\_\_\_\_

\$ \_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD PANAMERICANA  
SEDE GUADALAJARA

Marzo 12 de 1997

JEFE DEL DEPTO. DE CONTROL ESCOLAR  
SECRETARIA DE EDUCACIÓN PUBLICA  
P R E S E N T E

Me permito hacer de su conocimiento que **JOSÉ GERARDO NÚÑEZ VÁZQUEZ**, de la Licenciatura en Ingeniería Industrial, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de titulación con la alternativa tesis titulado: **DISEÑO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS Y COSTOS EN LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO.**

Manifiesto que después de haber sido dirigida y revisada previamente, reúne todos los requisitos técnicos y pedagógicos para solicitar fecha de Examen Profesional.

Agradezco de antemano la atención que pueda brindar a la presente, reiterándome a sus ordenes.

A t e n t a m e n t e

DIRECTOR DE TESIS



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

SEDE GUADALAJARA

Marzo 12 de 1997

COMITÉ DE EXÁMENES PROFESIONALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
UNIVERSIDAD PANAMERICANA

Hago constar que el alumno: JOSÉ GERARDO NÚÑEZ VÁZQUEZ, ha terminado satisfactoriamente el trabajo de tesis titulado: "DISEÑO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS Y COSTOS EN LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO" que presentó para optar por el título de la Licenciatura en Ingeniería Industrial.

Se extiende la presente para los fines que convengan al interesado.

A t e n t a m e n t e



ING. FRANCISCO JAVIER VILLANUEVA V.  
Asesor de Tesis Escuela de Ing. Ind.

CC. JOSÉ GERARDO NÚÑEZ VÁZQUEZ



UNIVERSIDAD PANAMERICANA  
SEDE GUADALAJARA

*DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITILACIÓN*

JOSÉ GERARDO NÚÑEZ VÁZQUEZ

Presente

En mi calidad de Presidente de la Comisión de Exámenes Profesionales y después de haber analizado el trabajo de titulación en la alternativa tesis titulado "**DISEÑO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS Y COSTOS EN LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO**", presentado por usted, le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado de Examen Profesional, por lo que deberá entregar ocho ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

Atentamente.

EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN

Zapopan, Jal., a 12 de Marzo de 1997

DISEÑO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA  
LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS Y COSTOS EN LA  
EJECUCIÓN DE PROYECTOS.

## DEDICATORIAS

A DIOS, POR SU PRESENCIA EN MI VIDA.

A MIS PADRES JOSÉ Y GLORIA CON AMOR.

A MIS HERMANOS Y AMIGOS CON MUCHO CARIÑO.

A MIS MAESTROS, AGRADECIDO  
POR EL GRAN VALOR DE SU ENSEÑANZA.



# ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN .....	8
 <b>CAPITULO I</b>	
CONCEPTOS BÁSICOS DE ADMINISTRACIÓN POR PROYECTOS .....	17
I.A ADMINISTRACIÓN POR PROYECTOS .....	19
I.B LA ESTRATEGIA REFLEJADA EN EL PROYECTO .....	26
I.C PLANEACIÓN DE PROYECTOS .....	29
I.D EL PRESUPUESTO .....	33
I.E CONTROL DE PROYECTOS .....	37
 <b>CAPITULO II</b>	
EL PROYECTO ADMINISTRATIVO COMO UNA RED .....	41
II.A DEFINICIÓN DE LA RED .....	43
II.A.1 ACTIVIDADES .....	46
II.A.2 EL TIEMPO .....	48
II.A.3 LA SECUENCIA RELACIONAL .....	49
II.B ANÁLISIS DE LA RED .....	53
II.B.1 ASIGNACIÓN DE RECURSOS .....	55
II.B.2 CPM / PERT .....	58
II.B.3 ANÁLISIS DE COSTOS .....	62
 <b>CAPITULO III</b>	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	65
III.A DURACIONES POSIBLES DE UN PROCESO Y COSTOS ASOCIADOS .....	67
III.A.1 DURACIÓN NORMAL Y COSTO NORMAL .....	70
III.A.2 DURACIÓN LIMITE Y COSTO LIMITE .....	71
III.B OBTENCIÓN DEL COSTO MÍNIMO PROGRAMANDO	

A DURACIÓN LIMITE ..... 71

III.C EL PROBLEMA GENERAL DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL ... 73

III.C.1 DEFINICIÓN MATEMÁTICA ..... 74

III.C.2 EL MÉTODO SIMÉTRICO ..... 75

III.C.2.a ESTANDARIZACIÓN DE RESTRICCIONES ..... 76

III.C.2.b PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA  
 PARA LA DETERMINACIÓN DEL COSTO MÍNIMO  
 A DURACIÓN MÍNIMA ..... 77

III.C.2.c ALGORITMO DE SOLUCIÓN ..... 80

**CAPITULO IV**

CASO PRACTICO:

PROYECTO FLAMINGOS-NAYARTA COUNTRY CLUB ..... 87

IV.A INTRODUCCIÓN ..... 88

IV.B ANTECEDENTES ..... 89

IV.C OBJETIVO DEL PROYECTO ..... 89

IV.D CONCENTRACION DE DATOS ..... 90

IV.E DIAGRAMA DE RED ..... 91

IV.F SOLUCIÓN E INTERPRETACIÓN BREVE DE LOS RESULTADOS. 91

CONCLUSIONES ..... 96

BIBLIOGRAFÍA ..... 98

# INTRODUCCIÓN

En el año de 1957 fue desarrollado en Estados Unidos por Morgan R. Walker, entonces miembro del Departamento de Ingeniería de la Compañía E.I. Dupont de Nemours Co., y por James E. Kelley Jr., investigador de la Remington Rand, un método para la planeación, programación y control, fundamentalmente basado en análisis de redes, al que se le llamó CPM (Critical Path Method). Fue puesto a prueba por primera vez en el periodo 1957-58 en la construcción de la planta de Dupont en Louisville, obteniéndose ahorros tan considerables que permitieron su adopción inmediata como método para la planeación, programación y control de procesos productivos.

. El método PERT fue desarrollado en 1958 en los Estados Unidos como un producto de la investigación realizada por la firma Booz, Allen y Hamilton, de Chicago, Illinois, a solicitud de la oficina de proyectos espaciales de la Marina de los Estados Unidos. Este método se desarrolló para controlar el programa para la ejecución del proyectil Polaris, dando como resultado un ahorro de cerca de dos años en el tiempo de ejecución del proyecto.

Ambos métodos, basados fundamentalmente en las mismas consideraciones teóricas del análisis de redes, se ejecutan

en forma distinta. A la fecha se ha logrado obtener un método híbrido que se aplica con el nombre de PERT/CPM y el cual, dejando a un lado muchas de las laboriosas consideraciones probabilísticas del PERT original, se combina con el CPM en alguna de sus etapas de ejecución, dando como resultado un método más práctico, menos sofisticado que sus antecesores.

En la República Mexicana empezaron a aplicarse estas técnicas hasta 1961, por la Dirección General de Construcción de Edificios, dependencia de la S.O.P. y en 1962 por la Comisión Federal de Electricidad en sus obras de electrificación. Actualmente son muchas las oficinas federales y particulares que las emplean, aunque fundamentalmente para la programación y control de obras civiles, campos en los que se introdujeron inicialmente y en los cuales se han popularizado más, pero son aplicables a cualquier "Proceso Productivo" (escribir un libro, construir una casa, lanzar un nuevo producto al mercado, diseñar un trabajo de investigación, etc.), siempre y cuando dicho proceso no sea repetitivo, es decir; las actividades que hay que realizar para completarlo no deben realizarse en forma continua.

La red de un proceso productivo es una representación gráfica que utiliza flechas para indicar cada una de las actividades; y círculos para indicar eventos de iniciación y terminación de actividades. La flecha que representa una actividad, deberá estar orientada en el sentido de avance del proceso; su longitud puede ser cualquiera, no siendo indicación de su tiempo de duración. Todas las flechas se iniciarán en círculos y terminarán en círculos que representan el evento de iniciación y de terminación de una actividad, será evento de iniciación de la actividad siguiente el evento de terminación de la actividad anterior.

Para definir la secuencia que deberá seguirse en la representación de las actividades, es conveniente elaborar una tabla de secuencias. Esta tabla tendrá tantos renglones y columnas como actividades tenga el proceso.

Para construirla, se escriben las actividades, una en cada renglón de la tabla, manteniendo el mismo orden, se escriben en cada columna. Se deben seguir después dos reglas:

1. Se analiza la actividad correspondiente a cada uno de los renglones, y se determinan cuáles actividades pueden

realizarse 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 corresponden a las actividades que pueden realizarse inmediatamente después.

2. Se analiza la actividad correspondiente a cada una de las columnas, y se determina cuales actividades deben precederle inmediatamente antes de poder iniciar la actividad en cuestión. Para esto, se recorre la columna examinando los renglones de la tabla, y colocando una "x" en los casilleros de los renglones que corresponden a las actividades que deben ejecutarse inmediatamente antes.

Una vez definida en esta forma la secuencia entre actividades, se construye la red correspondiente, utilizando flechas punteadas como auxiliares, cuando sea necesario unir entre si eventos sin actividad propiamente dicha.

Una vez construido el diagrama de flechas, se numeran los eventos para clasificarse las actividades, teniendo cuidado que al evento de iniciación de una actividad le corresponda siempre un número menor que al evento de terminación de la misma actividad.



Para determinar el tiempo de duración de las actividades en las cuales por alguna razón no se conoce su duración, se emplea un valor probabilístico a partir de la estimación pesimista y optimista del mismo valor.

Para poder determinar qué actividades del diagrama son críticas, es necesario conocer el tiempo de iniciación más próximo de cada una de las actividades. Este tiempo se anota en el casillero derecho que queda al dividir el círculo que representa el evento de iniciación de la actividad.

Estos tiempos se determinan situando al primer evento del diagrama de flechas en un tiempo de iniciación cero y calculando el tiempo de iniciación del evento siguiente en el diagrama, en el sentido del flujo, sumando el tiempo de duración de la actividad correspondiente.

Procediendo en esta forma a través del diagrama se puede concluir cual será la fecha de terminación más próxima para el proceso representado por la red, ya que las fechas anotadas en los círculos son de iniciación más próxima para la actividad posterior y de terminación más próxima para la actividad anterior.

Aquellos eventos cuya fecha de iniciación más próxima y más alejada sean iguales determinan cuáles actividades son críticas, es decir, no tienen margen. Si se atrasa su inicio, se atrasa en igual forma el tiempo de terminación del proceso. Su trayectoria en el diagrama forma la ruta crítica de actividades. En estas actividades hay que volcar todos los recursos disponibles para asegurar que se realicen en el tiempo estipulado; de otra forma, se atrasará la fecha de terminación del proyecto.

Aquellas actividades que no son críticas, tienen una holgura o tiempo flotante, dentro del cual pueden retardar su iniciación o prolongar su ejecución sin afectar la fecha de finalización del proyecto. A esta holgura se le denomina holgura total.

Es sumamente importante conocer cuáles actividades son críticas, para controlar en alto grado su ejecución, así como conocer el margen de las actividades no críticas ya que son las que dan flexibilidad a la programación.

Cuando todas y cada una de las actividades componentes del proyecto, se realizan a su tiempo normal el costo de ejecución del proyecto es mínimo. Si por alguna razón, cierta actividad desea realizarse en un tiempo menor del

normal, se deberán emplear mayores recursos, tales como: Trabajar horas extras, emplear mayor número de operarios, utilizar equipo o herramientas mas eficientes, etc., condición que se refleja en un aumento en el costo de ejecución.

Cada actividad podrá disminuirse hasta su duración límite, en el cual aunque se aumente el personal o el equipo (y por tanto el costo), ya no es posible disminuir su duración.

Ahora bien, además del costo de ejecución de cada una de las actividades, generalmente se tienen costos fijos, que aumentan conforme se prolonga la duración del proyecto; por ejemplo:- renta de maquinaria, gastos de administración del proyecto, costos del capital invertido, pago de servicios de asesoría, etc., de modo que estos costos se minimizan al ejecutar el proyecto en un tiempo mínimo.

El costo total del proyecto, que viene a ser la suma de ambas partidas, es generalmente muy alto cuando el proyecto se realiza en su tiempo mínimo, empieza a disminuir conforme el tiempo de realización se aproxima al tiempo normal de ejecución, teniendo un costo total mínimo a un tiempo óptimo que generalmente es una fecha

comprendida entre el tiempo mínimo y el tiempo normal. Este costo, empieza a aumentar para tiempos de realización mayores que el tiempo óptimo, debido a la influencia de los costos fijos y se hace muy alto para tiempos alejados del tiempo normal.

La determinación del tiempo de ejecución de cada una de las actividades para lograr un costo mínimo del proyecto constituye un problema complejo debido al número tan grande de combinaciones de la duración de cada una de las actividades.

Es necesario conocer la variación del costo con respecto al tiempo (la pendiente), así como la duración normal y límite de todas y cada una de las actividades. Es necesario también conocer la secuencia de las actividades del programa a procesar.

Una vez obtenida esta información de tiempos y costos, con el objetivo de obtener la duración óptima de cada actividad involucrada en el proyecto se propone el método mostrado en esta tesis acompañado de un programa de computación para la obtención de los resultados.

CAPÍTULO I  
CONCEPTOS BÁSICOS DE  
ADMINISTRACIÓN POR  
PROYECTOS

La administración por proyectos comenzó con aplicaciones en tecnología aeroespacial, electrónica y comunicaciones, sin embargo en la actualidad diversas áreas industriales y comerciales han prestado atención a la implantación de la administración por proyectos; en algunos casos desde un principio en la ingeniería básica del proyecto y en otras ocasiones substituyendo la organización funcional por la organización matricial implementando estructuras separadas de trabajo.

La orientación hacia un fin de la que son objeto los recursos representa el verdadero problema para la ejecución administrativa, esta orientación hacia la resolución de problemas sólo se logra mediante los esfuerzos interdisciplinarios. La definición de la estrategia después de la fijación del fin y los objetivos en coordinación con los recursos obliga a la adaptación de un sistema regulatorio que obedezca al flujo constante de información mediante la retroalimentación. El control forma parte de un mecanismo regulatorio en el que el desarrollo dinámico del proyecto exige una actualización constante de las mismas estrategias, modificando tiempos, asignación de recursos y secuencias de operaciones a manera de una programación

dinámica, lo cual dificulta el manejo bajo una administración funcional, haciendo necesaria la implantación de métodos modernos de administración como lo es la administración por proyectos.

El modelado de las expectativas estratégicas vinculado al proyecto como reproducción fiel de sus objetivos facilita en gran medida la aportación de ideas con respecto a las rutas de acción, estimulando la buena participación de la actividad directiva dando el servicio adecuado en el momento conveniente conciliando los esfuerzos de los recursos participantes en el proyecto en busca del preciado fin, el cual en la mayoría de los casos se enfoca a los beneficios económicos.<sup>1</sup>

## **I.A ADMINISTRACIÓN POR PROYECTOS**

Antes de introducirse en materias técnicas en el área de la administración por proyectos es importante precisar algunos conceptos que necesariamente tendrán que entenderse

---

<sup>1</sup> WANTUCK Kenneth, Just In Time, p2

como propios de la ciencia administrativa. La definición que parece ser la mas apropiada para estas aplicaciones dice: Es un proceso social que lleva consigo la responsabilidad de planear y regular en forma eficiente las operaciones de una empresa, para lograr un propósito dado.<sup>2</sup> Expresado de esta forma, el planear y regular constituyen una actividad medular en la que no sólo existe la preocupación por el cumplimiento de éstas, sino que también se debe considerar la responsabilidad de ejecutarlas eficientemente, y es precisamente esto la coyuntura con la materia de investigación de operaciones. Esto sin olvidar la participación social, para lo que se establece que no existe administrador sin recursos administrados, haciendo de esto un organismo social en el que el administrador dirige y coordina lo que los demás realizan, dando luz al elemento "coordinación sistemática de medios"<sup>3</sup> que exige el concepto de la administración en toda sociedad.

El valor que se atribuye a la administración es compartido aquí con el manejo técnico de proyectos, no es

---

<sup>2</sup> Lorsh, J. W. And Lawrence, P.R. Studies in Organization Design. Ed. Irwin Dorsey, Homewood, 1970.

<sup>3</sup> Agustín Reyes Ponce, Administración de Empresas p.17



necesario concebir aquí a la administración y a la técnica de proyectos como una ciencia compuesta, sino por el contrario hacer la referencia como un sistema unificado orientado hacia un fin único: La integración del conocimiento científico.

La concepción de la administración por proyectos envuelve un ambiente de estados fluctuantes que hacen posible la existencia de su aplicación, originando la solución a los problemas técnicos y suavizando gracias a su estructura organizacional el ordenamiento social, esto no hace de la administración por proyectos una panacea, debiendo estudiar empíricamente la situación; juzgando en el posible proyecto su magnitud, desconocimiento, interrelación y estructura organizacional; ponderando y evaluando aspectos específicos del medio ambiente organizacional, incluyendo: objetivos del esfuerzo planeado; potencial para el mejoramiento de los métodos; tamaño y complejidad del proyecto y situación de los proyectos activos.

Existe un estilo de administración para cada área de la ingeniería de proyectos pero existe una sola

administración de proyectos para la ingeniería." La administración de proyectos es apropiada para actividades relacionadas con un producto específico final, como por ejemplo la construcción de vivienda en grandes extensiones, el cambio de una planta a un nuevo lugar, la adquisición de una empresa o el desarrollo de un nuevo producto para el mercado. La interrogante del tamaño es una cuestión relativa; sin embargo, cuando una actividad requiere en gran parte más recursos que los que normalmente se tienen disponibles para conducir un negocio de rutina, la técnica de proyectos parece ser apropiada. Aunque pueden existir los elementos funcionales requeridos para producir el producto final, una función dada puede resultar complicada por la diversidad y complejidad de esa nueva tarea.

El método de proyectos puede no ser necesario para un esfuerzo de trabajo dado, a menos que constituya una actividad poco común para la organización. La innovación en la mayoría de sus casos requiere de una importante inversión. por ejemplo, un cambio menor en la ingeniería por un sistema existente puede llevarse a cabo efectivamente por medio de la estructura regular, pero un

---

<sup>1</sup> LUMEINS, Thierry, Managment Styles, p.136  
<sup>2</sup> WHITE, Eleonnor, Managment, p.72

rediseño completo de un sistema importante probablemente sería mas adecuado llevarlo a cabo por medio de la administración por proyectos. En el primer caso, cada gerente funcional involucrado podría apoyarse en la experiencia pasada y en los recursos disponibles para llevar a cabo su parte de trabajo. En el último caso, la importancia del costo, de la programación y de las restricciones en la tecnología podría justificar la designación de un gerente de proyectos para integrar las actividades funcionales requeridas para llevar a cabo el objetivo.

Un criterio decisivo para el establecimiento de un proyecto es la evaluación del grado hasta donde el manejo de recursos, administración de tareas y la programación de acuerdo a tiempos predeterminados pueda repercutir en cierto nivel de ahorro cronológico o económico significativo en relación a la inversión y rendimiento esperados. Si el esfuerzo requiere la integración de muchas actividades funcionalmente separadas que están desde el punto de vista critico interrelacionadas, las técnicas de la administración por proyectos merecen ser consideradas. Por ejemplo la planeación inicial para el desarrollo de un

nuevo producto puede requerir de pronósticos de ventas completos antes que se pudieran desarrollar los planes para el proceso de manufactura, para las instalaciones industriales, para las herramientas especiales y para las estrategias de mercado. En ausencia de una agencia responsable de la coordinación de todas estas actividades, si no existen estimaciones confiables o si los planes en conflicto están sometidos a varios departamentos, entonces las características de un solo propósito de la administración por proyectos parecería ser la más apropiada.

Considerar el riesgo al que se ve sometida una organización es importante al decidir si la utilización de la administración por proyectos es efectiva en relación al costo.<sup>6</sup> Por ejemplo, si la falla en la terminación del contrato a tiempo y dentro del costo y con respecto a las restricciones de ejecución dañarán seriamente la posición de la compañía en la industria, entonces la opción para la utilización de la administración por proyectos parece fortalecerse. Lo que es más, en el caso de defensa contractual, el contratista se enfrenta con un solo cliente

---

<sup>6</sup> GONZALEZ, Alfredo R., Administración de proyectos, p.77

cuya reacción en contra de una realización insatisfactoria podría ser catastrófica en términos de reconocimientos futuros.

Existen, sin embargo factores que son decisivos para el éxito de la administración por proyectos, que no son meramente de carácter técnico; el gerente de proyectos en un contexto de aplicación ingenieril tiene un papel muy importante en este renglón; esta persona que se encuentra normalmente bajo fuertes presiones, desveladas y malpasadas, con una posición única, con presupuestos limitados, con el tiempo encima, en un ambiente de organización complejo de diversas disciplinas y funciones debe responder aún así al logro exitoso del proyecto. La administración por proyectos es el arte de cubrir los objetivos a través de su gente, el conocimiento técnico no es suficiente, porque cada decisión del gerente de proyectos tiene consecuencias conductuales. Esto complica aún más el enredo cotidiano en el trabajo del gerente de proyectos, es por esto que la tecnología intenta día con día alivianar la carga de estos dirigentes manipulando las variables controlables de su entorno, aplicando sofisticados métodos de investigación de operaciones,

métodos matemáticos, desarrollo cibernético, etc. que liberen el tiempo a los líderes ofreciendo un mayor tiempo de meditación sobre sus decisiones con datos mas fieles que puedan ofrecer información confiable, obteniendo gracias a los gerentes de proyectos y sus colaboradores el orgullo de llegar al fin de un proyecto habiendo cumplido eficientemente todos sus objetivos, o por lo menos todos aquellos que fueron necesarios para llegar al fin, ya que la culminación exitosa de un proyecto no consiste en cumplir con los objetivos sino con el fin; ya que: La estrategia es un plan dinámico en el que en cada paso del proyecto existe la posibilidad de cambio.

## **I.B LA ESTRATEGIA REFLEJADA EN EL PROYECTO**

A final de cuentas el proyecto se convierte en una partida de ajedrez en donde el director o gerente deberá ordenar una serie de factores técnicos y empiricos hacia un fin que es sólo el de ganar o sea conseguir el fin por

medio de los recursos materiales, científicos y de sus colaboradores. Esta analogía presenta un marco real en la vida de un proyecto para el cual no se pueden dar las cosas por hechas, el avance va orientado por el conocimiento intuitivo del director formado a base de experiencia, habiendo aprendido a manejar sus decisiones ayudado por la técnica científica cuando la tuvo; poniendo ante ésta su experiencia.

Es por esto que ese manejo de posibles caminos, muchas veces expresados en gráficas de Gantt, de PERT deben de ser modificados cuando ya estaban en puerta. Así, la planeación debe de aplicar la estrategia; una de sus áreas más complejas para la técnica, que convierten el desarrollo de un proyecto en un juego con infinidad de opciones, acompañando al proyecto en el cumplimiento de cada uno de sus objetivos hasta alcanzar el fin del proyecto.

La estrategia no se reduce a esbozar una trayectoria para el proyecto y apegarse religiosamente a ella. La rigidez de los proyectos es la principal causa del incumplimiento. El cambio constante y los imprevistos a consecuencia de las variables no controlables del

---

<sup>2</sup> RYAN, Tom, Strategic Planning, p.213  
<sup>3</sup> JENKINS, Robert, Project Management, p.97

macroambiente exigen una mente creadora y dinámica capaz de realizar modificaciones bajo circunstancias aparentemente fijas. Además de exigir, la dirección de un proyecto debe encontrar el máximo de recursos que faciliten el trabajo de análisis rutinario en el manejo de sus estrategias, el recurso técnico más útil; como es bien sabido es la cibernética y sus aplicaciones mediando con el software. Definitivamente esto no es una panacea, ya que nunca deja de exigirse la participación de las facultades humanas.

El uso de la cibernética como facilitador de la estrategia contribuye con herramientas que en nuestro tiempo son esenciales debido a la competitividad. Particularmente se puede contar con flexibles sistemas de programación que producen las más populares casas de software, estos paquetes permiten de forma muy accesible manipular cantidades considerables de datos, obtener resultados bastante ilustrativos mediante representaciones gráficas de la información, análisis cuantitativos y cualitativos de acuerdo a criterios de selección, cálculos de tendencias, índices que reflejan el estado de las operaciones, simulaciones, análisis de alternativas para toma de decisiones, sistemas maestros a base de



inteligencia artificial, etc., todo esto formando un sistema que a final de cuentas a la vez que facilita tanto como que incrementa la responsabilidad de obtener los mejores resultados técnicos abriendo paso al contacto directo de la mente humana con el desarrollo exitoso del proyecto.

## I.C PLANEACIÓN DE PROYECTOS

El ingeniero de planeación desempeña un papel muy importante en el desarrollo del proyecto. A partir de los años sesentas en que el desarrollo de análisis de redes tuvo una aplicación más accesible surgió un trabajo nuevo; el trabajo del ingeniero de planeación, un especialista en la planeación y control de proyectos. Se pensaba que el análisis de redes mejoraría la administración de los proyectos grandes, y que el ingeniero de planeación era la persona que implantaría esta técnica nueva. Sabemos ahora que la planeación efectiva del proyecto depende más de la estructura y del apoyo de los sistemas de información que del uso del análisis de redes, y que el trabajo del

ingeniero de planeación requiere un entendimiento profundo de la dinámica humana del ambiente del proyecto. El ingeniero de planeación ha llegado a ser un psicólogo de la organización.<sup>20</sup> Sin embargo siendo ésta la parte medular de su trabajo no debe desatender lo que a final de cuentas marcarán su desempeño: Los resultados. Además de entender acerca del comportamiento humano y los fenómenos conductuales de la gente debe fusionarlos con la marcha del proyecto por medio de objetivos específicos logrados a base de logros concretos, independientemente de todo el esfuerzo que haya desarrollado como ingeniero en psicología.

Actualmente el ingeniero de planeación tiene a la mano diversas herramientas que alivianan su carga de trabajo, muchas veces no para reducirla sino para alcanzar a completar. Siendo la planeación de los proyectos junto con el control de proyectos las áreas más técnicas de la administración por proyectos se les ha dedicado mayor esfuerzo y atención científica, además de que en las últimas décadas la aparición de proyectos con aplicaciones diversas, con espacios grandes de tiempo y con requerimientos de grandes cantidades de diversos recursos

---

<sup>20</sup> STONE, William, Psychology in Business, p.101

ha impuesto demandas nuevas sobre las capacidades de la administración por proyectos y sobre los requerimientos de comunicación en el proyecto. Este crecimiento en el tamaño y complejidad de los proyectos ha enfatizado, además, los canales de comunicación utilizados previamente a tal grado que se requiere un nuevo acceso a los sistemas de información y a los canales de comunicación. En vista de la presencia de tales demandas, la comunicación ha evolucionado regresando a la base de la organización; implementando así nuevos métodos respaldados por la informática aplicando modernos sistemas de transferencia de datos, órdenes e información concreta auxiliar tanto en las más cotidianas como en las más trascendentes decisiones de la alta dirección.

La estructura de separación del trabajo ayuda en la organización y en la planeación de todas las fases de un proyecto facilitando a su vez la comunicación de información especializada a centros analizadores e integradores de ésta para que la recepción de información en los altos niveles sea de una manera sintetizada y significativa a la vez. La responsabilidad en la

comunicación implica involucrar el compromiso de la persona motivando una orientación a los objetivos del proyecto.<sup>13</sup>

La intervención de las comunicaciones hace suponer que inevitablemente se cuente con un sistema de información para proyectos de un tamaño considerable, definiendo este tamaño en función de su complejidad administrativa principalmente. Es necesario mencionar que los proyectos pueden involucrar, por un lado, procedimientos sistemáticos que se ejecutan de manera repetitiva, los métodos de la ruta crítica son útiles para el análisis detallado y la optimización del plan de operación. Sin embargo, por lo general, estos métodos se aplican a esfuerzos que se dan una sola vez; en forma notable trabajos de construcción de todo tipo; operaciones de mantenimiento; mover, modificar o ajustar una industria nueva o instalación de algún tipo, etc. Los métodos de la ruta crítica se aplican a proyectos que encierran un rango extremadamente amplio de requerimientos de recursos y tiempos de duración. A fin de llevar a cabo las tareas del proyecto de manera eficiente el gerente de proyectos debe planear y programar ampliamente basándose en su experiencia con proyectos

---

<sup>13</sup> Sevilla, Lorena, Administración de Proyectos, p.43

similares, aplicando su juicio a las condiciones particulares del proyecto. Durante el curso del proyecto necesita replanear y reprogramar sin cesar debido al avance inesperado, dilaciones o condiciones técnicas. Se designan los métodos de la ruta crítica para facilitar este modo de operación, introduciéndose así el análisis de redes como herramienta para planear, programar y controlar proyectos complejos de gran escala. Existen así diversas técnicas que a la vez han ido evolucionando tanto el CPM como el PERT que podrían llamarse métodos clásicos en el estudio de redes, sin olvidar la moderna aplicación de la programación dinámica, análisis de sensibilidad y simulación en la programación de actividades, contando así cada vez con mas aplicaciones de las técnicas de redes en la planeación de proyectos.

## **I.D EL PRESUPUESTO**

Los presupuestos son una modalidad especial de los programas, cuya característica esencial consiste en la

determinación cuantitativa de los elementos programados.<sup>12</sup> Los presupuestos también llamados planeación periódica es el proceso de hacer planes para todas las actividades de una empresa por un período determinado, generalmente de duración anual son aplicados en la administración por proyectos en base a un horizonte de planeación equivalente a la duración total del proyecto habiendo sus excepciones en que el proyecto se divide por etapas y se presupuesta por etapa, sin embargo se puede hablar del presupuesto sin importar su alcance cronológico. Un objetivo importante de este proceso es el acoplamiento de los distintos planes que se hacen para las divisiones en el proyecto, con el fin de tener seguridad de que los planes parciales armonizan entre sí y de que el efecto conjunto de todos ellos es satisfactorio. En la elaboración de un presupuesto se deben considerar diferentes áreas administrativas, siendo necesario delegar cada sección del presupuesto a especialistas que ofrezcan un bajo nivel de incertidumbre.

El requisito indispensable para el éxito en proyectos de ingeniería es su viabilidad económica.<sup>13</sup> Esto es un

---

<sup>12</sup> Agustín Reyes Ponce, Administración de empresas

<sup>13</sup> Landers, Ray, Economics, p.35

hecho universalmente cierto, que no depende del sistema económico ni del idioma del país donde se vaya a realizar el proyecto.<sup>24</sup> El presupuesto que da lugar a un análisis de viabilidad no siempre es muy acertado por lo que con fines de aplicación de la ingeniería económica, manejando análisis de proyectos de preinversión se utilizan en ocasiones factores de seguridad económicos, ofreciendo mediante la estadística inferencial las variaciones extremas; conociendo así, lo que sucedería si el presupuesto se extendiera a sus límites inferior y superior, aplicando los criterios pesimista y optimista similar a la aplicación del método de análisis PERT.

Un presupuesto es un plan de ingresos, de egresos, o de ambos, de dinero, personal, o de cualquier otra entidad que el gerente crea que al determinar el futuro curso de acción ayudará en los esfuerzos administrativos. Los presupuestos son integradores porque incluyen todas las áreas del proyecto o pueden ser formulados para cualquier segmento de él. Los presupuestos siempre se aplican a determinado período o etapa y los datos que componen el

---

<sup>24</sup> H.G.Thuesen, W.J.Fabrycky, G.J.Thuesen, Economía del proyecto en ingeniería.

presupuesto por lo general se segregan para periodos pequeños, tales como horas o días en un presupuesto mensual, o semanas o meses en un presupuesto anual; dependiendo del horizonte de planeación.

Los presupuestos no son fáciles de formular, pueden intervenir muchos cálculos imaginarios en las etapas iniciales del proceso, pero las subsecuentes planeaciones del presupuesto son más sencillas, ya que los presupuestos anteriores proporcionan una base de experiencia. El presupuesto siempre ve hacia adelante del proyecto, nada puede hacerse en el pasado. Los mejores presupuestadores se benefician con la experiencia. Por lo general se necesita mucho tiempo para desarrollar habilidad en la preparación de presupuestos para un área de operaciones específicas.

Una observación importante es que el presupuesto para un proyecto determina en muchas ocasiones su duración total, aportando la posibilidad de reducción en el tiempo de ejecución. Esto es aplicable a la mayoría de los proyectos, en los que una semana antes puede significar un gran ahorro, por lo que la ingeniería económica debe intervenir destinando investigaciones orientadas a



descubrir el punto de equilibrio; optimizando la inversión en el proyecto.

## I.E CONTROL DE PROYECTOS

Se atribuye la responsabilidad al gerente del proyecto de propiciar un ambiente administrativo que permita que el control del proyecto se lleve a cabo. Esto es; la evaluación oportuna del costo potencial y de los peligros de la programación y la presentación de estas evaluaciones con soluciones recomendadas para la administración de proyectos. Esto significa que el ingeniero de control necesita ser un técnico experto y también debe poder comunicarse eficazmente a nivel de la administración.

Según Mintzberg<sup>15</sup> el control de proyectos se puede definir como el procedimiento que:

---

<sup>15</sup> Mintzberg, Organizational Power and Goals. Ed Schendel 1979.

- \* Prevé y evalúa los peligros potenciales antes de que ocurran de modo que se pueda tomar acción preventiva.
  
- \* Examina las tendencias o las situaciones reales para analizar su impacto y, si es posible, propone acción para aliviar la situación.
  
- \* Suministra vigilancia continua de las condiciones del proyecto para crear eficaz y económicamente una condición de "no sorpresa".

Es esencial establecer un sistema de control de proyectos de calidad en la fecha más temprana posible. De esta forma se debe preparar un programa de implantación, este programa debe desarrollarse de manera detallada y resumida y delinear las facetas del sistema de control propuesto, que muestre las fechas límites para la terminación y las asignaciones de personal para el trabajo. Se deben proporcionar programas, informes, estimaciones, programas de computadora, diagramas de organización, que constituyan el sistema de control de proyectos total.

La investigación de operaciones ofrece una gran variedad de herramientas para el tratamiento del proyecto en el área de control, anteriormente la modificación de una actividad en la red de un proyecto hacía que los analistas trabajaran sin descanso para ponerse al corriente del avance del proyecto en la programación, lo cual a la larga se tenía que elegir entre acabar con el control del proyecto esperando los resultados de planeación estratégica o se controlaba técnicamente el proyecto por medio de la intuición del gerente del proyecto. El control fue tal vez el área mas beneficiada en el desarrollo de proyectos con la aparición de las computadoras.

El control de las operaciones en función del tiempo y presupuestos, es una variable de importancia en cualquier tipo de control. Alan Lakein<sup>16</sup>, señala el valor de distinguir entre la efectividad y la eficiencia en el manejo del tiempo. Indica que la eficiencia implica hacer las tareas en el tiempo más corto con el menor gasto de esfuerzo. La efectividad implica "seleccionar la mejor tarea por hacer a partir de todas las posibilidades

---

<sup>16</sup> Alan Lakein, How to get control of your time and your life. Ed. Wiley, Boston 1966.

existentes y luego hacerla en la mejor forma". Otra forma de definir los términos es que eficiencia es hacer correctamente las cosas, en tanto que efectividad es hacer las cosas correctas. Ambas son importantes en el control. La última se aplica principalmente al diseño de los sistemas de control; la primera es más importante en la operación de dichos sistemas.

Si las otras funciones fundamentales de la administración (Planeación, organización y ejecución) fueran ejecutadas a la perfección, habría muy poca necesidad de control. Sin embargo muy raras veces, si acaso, la planeación es perfecta, la organización está sobre todo posible reproche, y la ejecución es 100% efectiva. El control, en el significado administrativo formalizado del término, no existe sin la previa planeación y ejecución. Está relacionado y forma parte de los tres resultados de las otras tres funciones fundamentales de la administración. Mientras más estrecha sea la unión, tanto más efectivo es el control.

CAPÍTULO II  
EL PROYECTO  
ADMINISTRATIVO COMO  
UNA RED

En este capítulo se particulariza el estudio de la administración por proyectos orientándose a un enfoque de restricciones más bien técnicas, en donde el proyecto se revela como una idea concreta por el promotor, se establece el fin, se estructura en borrador, se establecen los objetivos más importantes, se realizan propuestas para las rutas de acción a la vez que se conjuntan la manipulación de los recursos y la programación de actividades; orientándose todos estos aspectos hacia la síntesis del proyecto en una red clara, proporcionando información de forma accesible. Una vez elaborada la primera versión de la red, compuesta por actividades, tiempos y secuencias relacionales se procede a el análisis de la red, auxiliándose el analista, de la información sintetizada comprendida en la red para la asignación de recursos, evaluaciones de alternativas utilizando CPM/PERT y análisis de costos individuales y totales del proyecto.

## II.A DEFINICIÓN DE LA RED

Un proyecto que es representado por diagramas de redes es en esencia una consecuencia del diagrama de barras que desarrolló Gantt en el contexto de un requerimiento militar en la Primera Guerra Mundial. La principal ventaja del diagrama de barras es que el plan, el programa y el avance pueden representarse todos juntos de manera gráfica. A pesar de esta ventaja importante, los diagramas de barras no han sido demasiado exitosos en los proyectos continuos que sólo suceden una vez con un alto contenido de ingeniería, o proyectos de largo alcance. Las razones para esto incluyen el hecho de que la simplicidad del diagrama de barras impide mostrar el detalle suficiente para permitir la detección oportuna de tiempos perdidos en actividades con tiempos de duración relativamente largos. Tampoco muestra el diagrama de barras las relaciones de dependencia entre las actividades de manera explícita. Por lo tanto, es muy difícil atribuir los efectos sobre la terminación del proyecto de las demoras del avance en las actividades individuales. Por último, el diagrama de barras es difícil de ajustar y mantener para los proyectos

grandes, y tiene una tendencia a volverse obsoleto pronto y perder su utilidad. Con estas desventajas en mente, junto con ciertos eventos de mediados de la década de 1950, como el surgimiento de grandes programas técnicos, de grandes computadoras digitales, de la teoría de sistemas, etc., se ajustó la escena para el desarrollo de una metodología de la administración de proyectos basada en redes.

Para comenzar con la definición de una red se deben listar todos los trabajos; llamados convencionalmente actividades, y poner estos trabajos en secuencia tecnológica apropiada en la forma de una red o diagrama de flechas. Cada trabajo se indica con una flecha, con nudos, llamados eventos, colocados en cada extremo de las flechas. Los eventos representan puntos de tiempo y se dice que ocurren cuando todas las actividades que se introducen en el evento se completan. En la figura 1, por ejemplo, cuando las dos actividades "seleccionar operadores" y "preparar material de entrenamiento" se completan, se dice que ocurre el evento Núm. 10. Debe señalarse que no es necesario que se completen a un tiempo las dos actividades antecesoras del evento 10; sin embargo, cuando ambas se completan, ocurre el evento 10 y sólo entonces puede comenzar la



actividad "entrenar operadores". Similarmente cuando esta actividad se completa, ocurre el evento 15, y las actividades sucesivas "prueba del proceso A" y "prueba del proceso B" pueden comenzar entonces cada una. Se debe notar que el orden de las actividades se basa en la tecnología de los recursos.

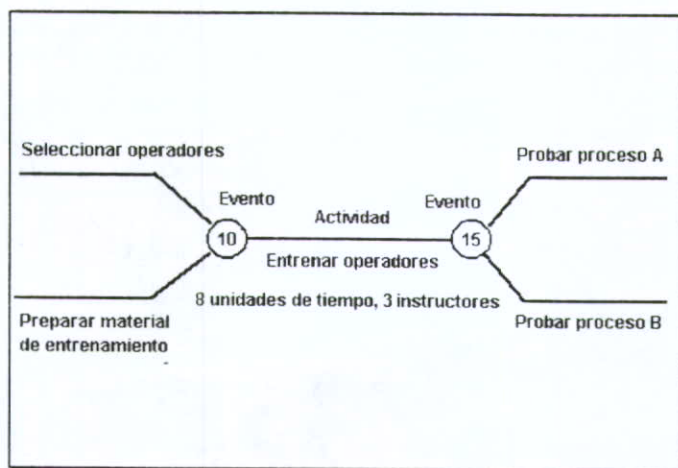


Figura 1. Ejemplo de diagrama de actividades.

Las actividades requieren el gasto de tiempo y recursos para completarse; ocho unidades de tiempo y tres instructores en el ejemplo de arriba. La longitud de la flecha no es importante, pero su dirección relativa a otras actividades y eventos indica las limitaciones tecnológicas

en el orden en el cual las actividades que componen el producto se pueden ejecutar.

## II.A.1 ACTIVIDADES

Las actividades como ya se ha expresado en forma sencilla constituyen la unidad en el proyecto; es decir la división menor del proyecto. Las actividades son trabajos o tareas que pueden incluir tiempos muertos en el proyecto llamados holguras. Sin embargo existen también actividades nulas que sólo sirven para unir nodos. A estas últimas actividades se les conoce como actividades ficticias, porque no requieren ni tiempo ni recursos para completarse.

Así, por medio de actividades enlazadas se construye la red del proyecto, partiendo del evento inicial que no tiene ninguna actividad predecesora y que ocurre al comienzo del proyecto. Desde este evento, se añaden las actividades a la red de acuerdo a una secuencia en forma de árbol, considerando las relaciones que deban existir entre las actividades; formando ramificaciones. Se continúa este proceso hasta que todas las actividades hayan sido

incluidas en la red, la última de las cuales se une al evento final del proyecto que no tiene ninguna actividad sucesiva. Al llevar a cabo esta tarea se debe ser cuidadoso para evitar el error común de ordenar las actividades arbitrariamente según alguna idea preconcebida de la secuencia que las actividades quizá tomarán cuando el proyecto se lleve a cabo. Si se comete este error, los procedimientos subsecuentes de programación y de control serán impracticables e irreales. Sin embargo, si la red se dibuja con exactitud según las limitaciones tecnológicas, será un modelo único del proyecto que sólo cambiará cuando se hagan cambios fundamentales en el plan. También presentará flexibilidad máxima en la programación subsecuente de las actividades para satisfacer las limitaciones de recursos.

La preparación de la red del proyecto, presenta una excelente oportunidad de tratar, o simular, varias maneras de llevar a cabo el proyecto, evitando así errores costosos y que consumen tiempo que pudieran hacerse "en el campo" durante la dirección real del proyecto. En la conclusión de la operación de planeación, la red final presenta un registro permanente que da una expresión clara de la manera

en la cual se lleva a cabo el proyecto de modo que todas las partes envueltas en el proyecto puedan ver sus complicaciones y responsabilidades.

## II.A.2 EL TIEMPO

El elemento cronológico interviene de forma vital en el desarrollo del proyecto. Después de la planeación o del establecimiento de redes, se estima la duración promedio de cada trabajo, basada en las especificaciones del trabajo y en una consideración de los recursos a ser empleados al llevar a cabo el trabajo. Las mejores estimaciones generalmente se obtendrán de las personas que supervisarán el trabajo o quien haya tenido tal experiencia.

Estas estimaciones de tiempo se colocan al lado de las flechas apropiadas. Si fuéramos a sumar entonces las duraciones de los trabajos a lo largo de todas las rutas posibles desde el principio hasta el fin del proyecto, la más larga se llama ruta crítica, y su longitud es la duración esperada del proyecto. Cualquier retardo en el comienzo o en la terminación de los trabajos a lo largo de

esta ruta retrasará la terminación del proyecto entero. El resto de los trabajos son a veces llamados "flotadores" que tienen una cantidad limitada de tolerancia (holgura) para completar sin afectar la fecha objetivo para la terminación del proyecto.

### II.A.3 LA SECUENCIA RELACIONAL

La secuencia relacional consiste en representar por medio de la red las coyunturas cronológicas de relación entre las actividades por medio de sus precedencias y sucesiones.

A continuación se presenta un análisis algebraico elaborado por Joseph J. Moder<sup>17</sup> :

Un algoritmo programable para los cálculos básicos de la programación se da en las últimas dos ecuaciones de abajo, en términos de la siguiente nomenclatura:

---

<sup>17</sup> Profesor en el Department of Management Science de la Universidad de Miami, Coral Gables, Florida.

$D_i$ : estimación del tiempo medio de duración para la actividad (i-j)

$E_i$ : tiempo de ocurrencia más cercano para el evento i.

$L_i$ : tiempo de ocurrencia tolerable más tardío para el evento i.

$ES_{ij}$ : tiempo de comienzo más próximo para la actividad (i-j)

$EF_{ij}$ : tiempo de terminación más próximo para la actividad (i-j)

$LS_{ij}$ : tiempo de comienzo tolerable más tardío para la actividad (i-j)

$LF_{ij}$ : tiempo de terminación tolerable más tardío para la actividad (i-j)

$S_i$ : tiempo de holgura total para la actividad (i-j)

$FS_{ij}$ : tiempo de holgura libre para la actividad (i-j)

$T_p$ : tiempo de programación para la terminación de un proyecto o la ocurrencia de ciertos eventos claves de un proyecto.

### **Tiempos de los eventos más cercanos y más tardíos**

Suponiendo que los eventos se numeran de manera que el evento inicial sea 1, el evento terminal t, y todos los otros eventos (i-j) se numeran de modo que  $i < j$ . Ahora supongamos que  $E_1 = 0$ , entonces

$$E_j = \text{MAX}_i (E_i + D_{ij}), \quad 2 \leq j < t$$

$E_t$  = duración del proyectos (esperado)

$L_i = E_i$  o  $L_i$ , el tiempo de terminación del proyecto programado. Entonces,

$$L_i = \text{MIN}_j (L_j - D_{ij}), \quad 1 \leq i \leq t-1$$

**Tiempos de comienzo y de terminación más cercanos y más tardíos de la actividad y holgura**

$$ES_{ij} = E_i$$

$$EF_{ij} = E_i + D_{ij}$$

$$LF_{ij} = L_j$$

$$LS_{ij} = L_j - D_{ij}$$

$$S_{ij} = L_j - EF_{ij}$$

(Para toda  $ij$  en estas ecuaciones)

Las ecuaciones de arriba incluyen dos conjuntos básicos de cálculos. Primero, los cálculos de pasada hacia adelante se llevan a cabo para determinar el tiempo de ocurrencia más cercano para cada evento  $j$  ( $E_j$ ), y los tiempos de comienzo y de terminación más cercanos para cada actividad  $i-j$  ( $ES_{ij}$  y  $EF_{ij}$ ). Estos cálculos se basan en la suposición de que cada

actividad se realiza tan pronto como sea posible, es decir, comienzan tan pronto ocurre su evento predecesor. Ya que estos cálculos se inician igualando el evento inicial del proyecto con el tiempo cero ( $E_i=0$ ), el tiempo más cercano calculado para el evento terminal del proyecto ( $E_f$ ) da la duración esperada del proyecto.

El segundo conjunto de cálculos, llamado los cálculos de pasada hacia atrás, se lleva a cabo para determinar los tiempos de ocurrencia (tolerables) más tardíos para cada evento  $i$  ( $L_i$ ), y los tiempos de comienzo y de terminación (tolerables) más tardíos para cada actividad  $i-j$  ( $LS_{ij}$  y  $LF_{ij}$ ). Estos cálculos comienzan con el evento final del proyecto equiparando su tiempo de ocurrencia tolerable más tardío con la duración programada del proyecto, si uno se especifica ( $L_f=T_p$ ), o igualándolo arbitrariamente con  $E_f$  ( $L_f=E_f$ ) si no se especifica ninguna duración. Esto es referido como la convención de "holgura cero". Entonces estos cálculos proceden trabajando hacia atrás a través de la red, suponiendo siempre que se dirige cada actividad tan tarde como sea posible.



De esta forma se pueden designar las relaciones entre las actividades como convencionalmente se conocen en la lengua inglesa:

Early Start: Tiempo de comienzo más próximo

Early Finish: Tiempo de terminación más próximo

Late Start: Tiempo de comienzo tolerable más tardío

Late Finish: Tiempo de terminación tolerable más tardío

Mediante estos términos se puede definir la secuencia relacional del proyecto, transcribiendo de esta forma la lógica real y compleja que se utilizará en el transcurso del proyecto a la memoria de una computadora donde será analizada y modificada cuantas veces sea necesario en un lapso de tiempo relativamente insignificante comparado con los beneficios obtenidos.

## **II.B ANÁLISIS DE LA RED**

Una vez completada la red del proyecto, se deben refinar ciertos aspectos de programación que sintetizarán aún más el

análisis de la red durante la ejecución del proyecto a cada variación que se vaya presentando.

La simplificación de la primera versión de la red debe contemplar la eliminación de actividades innecesarias, reducción en el tiempo de ejecución de tareas incluidas en la ruta crítica, aclaraciones en las relaciones de las actividades, verificación de la lógica de construcción de la red en cuanto a las precedencias y sucesiones, además de otras consideraciones según el criterio del ingeniero.

La red debe ser realista bajo un buen criterio verificador con el que debe contar el analista, de esta forma los tiempos se estiman o pronostican en base a la experiencia de los técnicos sin olvidar las variantes atribuidas a los cálculos probabilísticos que son el puente entre la intuición de los técnicos estimadores y el veredicto científico del analista. El análisis de la red desde el punto de vista CPM y PERT se orienta a lo que la mayoría de las veces es el objetivo primordial en el desarrollo del proyecto: El tiempo de terminación. A estos dos análisis se debe agregar la asignación de recursos y el estudio de costos, en donde el primero implica el manejo de calendarios y horarios, alternando con el rendimiento de cada uno de los recursos y

el segundo se preocupa por el monto que generará la programación elegida.

## II.B.1 ASIGNACIÓN DE RECURSOS

La programación para el trabajo de los recursos humanos, la aplicación de los materiales y la utilización de las máquinas e instrumentos requiere de una adecuación conjunta con las disposiciones de secuencia lógica del proyecto, de esta forma las personas tendrán sus horarios de entrada y salida con diferentes turnos; a esto se debe añadir los diferentes rendimientos en la categoría laboral del personal, además de la diversidad de funciones de la que cada colaborador tenga capacidades. Estos factores también están presentes en las máquinas; ofreciendo diferentes capacidades de trabajo: Fuerza, velocidad, versatilidad, etc. Las máquinas tienen a la vez un cierto ciclo de mantenimiento preventivo, además de paros aleatorios por posibles requerimientos del mantenimiento correctivo, las máquinas pueden ser compartidas o con asignaciones fijas. Los materiales deberán fluir de acuerdo a las necesidades de cada

operación, debiendo ser oportunos; interviniendo en esta parte los cuantiosos estudios de control de inventarios que proporciona la ingeniería industrial.

Todos estos factores juegan un papel muy importante en la programación del proyecto; participando todos ellos a la vez modificando muchas veces el trabajo de planeación realizado tan meticulosamente. El hecho de que una máquina esperada un cierto día se haya retrasado puede significar la pérdida completa del seguimiento del programa. Y si además contamos las variaciones inesperadas en las llegadas de materiales y los conflictos laborales; que no son menos perjudiciales que los anteriores, el proyecto pudiera parecer un enredo total.

Así, la programación de los recursos es muy importante, no necesariamente al principio del proyecto, sino también a lo largo de toda su trayectoria. Una vez más las computadoras hacen el trabajo sencillo proporcionando una gran variedad de programas de análisis para asignación de recursos entre los que se cuentan el Winproject® de Microsoft®, Super Project Expert® de Computer Associates International®, Harvard Total Project Management®, etc.

Gracias a todas las herramientas accesibles al ingeniero de programación los cambios en la programación son sencillos de manipular no siendo necesario profundizar en los métodos y técnicas en los que todos estos sistemas están apoyados ya que en nuestro tiempo la computadora se encarga de hacer el trabajo "pesado". La operación de estos sistemas consiste en alimentar los datos de los recursos, teniendo la capacidad de hacer fijas algunas disposiciones de los recursos para un tiempo preciso de comienzo de ejecución independientemente a lo que el sistema haya calculado como óptimo, haciendo que la programación global se adecue a estas disposiciones particulares para la aplicación de los recursos.

Los problemas de asignación de recursos en general pueden clasificarse como la determinación de los tiempos programados para las actividades del proyecto que:

1. Nivelan los requerimientos de los recursos en tiempo, sujetos a restricciones en la duración del proyecto.
2. Minimizan la duración del proyecto sujeta a restricciones en las disponibilidades de los recursos.

3. Minimizan el costo total de los recursos y las penalizaciones impuestas debido a la dilatación del tiempo total de terminación para el proyecto, siendo éste el problema principal en la planeación de largo alcance.

## II.B.2 CPM / PERT

El procedimiento CPM, desarrollado por Kelley y Walker para manejar este problema, surge cuando demandamos el programa del proyecto que minimiza los costos totales del proyecto. Esto es equivalente al programa que balancea exactamente el valor marginal del tiempo ahorrado (al terminar el proyecto una unidad de tiempo antes) contra el costo marginal de ahorrarlo. El costo total del proyecto se forma de los costos indirectos, determinados por el departamento de contabilidad que considera los costos medios normales y el "valor" del tiempo ahorrado, más los costos directos mínimos del proyecto, determinados como sigue por el procedimiento CPM.

El algoritmo computacional del CPM se basa en el costo lineal supuesto contra la relación del tiempo para cada actividad. Con esta entrada, este problema puede formularse

como un problema de programación lineal para minimizar los costos directos totales del proyecto, sujetos a restricciones dictadas por las curvas tiempo-costo de la actividad, y por la lógica de redes.

Aunque este es un algoritmo elegante, rara vez se aplica, en primer lugar debido a la suposición básica no realista de la disponibilidad ilimitada de los recursos. No obstante, es un concepto importante que a menudo se aplica de manera sencilla.

El método PERT fue desarrollado en 1958 en los Estados Unidos como un producto de la investigación realizada por la firma Booz, Allen y Hamilton, de Chicago, Illinois, a solicitud de la oficina de proyectos espaciales de la marina de los Estados Unidos. Este método se creó para controlar el programa para la ejecución del proyectil Polaris, dando como resultado un ahorro de cerca de dos años en el tiempo de desarrollo del proyecto.

Los dos métodos, se basan fundamentalmente en las mismas consideraciones teóricas al análisis de redes, se ejecutan en forma distinta. A la fecha se ha logrado obtener un método híbrido que se aplica con el nombre de PERT/CPM el cual, dejando a un lado muchas de las laboriosas consideraciones

probabilísticas del PERT original, se combina con el CPM en alguna de sus etapas de ejecución, dando como resultado un método más práctico, menos sofisticado que sus antecesores.

En México comenzaron a aplicarse estas técnicas sólo desde 1961, por la Dirección General de Construcción de edificios, dependencia de la Secretaría de Obras Públicas (S.O.P.) y en 1962 por la Comisión Federal de Electricidad, en sus obras de electrificación. Actualmente son muchas las oficinas federales y particulares que las emplean.

El estudio de los proyectos por parte del CPM consiste en encontrar todas aquellas actividades que estén incluidas en la ruta crítica, llamando así a la ruta de actividades en donde la suma de las duraciones de éstas supera a cualquier otra ruta que se pudiera elegir en la red, a menos que existiera otra ruta cuya suma fuera exactamente igual. Una vez detectada esta ruta se procede a el análisis cuantitativo y cualitativo de cada actividad incluida, procurando reducir el tiempo de ejecución en estas actividades, ya que un día reducido en una actividad crítica significa un día menos en la duración total del proyecto. Aunque no siempre es cierto esto ya que al reducir la duración de alguna actividad crítica la red es susceptible de cambiar su ruta crítica.



Las demás actividades no incluidas en la ruta crítica se dice que tienen una holgura o sea un tiempo libre, esto significa que podrían retrasar su tiempo de inicio hasta un cierto límite y esto no afectaría la duración total del proyecto. Ante este planteamiento teórico se impone el plan real comenzando por presentar actividades que deberán cumplirse una fecha determinada sin poderse mover, aunque todas las actividades anteriores a ésta se hayan realizado eficientemente ahorrando algo de tiempo tendrán que esperar una vez que hayan sido terminadas, aumentando de esta forma la holgura, esta y muchas situaciones especiales afortunadamente son tratadas efectivamente por los programas de computadora.

El PERT es un símbolo utilizado para representar una gran variedad de conceptos. Estos conceptos incluyen: 1)representación en forma de red de los planes; 2)predicción del tiempo de los programas; 3)reconocimiento y medida de la incertidumbre; y 4)adaptación al ambiente y a las circunstancias. Estas ideas, tomadas conjuntamente, constituyen las bases para una técnica constructiva que se ha diseñado para servir de ayuda a los trabajos de dirección, con independencia del tipo de industria que se dirija.

Los elementos sobre los que se construyen los conceptos PERT son los siguientes: Un acontecimiento, una actividad, estimaciones de tiempo; un tiempo optimista, pesimista y más probable, tiempo esperado, amplitud, red, camino crítico, holgura y probabilidad de éxito.

### II.B.3 ANÁLISIS DE COSTOS

Considerando la estructura de un proyecto como una red análoga, existen diversos tipos de costos asociados que son dependientes de la toma de decisiones analíticas con respecto a la estrategia de aplicación de recursos, tanto en su cantidad, su rendimiento y tiempo de aplicación, quedando implícito en esto el cálculo de programación de recursos limitados. Un buen estudio en éste renglón bien vale la pena, ya que las múltiples opciones para la elección de la programación ideal hacen de esto un trabajo tan verdaderamente complicado como significativamente economizador. La investigación de operaciones hace uso de potentes herramientas algorítmicas, convenciendo a los más conservadores de la conveniencia en el manejo de las técnicas

modernas para la optimización de programación minimizando costos.

El análisis riguroso de los costos para el desarrollo de un proyecto en presupuestación se divide para su estudio en etapas, y profundizando más; en las actividades. Para esto se manejan ciertas variables que proporcionan la información suficiente para un análisis técnico. La duración normal, la duración límite, el costo normal y el costo límite. Estos datos encierran el concepto intuitivo y bien conocido de que a trabajo más rápido, mayor costo y viceversa. Es cierto que existen casos especiales, sin embargo la mayoría de las actividades se comportan de esta manera en su ejecución. Un análisis estadístico muy particular se puede aplicar a cada actividad, describiendo así diferentes tipos de curvas; mostrando asíntotas, y posiblemente marcadas variaciones en las pendientes puntuales de la curva, incluso podrían presentarse gráficas discontinuas y de valores discretos, incluyendo intervalos.

El punto de economía se centra en las actividades críticas; es decir las actividades que determinan la duración mínima del proyecto en ese momento.

Una vez calculado el costo para el proyecto en cuestión de acuerdo a su duración, se debe verificar la necesidad y viabilidad para la reducción de la duración total del proyecto, considerando cuánto se gana por terminar antes y cuanto se pierde por terminar después, haciendo así un balance se determina si se procede al análisis de reducción de la duración del proyecto. Esto por supuesto involucra incrementos en los costos finales del proyecto, de acuerdo a la hipótesis en la que a menor tiempo de ejecución mayor costo total.

El método que se presenta hace uso de un modelo para el cual la información de duraciones y costos normales y límites son su material de trabajo. No intenta hacer una reducción en bruto de las actividades, sino que por el contrario utiliza un criterio de selección de actividades en el que manipula las duraciones posibles de cada actividad, para determinar en base a todas las actividades del proyecto en conjunto las duraciones exactas, bajo las cuales el proyecto reportará un costo mínimo.

**CAPÍTULO III**

**PLANTEAMIENTO DEL**

**PROBLEMA**

Conocida la historia de la evolución de los métodos científicos con aplicación a la administración de proyectos y sus alcances, establecemos ahora nuevos objetivos ante nuevas perspectivas. Se requiere lograr la optimización en la reducción de costos y tiempos mas cortos en la ejecución de proyectos, a la vez que la minimización en las tareas de análisis, planeación y programación. El cómo integrar dichos requisitos de manera equilibrada y real es asunto para decirlo de una forma sencilla de la investigación de operaciones y de las computadoras.

La reducción óptima de la duración total a costo mínimo del proyecto tiene tal grado de dificultad que se hace necesario el manejo de la programación lineal, descartando por completo el uso de las heurísticas. Es importante por lo tanto delinear perfectamente las variables a manejar, las restricciones para el planteamiento y el objetivo de la optimización.

### III.A DURACIONES POSIBLES DE UN PROCESO Y COSTOS ASOCIADOS

Las duraciones posibles de un proceso en serie se encuentran comprendidas entre la suma de las duraciones límite y la suma de las duraciones normales de las actividades del proceso. Por otro lado, hecha una selección de duraciones para las actividades de un proceso cualquiera la duración del proceso esta determinada por sus actividades críticas, y es igual a la suma de las duraciones de las actividades críticas que se encuentran en una trayectoria, que parte del evento inicial del proceso y que llega al evento terminal del mismo.

De acuerdo con lo anterior, las duraciones posibles de un proceso cualquiera, deben encontrarse entre las duraciones que resultan para el proceso cuando:

- a) Todas las actividades críticas tienen duraciones normales.
- b) Todas las actividades críticas tienen duraciones límites.

La condición a) implica que todas las actividades del proceso tengan duraciones normales. En este caso la duración resultante del proceso recibe el nombre de duración normal.

La duración del proceso correspondiente a la condición b) es la mínima posible, y se denomina duración límite. Para la condición b), no existe implicación de que todas las actividades del proceso tengan duraciones límites. Es decir, algunas actividades no críticas pueden tener duraciones normales cuando todas las actividades críticas tienen duraciones límites. Este hecho tan importante, se ignora frecuentemente en la práctica. Ciertamente, cuando se desea realizar un proceso en el menor tiempo posible, es común efectuar todas las actividades del proceso en el menor tiempo posible; es decir, en condiciones límites. Como se ve, esta manera de proceder conduce a un incremento innecesario en el costo del proceso.

Para ilustrar lo anterior, a continuación se analiza el proceso de la figura 2. Se supone que el proceso ha sido cuantificado totalmente, y que las gráficas costo-duración (C-T) para todas las actividades del proceso son del tipo indicado en la figura 2b y que tienen las características mostradas en la tabla 1. En donde:



DL = Duración límite.

DN = Duración normal.

CL = Costo a duración límite.

CN = Costo a duración normal.

Q = Pendiente producto de la relación duración-costos.

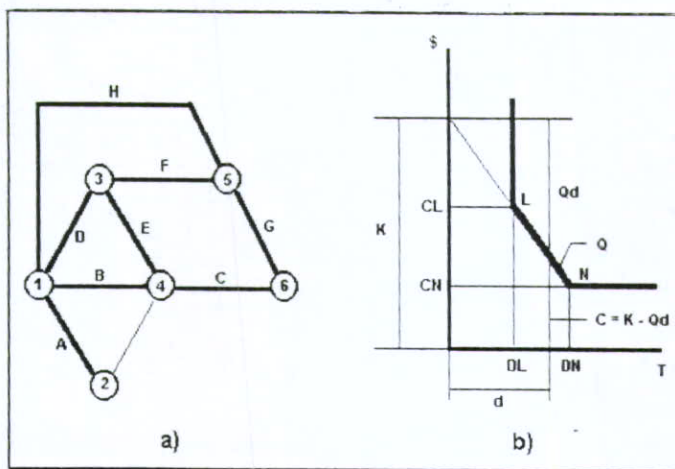


Figura 2. Ejemplo de un proceso típico.

ACTIVIDAD		Duración	Duración	Costo	Costo	Gasto
CLAVE	i - j	Normal	Límite	Normal	Límite	Q
A	1 - 2	25	15	25,000	45,000	2,000
B	1 - 4	15	5	8,000	18,000	1,000
C	4 - 6	30	10	7,000	12,000	250
D	1 - 3	20	10	15,000	25,000	1,000
E	3 - 4	10	5	30,000	40,000	2,000
F	3 - 5	15	10	18,000	23,000	1,000
G	5 - 6	25	10	70,000	130,000	4,000
H	1 - 5	20	10	35,000	55,000	2,000

Tabla 1. Características del proceso mostrado.

### III.A.1 DURACIÓN NORMAL Y COSTO NORMAL

Suponiendo que todas las actividades del proceso se efectúan en condiciones normales, los tiempos de ocurrencia más próxima y de ocurrencia más lejana para los eventos del proceso, son los mostrados en la figura 3a.

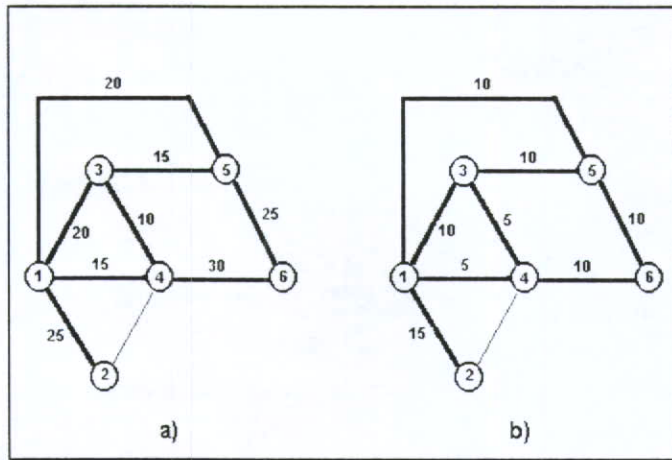


Figura 3. Procedimiento ejecutado a duración normal y límite.

### III.A.2 DURACIÓN LÍMITE Y COSTO LÍMITE

La duración límite del proceso resulta cuando todas las actividades en las trayectorias críticas correspondientes, tienen duraciones límites. Sin embargo no se conoce aún qué actividades se encuentran en dichas trayectorias críticas. Lo único que se sabe de antemano es que todas las actividades de las trayectorias críticas deben tener duraciones límites.

Si se supone que todas las actividades del proceso se efectúan en condiciones límites, como se muestra en la Figura 3b, la trayectoria crítica correspondiente satisface la condición del párrafo anterior, y es, por lo tanto, la trayectoria buscada.

### III.B OBTENCIÓN DEL COSTO MÍNIMO

#### PROGRAMANDO A DURACIÓN LIMITE

Una vez reducidas las actividades críticas a su duración límite, se debe considerar a continuación la elección de las duraciones para las actividades no críticas. Esta decisión

debe basarse en el gasto de cada actividad que no sea crítica; esto se refiere al costo por reducción de actividades y al costo de oportunidad debido a haber reducido una actividad y no otra que hubiera costado menos. Cuando la gráfica de flechas de un proceso no es simple, la determinación de las duraciones de las actividades componentes para lograr costo mínimo a duración mínima, constituye un problema complejo. En general, proceder por "prueba y error" no es en lo absoluto recomendable; aún con la aplicación de heurísticas, en virtud de que habiendo un número infinito ó muy grande, de combinaciones de las duraciones de las actividades componentes para dar duración mínima del proceso, se tienen muy pocas probabilidades de seleccionar la combinación que da lugar al costo mínimo. Este hecho, hace evidente la necesidad de utilizar los métodos, más eficientes y seguros, de la programación lineal.



d) Los símbolos  $a_1, \dots, a_m; b_1, \dots, b_m; p_1, \dots, p_m$  son constantes conocidas.

En la terminología usual de Programación lineal, las condiciones del inciso a) anterior se denominan comúnmente "restricciones" del problema, y a la función  $z$  del inciso c), se le llama "función objetivo".

### III.C.1 DEFINICIÓN MATEMÁTICA

Cuando se trata de maximizar la función objetivo, todas las restricciones deben presentarse de manera que en ellas aparezca el signo  $\leq$ , únicamente.

Cuando se trata de minimizar la función objetivo, todas las restricciones deben presentarse de manera que en ellas aparezca el signo  $\geq$ , únicamente.

### III.C.2 EL MÉTODO SIMÉTRICO

El método presentado aquí es un método iterativo debido a J. Talacko<sup>18</sup>, que permite resolver el problema general de la programación lineal, de una manera sencilla, rápida, y que requiere el mínimo de conocimientos acerca de esta relativamente nueva rama de las matemáticas.

Este método desarrollado en 1962 sigue siendo un método aplicable que se presta fácilmente a la modelación por programas de computadora vigente aún en nuestros días debido a su simplicidad; de hecho la manipulación de modelos en los años sesenta utilizando este método no era tan práctica como lo es actualmente; atribuyendo una vez mas estas virtudes a la cibernética.

Este procedimiento consiste en la modificación constante de una matriz dinámica por medio de intercambios de casillas, eliminación, operaciones aritméticas sencillas, búsquedas, comparaciones e interpretación de la solución a partir de la tabla resultante.

---

<sup>18</sup> GENERAL ELECTRIC COMPUTER DEPARTMENT, "GE 225, Linear Programming Manual", 1962.

### III.C.2.a ESTANDARIZACIÓN DE RESTRICCIONES

Considerando la definición matemática para el problema presentado aquí, nos será útil el manejo de las propiedades de las desigualdades mostradas en la tabla 2:

CASO	RESTRICCIÓN ORIGINAL	RESTRICCIONES EQUIVALENTES
1	$a_1 x_1 + \dots + a_n x_n \geq b_i$	$- a_1 x_1 - \dots - a_n x_n \leq - b_i$
2	$a_1 x_1 + \dots + a_n x_n \leq b_i$	$- a_1 x_1 - \dots - a_n x_n \geq - b_i$
3	$a_1 x_1 + \dots + a_n x_n = b_i$	$a_1 x_1 + \dots + a_n x_n \geq b_i$ $- a_1 x_1 - \dots - a_n x_n \geq - b_i$
4	$a_1 x_1 + \dots + a_n x_n = b_i$	$a_1 x_1 + \dots + a_n x_n \leq b_i$ $- a_1 x_1 - \dots - a_n x_n \leq - b_i$

Tabla 2. Propiedades de las desigualdades.

Resolviendo para el ejemplo de la sección III.A, aplicando las ecuaciones generales de la programación lineal obtenemos:

$$d_{1-3} = 10$$

$$d_{3-5} = 10$$

$$d_{5-6} = 10$$

$$d_{1-4} + d_{4-6} \leq 30$$

$$d_{1-5} + d_{5-6} \leq 30$$

$$d_{3-4} + d_{4-6} \leq 20$$

$$d_{1-5} \leq 20$$



donde para toda actividad:

$$d_i \leq d \leq d_i$$

Esto significa por ejemplo que para obtener un costo mínimo de ejecución del proyecto la actividad d1-3 deberá tener una duración de 10, que la actividad d1-5 deberá tener una duración de 20, considerando la misma interpretación para los resultados de las demás variables.

### **III.C.2.b PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA PARA LA DETERMINACIÓN DEL COSTO MÍNIMO A DURACIÓN MÍNIMA**

Para continuar con el ejemplo de la figura 2 se planteará, desde el punto de vista del método simétrico, la determinación del costo mínimo a duración mínima para el proceso ahí descrito.

De acuerdo a lo mencionado en la sección III.A.2 (DURACIÓN LIMITE Y COSTO LIMITE), se deduce que:

a) Las actividades críticas correspondientes a la duración mínima del proceso son: 1-3, 3-5 y 5-6. Por lo tanto, las duraciones y los costos de estas actividades quedan fijos.

b) Los eventos 1 y 5 son eventos críticos, y la actividad 1-5 es la única actividad en una trayectoria que va de 1 a 5. Por lo tanto, el costo mínimo del proceso resultará cuando la duración de la actividad 1-5 sea la máxima que permitan los tiempos de ocurrencia de los eventos en cuestión.

De acuerdo con lo anterior, el problema se reduce a determinar las duraciones (positivas)  $d_{1-2}$ ,  $d_{1-4}$ ,  $d_{3-4}$  y  $d_{4-6}$ ; es decir de las actividades no-críticas, y que hacen mínimo su costo de ejecución:

$$C = (75 - 2d_{1-2}) + (23 - 1d_{1-4}) + (50 - 2d_{3-4}) + (14.5 - 0.25d_{4-6})$$

ó lo que es equivalente, que hacen máxima la expresión:

$$z = 2d_{1-2} + d_{1-4} + 2d_{3-4} + 0.25d_{4-6}$$

El problema así planteado tiene la forma usual de un problema de programación lineal.

Para aplicar el método simétrico, se transforman las restricciones utilizando las equivalencias de la Tabla 2.

Por motivos de simplificación se presenta la tabla de condiciones con las desigualdades transformadas en sus equivalentes necesarias para la configuración de la tabla. Ver a continuación la Tabla 3:

	d1-2	d1-4	d3-4	d4-6	
	c1	c2	c3	c4	
r1		1		1	30
r2	1			1	30
r3			1	1	20
r4	-1				-15
r5		-1			-5
r6			-1		-5
r7				-1	-10
r8	1				25
r9		1			15
r10			1		10
r11				1	30
	2	1	2	0.25	Máx

Indicadores de renglón

↙

↘

Indicadores de columna

Tabla 3. Configuración necesaria para aplicar el método.

### III.C.2.c ALGORITMO DE SOLUCIÓN

Cada una de las iteraciones que requiere el método de Talacko, tiene tres fases: a) Selección de un pivote en la tabla de condiciones, b) Transformación de la tabla de condiciones, c) Comprobación del criterio de optimización.

#### **a) Selección de un pivote en la tabla de condiciones**

Para hacer la selección de un pivote en la tabla de condiciones, aplíquense las siguientes reglas:

1. Inspecciónense los indicadores de las columnas, y selecciónese la columna con el indicador + mayor. Si hay "empates"; es decir, si hay varios indicadores de las columnas iguales, selecciónese la columna correspondiente que está más a la izquierda.
2. Inspecciónese la columna seleccionada buscando elementos que sean + también. Para cada uno de esos elementos + cuyo indicador de renglón sea también + ó 0, dividase el indicador de renglón correspondiente entre el elemento + en cuestión.

3. Tómese como pivote + posible, al número de la columna seleccionada que de lugar al menor cociente. En caso de empate, escójase el número que está más arriba.

4. Inspecciónense los indicadores de los renglones, y selecciónese el renglón con el indicador - de mayor valor absoluto. En caso de empate; es decir, si hay varios indicadores de los renglones iguales, selecciónese el renglón correspondiente que está más arriba.

5. Inspecciónese el renglón seleccionado buscando elementos que sean - también. Para cada uno de esos elementos - cuyo indicador de columna sea también - ó 0, divídase el indicador de la columna correspondiente entre el elemento - en cuestión.

6. Tómese como pivote - posible, al número del renglón seleccionado que da lugar al menor cociente. En caso de empate, escójase el número que está más a la izquierda.

7. Para cada uno de los dos pivotes posibles (+ y -), hágase el cociente: (indicador de columna correspondiente) x

(indicador de renglón correspondiente) / (pivote en cuestión), y escójase como pivote definitivo, el pivote + ó - que de lugar al cociente mayor en valor absoluto. En caso de empate, selecciónese el pivote + ó - más cercano a la esquina superior izquierda.

#### **b) Transformación de la tabla de condiciones**

Una vez escogido el pivote definitivo en la tabla de condiciones transfórmese ésta aplicando las siguientes reglas:

1. Intercámbiese el título de la columna del pivote con el título del renglón del pivote.
2. Sustitúyase el pivote por su recíproco.
3. Divídase a los otros números que se encuentran en el mismo renglón que el pivote, entre el valor de éste.
4. Divídase a los otros números que se encuentran en la misma columna que el pivote, entre el valor de éste y cámbiese de signo a los cocientes.

5. Sustitúyase cada elemento que no está ni en el renglón ni en la columna del pivote, por el valor que resulta de la siguiente transformación:

$$E' = E + (R C)/P$$

En donde:

(Ver figura 4)

$E'$  = Nuevo valor del elemento.

$E$  = Antiguo valor del elemento.

$R$  = Elemento del renglón pivotal, que se encuentra en el mismo renglón que  $E$ .

$C$  = Elemento de la columna pivotal, que se encuentra en el mismo renglón que  $E$ .

$P$  = Valor del pivote definitivo en la tabla que se está transformando.

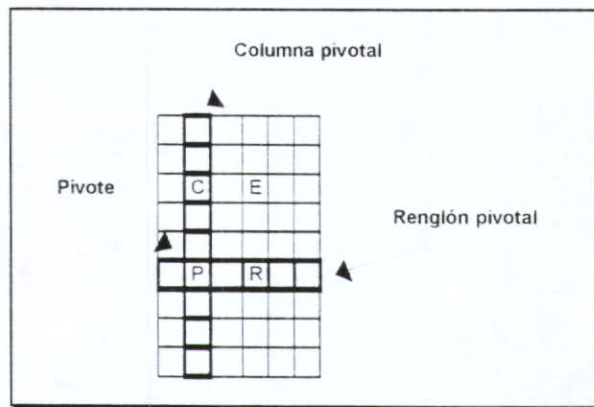


Figura 4. Transformación de la tabla de condiciones.

### c) Comprobación del criterio de optimización

Terminada la transformación de una tabla de condiciones, háganse las siguientes comprobaciones:

1. Si todos los indicadores de las columnas son -, y todos los indicadores de los renglones son +, la tabla transformada es la tabla final, y la solución del problema puede obtenerse a partir de ella.
2. Si en la tabla transformada, hay indicadores de columnas + y/o indicadores de renglones -, y es posible seleccionar un



pivote + ó -, repitanse las fases a) y b) precedentes, partiendo de la tabla transformada.

3. Si en la tabla transformada hay indicadores de columna + y/o indicadores de renglones -, y no es posible seleccionar un pivote + ó -, el problema de optimización no tiene solución.

**d) Obtención de la solución.**

Encontrada la tabla final que satisface la condición c)1, la solución se obtiene de la tabla aplicando las siguientes reglas:

1. Cámbiense los signos de todos los elementos en el último renglón de la tabla final.

2. Si el problema es maximizar la función objetivo,  $z$ , los valores de las variables que hacen máxima a dicha función, son los indicadores de los renglones cuyos títulos son  $c_1, c_2, \dots$ . Si uno de los símbolos  $c_1, c_2, \dots$  permanece como título de columna en la tabla final, la variable correspondiente debe valer 0 para hacer máxima a  $z$ .

3. Si el problema es minimizar la función objetivo,  $z$ , los valores de las variables que hacen mínima a dicha función, son los indicadores de las columnas cuyos títulos son  $r_1, r_2, \dots$ . Si uno de los símbolos  $r_1, r_2, \dots$  permanece como título de renglón en la tabla final, la variable correspondiente debe valer 0 para hacer mínima a  $z$ .

4. El valor máximo ó el valor mínimo de  $z$ , es el número que aparece en la esquina inferior derecha de la tabla final.

CAPÍTULO IV  
CASO PRACTICO:  
PROYECTO  
FLAMINGOS-NAYARTA  
COUNTRY CLUB

## IV.A INTRODUCCIÓN

Dado que la aplicación de este modelo de programación lineal se ha presentado en esta tesis hasta el momento de una manera teórica, se ha considerado en este capítulo el proyecto FLAMINGOS-NAYARTA COUNTRY CLUB, desarrollado por la empresa dedicada a la obra eléctrica de alta tensión: JALISCO INGENIEROS S.A. DE C.V. para su estudio.

Con el objetivo de probar este modelo como herramienta alternativa en la administración de proyectos y toma de decisiones se ha preparado un análisis de la información extraída de dicho proyecto considerando los cálculos elaborados previamente de precios unitarios y tiempos de ejecución y se ha procesado aplicando el modelo propuesto en esta tesis mediante un programa de computadora.

A continuación del procesamiento de esta información se ha elaborado una explicación breve de los resultados obtenidos, mostrando así una perspectiva del campo de aplicación del modelo propuesto en esta tesis.

## IV.B ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El gobierno del Estado de Nayarit en México como fideicomitente del fideicomiso Bahía de Banderas, constituyó un régimen de propiedad en condominio sobre los predios ubicados en el desarrollo habitacional, residencial, turístico y condominal; denominado "CONDOMINIO MAESTRO FLAMINGOS-NAYARTA COUNTRY CLUB"; el cual se encuentra localizado en el kilómetro 144+600 de la carretera federal 200, tramo Tepic-Puerto Vallarta; entre Bucerías y Nuevo Vallarta, en el municipio de Bahía de Banderas, Nayarit.

## IV.C OBJETIVO DEL PROYECTO

Se requiere de dotar del servicio de energía eléctrica a todos y cada uno de los lotes que conforman el "CONDOMINIO MAESTRO FLAMINGOS-NAYARTA COUNTRY CLUB", para lo cual se solicitaron, y fueron otorgadas por Comisión Federal de Electricidad las bases de diseño para el proyecto eléctrico, con oficio No.5121 del 9 de Julio de 1990; en el que se determinan las densidades de carga por tipo de usuario, así como demás especificaciones técnicas tanto de equipos y materiales, como de criterios de construcción en general.

## IV.D CONCENTRACIÓN DE DATOS

En la tabla 4. se muestran los datos de costos, tiempos y secuencia relacional necesarios para la elaboración de la red como presentación gráfica del proyecto. Ha sido necesario listar todas aquellas actividades o tareas que generan un costo y son sujetas a medirse en cuanto a tiempo de ejecución mediante estimaciones basadas en precios de mercado y recursos disponibles.

ACTIVIDAD NÚMERO	ACTIVIDAD	ACTIVIDADES SUCESORAS	TIEMPO NORMAL (SEMANAS)	COSTO NORMAL	TIEMPO LÍMITE (SEMANAS)	COSTO LÍMITE
<b>OBRA CIVIL</b>						
1	TRAZO	5,2,3,4	5	\$5,792	3.5	\$8,688
2	EXCAVACION DE TRINCHERAS	6,7	16	\$339,675	12	\$370,246
3	ARMADO DE DUCTO	6,7	20	\$211,185	18	\$290,066
4	EXCAVACION PARA REGISTROS	6,7	18	\$101,902	18	\$101,902
5	CONSTRUCCION DE REGISTROS	6,7	20	\$540,542	15	\$648,650
6	COLOCACION DE DUCTO	8	10	\$105,592	7	\$187,066
7	INSTALACION DE REGISTROS	8	3	\$45,000	2	\$55,000
8	COLADO	9	10	\$150,000	7	\$187,500
9	RELLENO Y COMPACTACION	10,11	10	\$80,000	7	\$120,000
10	BANQUETAS Y TAPAS	12,13	8	\$75,000	5	\$93,750
11	BASES PARA EQUIPO	12,13	4	\$17,000	3	\$21,000
<b>OBRA ELECTRICA</b>						
12	LIMPIEZA DE DUCTOS Y REGISTROS	14,15	2	\$2,310	1	\$3,465
13	INSTALACION DE EQUIPOS	19	2	\$12,208	1	\$34,416
14	SISTEMA DE TIERRAS	19	16	\$70,487	15	\$75,000
15	GUIADO	16,18	2	\$2,610	0.5	\$7,830
16	TENDIDO DE CABLE	17	27	\$215,692	20	\$347,088
17	INSTALACION DE TERMINALES	19	16	\$68,700	12	\$103,050
18	SOPORTERIA	20	8	\$42,238	4	\$50,685
19	MARCADO E IDENTIFICACION	20	1	\$6,000	0.5	\$12,000
20	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	FIN	1	\$16,500	0.5	\$132,000

Tabla 4. Concentración de datos.

## IV.E DIAGRAMA DE RED

Ver Figura 5.

## IV.F SOLUCIÓN E INTERPRETACIÓN BREVE DE LOS RESULTADOS

Utilizando un programa de computadora se puede lograr una buena aproximación a los resultados deseados. En la Tabla 5. encontramos la duración de cada una de las actividades del proyecto en cuestión que minimiza el costo total del proyecto evaluado a diferentes duraciones totales que van desde 82 hasta 112.5 semanas.

Primeramente podemos identificar las actividades que en algún punto del proyecto han sido críticas para la determinación de la duración total del proyecto a un costo mínimo. Estas son notadas con letras cursivas en la tabla 5.

Al seguir en el diagrama de red del proyecto estas actividades se puede determinar la ruta crítica. Las actividades incluidas en esta ruta determinar la duración total mínima posible del proyecto. Así mismo, los cambios en

**DIAGRAMA DE RED**  
**PROYECTO GENERAL RED ELÉCTRICA INTERIOR**  
**CONDOMINIO MAESTRO FLAMINGOS-NAYARTA COUNTRY CLUB**

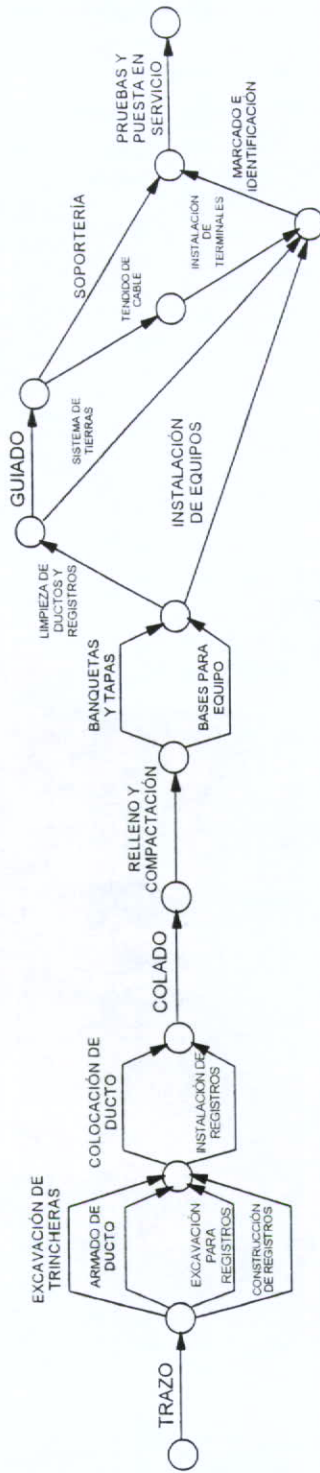


Figura 5. Diagrama de red.



## DURACION TOTAL DEL PROYECTO / DURACION DE CADA ACTIVIDAD

Actividad	82.00	82.50	83.50	85.00	87.50	90.00	92.50	95.00	97.50	100.00	102.50	105.00	107.50	110.00	111.50	112.00	112.50
1	TRAZO	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	4	5	5
2	EXCAVACION DE TRINCHERAS	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
3	ARMADO DE DUCTO	18	18	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
4	EXCAVACION PARA REGISTROS	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99
5	CONSTRUCCION DE REGISTROS	18	18	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
6	COLOCACION DE DUCTO	7	7	7.5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
7	INSTALACION DE REGISTROS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
8	COLADO	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
9	RELLENO Y COMPACTACION	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
10	BANQUETAS Y TAPAS	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
11	BASES PARA EQUIPO	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
12	LIMPIEZA DE DUCTOS Y REGISTROS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	INSTALACION DE EQUIPOS	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
14	SISTEMA DE TIERRAS	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
15	GUIJADO	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
16	TENDIDO DE CABLE	20	20	20	20	22.5	25	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
17	INSTALACION DE TERMINALES	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13.5	16	16	16	16	16
18	SOPORTERIA	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
19	MARCAJE E IDENTIFICACION	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
20	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Costo Total del proyecto:	\$2,704,798.20	\$2,589,298.20	\$2,528,236.10	\$2,453,595.00	\$2,385,700.00	\$2,338,772.86	\$2,291,845.71	\$2,247,637.33	\$2,214,304.00	\$2,183,054.00	\$2,157,922.75	\$2,136,454.00	\$2,120,829.00	\$2,111,518.66	\$2,109,010.50	\$2,108,433.00	\$2,108,433.00
---------------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Actividades críticas marcadas y cursivas.

Tabla 5. Resultados.

las duraciones de estas actividades impactarán directamente en un aumento o disminución del costo total del proyecto.

De igual manera hemos obtenido los valores mínimo y máximo de la duración total del proyecto, entre los cuales podremos evaluar y determinar la duración mas adecuada a nuestras necesidades de tiempo y el mas conveniente a nuestro presupuesto.

Cuando se ha detectado una actividad no crítica se podrá evaluar en la práctica el dilatarla, para de ser posible reducir aún mas el costo de ejecución. También, cuando se ha detectado una actividad crítica se podrá recomendar asignar más tiempo y recursos para intentar disminuir aún mas el costo total.

Concretamente, se observa en los resultados que aquellas actividades que son críticas tienden a reducirse a su tiempo límite en la medida en que contribuyan a un costo total menor y las actividades no críticas a mantener su tiempo normal, ya que de reducirlo implicaría una reducción de tiempo de ejecución inútil e inefectivo.

Es importante notar que cuando se requiere una duración total del proyecto a tiempo mínimo todas las actividades críticas se ejecutarán a tiempo límite, la suma de las

duraciones límite de todas estas actividades críticas nos  
revelará la duración mínima posible de ejecución del  
proyecto.

## CONCLUSIONES

La eficiencia cada día más notoria en la organización de los procesos de servicio, industriales y de construcción está haciendo la diferencia en la carrera permanente de la disminución de costos de la que todos debemos participar para conseguir el liderazgo de nuestros mercados.

Así, el modelo presentado en esta tesis propone el estudio inteligente de las decisiones que enfrenta un director de proyecto mediante una herramienta cuantitativa y objetiva de evaluación. Ofreciendo la posibilidad de simular diferentes escenarios y de visualizar el impacto de sus efectos en los costos de ejecución del proyecto.

Si algo es necesario efficientizar primeramente lo será el uso de nuestro tiempo. Debemos dedicar nuestros recursos a aquellas actividades que de manera mas efectiva contribuyan a reducir los costos. Costos menores que significarán una oportunidad de negocio.

El desarrollo de nuevas herramientas para la dirección de proyectos contribuye a estimular la creatividad y pensar en nuevas formas y modelos estratégicos que finalmente nos

lleven a aumentar nuestras capacidades de mostrar un producto y servicio superiores a nuestros clientes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ACKOFF y SASIENI. Fundamentos de Investigación de operaciones. Ed. LIMUSA WILEY, 1971. 502 pp.
2. CATALYTIC CONSTRUCTION COMPANY. Método del camino crítico. DIANA, México, 1971. 123 pp.
3. CLELAND, David y KING, William. Manual para la administración de proyectos. Compañía editorial continental, México, 1990. 772 pp.
4. COOPER y STEINBERG. Methods and applications of Linear Programming. W. B. SAUNDERS COMPANY, 1974. 434 pp.
5. GOLDRATT, Eliyahu y FOX, Robert. La carrera. EDICIONES CASTILLO, 1993. 184 pp.
6. HILLIER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald . Introduction to operations research. Ed. HOLDEN-DAY, INC., 1967. 639 pp.

7. KEITH, Lockyer. La producción industrial, su administración. Representaciones y servicios de ingeniería, México, 1988. 580 pp.
8. RODRIGUEZ, Melchor. Aplicaciones en ingeniería de métodos modernos de planeación, programación y control de procesos productivos. Ed. LIMUSA, 1974. 227 pp.
9. SASIENI, YASPAN y FRIEDMAN. Investigación de operaciones. LIMUSA WILEY, 1971. 335 pp.
10. SHAMBLIN, James y STEVENS. Investigación de operaciones, un enfoque fundamental. MC GRAW HILL, Colombia, 1975. 423 pp.
11. WANTUCK, Kenneth A. Just In Time. KWA MEDIA, U.S.A., 1991. 423 pp.
12. HADLEY, G. Linear Programming. WORLD STUDENTS SERIES, Japón, 1962. 514 pp.
13. HOWARD, Ronald, Dynamic Programming and Markov Processes. U.S.A. 1969, 136 pp.

14. STILIAN, Gabriel, PERT Un Nuevo Instrumento de Planificación y Control. España, 1965. 201 pp.
  
15. LOCKYER, Keith, La Producción Industrial. México 1988. 579 pp.
  
16. HICKS, Philip E. Introducción a la Ingeniería Industrial y Ciencia de la Administración. CECSA MEXICO 1985, 398 pp.



