



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO**

FACULTAD DE CONTABILIDAD Y CIENCIAS
ADMINISTRATIVAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN

**“LA PLANEACIÓN Y
CALENDARIZACIÓN EN EL DISEÑO
DE EMPRESAS”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN

PRESENTA:
C.P. Esmeralda Patricia García Sánchez

ASESOR:
Dr. Federico González Santoyo



Morelia, Michoacán. Noviembre 2010



LA PLANEACIÓN Y CALENDARIZACIÓN EN EL DISEÑO DE EMPRESAS

INDICE

Resumen.	4
Introducción.	6
- Definición del problema.	8
- Objetivo.	8
- Hipótesis.	8
- Definición de variables.	9
1. Metodología para el diseño de nuevas empresas y ampliaciones.	10
1.1. Metodología de proyectos de inversión.	10
1.1.1 Modelo diamante.	10
1.1.1.1 Situación problemática.	13
1.1.1.2 Modelo conceptual.	13
1.1.1.3 Modelo formal.	14
1.1.1.4 Solución.	17
1.1.1.5 Tipificación de tomadores de decisión a partir del modelo del diamante.	17
1.2. Técnicas para la planeación operativa del sistema.	23
1.2.1 Metodología para el diseño de nuevas empresas.	23
1.2.1.1 Estudio de mercado, comercialización y precios.	25
1.2.1.2 Estudio de localización de la empresa.	30
1.2.1.3 Determinación del tamaño de la empresa.	33
1.2.1.4 Ingeniería del proyecto.	35
1.2.1.5 Inversiones, presupuestos y financiamiento.	



1.2.1.6	Evaluación del proyecto.....	40
1.2.1.7	Organización de la empresa.....	41
1.2.2	Estructuras de Empresas.....	42
1.2.2.1	Procesos continuos.....	42
1.2.2.2	Procesos semicontinuos.....	43
1.2.2.3	Procesos intermitentes.....	43
1.3.	Mejora continua como instrumento de alta gestión.....	45
1.3.1	El diagnóstico empresarial.....	46
1.3.2	El plan estratégico.....	48
1.3.3	El proceso de mejora en cada empresa.....	51
1.3.3.1	Proyectos de mejora continua.....	55
1.3.3.2	El proceso de los PMC's.....	57
2.	Metodología para la planeación y calendarización de actividades.	60
2.1.	Programación de proyectos con PERT-CPM.....	60
2.1.1	Presentaciones con diagramas de flechas (RED).63	
2.1.2	Cálculos de ruta crítica.....	67
2.1.2.1	Determinación de la ruta crítica.....	68
2.1.2.2	Determinación de las holguras.....	68
2.1.3	Construcción del diagrama de tiempo y nivelación de recursos.....	71
2.1.4	Consideraciones de probabilidad y costo en la programación de proyectos.....	72
2.1.4.1	Consideraciones de la probabilidad en la programación de proyectos.....	72
2.1.4.2	Consideraciones de costo en la programación de proyectos.....	74
2.1.5	Control del proyecto.....	77



2.2. Programación lineal: Método Símplex.....	79
2.2.1 Conceptos generales del método símplex.....	79
2.2.2 Creación de método símplex.....	81
2.2.2.1 Forma estándar del método de PL.....	82
2.2.2.2 Soluciones básicas.....	87
2.2.3 Método símplex primal.....	89
2.2.3.1 Solución inicial artificial para el método símplex primal.....	103
2.2.4 Método símplex dual.....	112
3. Caso de Aplicación	120
3.1 Implantación de la calendarización en la empresa.	120
3.1 Ruta crítica del proyecto.....	120
Resultados.....	120
Conclusiones y Recomendaciones.....	127
Anexos.	
I. Metodología para el diseño de estudios de factibilidad como base para el plan.....	129
I.I Guión metodológico general para la elaboración de estudios de mercado.....	129
I.II Guión metodológico general para la localización.....	132
I.III Guión metodológico general para el tamaño del proyecto.	133
II. Tabla de distribución de probabilidad normal.	
Bibliografía.....	137



Resumen

El análisis, diseño y operación eficiente y eficaz de la planta productiva hoy día son objetivos fundamentales a lograr en el mundo entero para hacer estas competitivas y posicionarlas como líderes. Se presenta un conjunto de elementos que en suma conforman una metodología general para caracterizar la planta productiva, diseñarla y abordar los problemas más frecuentes que la misma enfrenta en lo operativo. Para ello se toman ideas usadas en la Ingeniería de Sistemas aplicadas al área de planificación empresarial, en la primera parte se aborda el modelo del diamante como metodología base para identificar, analizar y resolver problemas en la empresa, en la segunda parte se incorpora la metodología de tipo general usada para diseñar nuevas empresas, la unión de las dos metodologías permite dar soporte técnico a este trabajo.

En la segunda etapa se presenta la ruta crítica usada para simplificar la programación de proyectos complejos. Así como el método simplex base de la programación lineal usado como estrategia para operar de mejor forma la empresa.

En el pasado, la programación de un proyecto (en el tiempo) se hizo con poca planeación. La mejor herramienta conocida de “planeación” era el diagrama de barras de Gantt, el cual especifica los tiempos de inicio y terminación de cada actividad en una escala de tiempo horizontal. Su desventaja es que la interdependencia entre las diferentes actividades (la cual controla principalmente el progreso del proyecto) no puede determinarse a partir del diagrama de barras.



La administración de proyectos ha evolucionado como un nuevo campo con el desarrollo de dos técnicas analíticas para la planeación, programación y control de proyectos. Tales son el Método de Ruta Crítica (CPM) y la Técnica de Evaluación y Revisión de Proyectos (PERT). Ahora PERT y CPM comprenden realmente una técnica y las diferencias, si existe alguna, son únicamente históricas. En adelante, ambas se denominarán técnicas de “programación de proyectos”. La programación de proyectos por PERT-CPM consiste en 3 fases básicas: Planeación, programación y control.



Introducción

Las tendencias usadas hoy día en el análisis para la creación de nuevas empresas y las que se encuentran operando son diversas; para las primeras se usa la metodología general de Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión de Melnick Julio (1958), González S, F. (1985, 2003).

Para el caso, se iniciara haciendo una breve presentación de la metodología usada para las nuevas empresas, alcances de la misma y recomendaciones para su implantación.

En la búsqueda constante de proyectar a las empresas a un nivel competitivo que las proyecte al nivel de organizaciones de manufactura de orden mundial, se debe tomar en cuenta por parte del empresario moderno el incorporar la conciencia real y el dominio de los conocimientos, lo que permitirá un mayor nivel de posibilidades para aplicarlos con mayor eficacia, entendiéndose ésta como la capacidad y habilidad para lograr determinados objetivos y metas.

Cuando estos conocimientos están debidamente organizados, se potencian las posibilidades de aplicarlos con mayor eficiencia, entendida ésta como la capacidad para alcanzar los objetivos y metas con la mayor inversión de tiempo, esfuerzos y recursos.

La eficiencia conduce al crecimiento y al éxito, la eficiencia produce la rentabilidad.



Para la aplicación de cualquier estrategia de mejora empresarial, se recomienda inicialmente la realización del diagnóstico empresarial para conocer el estado actual de la organización y a partir de ahí, proyectar la mejora.



- **Definición del Problema.**

Hoy día la cultura empresarial que poseen los empresarios Mexicanos demanda de un enriquecimiento, el 97% de las empresas que se tienen en el país son MIPyMES y los emprendedores inician sus negocios en su mayoría sin contar con una planeación y calendarización adecuada, así como metodologías para hacer planes de negocios y diseño adecuado de la empresa basados en estudios de factibilidad que permitan explorar varios escenarios para aproximar al éxito operativo de la empresa, por estas razones se hace necesario contar con elementos metodológicos que permitan al empresario manejar una planeación y calendarización operativa de la empresa que oriente los esfuerzos al logro de una mayor eficiencia y eficacia.

- **Objetivo.**

Presentar y aplicar metodología de planeación operativa basadas en optimización para lograr un nivel eficiente y eficaz en la planeación y calendarización de actividades que demanda el diseño y operación de la empresa.

- **Hipótesis.**

Con la aplicación de metodología de planeación y calendarización de las actividades que demanda la operación de la empresa y su diseño o rediseño se obtienen resultados óptimos relacionados con el control operativo de las organizaciones empresariales.



- **Definición de Variables.**

Dependiente: Eficiencia y eficacia operativa en la empresa.

Independientes:

1. Planeación y calendarización de actividades.
2. Administración empresarial.
3. Calidad.
4. Costos y utilidades.
5. Tiempos óptimos de actividades.



1. Metodología para el Diseño de Nuevas Empresas y Ampliaciones.

1.1 Metodología de Proyectos de Inversión.

El análisis, diseño y operación eficiente y eficaz de la planta productiva hoy día son objetivos fundamentales a lograr en el mundo entero para hacer estas competitivas y posicionarlas como líderes. En este apartado se presenta un conjunto de elementos que en suma conforman una metodología general para caracterizar la planta productiva, diseñarla y abordar los problemas más frecuentes que la misma enfrenta en lo operativo. Para ello se toman ideas usadas en la Ingeniería de Sistemas aplicadas al área de planificación empresarial, en la primera parte se aborda el modelo del diamante como metodología base para identificar, analizar y resolver problemas en la empresa, en la segunda parte se incorpora la metodología de tipo general usada para diseñar nuevas empresas, la unión de las dos metodologías permite dar soporte técnico a este trabajo.

1.1.1. Modelo Diamante.

El modelo diamante (descrito originalmente por Mitroff) es usado hoy día como una herramienta factible en la Ingeniería de Sistemas para la identificación eficiente de problemas. Tomando esta base Mitroff. I. L. et. al. 1974, Suárez Rocha J. (1993) y González S. F. et. al. (2003), presenta una modificación aplicable en Metodología de la Planeación, que permite la identificación de todos los posibles compartimientos de los analistas involucrados en la identificación de los diferentes niveles de análisis de problema.

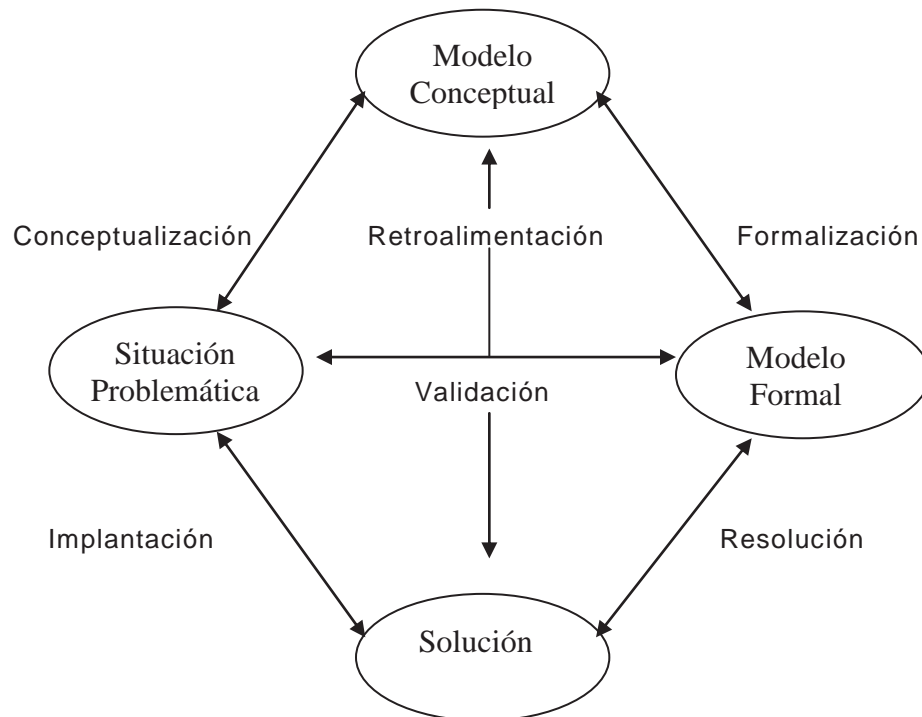


En la aplicación del citado modelo es necesario desarrollar las etapas involucradas en el análisis del problema, como son:

- Delimitación de la situación problemática.
- Modelo Conceptual.
- Modelo Formal.
- Solución.

La presente grafica del modelo es dada como se muestra en la siguiente figura:

Figura No. 1.1



Fuente: González S. F. et. al. (2003).



Para la aplicación de la metodología anterior, se parte de que existe un problema, tomando como referencia base que éste establecido cuando existe una divergencia entre el estado actual y el estado deseado del sistema analizado. Para el caso de análisis se tomará como base de la empresa.

Los estados de situaciones problemáticas, en general son presentados como:

Tabla No. 1.1 Estados de Situaciones Problemáticas.

ESTADO DEL SISTEMA	EXISTENCIA DEL PROBLEMA
Estado actual = Estado deseado	No existe
Estado actual \neq Estado deseado	Si existe

Fuente: González S. F. et. al. (2003).

El uso de esta técnica es apta para analizar dos niveles de atención en la solución de la problemática, estos son:

- a). Realización del proceso de identificación, análisis y solución del problema.
- b). Identificación y caracterización del comportamiento (Rol) que juega el recurso humano en cada etapa de análisis y atención de problemas en la empresa.



El estado de interés para realizar análisis de identificación, análisis y solución de problemas. Como se citó anteriormente, el caso de interés es cuando existe problema, por lo que la aplicación de la metodología en las diferentes etapas que componen el modelo es de la siguiente forma.

1.1.1.1 Situación Problemática.

En esta fase se establece el marco de referencia en el que se sitúa el problema, se definen las variables que participan en el sistema. A través de la realización de un diagnóstico es posible identificar la interrelación de variables y las causas que originan el estado de desorden en el sistema (empresa), por lo que es posible identificar y tipificar el problema. Esta etapa de análisis tiene una gran importancia, por lo que, dependiendo de la precisión con que esta realizada la misma, así será la eficiencia; de lo contrario habrá que regresar a identificar más variables no consideradas originalmente en el análisis y realizar análisis lo que puede ocasionar caer en un reciclamiento y no llegar a establecer una solución eficiente del problema por la no identificación adecuada de las causas que lo originan, o bien confundir el problema con síntomas de este y resolver estas, sin llegar a darle atención al verdadero problema.

1.1.1.2 Modelo Conceptual.

En esta etapa, tomando como base el diagnóstico elaborado en el análisis de la situación problemática y haciendo una relación causa-efecto entre todas las situaciones de tipo problemático



(síntomas del problema), se delimita claramente el problema (definición del problema).

Es importante hacer notar que de la claridad y exactitud que se tenga en la definición del problema, dependerá la obtención de una solución eficiente y eficaz.

1.1.1.3 Modelo Formal.

En esta etapa se hace una abstracción del sistema, tomando como base la representación del mismo a través de un modelo matemático, o bien a través de la aplicación de modelos cualitativos (enfoque de planeación).

Dicho modelo matemático deberá ser una representación lo más aproximada al sistema real sujeto a análisis.

De acuerdo con González S. F. et. al. (2003), un ejemplo de explicación de la conceptualización anterior, se desea determinar una estrategia de distribución de productos para la corporación (W), en la que se tiene “(m) planta” productoras de (X) artículos, ubicadas en las diferentes provincias de México, concentradas especialmente en Michoacán, y éstas tienen la necesidad de enviar productos a “n” ciudades en las que se demandan los artículos en las plantas industriales.

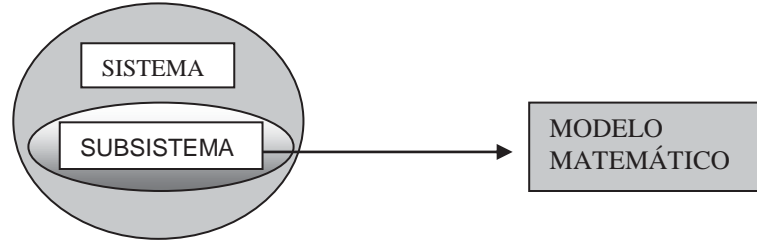
Se tiene que una forma básica de definir un conjunto de estrategias de distribución de productos de la corporación (W) a bajo costo, es establecida aplicando el modelo del transporte.

Por lo que el proceso de análisis en esta etapa sería el siguiente:



Presentación Grafica del Sistema.

Figura No. 1.2

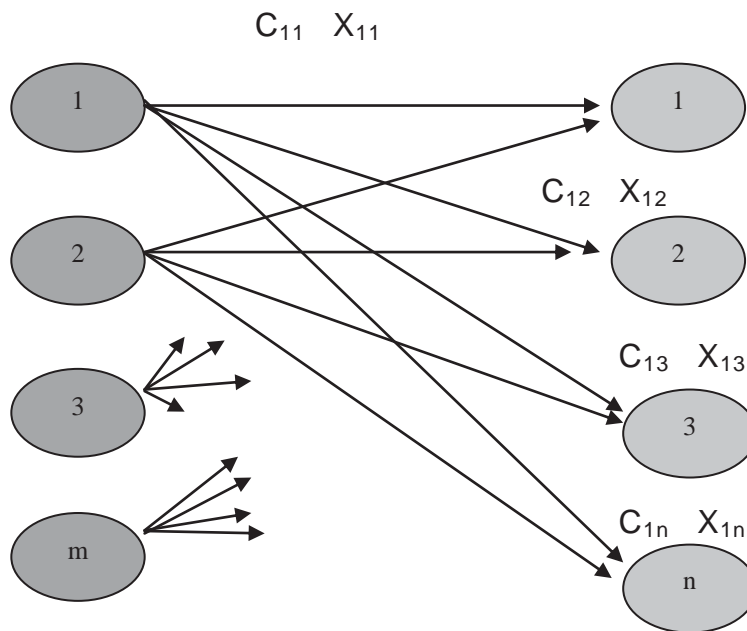


Fuente: González S. F. et. al. (2003).

Presentación de la Problemática

Figura No. 1.3

PLANTAS	MERCADOS
OFERTA	DEMANDA
ORIGEN	DESTINO
(i)	(j)



Fuente: González S. F. et. al. (2003).



Entonces la abstracción del sistema a través del modelo matemático es representada como:

$$\text{Min. } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

$$\text{s. a. } \sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j, \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i, \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

$$\forall X_{ij} \geq 0$$

Lo anterior permite establecer que, en la medida en que el modelado del problema sea lo más aproximado a la representación real del sistema, garantizará en principio una posibilidad de obtener una solución del problema lo más próxima a la realidad, la cual permitirá.



1.1.1.4 Solución.

En esta etapa se definen la(s) técnica(s) que permitan obtener la solución del problema.

Se toma como base el conocimiento del área, para así poder establecer las bondades y alcance de lo diferentes algoritmos técnicas que se tengan a mano para obtener la solución del problema, en esta etapa se selecciona la técnica que presente las mejores condiciones para obtener una solución de calidad que de satisfacción al empresario interesado.

Para el caso del problema citado en la etapa anterior, dependiendo de las expectativas esperadas de la solución y del nivel del presupuesto que el Director General tenga programado gastar en el período de análisis, así como de las políticas de incorporación de clientes por unidad de área, serán aplicadas las técnicas de solución disponibles, las cuales tienen niveles de eficiencia en la solución.

1.1.1.5 Tipificación de Tomadores de Decisiones a partir del Modelo del Diamante.

CASO 1. Planeador:

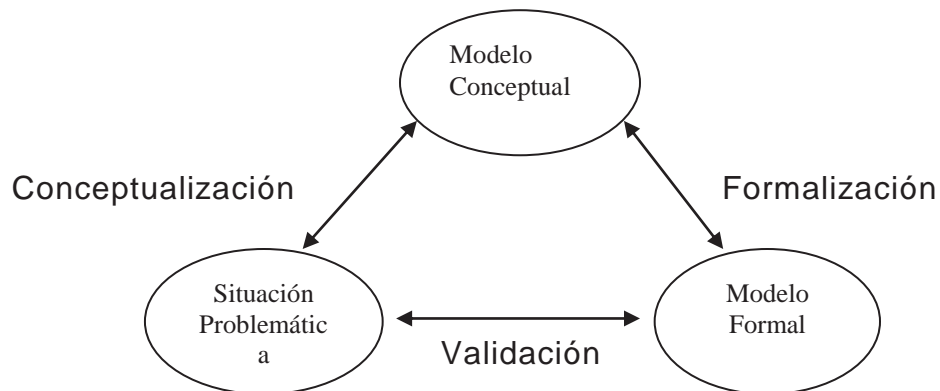
El analista que trabaja bajo este criterio solamente establece la planificación conceptual básica del problema, lo cual no le permite tomar una decisión eficiente, por la falta de información para hacer análisis; solamente analiza la situación problemática,



define el problema y establece el modelo matemático que representa el problema, pero sin llegar a proponer técnicas de solución del modelo, menos aun un nivel de solución del mismo.

Lo anterior es presentado gráficamente como sigue:

Figura No. 1.4



Fuente: González S. F. et. al. (2003).

CASO 2: Técnico No Previsor.

El comportamiento del analista en este caso es resolver un problema en el que no tiene la claridad en su delimitación y definición exacta. Indica el proceso a partir de una problemática general y define un modelo matemático que considera representa la problemática que desea resolver.

Lo anterior implica que el obtener una solución eficiente será cosa de la casualidad.

Este tipo de comportamiento es atribuido en general a analistas con formación muy técnica por lo que, sin interesarles la

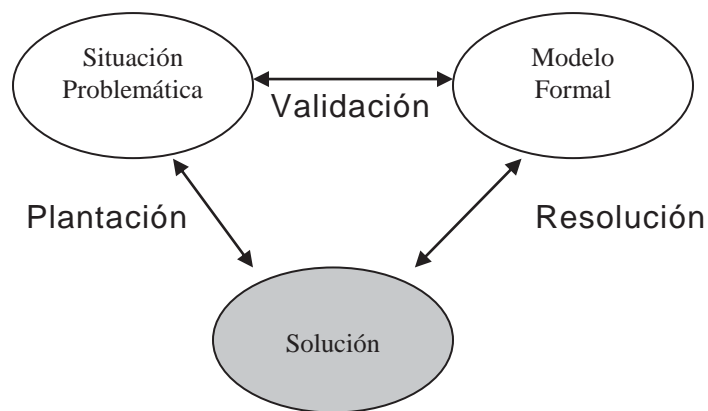


formalidad de la definición de problemas, se van directamente a aplicar modelos y técnicas numérico que manejan eficientemente, y que consideran se adaptan al problema desconocido.

Por lo anterior se tiene que la solución obtenida para el problema desconocido se espera sea de baja calidad; en caso contrario, es coincidencia la aproximación al óptimo.

Esto puede ser representado gráficamente como:

Figura No. 1.5



Fuente: González S. F. et. al. (2003).

CASO 3: Analista Basado en la Experiencia.

En este caso el analista no considera necesario el modelo formal en su análisis y a partir de la definición del problema, proporciona una recomendación que es considerada como solución.



El compartimiento del analista en este caso se basa en el supuesto de que cuenta con la suficiente experiencia en el campo en que se encuentra clasificado el análisis del problema.

Los tipos clásicos de respuesta a obtener son los siguientes:

TABLA No. 1.2 Tipos Clásicos de Respuesta.

CONCEPTO	ESTADO	NIVEL DE RESPUESTA
Experiencia	1	Eficiente
Experiencia	2	Ineficiente
Experiencia	3	Ineficiente

Fuente: González S. F. et. al. (2003).

1. Gran experiencia y actualización constante del nivel de conocimientos requeridos en el área de análisis.

⇒ **Buena recomendación.**

2. Gran experiencia y no actualización de conocimientos requeridos en el área de análisis. ⇒ **Mala recomendación.**

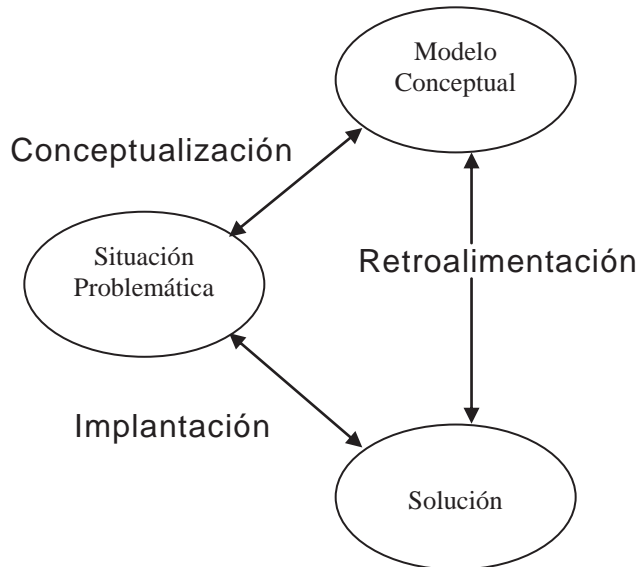
3. Sin experiencia, con o sin conocimiento del área de análisis.

⇒ **Mala recomendación.**

Lo anterior es expresado gráficamente como:



Figura No. 1.6



Fuente: González S. F. et. al. (2003).

CASO 4: El Técnico.

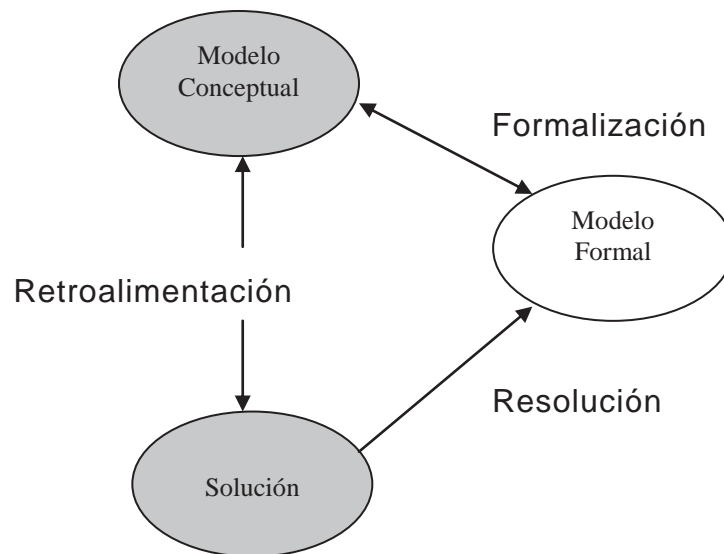
En este caso, el analista desconoce la situación problemática que origino el problema que resuelve, lo cual es propicio para tener un alto nivel de error si el problema ha sido mal definido, aun cuando las técnicas empleadas para la solución sean altamente eficientes.

Este es el caso común del técnico que le encargan resolver un problema que desconoce como se conceptualizó.

Gráficamente es ilustrado como:



Figura No. 1.7



Fuente: González S. F. et. al. (2003).

La metodología anterior es, en consecuencia, una aplicación del método científico que permite conceptualizar, definir, resolver e implantar la solución de un problema específico de cualquier área del conocimiento, dado que si la solución recomendada al problema no es suficientemente aceptada por el tomador de decisiones, se regresa nuevamente a revisar la situación problemática, la definición del problema (modelo conceptual) el modelo formal (modelo matemático) y/o la solución, hasta que esta es aceptada por el tomador de decisiones y posteriormente se procede a implantar la solución e incorporar un proceso de seguimiento y evaluación para mantener el sistema dinámico, como un proceso de mejora continua.



1.2. Técnicas para la Planeación Operativa del Sistema.

INTRODUCCIÓN

Las tendencias usadas hoy día en el análisis para la creación de nuevas empresas y las que se encuentran operando son diversas; para las primeras se usa la metodología general de Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión de Melnick Julio (1958), González S, F. (1985, 2003). Para el caso del segundo bloque de empresas (las que hoy en día operan), las metodologías a usar dependen fundamentalmente del tipo de problema que enfrenten en el área específica.

Para el caso, se iniciara haciendo una breve presentación de la metodología usada para las nuevas empresas, alcances de la misma y recomendaciones para su implantación.

1.2.1. Metodología para el Diseño de Nuevas Empresas.

En el pasado, la Banca Mexicana otorgaba créditos con solamente tener cierto respaldo (garantía en bienes e inmuebles). La idea fundamental de garantizar hoy día la recuperación de una inversión en un ambiente tan cambiante e incierto y, por lo tanto, con un alto nivel de riesgo, para la obtención de un crédito tanto refaccionario (aplicado al activo fijo a largo plazo) como de avío (aplicado al capital de trabajo es de corto plazo) a inversionistas privados, de acuerdo con González S. F: (2003) se establece como requisito básico a todo solicitante de financiamiento para crear un nuevo negocio en cualquier rama de la economía, la presentación de un estudio de factibilidad, en el que deberá



incluirse una evaluación, económica y social, presentado una mayor importancia en los conceptos de tipo económico, cuando la empresa es del sector privado, cuando la empresa es originada por el sector público (programas promovidos por el gobierno) se da una mayor relevancia a los indicadores de tipo social.

Las etapas que integran la metodología antes citadas son las siguientes:

1. Resumen.
2. Estudio de Mercado, Comercialización y Precios.
3. Estudio de Localización de la Empresa.
4. Determinación del Tamaño de la Empresa.
5. Estudio de Ingeniería de Proyecto.
6. Inversiones, Presupuestos y Financiamiento.
7. Evaluación del Proyecto.
8. Organización de la Empresa.
9. Anexos.

Es importante hacer notar que, dependiendo del renglón de la economía del que se trate, se profundiza o no en el análisis de los diferentes apartados mostrados anteriormente, que conforman



un estudio de creación de la empresa, se da fundamental importancia a la profundidad y precisión de la información que se usa en el estudio, dependiendo el monto de inversión que se realiza, a mayor inversión mayor precisión y calidad de la información usada.

1.2.1.1 Estudio de Mercado, Comercialización y Precios.

En esta fase se desarrollan las etapas referidas al estudio del producto, delimitación de la área de influencia de la empresa, análisis de la demanda, análisis de la oferta, balance oferta-demanda, sistema de comercialización y precios, anexos.

- Referente al producto, inicialmente se define si es un bien de consumo final, bien de consumo intermedio, de capital o de un servicio, con la finalidad de establecer a priori su área de mercado y tipo de consumidores. Además de lo anterior, se estudian elementos como: vida útil, peso, composición química, estructura física, presentación, calidad, diseño, planos descriptivos, entre otras.

Los componentes de la etapa anterior deberán ser tan claros como sea posible, tal que se asemejen a una imagen fotográfica, debido a que, en la medida que se conozca con más detalle el producto, podrá comercializarse mas eficientemente, así como desarrollar las etapas restantes de la metodología global del proyecto.

- En lo referente a la delimitación del área de influencia, se toma como base la clasificación hecha del producto en la



etapa anterior. Se identifican los elementos señalados anteriormente para los diferentes tipos de consumidores y así ubicarlos por unidad de área, (se toma una área específica a priori); además se toma como capacidad de producción máxima, la capacidad instalada estimada a priori. A su vez, dependiendo de las características de distribución de los posibles consumidores geográficamente por unidad de área y sus características básicas de ingreso per cápita, se estima a priori un nivel de consumo potencial. Teniendo en cuenta un nivel (%) de participación de los habitantes asentados en el área de interés, se verifica. Si en el sector (área) analizada se consume la totalidad de la producción que se tendría con la planta en estudio, considerando que la misma opera al 100% de la capacidad instalada y participando en este sector en el (%) especificado.

De cumplirse, esto el área considerada será la buscada; en caso contrario se hace una expansión hacia donde se encuentren consumidores potenciales, de tal forma que el área de influencia será definida como la suma de poblados, ciudades, etc..., en los que se distribuyan la totalidad de la producción obtenida con el proceso en estudio a más bajo costo y con la más alta eficiencia.

- En el análisis de la demanda, se realiza el estudio del consumo del producto principal, similar y/o sustitutos clasificándolos en las etapas histórica, actual, y futura; a su vez se realiza el mismo análisis para el caso de importaciones, tal que en suma reflejan la totalidad del



producto que es producido en el mercado interno. Se hacen presentaciones de tipo grafico para los dos conceptos anteriores, en sus estados histórico, actual y futuro.

- Respecto al análisis de la oferta, se realiza el estudio de la producción del producto principal, similar y/o sustitutos en lo referente a la parte histórica actual, actual y futura; a su vez se realiza el mismo análisis para el caso de las exportaciones, tal que en suma reflejan la totalidad de producto que es producido y comercializado en el mercado interno, así como el que llega del exterior y es comercializado internamente. Se hacen presentaciones de tipo grafico para los dos conceptos anteriores, en su estado histórico, actual y futuro.
- En lo referente al análisis de la oferta–demanda, se establece la comparación entre estos dos conceptos, a través de una presentación tabular, con la finalidad de establecer como es el comportamiento entre éstos. En general, el estudio de mercado en la formulación de estudio de factibilidad, se usa como el primer nivel de decisión, para verificar la posibilidad de continuar o para en el proceso de elaboración del estudio o bien verificar la infactibilidad del mismo.

Los posibles resultados obtenidos de esta etapa y las decisiones adoptadas por el decisor son las siguientes:



TABLA 1.3 Análisis de Oferta y Demanda.

INDICADOR	DECISIÓN
$O = D$	Mercado en equilibrio (1)
$O < D$	Recomendable implantar nueva empresa (2).
$O > D$	Rechazar la implantación de nueva empresa (3).

Fuente: González S. F. et. al. (2003).

(1): Oferta igual a la demanda, capacidad instalada es próxima a consumo máximo.

(2): Nivel de consumo potencial muy superior a la capacidad instalada.

(3): Capacidad de producción muy superior al nivel de consumo potencial que existe en el área de mercado.

El análisis de las etapas anteriores permite establecer un análisis de diferencias para conocer como es la dinámica del mercado y en que ciclos del periodo de análisis se establecen las condiciones (1), (2), (3) citadas en la tabla 1.3, lo que permitirá tomar la decisión cuando sea coincidente el comportamiento de condición (2). Además del comportamiento citado, se puede esperar que el comportamiento futuro obtenido a través de cualquiera de las técnicas de pronóstico eficientes que se tiene en la literatura actual sea acorde con (2).



- En lo referente al sistema de comercialización y precios, en principio se establece cuales son las características de los competidores mas representativos del área económica en la que participará la nueva empresa, los sistemas, las estrategias de venta y distribución de productos más representativos que usa la competencia, todo ello con la finalidad de definir sistemas de distribución de productos y estrategias de telémarketing más eficientes que lo usado por las empresas que serán los posibles competidores (en este estudio se toman los más representativos).
- En lo referente a precios, se investiga y se estudia el precio que existe en el mercado para los producto (s) similares o iguales, con el objetivo de establecer el precio(s) a manejar en la nueva planta industrial. Para la fijación del precio, en el estudio se toma como criterio base que el precio ofrecido por el mercado sea superior que el ofrecido por la nueva planta, donde el mismo se establece tomando como base la siguiente expresión.

$$P = C_f + C_v + U$$

Donde:

P = Precio unitario de venta de producto de la empresa.

C_f = Costo fijo por unidad.

C_v= Costo variable por unidad.

U = Nivel de utilidad establecido por el empresario.

La comparación que se hace para tomar la decisión es la siguiente:



TABLA No. 1.4 Comparación de Precios

PRECIOS	COMPARACIÓN	ESTADO
P vs. P_1	$P < P_1$	Alta competitividad
P vs. P_1	$P > P_1$	No existe competitividad
P vs. P_1	$P = P_1$	Precio equilibrio

P_1 : Precio que se tiene en el mercado

Fuente: González S. F. et. al. (2003).

Además del criterio anterior, entre los posibles mecanismos usados para la fijación de precios se tienen los siguientes: precios fijados por el mercado interno, precios fijados por el sector oficial, precios fijados por el mercado externo, costos de producción, lo más recomendable para el análisis es tomar como referencial los costos de producción, nunca ofrecer un precio inferior a este criterio.

1.2.1.2 Estudio de Localización de la Empresa.

Se toma como localización de la empresa aquel sitio que presenta el mayor nivel de beneficio-costos desde el punto de vista económico y la mayor satisfacción desde el punto de vista social, además de que el lugar deberá ser tomado como un punto en el que sea posible generar un polo de desarrollo auto sostenido.

En esta fase del estudio, lo referente a la ubicación geográfica de la empresa es tratada a dos niveles, descritos en los apartados de macro localización y micro localización.



En la macrolocalización se inicia definiendo el área geográfica en la que es de interés ubicar la planta (empresa); esto se hace tomando como base el Plan Institucional de Desarrollo elaborado para periodos sexenales por el ejecutivo federal en turno en el gobierno; se regionaliza el país y se establecen áreas prioritarias de desarrollo, así como la participación de cada uno de los renglones económicos por unidad de área.

Una vez definida el área geográfica como marco de referencia locacional, se procede a establecer una extensión territorial más pequeña dentro del marco de referencia establecido en la parte inicial de este proceso. En esta etapa se hacen descripciones que deberán incluir como mínimo de los siguientes elementos:

- a).- Límites territoriales y colindancia.
- b).- Orografía.
- c).- Clima.
- d).- Vegetación.
- e).- Población.
- f).- Servicios.
- g).- Educación.
- h).- Caracterización de la especialización de la mano de obra.
- i).- Potencial de materias primas e insumos.
- j).- Medios de transporte y capacidad.
- l).- Políticas económicas y de gobierno de la región.
- m).- Otros.



Como anexo a esta información deberán incluirse los mapas locacionales.

Entre las técnicas más usuales en esta fase se tienen las siguientes: técnica de asociación aparente, técnicas de encuestas, método de la telaraña, método del centro de gravedad, entre otras.

- En lo referente a la micro localización, en esta etapa se establece el lugar preciso en el que se implantara la empresa, para el logro de lo anterior, se toma como punto inicial el trabajo establecido en la etapa de macrolocalización (definición de área geográfica de interés) y dentro de esta, se elige el sitio preciso, para lo cual se ponen en comparación todas las localidades que presenten un nivel más alto de cumplimiento de los factores básicos locacionales. Entre los más importantes de estos factores se tienen los siguientes:

- a).- Materias primas.
- b).- Energía eléctrica.
- c).- Agua.
- d).- Infraestructura de caminos.
- e).- Teléfono.
- f).- Telégrafo.
- g).- Incentivos fiscales.
- h).- Estudio de la comunidad.
- i).- Estudio y justificación ecológica.
- j).- Insumos.
- k).- Mano de obra.
- l).- Otros.



La incorporación de más factores depende fundamentalmente del tipo de proyecto que se trate: agricultura, ganadería, pesca, bosques, minería, etc... Se incluye en esta fase el mapa específico del sitio exacto en que ubicaría la empresa.

Entre los criterios más usuales para la ubicación se tienen los siguientes: método de la telaraña, método del centro de gravedad, uso de técnicas de optimización (programación lineal, técnicas de programación entera mixta, búsqueda tabú, reconocido simulado (simulated annealing), teoría de decisiones), lo anterior dependiendo del tipo de problema y del nivel de exactitud deseada por el análisis.

1.2.1.3 Determinación del Tamaño de la Empresa.

En esta etapa del estudio, se toman como elementos necesarios para determinar la capacidad instalada de la planta los factores siguientes: tecnología, presupuesto disponible para compra de proceso, disponibilidad de materias primas e insumos, disponibilidad de mano de obra, mercado, entre otras.

Sin embargo los criterios más comunes establecidos hoy día en la selección de tamaños de proceso–tecnología en el país son los siguientes:

1.- Uso del criterio de la experiencia.

Consiste en seleccionar un proceso tomando como base el monto de la inversión aplicando lo que tendrá relación con una(s) tecnología(s) existente en el mercado y estas a su vez tienen



relación con un tamaño específico por lo que se selecciona la que está dentro del presupuesto y que se considera tiene la mejor tecnología.

2.- Selección óptima.

En lo que respecta al uso de la experiencia, el decisor generalmente considera como elemento base para su toma de decisiones, entre otros, los siguientes: disposición del capital para invertir en el proceso, existencia de procesos disponibles en el mercado y capacidades de producción (t), facilidades de compra, proceso-proveedor que representa un mayor nivel de beneficio para el decisor, marcas y prestigio de estas. En general, con los elementos anteriores se toma la decisión de selección del proceso que considera más adecuado.

Aún hoy día comúnmente se aplica este criterio en el sector oficial. Fundamentalmente. En la pequeña empresa esta práctica es común debido a la falta de conocimiento y experiencia en análisis de este tipo.

La eficiencia en la toma de decisiones es de baja calidad y en caso contrario es casual el acierto.

Lo que podría considerarse como criterios de selección óptima, en general están orientados a la optimización de la política óptima de selección. Su aplicación se ha estado generalizado sobre todo en la mediana y gran empresa y en los grupos de tipo corporativo, no siendo excluyente con el sector restante, los criterios y métodos aplicados son diversos González



Santoyo F. et. al. (1996), sin embargo uno de los mas usados es el de determinación de tamaño mínimo económico de plantas González Santoyo F. (1985,2003); en el que se comparan todos los procesos y tecnologías existentes en el mercado, capacidad de mercado, economía de escala, estudio de comportamiento en términos de costo de cada uno de los procesos existentes, nivel de mercado en el que se desea participar por parte dela empresa de nueva creación o bien, si se tratarse de una expansión de la capacidad instalada en la existente, etc.

De lo anterior se selecciona el proceso que permita tener la más alta eficiencia desde el punto de vista técnico y económico.

El criterio anterior, considera en el análisis todas las posibilidades de procesos existentes, tanto en el mercado interno como en el externo, economía de escala, política de participación en el mercado, banda de variación del precio en el mercado, precio (s) establecido(s) para el (los) producto(s) a comercializar, entre otros.

Adicionalmente a los elementos anteriores usados en el análisis, como una segunda etapa del proceso, se realiza un análisis de eficiencia presentada en la compra usando financiamiento-tiempo, esto para todos los oferentes de procesos que se tienen en el mercado.

1.2.1.4 Ingeniería del Proyecto.

En esta parte del estudio, tomando como base las etapas anteriores de mercado, localización y tamaño de planta, se



diseñan la obra civil, eléctrica, hidráulica, vapor, distribución de la planta (lay out), planeación de producción, cuantificación de recursos humanos y materiales que se requerirán en la operación de la planta, de acuerdo con la dinámica de operación diseñada este apartado. A su vez se establece la plantación para la construcción del proceso–puesta en marcha e implantación de la misma.

1.2.1.5 Inversiones, Presupuestos y Financiamiento.

En lo referentes a inversiones, se definen los tipos de inversiones y montos que se tendrán en la planta, y se hace la plantación de los tiempos de aplicación de los recursos financieros.

Las inversiones en este apartado son dadas en términos de su inversión total; esta es integrada como:

$$I_T = I_F + I_D + C_T$$

Donde:

I_T = Inversión total.

I_F = Inversión fija.

I_D = Inversión diferida.

C_T = Capital de trabajo.

El término inversión significa un compromiso concreto de recursos de capital para la obtención de algún beneficio a lo largo de un periodo de tiempo razonablemente largo.



En esta etapa se consideran todos los recursos que son indispensables para la implementación de una planta productora de un determinado bien; y estas pueden clasificarse en la siguiente forma:

- Activo Fijo.
- Activo Diferido.
- Capital de trabajo.

Activo Fijo: El activo fijo lo constituyen todos aquellos elementos tangibles que son adquiridos inicialmente o durante el proceso de operación de una planta, y que son utilizados durante la vida útil del proyecto; las funciones de estos bienes son las de facilitar la obtención física de un producto, estos se encuentran sujetos a depreciación, agotamiento u obsolescencia y su recuperación se realiza al largo plazo.

La salvedad la constituyen los terrenos debido a que no están sujetos a depreciación ya que su valor tiende a incrementarse en función del tiempo.

Los elementos que integran este tipo de activo, entre otros se pueden mencionar los siguientes:

- a). Terrenos.
- b). Obra Civil.
- c). Maquinaria y Equipo.
- d). Instalaciones.
- e). Vehículos, etc...



Activo Diferido: Lo constituyen todos los elementos intangibles que son indispensables para poner a funcionar una planta, la definición que proporciona la ley del impuesto sobre la renta es la siguiente:

Son activos diferidos intangibles representados por bienes o derechos que permiten reducir costos de operación o mejorar la calidad o aceptación de un producto, durante un período ilimitado que depende de la duración del negocio.

Estos elementos están sujetos a amortización y se recuperan a largo plazo.

Estos elementos que integran este tipo de activo, entre otros se pueden enunciar los siguientes:

- Elaboración de estudios.
- Escrituración de la planta.
- Entrenamiento de personal.
- Constitución legal de la empresa.
- Pagos por concepto de contratación de energía eléctrica.
- Derechos aduanales cuando se trate de maquinaria de importación, etc...

Capital de Trabajo: El capital de trabajo es el dinero mínimo necesario que requiere una empresa para efectuar las actividades de producción y ventas, y es equivalente a la diferencia existente entre el activo circulante menos el pasivo circulante para el caso de que se trate de empresas que se



encuentran operando los datos mencionados anteriormente, para el calculo son obtenidos directamente de la hoja de balance, para el caso que se trate de una empresa de nueva creación una forma de calcularlo es a través de un flujo de caja.

Los elementos que integran el capital de trabajo son los siguientes:

- Dinero en efectivo.
- Inventario de materias primas y materiales auxiliares.
- Inventario de productos en procesos.
- Inventario de productos terminados.
- Cuentas y documentos por cobrar.

Se presenta la descripción de cada variable a través de todos sus componentes, así como el monto de estas.

En lo referente a presupuestos, se elaboran tomando como base la planeación de la producción y los abastecimientos de materias primas e insumos a lo largo del horizonte de plantación establecido para la nueva planta.

Se establecen en general presupuestos de: materias primas, mano de obra, materiales auxiliares, insumos, ingresos, se calcula la depreciación y amortización, así como los periodos en que se requiere hacer una nueva inversión; se presupuestan los costos por uso de patentes y marcas, costos de escrituración, costos de puesta en marcha del proceso, entre otros.



En lo referente a los financiamientos, se establece si la nueva empresa los requerirá y en que áreas: crédito refaccionario (largo plazo), de avío (corto plazo), así como el nivel en que estos serán financiados, se presentan los programas de amortización de créditos, así como los plazos en que estos serán pagados.

1.2.1.6 Evaluación del Proyecto.

En esta etapa se toman como base los conceptos de inversiones, presupuestos y financiamiento. Usando esto como punto de partida, se elaboran los estados financieros pro forma básicos y secundarios, como son: el balance, estado de resultados, estado de origen y aplicación de los recursos. Posteriormente se calculan los flujos de fondos (de efectivo), que realmente tiene la empresa de análisis. Esto sirve para evaluar la línea de inversión; para el caso se podrá aplicar en cada período de análisis un criterio de preferencia, como puede ser: la tasa interna de retorno (TIR o ROI), VAN, VPN, periodo de recuperación del capital, relación costo beneficio costo, entre otras. Podrá usarse cualquiera de estos (son consistentes entre si y llevan a la misma decisión).

En las evaluaciones se da una mayor importancia a la evaluación económica que a la social, debido a que los criterios para realizar la segunda varían de analista a analista.



1.2.1.7 Organización de la Empresa.

En esta etapa se establecen los criterios y formas bajo las que se maneja la empresa, desde el punto de vista técnico operativo (organigrama) y legal (razón social), establecida esta última por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).

La metodología anterior es en general la establecida para el diseño de nuevos negocios. Como se citó anteriormente, pueden ser productores éstos de bienes de consumo final, de consumo intermedio y de capital, así como de servicios. Y la flexibilidad de aplicación dependerá del tipo de estudio y de la experiencia del analista de proyectos.

En lo referente al análisis y solución de problemas de plantas que actualmente operan, la metodología anterior es aplicable. Sin embargo no es de uso generalizado para estos casos; mas bien el criterio (s) de análisis dependerá del tipo de problema que se presente. Los más típicos son en las áreas de recursos humanos, producción, distribución de productos, localización, expansión de la capacidad, reemplazo de equipo, calendarización, entre otros, los que, dependiendo del caso, se incorporaran metodologías de la ingeniería de sistemas, plantación, investigación operativa, recursos humanos, finanzas, etc.



1.2.2 Estructuras de Empresa.

La caracterización de los procesos productivos, (González Santoyo F. Et. al, 1996) puede ser vista desde las ópticas de su clasificación tecnológica, desde el nivel de inversión y desde el número de empleados que participan en la empresa.

- Desde el punto de vista tecnológico, los procesos se clasifican, según sus características en:

- a).- Procesos continuos.
- b).- Procesos semicontinuos.
- c).- Procesos intermitentes.

La caracterización tecnológica en la práctica en los llamados países del tercer mundo y aun más las existentes en algunos países del denominado primer mundo, un proceso con tecnología de punta, puede clasificarse tanto en (a, b, c). La caracterización como un proceso altamente eficiente, dependerá de más factores que el solo diseño del mismo (maquinaria y equipo) como son las organizaciones, la planificación de la producción, el manejo contable, financiero y fiscal, etc.

1.2.2.1 Procesos Continuos.

Podrán ser considerados en este apartado, todos aquellos procesos que cuenten con tecnología de punta, además de flujos de información eficientes, sistemas organizacionales acordes a su realidad, así como un comportamiento operativo basado en economías de escala. Una caracterización de estos procesos es



que el encadenamiento (sincronización) de maquinaria y equipo entre las diferentes etapas del proceso es óptima; esto implica que los tiempos muertos en las diferentes etapas tiende a cero, (diseño de lay out eficientes).

1.2.2.2 Procesos Semicontínuos.

El proceso semicontínuo es aquel en el que existe enlace de mano de obra entre las diferentes etapas del proceso, no descartando que se tengan bloques automatizados del mismo. Sin embargo, este tipo de enlace implica entre las etapas del proceso, los tiempos muertos se incrementan notablemente, evitando la operación de los mismos bajo el criterio de economía de escala, lo que ocasionará bajos niveles productividad en su operación. En estos procesos se tienen lay out eficientes.

1.2.2.3 Procesos intermitentes.

Teóricamente, este tipo de procesos son aquellos en los que existe un alto nivel de especialización en el desarrollo del trabajo; sin embargo, para el caso de análisis, este tipo de procesos, se trata se trata con un proceso lay out altamente ineficiente. Además, el enlace entre todas las etapas del proceso se hace a

través de la mano de obra. En general la tecnología usada es obsoleta, lo que implica operar con alto nivel de costo y bajo nivel de calidad, ocasionando un nivel de productividad inferior a los caracterizados anteriormente, y por consiguiente los hace poco competitivos en el mercado externo.



La tipificación de los procesos a través de los niveles de inversión, hoy día, en una economía tan cambiante, no es de uso generalizado, por lo que en esta comunicación no se le dará prioridad.

Así mismo, la clasificación de los procesos, a través del uso de mano de obra, para el caso mexicano, se presenta en la siguiente tabla:

TABLA No. 1.5 Estructuras de Empresas.

TAMAÑO	SECTOR	NUMERO DE EMPLEADOS
Micro	Todas	Hasta 10
Pequeña	Comercio	De 11 hasta 30
	Industria y servicios	De 11 hasta 50
Mediana	Comercio	De 31 hasta 100
	Servicios	Desde 51 hasta 100
	Industria	Desde 51 hasta 250
Gran	Comercio y Servicios	Desde 101
	Industria	Desde 251

Fuente: Secretaría de Economía Federal (2009). Secretaría de Economía (2009) cita que el 99% de la empresa instalada en el país esta clasificada como micro, pequeña y mediana y el 1% como gran empresa.



1.3 La Mejora Continua como Instrumento de Alta Gestión.

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda constante de proyectar a las empresas a un nivel competitivo que las proyecte al nivel de organizaciones de manufactura de orden mundial, se debe tomar en cuenta por parte del empresario moderno el incorporar la conciencia real y el dominio de los conocimientos, lo que permitirá un mayor nivel de posibilidades para aplicarlos con mayor eficacia, entendiéndose ésta como la capacidad y habilidad para lograr determinados objetivos y metas.

Cuando estos conocimientos están debidamente organizados, se potencian las posibilidades de aplicarlos con mayor eficiencia, entendida ésta como la capacidad para alcanzar los objetivos y metas con la mayor inversión de tiempo, esfuerzos y recursos.

La eficiencia conduce al crecimiento y al éxito, la eficiencia produce la rentabilidad.

Para la aplicación de cualquier estrategia de mejora empresarial, se recomienda inicialmente la realización del diagnóstico empresarial para conocer el estado actual de la organización y a partir de ahí, proyectar la mejora.



1.3.1 El Diagnóstico Empresarial.

La práctica del diagnóstico en lo general no es de uso continuo, en muchos casos, las empresas sólo recurren a la realización de diagnósticos integrales de sus operaciones y estructuras, en ocasiones muy señaladas,

que podrían calificarse de extraordinarias como: la venta de la empresa, la solicitud de un financiamiento importante, el ingreso de un nuevo equipo gerencial, entre otros.

Es muy común Díaz de Santos (1995), encontrarnos que este tipo de estudios en muchas pequeñas y micro empresas, se limitan a la determinación de una serie de números fríos, en el mayor de los casos centrados en áreas financieras, si bien es cierto que son útiles para detectar las fallas o deficiencias que muestra la organización.

Sin embargo a este nivel de análisis no son capaces de suministrar a la empresa la información y los análisis que necesitan para plantear, desde el punto de vista estratégico, el cual debe ser el futuro de la empresa a corto, mediano y largo plazo.

Es recomendable que la realización del diagnóstico no constituya solamente una radiografía estática de lo que sucedió y está sucediendo en la organización.



Por lo que se recomienda la realización eficiente del diagnóstico ésta debe cumplir como mínimo tres elementos fundamentales:

- Debe desarrollarse periódicamente (no ocasional ni extraordinario).
- Deberá incluir todas las áreas de la empresa.
- Deberá ser realizado siguiendo en enfoque estratégico.

De acuerdo a González Santoyo F. (1997), se establece que el diagnóstico que se realice en la empresa debe suministrar a los empresarios y directivos la información y los análisis que necesitan para plantear, desde el punto de vista estratégico, cuál debe ser el futuro de la empresa a corto, mediano y largo plazo.

Así mismo se establece que, para llevar a cabo ese proceso, de una forma más eficaz y práctica, los empresarios y directivos disponen de un conjunto de conceptos, modelos e instrumentos de análisis que se aplican en cada una de las fases del estudio, por lo que para aplicar el proceso con fines estratégicos se debe prever la ejecución de las etapas:

- Análisis de fortalezas y debilidades de la empresa. Incorporación del concepto de ventaja competitiva
- El concepto de los vacíos de planeación: incorporación del análisis FODA.
- La estrategia básica.
- Los factores claves para el éxito.
- El sistema de información.



Con la realización del estudio del diagnóstico de la empresa, es posible hacer eficientemente el diseño del plan estratégico, con el que la organización proyectará su transformación hacia el logro eficiente de sus objetivos.

1.3.2 El Plan Estratégico.

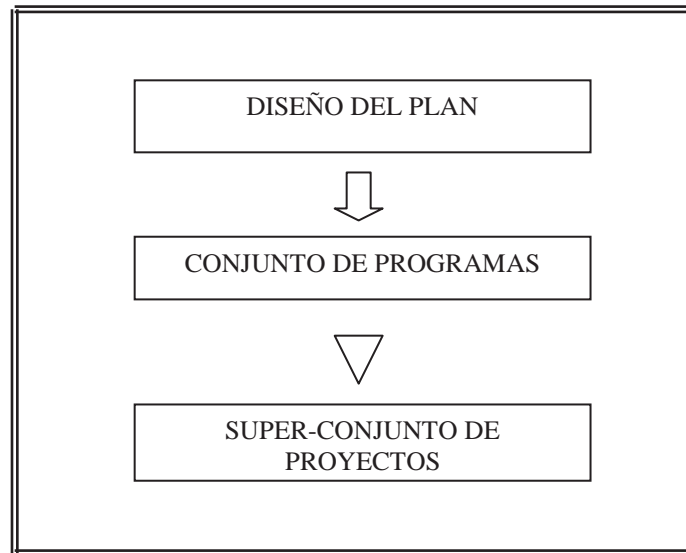
Tomando como base lo descrito anteriormente, se tiene que es de fundamental importancia el diseño del plan estratégico, para lo cual se recomienda, de acuerdo con Ramírez Padilla N., Cabello Garza M. (1997), los cuales toman como base las etapas de:

- a. Dónde se está ???: lo que implica la identificación del negocio, análisis de la industria, identificación de factores típicos de la competencia, identificación de fortalezas y debilidades.
- b. Cómo lograr el cambio ???: en este apartado se recomienda establecer la definición de la dirección estratégica, así como de los planes de acción.
- c. Hacia dónde se quiere ir ???: lo que implica la definición de la misión, visión y de los valores de la empresa.

Así mismo González Santoyo F (1997), plantea que los niveles establecidos para aplicar eficientemente el proceso de planeación en la empresa esta soportado de acuerdo con lo establecido en la figura 1.8 como se muestra:



Figura. 1.8: Desegregación del Plan



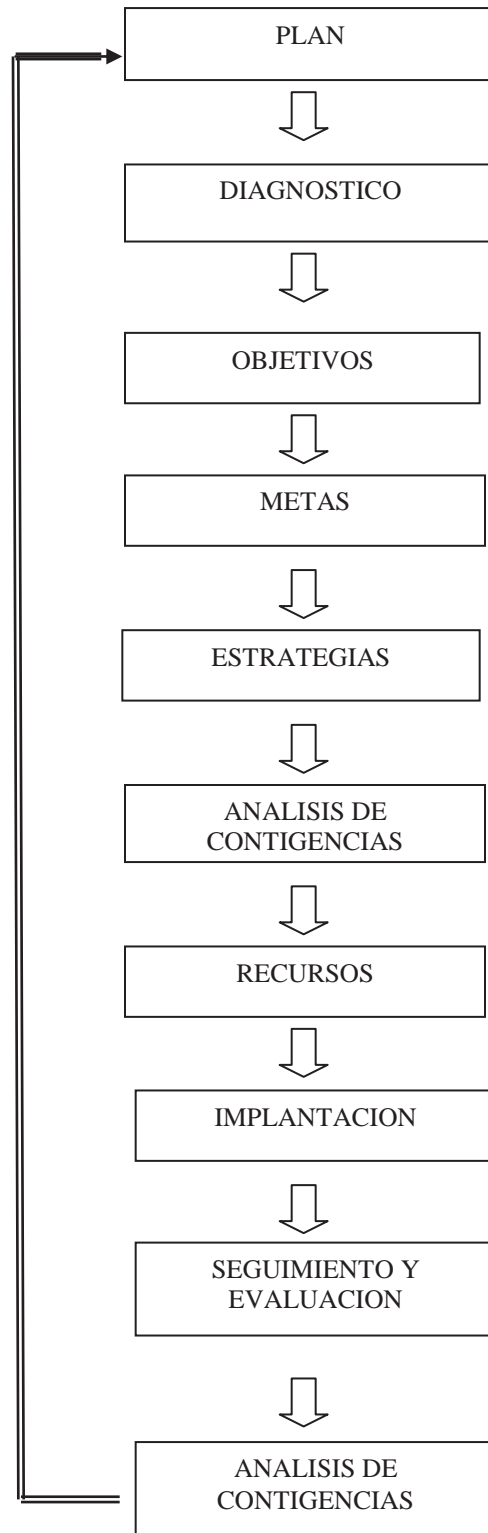
Fuente: González S. F. et. al. (2003).

El diseño del plan estratégico, apoyado en el desarrollo eficiente de la metodología enunciada como: Diseño del objetivo, diseño y establecimiento de las metas, diseño de las estrategias, establecimiento y cuantificación de los recursos, realización del análisis de contingencias, implantación, seguimiento, evaluación y la incorporación de la retroalimentación.

La aplicación práctica de esta metodología proporcionará resultados eficientes a la empresa. Gráficamente se ilustra como:



Figura. 1.9: Proceso del Plan de Desarrollo.

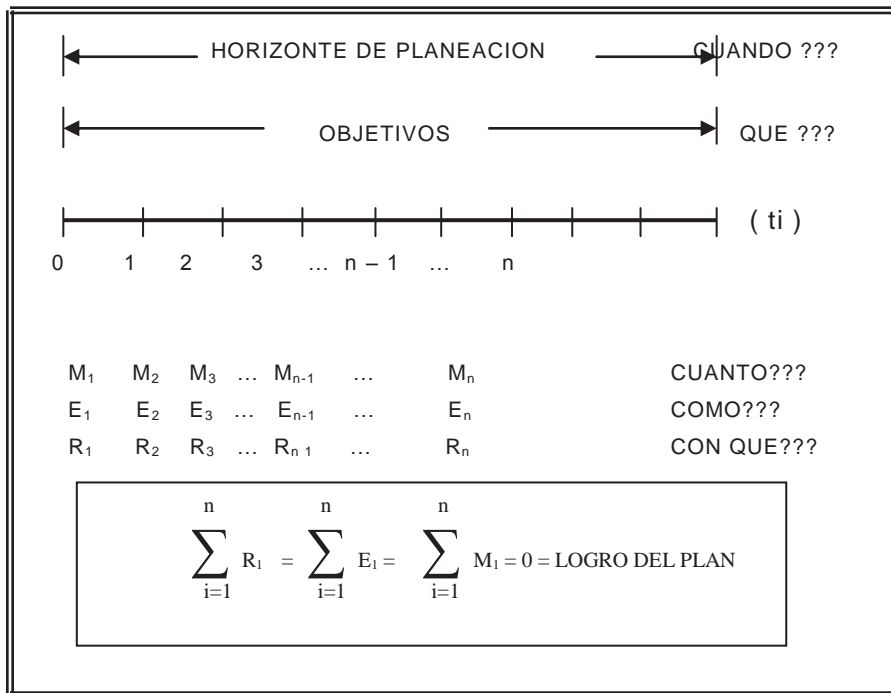


Fuente: González S. F. et. al. (2003).



El proceso de implantación del plan es mostrado en la figura No. 1.10 en la que M_i = Metas, E_i = Estrategias, R_i = Recursos.

Figura. 1.10 Implantación del Plan



Fuente: González S. F. et. al. (2003).

El proceso de mejora será aplicado en búsqueda del logro de las metas en el plan, las cuales estarán soportadas por un conjunto de proyectos.

1.3.3 El Proceso de Mejora en cada Empresa.

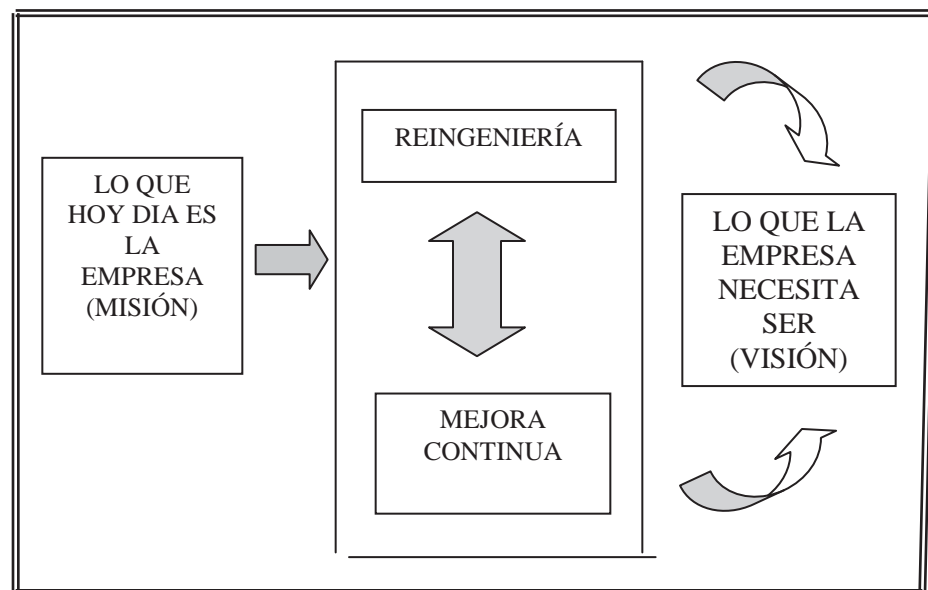
Hoy día, la micro, pequeña y mediana empresa de la mayoría de los países del tercer mundo, ante una economía globalizada que implica una apertura comercial, no están respondiendo con un nivel de competitividad aceptable, lo que las



hace vulnerables en los mercados ante empresas que representan mejores tecnologías.

Los procesos de mejoras empresariales son diversos, actualmente se han centrado en la aplicación de la Reingeniería, la cual busca realizar mejoras radicales en los sistemas y por otro lado se tiene la mejora continua, la cual ofrece mejoras incrementales en unidad de tiempo, y foco central de este trabajo. Gráficamente estas estrategias son mostradas como:

Figura. 1.11: Proceso de Cambio Empresarial



Fuente: González S. F. et. al. (2003).

Esto implica realizar un proceso transformador que puede ser apoyado en el proceso conceptual planteado en García Saldaña G. (1993), como etapas de la calidad y la organización, como se muestra en la figura No.1.12.

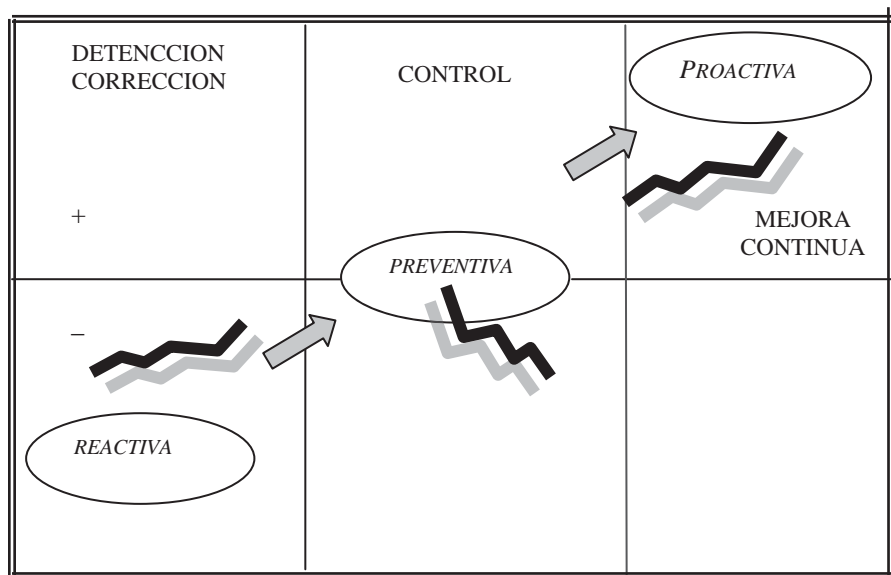


En esta apreciación, se muestra en un primer nivel, cuando el nivel de resultados se cumplen o están por arriba (+) ó bien, cuando no se satisfacen o están por abajo (-) en un segundo nivel se muestran los niveles en los que es necesario apoyar o proyectar a la empresa, como lo son: detección, corrección, control y mejora continua.

En un tercer nivel, se representa el desarrollo de las organizaciones en tres fases, establecidas como: reactiva, preventiva y pro-activa.

El objetivo de este modelo es sensibilizar, que los resultados y la forma de actuar de una organización en las actividades del día a día, dependen de las habilidades y capacidades de la organización misma. Mientras no haya una determinación formal y estructurada para desarrollarla, no podrá aspirarse seriamente a niveles de excelencia como la mejora continua y la innovación.

Figura. 1.12: Desarrollo de la Organización



Fuente: González S. F. et. al. (2003).



Sin embargo, ante la urgente necesidad de aumentar la competitividad de los negocios de las corporaciones, es necesario realizar las tareas de identificación de las áreas de mejora, priorizarlas según su impacto, atacarlas con la metodología de los proyectos de mejora continua PMC's.

Los objetivos del programa Proyectos de Mejora Continua son: la concientización de la importancia de ser competitivos a fin de permanecer con éxito en los mercados mundiales, conocer la metodología de los PMC's como una herramienta que permita solucionar problemáticas complejas a través de la detección de áreas de oportunidad y de mejora, aprender a integrar los equipos para los PMC's y a decidir cuándo deben ser usados, comprender cómo se identifican e implementar los PMC's.

La incorporación de los PMC's en el proceso operativo de la empresa es la de posicionarla como una de clase mundial, éstas se caracterizan por mantenerse en un proceso de permanente aprendizaje: están en busca de nuevos conocimientos, se preocupan por transmitirlos a todas las áreas y niveles de la empresa y se aseguran de su utilización práctica. Además estas deben buscar ser una organización que aprenda a través de ser más flexible, adaptable, cambiante, interactiva, innovadora, tipo red.

Desarrollar líderes que alcancen el poder de decisión necesario para lograr sus objetivos: en todas las áreas y niveles de la organización, con responsabilidades y compromisos concretos, apoyados en equipos interdisciplinarios.



Así mismo, se tiene que una empresa de clase mundial es aquella que llega a cubrir las necesidades de su mercado a través de la innovación de su tecnología y de sus sistemas de manufactura llevando a cabo sus mejores prácticas administrativas.

1.3.3.1 Proyectos de Mejora Continua

Los PMC's son proyectos que ayudan a mejorar el resultado global de la empresa, así mismo, son un sistema de trabajo que sirve para capitalizar áreas de mejora y resolver problemáticas complejas en la organización, son una metodología que nos ayuda a identificar los elementos clave necesarios para lograr y exceder objetivos concretos.

Representan un cambio en la forma de hacer las cosas: haciendo a la organización más activa, flexible y adaptable; detectando múltiples líderes de diversas áreas y niveles reconocibles por toda la organización, a quienes se les da poder de decisión. Implican un cambio formal en el cual cada líder tiene la autoridad y la responsabilidad necesarias para el cumplimiento de los proyectos asignados.

Los PMC's toman en cuenta como principios básicos los siguientes:

- Lo que no se mide no se puede mejorar.
- La resolución de grandes proyectos implica llevarlos a un nivel manejable (metas de mejora), que permita dominar los elementos del problema a través de sus PMC's



- Los flujos reales en una organización se mueven por procesos y no por funciones.
- Las áreas de oportunidad rara vez se encuentran aisladas en un solo departamento organizacional, más bien se encuentran distribuidas y con influencia en varios departamentos.
- La forma más efectiva de aprovechar las áreas de oportunidad es aprovechar los conocimientos de varios especialistas.
- Las organizaciones exitosas documentan sus experiencias y transmiten el aprendizaje a las demás áreas.
- La metodología de los PMC's implica una disciplina que incluye (análisis rigurosos, establecimiento de fechas, cumplimiento de compromisos).

Las principales características atribuibles a los PMC's son:

- Meta concreta: implica tener claros logros a alcanzar, se tiene muy claro de donde se parte y a dónde se quiere llegar.
- Tiempo determinado: se debe estimar adecuadamente así como las actividades específicas a desarrollar.
- Medición: sirve para corregir el rumbo cuando sea necesario y para conocer al final si se cumplió con los objetivos.
- Retorno económico: se debe tener claro el beneficio económico a obtener.
- Marco estratégico: se deberá apegar a las estrategias corporativas, dando satisfacción al cliente.



- Equipo: cuando sea necesario se contará con un equipo interdisciplinario.
- Estructura: se deberá presentar en un formato especial que incluya todas las características anteriores.

De lo anterior se espera que a través de los PMC's se busca: alcanzar una meta concreta, mediante un equipo de trabajo, muchas veces ínter funcional, contando con una estructura y medición específicos, con un principio y final claramente determinados, en términos de resultados y de tiempo.

Algunos ejemplos de tipos de metas a alcanzar, por medio de los PMC's son: reducción de costos, desarrollo de nuevos productos, apertura de nuevos productos, cambios en procesos productivos, desarrollos tecnológicos, financiamientos.

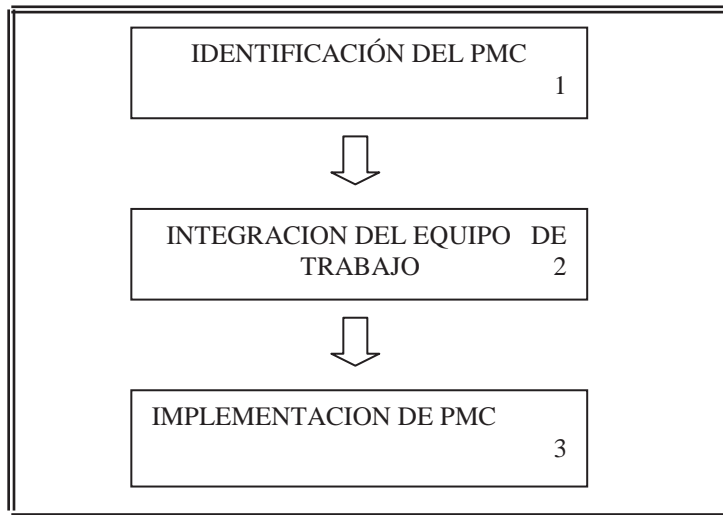
Mientras que algunos ejemplos de responsabilidades funcionales son los siguientes: abasto de materia prima para las áreas de compra; reclutamiento y selección para recursos humanos; contabilidad de los negocios para la gerencia de finanzas; la venta de los productos para las áreas comerciales; operación de los equipos para la gerencia de operaciones.

1.3.3.2 El Proceso de los PMC's

El proceso de los PMC's inicia con la identificación de las áreas de oportunidad o mejora, las cuales inician una vez definidas las estrategias y los objetivos generales del negocio, este se muestra como:



Figura. 1.13 Proceso del PMC's



Fuente: González S. F. et. al. (2003).

En 1 se realizará el diagnóstico para la mejora, se detectan las áreas para la mejora, se definen las metas específicas, se especifican los PMC's.

En 2 se designa al líder de proyecto, se definen los integrantes del equipo.

En 3 se definen los elementos base de implantación, se desarrollan las actividades, se documentan los resultados, se implantan los resultados.

El formato de los PMC's se recomienda que como mínimo deba tener:

- Nombre de la unidad organizacional.
- Nombre del proyecto.



- Nombre del líder.
- Nombre de los integrantes del equipo.
- Metas.
- Beneficios.
- Inversión requerida.
- Actividades.
- Fechas.
- Categorías (según beneficio).

La aplicación eficiente de la metodología planteada en el presente trabajo, bajo el contexto de la estructura operativa del plan estratégico, posicionará a la organización en el mediano plazo como una de manufactura de orden mundial, altamente eficiente y eficaz.



2. Metodología para la Planeación y Calendarización de Actividades.

2.1 Programación de Proyectos con PERT-CPM

Un proyecto define una combinación de actividades interrelacionadas que deben ejecutarse en un cierto orden antes que el trabajo antes que el trabajo completo pueda terminarse. Las actividades están interrelacionadas en una secuencia lógica en el sentido que algunas de ellas no pueden comenzar hasta que otra se haya terminado. Una actividad en un proyecto, generalmente se ve como un trabajo que requiere tiempo y recursos para su terminación. En general, un proyecto es un esfuerzo de un solo periodo; esto es, la misma sucesión de actividades pueden no repetirse en el futuro.

En el pasado, la programación de un proyecto (en el tiempo) se hizo con poca planeación. La mejor herramienta conocida de “planeación” era el diagrama de barras de Gantt, el cual especifica los tiempos de inicio y terminación de cada actividad en una escala de tiempo horizontal. Su desventaja es que la interdependencia entre las diferentes actividades (la cual controla principalmente el progreso del proyecto) no puede determinarse a partir del diagrama de barras. Las complejidades crecientes de los proyectos actuales han exigido técnicas de planeación más sistemáticas y más efectivas, con el objeto de optimizar la eficiencia de la ejecución de proyecto. Aquí la eficiencia implica efectuar la mayor reducción en el tiempo requerido para terminar el proyecto, mientras se toma en cuenta la factibilidad económica de la utilización de los recursos disponibles.



La administración de proyectos ha evolucionado como un nuevo campo con el desarrollo de dos técnicas analíticas para la planeación, programación y control de proyectos. Tales son el Método de Ruta Crítica (CPM) y la Técnica de Evaluación y Revisión de Proyectos (PERT). Las dos técnicas fueron desarrolladas por dos grupos diferentes casi simultáneamente (1956-1958). El CPM (Critical Path Method) fue desarrollado primero E. I. du Pont de Nemour & Company como una aplicación a los proyectos de construcción y, posteriormente, se extendió a un estado más avanzado por Mauchly Associates. El PERT (Project Evaluation and Review Technique), por otra parte, fue desarrollado para la Marina de Estados Unidos, por una organización consultora, con el fin de programar las actividades de investigación y desarrollo para el programa de misiles Polaris.

Los métodos PERT y CPM están básicamente orientados en el tiempo, en el sentido que ambos llevan a la determinación de un programa de tiempo. Aunque los dos métodos fueron desarrollados casi independientemente ambos son asombrosamente similares, Quizá la diferencia más importante es que originalmente las estimaciones en el tiempo para las actividades se supusieron determinantes en el CPM y probables en PERT. Ahora PERT y CPM comprenden realmente una técnica y las diferencias, si existe alguna, son únicamente históricas. En adelante, ambas se denominarán técnicas de “programación de proyectos”.

La programación de proyectos por PERT-CPM consiste en 3 fases básicas: Planeación, programación y control.



La fase de planeación se inicia descomponiendo el proyecto en actividades distintas. Las estimaciones de tiempo para estas actividades se determinan luego, y se construye un diagrama de red (o de flechas), donde cada uno de sus arcos (flechas) representa una actividad. El diagrama de flechas completo da una representación gráfica de las interdependencias entre las actividades del proyecto. La construcción del diagrama de flechas como una fase de planeación, tiene la ventaja de estudiar los diferentes trabajos en detalle, sugiriendo quizá mejoras antes de que el proyecto se ejecute. Será más importante su uso en el desarrollo de un programa para el proyecto.

El último objetivo de la fase de programación de tiempo que demuestre los tiempos de iniciación y terminación para cada actividad, así como su relación con otras actividades del proyecto. Además, el programa debe señalar las actividades críticas (en función del tiempo) que requieren atención especial si el proyecto se debe terminar oportunamente. Para las actividades no críticas el programa debe mostrar los tiempos de holgura que pueden utilizarse cuando tales actividades se demoran, o cuando se deben usar eficientemente recursos limitados.

La fase final en la administración de proyectos es la de control. Esto incluye el uso de diagrama de flechas y la gráfica de tiempo para hacer reportes periódicos del progreso. La red puede, por consiguiente, actualizarse y analizarse y si es necesario determinar un nuevo programa para la parte restante del proyecto.



2.1.1 Representaciones con Diagrama de Flechas (RED)

El diagrama de flechas representa las interdependencias y relaciones de precedencia entre las actividades del proyecto. Se utiliza comúnmente flecha para representar una actividad, y la punta indica el sentido de avance del proyecto. La relación de precedencia entre las actividades se especifica utilizando eventos. Un evento representa un punto en el tiempo y significa la terminación de algunas actividades y el comienzo de nuevas. Los puntos inicial y final de una actividad, por consiguiente, están descritos por dos eventos generalmente conocidos como evento de *inicio* y evento *terminal*. Las actividades que originan un cierto evento no pueden comenzar hasta que las actividades que concluyen en el mismo evento hayan terminado. En la terminología de la teoría de redes cada actividad esta representada por un arco dirigido y cada evento esta simbolizado por un nodo. La longitud del arco no necesita ser proporcional a la duración de la actividad ni tiene que dibujarse como una línea recta.

La figura 2.1 (a) muestra un ejemplo de una representación común de una actividad (i,j) con su evento de inicio i y su evento terminal j . La figura 1(b) muestra otro ejemplo donde las actividades $(1, 3)$ y $(2, 3)$ deben terminarse antes que pueda comenzar la actividad $(3, 4)$. La dirección de avance de cada actividad se especifica asignando un número más pequeño al evento terminal comparado con el número de su evento de inicio. Este procedimiento es especialmente conveniente para cálculos automáticos y es el que se adoptará en este capítulo.

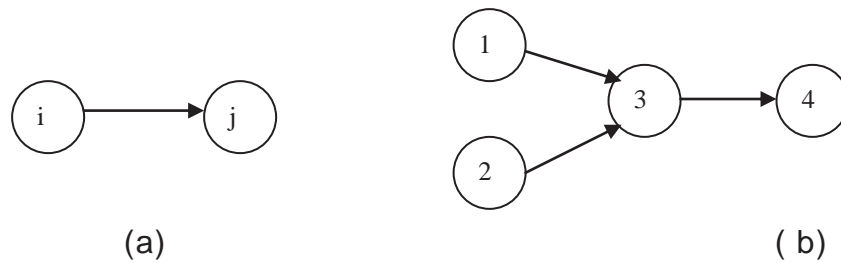


Las reglas para construir el diagrama de flechas se resumirán ahora.

Regla 1. Cada actividad esta representada por una y solo una flecha en la red.

Ninguna actividad puede representarse dos veces en la red. Esto es distinto del caso donde una actividad se descompone en segmentos; en este caso cada segmento puede estar representado por una flecha separada. Por ejemplo, al tender una tubería, este trabajo puede hacerse en secciones y no como un solo trabajo.

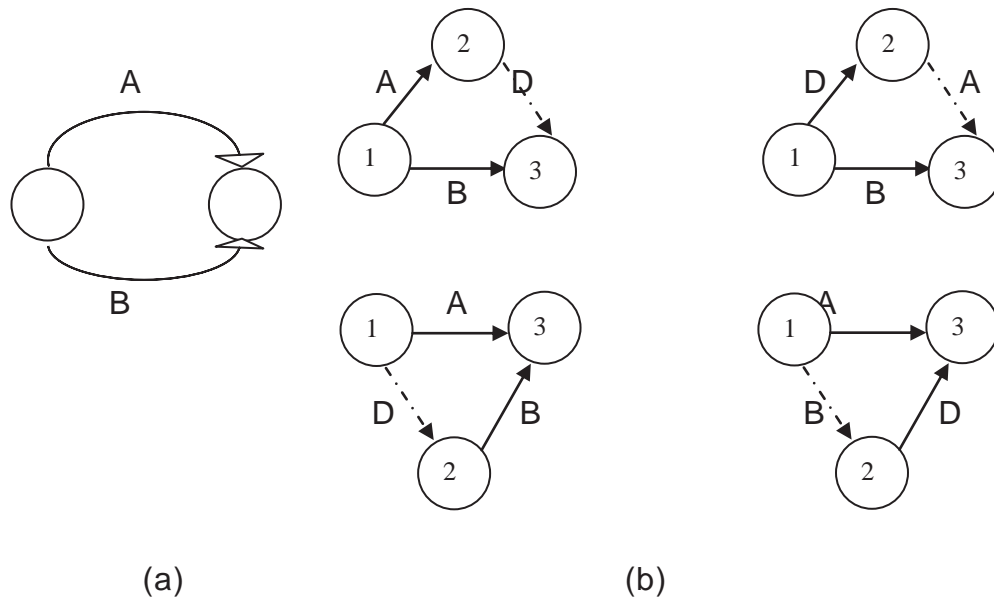
Figura. 2.1



Fuente: Hamdy A. Taha et. al (2004).



Figura. 2.2



Fuente: Hamdy A. Taha et. al (2004).

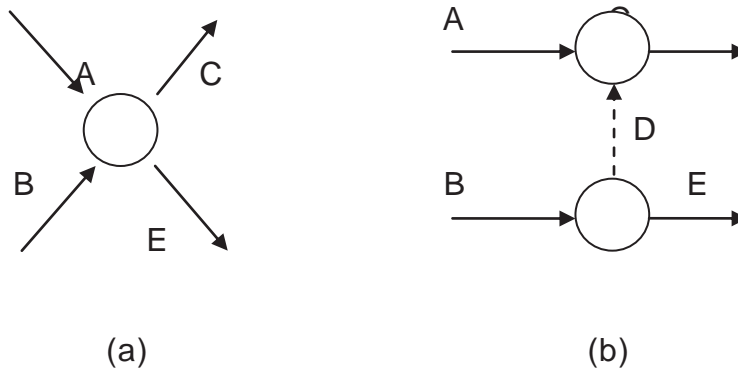
Regla 2. *Dos actividades diferentes no pueden identificarse por los mismos eventos terminal y de inicio.*

Una situación como ésta puede surgir cuando dos o más actividades deben ejecutarse simultáneamente. En la figura 2.2 (a) Se muestra un ejemplo donde las actividades A y B tienen los mismos eventos finales. El procedimiento es introducir una actividad ficticia, ya sea entre A y uno de los eventos finales, o entre B y uno de los eventos finales. Las representaciones modificadas, después de introducir la actividad ficticia D Se muestran en la figura 2.2 (b). Como un resultado de usar D, las actividades A y B ahora pueden identificarse por eventos finales únicos. Debe notarse que una actividad ficticia no consume tiempo o recursos.



Las actividades ficticias también son útiles al establecer relaciones lógicas en el diagrama de flechas, las cuales de otra manera, no pueden representarse correctamente. Suponga que en cierto proyecto los trabajos *A* y *B* deben preceder a *C*. Por otra parte, el trabajo *E* está precedido por el trabajo *B* solamente. La figura 2.3 (a) muestra la forma incorrecta, ya que aunque la relación de *A*, *B* y *C* es correcta, el diagrama implica que *E* debe estar precedida tanto por *A* como *B*.

Figura. 2.3



Fuente: Hamdy A. Taha et. al (2004).

La representación correcta usando *D* ficticia se muestra en la figura 2.3 (b). Ya que *D* no consume tiempo (o recursos) están satisfechas las relaciones de precedencia indicadas.

Regla 3. *A fin de asegurar la relación de precedencia correcta en el diagrama de flechas, las siguientes preguntas deben responderse cuando se agrega cada actividad a la red.*

(a) *¿Qué actividades deben terminarse inmediatamente antes de que esta actividad pueda comenzar?*



- (b) *¿Qué actividades deben seguir a esta actividad?*
- (c) *¿Qué actividades deben efectuarse simultáneamente con esta actividad?*

Esta regla se explica por si misma. Realmente permite verificar (y volver a verificar) las relaciones de precedencia cuando Se avanza en el desarrollo de la red.

2.1.2 Cálculos de Ruta Crítica.

La aplicación de PERT-CPM deberá proporcionar un programa, especificando las fechas de inicio y terminación de cada actividad. El diagrama de flechas constituye el primer paso hacia el logro de esa meta. Debido a la interacción de las diferentes actividades, la determinación de los tiempos de inicio y terminación, requiere cálculos especiales. Estos cálculos se realizan directamente en el diagrama de flechas usando aritmética simple. El resultado final es clasificar las actividades de los proyectos como críticas o no críticas. Se dice que una actividad es crítica si una demora en su comienzo causará una demora en la fecha de terminación del proyecto completo.

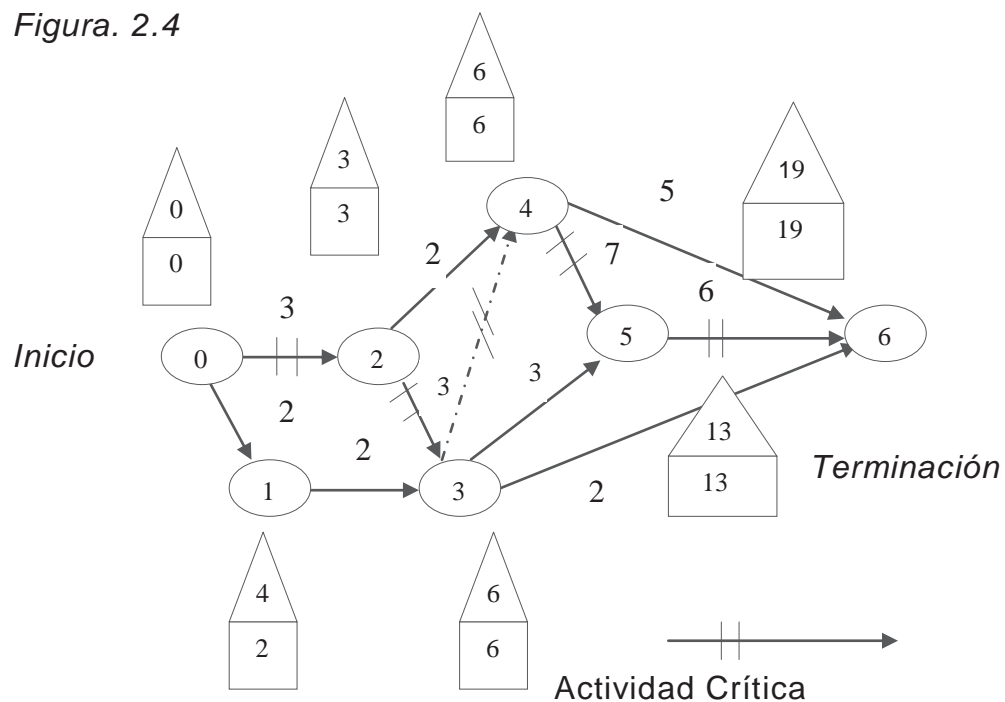
Una actividad no crítica es tal que el tiempo entre su comienzo de inicio más próximo y de terminación más tardío (como lo permita el proyecto) es más grande que su duración real. En este caso, se dice que la actividad no crítica tiene un tiempo de holgura.



2.1.2.1 Determinación de la Ruta Crítica.

Una ruta crítica define una *cadena* de actividades críticas, las cuales conectan los eventos inicial y final del diagrama de flechas. En otras palabras, la ruta crítica identifica todas las actividades críticas del proyecto.

Figura. 2.4



Fuente: Hamdy A. Taha et. al (2004).

2.1.2.2 Determinación de las Holguras.

Siguiendo la determinación de la ruta crítica, deben calcularse las holguras de las actividades no críticas.



Naturalmente, una actividad crítica debe tener una holgura de cero. De hecho esta es la principal razón para que sea crítica.

Antes de mostrar como se determinan las holguras, es necesario definir dos nuevos tiempos, los cuales están asociados con cada actividad. Estos son el tiempo de inicio más tardío (IT) y el tiempo de terminación más próximo (TT), los cuales están definidos para la actividad (i,j) por

$$IT_{ij} = TTT_j - D_{ij}$$

$$TT_{ij} = TIP_i + D_{ij}$$

Existen dos tipos importantes de holguras: holgura total HT y holgura libre (HL). La holgura total HT_{ij} para la actividad (i,j) es la diferencia entre el máximo tiempo disponible para realizar la actividad ($= TTT_j - TIP_i$) y su duración ($= D_{ij}$); esto es:

$$HT_{ij} = TTT_j - TIP_i - D_{ij} = TTT_j - TT_{ij} = IT_{ij} - TIP_i$$

La holgura libre se define suponiendo que todas las actividades comienzan tan pronto como sea posible. En este caso, HL_{ij} para a actividad (i, j) es el exceso de tiempo disponible ($= TIP_j - TIP_i$) sobre su duración ($= D_{ij}$); esto es:

$$HL_{ij} = TIP_j - TIP_i - D_{ij}$$

Los cálculos de ruta crítica junto con las holguras para las actividades no críticas pueden resumirse en la forma conveniente mostrada en la tabla 2-1. Las columnas (1), (2), (3) y (6) se obtienen de los cálculos de la red. La información restante puede determinarse de las formulas anteriores.



La tabla 2.1 da un resumen típico de los cálculos de ruta crítica. Incluye toda la información necesaria para construir el diagrama de tiempos. Note que una y sólo una actividad crítica, debe tener una *holgura total* cero. La holgura libre debe también ser cero cuando la holgura total es cero. La inversa no es cierta, sin embargo, en el sentido de que una actividad *no* crítica puede tener una holgura libre cero. Por ejemplo, en la tabla 2.1, la actividad no crítica (0, 1) tiene una holgura libre cero.

Tabla 2.1

		Más próximo		Más tardío			
		Inicio	Term.	Inicio	Term.		
Actividad	Duración	\square			Δ	Holgura Total	Holgura Libre
(i,j)	D_{ij}	TIP_i	$TT_{i,j}$	IT_{ij}	TTT_{ij}	HT_{ij}	HL_{ij}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(0,1)	2	0	2	2	4	2	0
(0,2)	3	0	3	0	3	0 ^a	0
(1,3)	2	2	4	4	6	2	2
(2,3)	3	3	6	3	6	0 ^a	0
(2,4)	2	3	5	4	6	1	1
(3,4)	0	6	6	6	6	0 ^a	0
(3,5)	3	6	9	10	13	4	4
(3,6)	2	6	8	17	19	11	11
(4,5)	7	6	13	6	13	0 ^a	0
(4,6)	5	6	11	14	19	8	8
(5,6)	6	13	19	13	19	0 ^a	0

^a Actividad Crítica.

Fuente: Hamdy A. Taha et. al (2004).



2.1.3 Construcción del Diagrama de Tiempo y Nivelación de Recursos.

El producto final de los cálculos de la red es la construcción del diagrama (o programa) de tiempo. Este diagrama de tiempo puede convertirse fácilmente en un programa calendario apropiado para el uso del personal que ejecutará el proyecto.

La construcción del diagrama de tiempo debe hacerse dentro de las limitaciones de los recursos disponibles, ya que no es posible realizar actividades simultáneas debido a las limitaciones de personal y equipo. Aquí es donde las holguras totales para las actividades no críticas llegan a ser útiles. Cambiando una actividad no crítica (hacia atrás y hacia adelante) entre sus límites máximos permisibles, se pueden abatir los requisitos máximos de recursos. En cualquier caso, aun en ausencia recursos limitados, es práctica común usar las holguras totales para nivelar los recursos sobre la duración del proyecto completo. En esencia, esto significaría una fuerza de trabajo más estable comparada con el caso donde la fuerza de trabajo (y equipo) variará drásticamente de un día a otro.

Las funciones de las holguras *total* y *libre* en la programación de actividades no críticas se explican en términos de dos reglas generales:

1. Si la holgura total es *igual* a la holgura libre, la actividad no crítica se puede programar *en cualquier parte* entre los tiempos de inicio más temprano y de terminación más tardío.



2. Si la holgura libre es menor que la holgura total, el inicio de la actividad no crítica se puede demorar en relación con su tiempo de inicio mas temprano, en una cantidad no mayor que el monto de su holgura libre, sin afectar la programación de sus actividades inmediatamente sucesivas.

2.1.4 Consideración de Probabilidad y Costo en la Programación de Proyectos.

El análisis de las secciones 2.1.1, 2.1.2 y 2.1.3 no toma en cuenta el caso donde las estimaciones de tiempo son probabilísticas para las diferentes actividades. Tampoco Se considera explícitamente el costo de los programas. Esta sección, por consiguiente, presentara tanto los aspectos de probabilidad como los de costos en la programación de proyectos.

2.1.4.1 Consideraciones de Probabilidad en la Programación de Proyectos.

Las consideraciones de probabilidad están incorporadas en la programación de proyectos, suponiendo que la estimación de tiempo para cada actividad está basada en tres valores diferentes:

a = tiempo optimista, el cual se necesitará si la ejecución va extremadamente bien.

b = tiempo pesimista, que se requerirá si todo va muy mal.

m = tiempo más probable el cual se necesitará si la ejecución es normal.

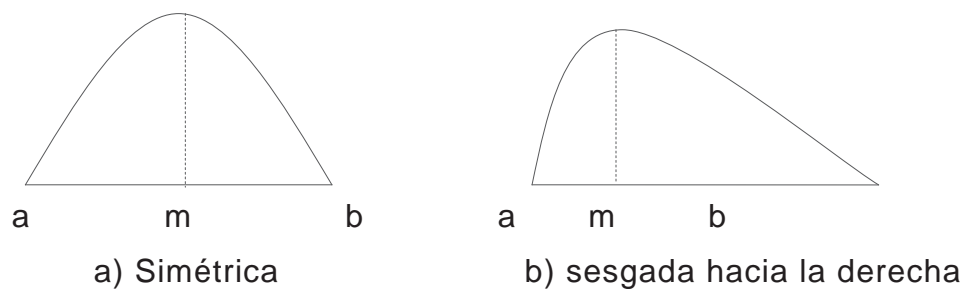


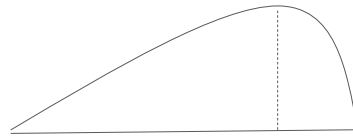
La amplitud o “rango” especificado por las estimaciones optimista y pesimista (a y b , respectivamente) por supuesto debe encerrar toda estimación posible de la duración de la actividad. La estimación más probable m no necesita coincidir con el punto medio $(a + b)/2$, y puede encontrarse a su izquierda o a su derecha. Debido a estas propiedades, es *intuitivamente* justificado que la duración para cada actividad puede seguir una distribución beta con su punto unimodal en m y sus puntos extremos en a y b . La figura 2-5 muestra los tres casos de la distribución beta que son (a) simétrica, (b) sesgada hacia la derecha y (c) sesgada hacia la izquierda.

Las expresiones para la media D y variancia V de a distribución betas se obtienen de la manera siguiente. El punto medio $(a + b)/2$ se supone que tiene una ponderación de la mitad de la del punto m más probable. Por consiguiente, D es la media aritmética de $(a + b)/2$ y $2m$; esto es,

$$D = \frac{(a + b)/2 + 2m}{3} = \frac{a + b + 4m}{6}$$

Figura 2.5





a m b
c) sesgada hacia la izquierda

Fuente: Hamdy A. Taha et. al (2004).

La amplitud o “rango” (a, b) se supone que abarca alrededor de 6 desviaciones estándares de la distribución. Ya que alrededor de 90% o más de *cualquier* función densidad de probabilidad esta dentro de tres desviaciones estándares de su media

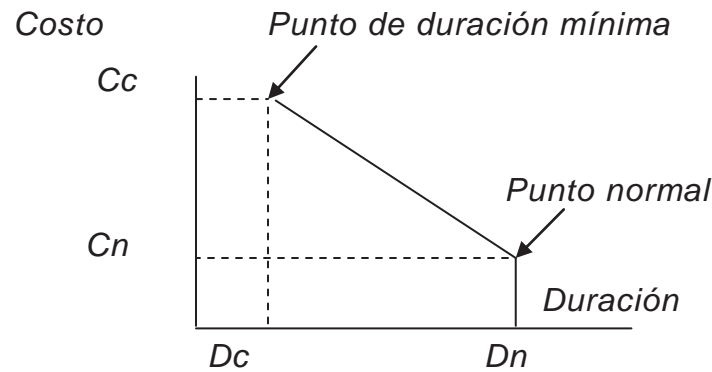
2.1.4.2 Consideraciones de Costo en la Programación de Proyectos.

El aspecto costo está incluido en la programación de proyectos al definir la relación duración-costo para cada actividad. Los costos se definen para incluir elementos directos solamente. Los costos indirectos no pueden incluirse. Sin embargo, su efecto se incluirá en el análisis final. La figura 2.6 muestra una relación típica de línea recta utilizada con la mayoría de los proyectos. El punto (D_n, C_n) representa la duración D_n y su costo asociado C_n , si la actividad se ejecuta en condiciones normales. La duración D_n puede disminuirse aumentando los recursos asignados y, por lo tanto, aumentando los costos directos. Existe un límite llamado tiempo de duración mínima, más allá del cual, ninguna reducción adicional puede efectuarse en la duración. En este punto cualquier aumento en recursos



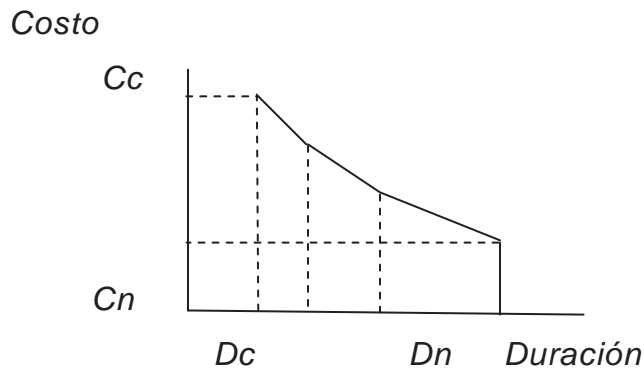
aumentara únicamente los costos, sin reducir la duración. El punto de duración mínima Se indica en la figura 2.6 por el punto (D_c, C_c) .

Figura 2.6



Fuente: Hamdy A. Taha et. al (2004).

Figura 2.7



Fuente: Hamdy A. Taha et. al (2004).

La relación lineal se usa principalmente por conveniencia, ya que puede determinada para cada actividad a partir del conocimiento de los puntos de duración normal y mínima únicamente; esto es (D_n, C_n) y (D_c, C_c) . Una relación no lineal



complicaría los cálculos. Existe un caso excepcional, sin embargo, donde las relaciones no lineales pueden ser aproximadas por un conjunto de *segmentos* lineales como Se muestra en la figura 2.7 En tales condiciones, la actividad puede ser descompuesta en un número de subactividades, cada una correspondiendo a uno de los segmentos. Note las pendientes crecientes de los segmentos de recta cuando se va desde el punto de duración normal hasta el punto de duración mínima. Si esta condición no se satisface, la aproximación no es válida.

Después de definir las relaciones tiempo-costos, se asignan sus duraciones normales a las actividades del proyecto. Se calcula luego la ruta crítica correspondiente y se registran los costos directos asociados. El paso siguiente es considerar la reducción en la duración del proyecto. Ya que tal reducción puede efectuarse únicamente si disminuye la duración de una actividad crítica, la atención debe centrarse en tales actividades. A fin de lograr una reducción en la duración al mínimo costo posible, se debe comprimir tanto como sea posible la actividad crítica que tenga la pendiente tiempo-costos más pequeña.

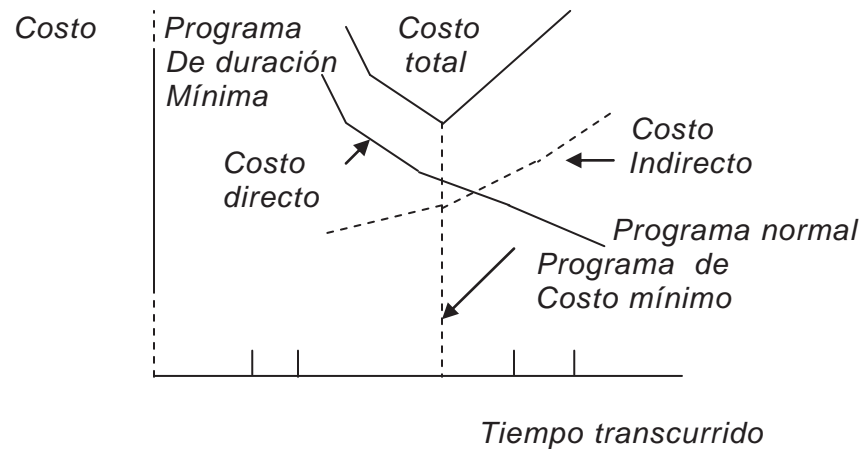
El grado en el cual una actividad puede reducirse, está limitado por su tiempo a duración mínima. Sin embargo, deben tomarse en cuenta otros límites antes de que pueda determinarse la reducción exacta.

El resultado de reducir una actividad es un programa nuevo, quizá con una nueva ruta crítica. El costo asociado al nuevo programa debe ser mayor que el del inmediato anterior. El nuevo programa debe considerarse ahora para reducción, seleccionando



la actividad crítica (sin duración mínima) con la mínima pendiente. El procedimiento se repite hasta que todas las actividades *críticas* estén en sus tiempos de duración mínima. El resultado final de los cálculos anteriores es una curva de tiempo-costo para los diferentes programas y sus costos correspondientes. Una curva característica se muestra con línea continua en la figura 2.8. Esta, como se indicó anteriormente, representa solamente los costos directos.

FIGURA 2.8



Fuente: Hamdy A. Taha et. al (2004).

Es lógico suponer que cuando aumenta la duración del proyecto, los costos *indirectos* deben aumentar también como se muestra en la figura 2-8 con línea punteada. La suma de estos dos costos (directo + indirecto) da el costo total del proyecto. El programa óptimo corresponde al costo total mínimo.

2.1.5 Control del Proyecto.

Existe la tendencia entre algunos usuarios PERT-CPM a pensar que el diagrama de flechas puede descartarse tan pronto



se haya desarrollado el programa de tiempo.

Esto no es así. En efecto, un uso importante del diagrama de flechas ocurre durante la fase de ejecución del proyecto. Raras veces sucede que la fase de planeación desarrollará un programa de tiempos que pueda seguirse exactamente durante la fase de ejecución. Muy a menudo algunos de los trabajos se demoran o se aceleran. Esto, naturalmente, depende de las condiciones reales de trabajo. Tan pronto como tales disturbios ocurren en el plan original, se hace necesario desarrollar un nuevo programa de tiempos para la parte restante del proyecto. Esta sección delinea un procedimiento para monitoreo y control del proyecto durante la fase de ejecución.

Es importante seguir el progreso del proyecto en el diagrama de flechas, más que en el programa de tiempos solamente. El programa de tiempos se utiliza principalmente para verificar si cada actividad está en tiempo. El efecto de una demora en cierta actividad sobre la parte restante del proyecto, puede visualizarse mejor sobre el diagrama de flechas.

Suponga que en cuanto el proyecto progresa en el tiempo, se descubriera que la demora de algunas actividades, hace necesario desarrollar un programa totalmente nuevo. ¿Cómo puede efectuarse esto usando el presente diagrama de flechas? La necesidad inmediata es actualizar el diagrama de flechas asignando valores cero a las duraciones de las actividades que se han terminado. A las actividades parcialmente terminadas se les asignan tiempos equivalentes a sus partes no terminadas. También deben hacerse los cambios en el diagrama de flechas,



tales como añadir o desechar cualquier actividad futura. Repitiendo los cálculos usuales sobre el diagrama de flechas con sus nuevos elementos de tiempo, se puede determinar el nuevo programa de tiempos y cambios posibles en la duración del proyecto. Tal información se utiliza hasta que es necesario actualizar el programa de tiempos nuevamente. En situaciones reales se requieren normalmente muchas revisiones del programa de tiempos en las primeras etapas de la fase de ejecución. Sigue luego un periodo estable, en el cual se requiere poca revisión del programa actual.

2.2 Programación Lineal: Método SIMPLEX

2.2.1 Conceptos Generales del Método SÍMPLEX

El método gráfico demuestra que la PL óptima está siempre asociada con un punto extremo o de esquina, del espacio de soluciones. Esta idea conduce precisamente a la creación del método símplex. Básicamente, lo que hace el método símplex es trasladar la definición geométrica del punto extremo a una definición algebraica. Durante la presentación del método símplex deberá tenerse en mente este detalle.

¿Cómo identifica el método simplex los puntos extremos en forma algebraica?

Como paso inicial, el método simplex necesita que cada una de las restricciones esté en una forma estándar especial en la que todas las restricciones se expresan como ecuaciones, mediante la adición de variables de holgura o de exceso, según



sea necesario. Este tipo de conversión conduce normalmente a un conjunto de ecuaciones simultáneas donde el número de variables excede al número de ecuaciones, lo que generalmente significa que las ecuaciones dan un número infinito de puntos solución. Los puntos extremos de este espacio pueden identificarse algebraicamente por medio de las soluciones básicas del sistema de ecuaciones simultáneas. De acuerdo con la teoría del álgebra lineal, una solución básica se obtiene igualando a cero las variables necesarias con el fin de igualar el número total de variables y el número total de ecuaciones para que la solución se única, y luego se resuelve el sistema con las variables restantes. Fundamentalmente, la transición del procedimiento gráfico al algebraico se basa de la siguiente relación importante.

Puntos extremos \Leftrightarrow soluciones básicas

Al no tener un espacio de soluciones gráficas que nos guíe hacia el punto óptimo, necesitamos un procedimiento que identifique de forma inteligente las soluciones básicas promisorias. Lo que hace el método simplex, es identificar una solución inicial y luego moverse sistemáticamente a otras soluciones básicas que tengan el potencial de mejorar el valor de la función objetivo. Finalmente, la solución básica correspondiente a la óptima será, identificada con lo que termina el proceso de cálculo. En efecto, el método simplex es un procedimiento de cálculo iterativo donde cada iteración está asociada con una solución básica.

La determinación de una solución básica en el método simplex, implica detalles tediosos de cálculo. Tales detalles no



deben de distraernos de la idea fundamental del método: generar soluciones básicas sucesivas, de manera que nos conduzcan al punto extremo óptimo. Todos los detalles de cálculo son secundarios a esta idea básica, y así es como debemos tratarlos.

2.2.2 Creación del Método SÍMPLEX.

En esta sección presentamos los detalles del método símplex. Comenzamos con la elaboración de la forma estándar necesaria para representar el espacio de soluciones de la PL, por medio de un sistema de ecuaciones simultáneas. El resto de la exposición muestra como se determina selectivamente las soluciones básicas sucesivas, con el fin de alcanzar el punto de solución óptima en un número finito de iteraciones.

Conforme se estudie el resto de este capítulo, el lector se relacionará con dos variantes del método símplex: los algoritmos del método símplex primal y los del símplex dual. En apariencia los dos métodos parecen ser diferentes. Esto no es el caso y de hecho lo fundamental de los dos algoritmos se basan en la idea que los puntos extremos del espacio de soluciones son completamente identificables por las soluciones básicas del modelo de PL. Básicamente, los dos algoritmos parecen ser diferentes por que están diseñados para sacar ventajas de la estructuración inicial especial del modelo de PL. Este punto se enfatizará conforme presentemos los detalles de los dos procedimientos.



2.2.2.1 Forma Estándar del Método de PL.

Un modelo de PL puede incluir restricciones de los tipos de \leq , $=$ y \geq . Además, las variables pueden ser no negativas o irrestrictas (no restringidas) en signo. Para desarrollar un método de solución general, el problema de programación lineal debe ponerse en un formato común, al que llamamos la forma estándar. Las propiedades de la forma de PL estándar son:

- Todas las restricciones son ecuaciones [con los segundos miembros no negativos, si el modelo se resuelve por medio del método símplex primal].
- Todas las variables son no negativas.
- La función objeto puede ser la maximización o la minimización.

Como se explicará después, la segunda propiedad que exige que todas las variables sean no negativas, es crucial en el desarrollo de los métodos símplex (primal y dual).

Ahora demostremos cómo se puede poner cualquier modelo de PL en el formato estándar.

A Restricciones.

1. Una restricción del tipo \leq (\geq) puede convertirse en una ecuación mediante la suma de una variable de holgura a (o restando una variable de exceso de) el primer miembro de la restricción.

Por ejemplo, en la restricción.



$$X_1 + 2x_2 \leq 6$$

Sumamos una holgura $s_1 \geq 0$ al primer miembro para obtener la ecuación

$$X_1 + 2x_2 + s_1 = 6, \quad s_1 \geq 0$$

Después, considérese la restricción:

$$3x_1 + 2x_2 - 3x_3 \geq 5$$

Como el primer miembro no es menor que el segundo, restamos una variable de exceso $s_2 \geq 0$ del primer miembro para obtener la ecuación:

$$3x_1 + 2x_2 - 3x_3 - s_2 = 5, \quad s_2 \geq 0$$

2. El segundo miembro de una ecuación puede hacerse siempre no negativa multiplicando ambos lados por -1 .

Por ejemplo, la ecuación:

$$2x_1 + 3x_2 - 7x_3 = -5, \text{ es matemáticamente equivalente}$$

$$A \quad -2x_1 - 3x_2 + 7x_3 = +5.$$

3 La dirección de una desigualdad se invierte cuando ambos miembros se multiplican por -1 .



Por ejemplo, dado que $2 < 4$, $-2 > -4$; entonces se tiene que la desigualdad $2x_1 - x_2 \leq -5$, se puede remplazar por $-2x_1 + x_2 \geq 5$.

B. Variables.

Una variable irrestricta (o no restringida) y_i puede expresarse en término de dos variables no negativas mediante el uso de la sustitución.

$$y_i = y'_i - y''_i \quad y'_i, y''_i \geq 0$$

La sustitución debe efectuarse en todas las restricciones y en la función objetivo.

El problema de programación lineal normalmente se resuelve en términos de y'_i y y''_i , de los cuales y_i se determina por sustitución inversa. Una propiedad interesante de y'_i y y''_i , es que en la solución óptima (símplex) de PL, solo una de las dos variables puede tomar un valor positivo, pero nunca ambas. Por lo tanto, cuando $y'_i > 0$, $y''_i = 0$ y viceversa. En el caso donde y'_i (irrestricta) representa holgura y exceso, podemos considerar que y'_i es una variable de holgura y que y''_i es una variable de exceso por que solo una de las dos puede tomar un valor positivo a la vez.



C. Función objetivo.

Aunque el modelo estándar de programación lineal puede ser utilizado para resolver problemas del tipo de maximización o de minimización, algunas veces sirve para convertir una forma a la otra.

La maximización de una función equivalente a la minimización del negativo de la misma función y viceversa.

Por ejemplo:

$$\text{Maximizar } z = 5x_1 + 2x_2 + 3x_3$$

Es matemáticamente equivalente a:

$$\text{Minimizar } (-z) = -5x_1 - 2x_2 - 3x_3$$

Equivalencia significa que para el mismo conjunto de restricciones los valores óptimos de x_1 , x_2 , x_3 son los mismos en ambos casos. La única diferencia es que los valores de las funciones, pese a ser numéricamente iguales, figuras con signos opuestos.

Ejemplo.

Escriba el siguiente de PL en la forma estándar

$$\text{Minimizar } z = 2x_1 + 3x_2$$

Sujeto a:

$$x_1 + x_2 = 10$$

$$-2x_1 + 3x_2 \leq -5$$



$$7x_1 - 4x_2 \leq 6$$

x_1 irrestricta

$$x_2 \geq 0$$

Se debe efectuar los cambios siguientes.

- Súmese holgura $s_2 \geq 0$ al primer miembro de la segunda restricción.
- Sume una variable de holgura $s_3 \geq 0$ al primer miembro de la tercera restricción.
- Sustituya $x_1 = x'_1 = x''_1$ donde $x_1, x''_1 \geq 0$, en la función objetivo y en todas las restricciones.

Por lo tanto, obtenemos la forma estándar como

$$\text{Minimizar } z = 2x'_1 - 2x''_1 + 3x_2$$

Sujeto a:

$$x'_1 - x''_1 + x_2 = 10$$

$$-2x'_1 + 2x''_1 + 3x_2 + s_2 = -5$$

$$7x'_1 - 7x''_1 - 4x_2 + s_3 = 6$$

$$x'_1, x''_1, x_2, s_2, s_3 \geq 0$$

Si se desea que los segundos miembros de las ecuaciones sean positivos, implemente multiplíquese ambos lados de la segunda ecuación por -1 .



2.2.2.2 Soluciones Básicas.

Consideremos el modelo estándar de PL definido como m ecuaciones y n incógnitas. Una solución básica asociada se determina haciendo $n-m$ variables iguales a cero y luego resolviendo las m ecuaciones con las restantes m variables, siempre que la solución resultante exista y sea única. Para ilustrar esto, consideremos el siguiente sistema de ecuaciones.

$$\begin{aligned}2x_1 + x_2 + 4x_3 + x_4 &= 2 \\ x_1 + 2x_2 + 2x_3 + x_4 &= 3\end{aligned}$$

En este ejemplo tenemos $m = 2$ y $n = 4$. Entonces, una solución básica está asociada con $n-m = 4 - 2 = 2$ variables nulas. Esto significa que el conjunto de ecuaciones dado tiene $n! / (m! (n-m)!)$ = $4! / (2!2!) = 6$ posibles soluciones básicas.

Decimos soluciones básicas “posibles” por que algunas combinaciones pueden no conducir en absoluto a soluciones básicas. Por ejemplo, considérese la combinación donde x_2 y x_4 se hacen igual a cero. En este caso el sistema se reduce a:

$$\begin{aligned}2x_1 + 4x_3 &= 2 \\ x_1 + 2x_3 &= 3\end{aligned}$$

Las dos ecuaciones son inconsistentes y, por consiguiente, no existe una solución.

La conclusión es que x_1 y x_3 no pueden constituir una solución básica y por ello, no corresponden a un punto extremo.



En forma alternativa, consideremos el caso en donde x_3 y x_4 se hacen igual a cero

Esto da las ecuaciones:

$$2x_1 + x_2 = 2$$

$$x_1 + 2x_2 = 3$$

La solución única correspondiente ($x_1 = 1/3$, $x_2 = 4/3$), junto con $x_3 = 0$ y $x_4 = 0$, define una solución básica y, por lo tanto, un puerto extremo del espacio de soluciones de la PL.

En la PL nos referimos a las $n-m$ variables que se hacen iguales a cero como variables no básicas y, a las m variables restantes como, variables básicas (por supuesto, siempre que exista una solución única). Se dice que una solución básica es factible si todos los valores de una solución son no negativos.

Un ejemplo de este caso es la solución factible básica ($x_1 = 1/3$, $x_2 = 4/3$, $x_3 = 0$, $x_4 = 0$). Para ilustrar el caso de una solución básica infactible, consideremos la combinación donde las variables no básicas son $x_1 = 0$ t $x_2 = 0$. Las ecuaciones anteriores dan.

$$4x_3 + x_4 = 2$$

$$2x_3 + x_4 = 3$$

La solución básica correspondiente es ($x_3 = -1/2$, $x_4 = 4$). que es infactible por que x_3 es negativa.

En la resolución del problema de PL, nos interesaran las soluciones básicas, tanto factibles como infactibles. Específicamente veremos que todas las interacciones del método



símplex primal siempre están asociados sólo con soluciones básicas factibles. Por otra parte, el método símplex dual trata con soluciones básicas infactibles hasta la última interacción, donde la solución básica asociada debe ser factible. En esencia, el método símplex primal solo trata con puntos extremos, en tanto que el método símplex dual todas las iteraciones, excepto la última, están asociados con puntos extremos infactibles. Al final, ambos métodos dan soluciones básicas factibles como lo espiritual la condición de no negatividad del modelo de PL.

2.2.3 Método SÍMPLEX PRIMAL.

El método símplex primal parte de una solución básica factible (punto extremo) y se continúa iterando a través de soluciones básicas factibles sucesivas hasta alcanzar el óptimo. La figura 2-9 ilustra la aplicación de este proceso al modelo. El proceso comienza en el origen extremo (punto A) y se mueve a lo largo del borde AB del espacio de soluciones hasta el punto extremo adyacente B (iteración 1). De B se mueve a lo largo del borde BC hasta el punto extremo adyacente C (iteración 2), que es el óptimo. Obsérvese que el procedimiento no es capaz de cortar a través del espacio de soluciones (por ejemplo de A a C) si no que siempre debe moverse a lo largo de bordes entre puntos extremos adyacentes.

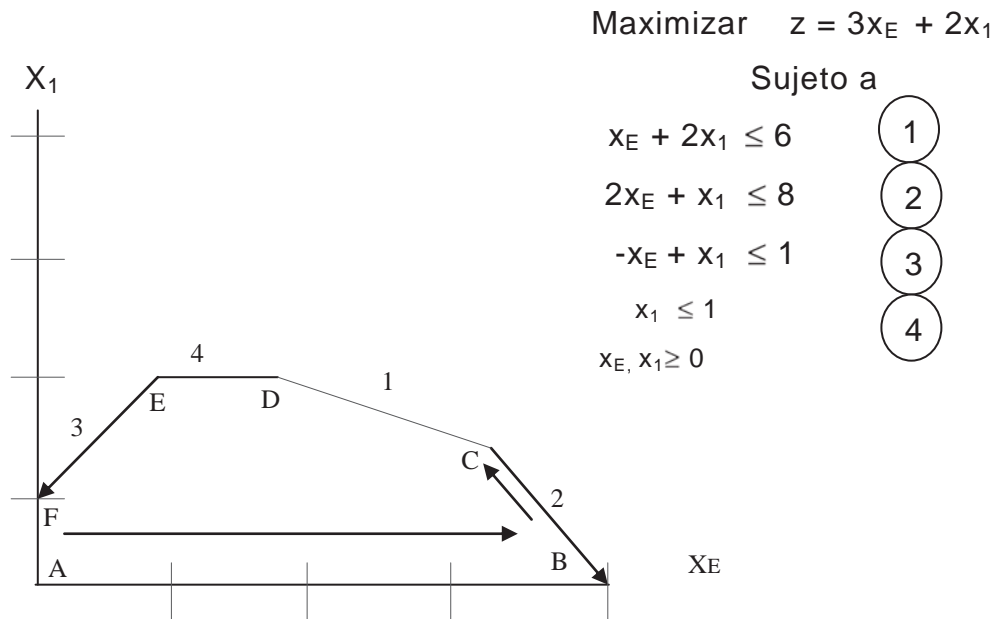
¿Cómo se expresa algebraicamente el procedimiento iterativo indicado antes? Todo lo que tenemos que hacer es mostrar como se identifican los puntos extremos, tales como el A, B y C, sin utilizar la gráfica del espacio de soluciones. Consideremos el modelo dado en seguida en la forma estándar:



maximizar $z = 3x_E + 2x_1 + 0s_2 + 0s_3 + 0s_4$

Sujeto a:

Figura 2.9



Fuente: Hamdy A. Taha et. al (2004).

$$\begin{array}{rcl} x_E + 2x_1 + s_1 & & = 6 \\ 2x_E + x_1 & + s_2 & = 8 \\ -x_E + x_1 & + s_3 & = 1 \\ & x_1 & + s_4 = 2 \end{array}$$

$$x_E, x_1, s_1, s_2, s_3, s_4 \geq 0$$

El modelo tiene $m = 4$ ecuaciones y $n = 6$ variables. De esta manera, el número de variables no básicas (nulas) debe ser igual a $6-4 = 2$. Si escogemos $x_1 = 0$ y $x_2 = 0$ como las variables no



básicas, inmediatamente, y sin ningún cálculo, obtenemos la solución básica factible $s_1 = 6$, $s_2 = 8$, $s_3 = 1$, $s_4 = 2$ (el punto origen A en la figura 2-9). Esta solución básica representa la solución inicial (o iteración) del método símplex. El valor objetivo correspondiente se determina expresando la función objetivo en la siguiente forma (a la que nos referimos con la ecuación z).

$$Z - 3x_E - 2x_1 = 0$$

Puesto que x_E y x_1 en A son cero, el valor asociado de z lo da automáticamente el segundo miembro en la ecuación anterior (= 0). La fácil determinación algebraica de la solución básica inicial en el modelo se debe a que:

1. Cada ecuación tiene una variable de holgura.
2. Los segundos miembros de las restricciones son no negativos.

La primera propiedad garantiza que el número de holgura es igual a número de ecuaciones. Así, las variables restantes pueden usarse como variables no básicas (cero). Como por la segunda propiedad los segundos miembros de las ecuaciones son no negativos, la solución básica resultante es automáticamente factible, como se necesita en el método simplex primal.

El siguiente paso lógico a la identificación de la solución inicial, es investigar el desplazamiento a una nueva solución básica. Desde el punto de vista de optimización, nos interesa pasar a otra solución básica, solo si podemos discernir mejoras en el valor de la función objetivo. Primero, téngase en cuenta que



una nueva solución básica se asegura sólo al hacer básica, por lo menos, una de las variables actuales no básicas (cero). En el método símplex se hace el cambio de las variables no básicas, una a la vez. Intuitivamente, tal variable no básica puede llevarse a la solución solo si mejora el valor de la función objetivo. En términos del modelo, x_E y x_1 son no básicas ($= 0$) en A. Observando la ecuación z objetivo.

$$Z - 3x_E - 2x_1 = 0$$

Constatamos que un incremento unitario de x_E aumentará a z en 3 y, un incremento unitario de x_1 acrecentará a z en 2. Puesto que se trata de una maximización, cualquiera de las dos variables puede mejorar el valor objetivo. Sin embargo, para generar una regla no ambigua de cálculo, el método símplex utiliza un procedimiento heurístico; o sea, en el caso de una maximización, la variable no básica seleccionadas aquella con el coeficiente más negativo en la ecuación z objetivo.

Utilizando tal procedimiento heurístico se espera (pero no se garantiza), que el método símplex produzca los “saltos” máximos en el valor objetivo pasa de una iteración a otra, alcanzando así al óptimo en el menor número de iteraciones. La aplicación de esta condición al modelo da como resultado considerar a x_E como la variable que entra, o en variable entrante.

La nueva solución básica obtenida al admitir a la variable que entra, debe incluir exactamente m variables básicas. Esto significa que una de las variables básicas actuales debe salir de la solución. En el ejemplo, la variable que sale o variable saliente



debe ser una de las variables s_1 , s_2 , s_3 , o s_4 . Observando la figura 2-9, notamos que el valor de la variable entrante de la nueva solución corresponde al punto B. Cualquier incremento más allá de este punto nos situara fuera del espacio factible. De acuerdo con la definición de las restricciones, esto significa que s_2 (asociado con la restricción 2) será igual a cero, lo que indica que s_2 es la variable saliente.

Podemos seleccionar la variable saliente, directamente a partir de las ecuaciones de restricción, calculando las intersecciones no negativas de todas las restricciones con el eje x_E . La menor de tales intersecciones identificará la variable saliente. En el modelo Reddy Mikks sólo las restricciones 1 y 2 intersecan al eje x_E en la dirección positiva; estas intersecciones son iguales a $6/1=6$ y $8/2=4$ respectivamente. Como la menor intersección (= 4) está asociada con la segunda restricción, la variable básica s_2 debe salir de la solución.

¿Cómo podemos automatizar el proceso de seleccionar la variable saliente, sin ayuda del espacio de soluciones gráficas? Lo único que se tiene que hacer es calcular las intersecciones de las restricciones con el eje x_E , como la razón del segundo miembro al coeficiente de restricción correspondiente de x_E , o sea:

$$\text{Intersección de la restricción 1} = 6/1 = 6$$

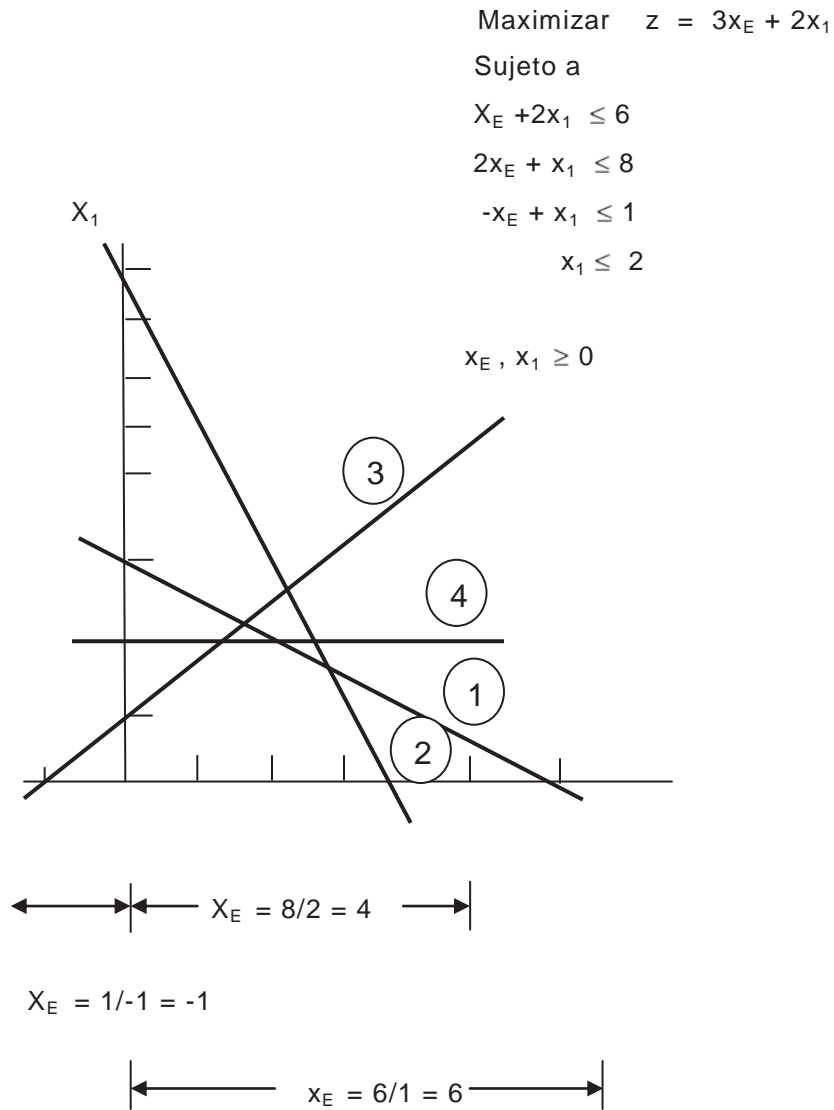
$$\text{Intersección de la restricción 2} = 8/2 = 4$$

$$\text{Intersección de la restricción 3} = 1/-1 = -1$$



Intersección de la restricción 4 = $2/0 = \text{infinito}$

Figura 2.10



Fuente: Hamdy A. Taha et. al (2004).

Las primeras tres intersecciones se indican en la figura 2.10. La cuarta intersección no puede mostrarse porque la restricción 4 es paralela al eje x_E . No nos interesa la tercera intersección porque



en negativa, lo que significa que la tercera restricción no limita a x_E en la dirección positiva. Tampoco estamos interesados en la en la restricción 4, ya que esta no interseca al eje x_E en algún punto. Esto sólo deja intersecciones 1 y 2, concluyéndose que s_2 debe ser la variable saliente. En un sentido mecánico, podemos automatizar el proceso anterior considerando sólo aquellas restricciones que tienen coeficiente de restricción estrictamente positivos para la variable entrante.

Los procedimientos presentados antes para seleccionar las variables entrantes y salientes se denominan condiciones de optimidad y factibilidad. Nótese que la condición de factibilidad (intersección mínima) es igualmente aplicable tanto a problemas de maximización. Por otra parte, la condición de optimidad para el problema de maximización como de minimización. Por otra parte, la condición de optimidad para el problema de minimización difiere debido a que la variable entrante está asociada con el coeficiente no básico más positivo (en comparación con el más negativo en el caso de maximización).

A continuación damos un resumen formal de las dos condiciones símplex:

Condición de optimidad: La variable entrante es una maximización (en una minimización) es la variable no básica, con el coeficiente más negativo (más positivo) en la ecuación z objetivo. Un empate puede romperse arbitrariamente. El óptimo se alcanza cuando todos los coeficientes no básicos en ecuación z son no negativos (no positivos).



Condición de factibilidad: Tanto en problemas de maximización como de minimización, la variable saliente es la variable básica actual, con la menor intersección (razón mínima con denominador estrictamente positivo) en la dirección de la variable entrante. Un empate se rompe arbitrariamente.

Estamos listos para enunciar los pasos iterativos formales del método símplex primal:

Paso 0: Usando la forma estándar (con los segundos miembros no negativos), determine una solución inicial básica factible.

Paso 1: Seleccione una variable entrante entre las variables actuales no básicas usando condición de optimidad.

Paso 2: Seleccione la variable saliente entre las variables actuales básicas, usando la condición de factibilidad.

Paso 3: Determine los valores de las nuevas variables básicas, haciendo en la variable entrante básica y a la variable saliente no básica. Vuelva al paso 1.

No es difícil darse cuenta que el método símplex primal se basa en consideraciones muy plausibles. Específicamente, es una solución básica dada (punto extremo) buscando una nueva solución básica, solo si un incremento en los valores de cualquiera de las variables no básicas actuales puede mejorar el valor objeto (condición de optimidad). Si encontramos esa variable no básica, debe salir de la solución una de las variables básicas actuales para satisfacer el requisito que el número de



variables básicas sea exactamente igual a m . La selección de la variable saliente se hace mediante la condición de factibilidad. El proceso de intercambiar una variable básica por una no básica equivale a moverse entre puntos extremos adyacentes a lo largo de los bordes del espacio de soluciones (véase la figura 2-10). Esto es una realidad todo lo que hace el método símplex primal, Sin embargo, el lector deberá proponer atención a la siguiente recomendación.

Cuando empezamos a explicar como se usa el método de Gauss- Jordan para intercambiar las variables salientes y entrantes, encontraremos detalles de cálculo que son a la vez monótonos y tediosos. Nuestra larga experiencia pedagógica nos advierte que a la mayoría de los principiantes los “absorben” esos detalles y por eso dejan de percibir lo fundamental del método símplex. Para evitar esto, recuérdese que el principal objetivo del procedimiento de cálculo de Gauss-Jordan es transformar las ecuaciones, de manera que nos permitan obtener una nueva solución básica mediante la asignación de valores cero a las variables actuales no básicas.

Aparte de esto, el procedimiento de Gauss-Jordan no tiene especificación especial lo que se refiere al método símplex.

En lo que debe concentrarse el lector en este capítulo, es en las interpretaciones de las soluciones obtenidas mediante el procedimiento de Gauss- Jordan. Esto será la base de nuestra exposición.

*Ejemplo.*

Usaremos el modelo para explicar los detalles de cálculo del método símplex primal. Esto exigirá expresar el problema en la forma estándar. Una manera conveniente de resumir las ecuaciones es por medio de la siguiente tabla.

Básica	Z	x_E	x_1	s_1	s_2	s_3	s_4	Solución	
z	1	- 3	- 2	0	0	0	0	0	Ecuación z
s_1	0	1	2	1	0	0	0	6	Ecuación s_1
s_2	0	2	1	0	1	0	0	8	Ecuación s_2
s_3	0	- 1	1	0	0	1	0	1	Ecuación s_3
s_4	0	0	1	0	0	0	1	2	Ecuación s_4

Esta tabla corresponde a la solución básica inicial del modelo. La información en la tabla se lee de la siguiente manera. La columna “básica” identifica las variables básicas actuales s_1 , s_2 , s_3 , y s_4 , cuyos valores se dan en la columna “solución”. Esto supone implícitamente que las variables no básicas x_E y x_1 (aquellas no presentes en la columna “básica”) tiene valor de cero. El valor correspondiente de la función objetivo es $z = 3 \times 0 + 2 \times 0 + 0 \times 6 + 0 \times 8 + 0 \times 1 + 0 \times 2 = 0$, como se muestra en la columna solución.

Al aplicar la condición de optimidad, x_E tiene el coeficiente más negativo en la ecuación z y por ello, se escoge como la variable entrante. La condición de factibilidad muestra que s_2 corresponde a la menor intersección por lo que deberá salir de la solución.



Después de identificar las variables entrantes y salientes, necesitamos determinar la nueva solución básica que debe incluir ahora a s_1 , x_E , s_3 , y s_4 . Esto se logra aplicando el método de eliminación de Gauss – Jordan. El método comienza identificando la columna debajo de la variable x_E como la columna entrante o de entrada. El renglón asociado con la variable saliente se denominará ecuación pivote, y el elemento en la intersección de la columna de entrada y la ecuación pivote se denominará elemento pivote. La siguiente tabla resume estas definiciones.

Columna de
entrada
↓

Básica	z	x_E	x_1	s_1	s_2	s_3	s_4	Solución	Intersecciones x_E (razones)
z	1	-3	-2	0	0	0	0	0	
s_1	0	1	2	1	0	0	0	6	$6/1 = 6$
s_2	0	2	1	0	1	0	0	8	$8/2 = 4$ Ec. pivote
s_3	0	1	1	0	0	1	0	1	
s_4	0	1	0	0	0	0	1	2	

Elemento
Pivote

Con el método Gauss – Jordan se efectúa un cambio de base empleado dos operaciones de cálculo:

1. Ecuación pivote :



Nueva ecuación pivote = ecuación pivote ÷ elemento pivote.

2. Las demás ecuaciones, incluyendo z

$$\text{Nueva ecuación} = (\text{ecuación anterior}) - \left[\begin{array}{c} \text{Coeficiente} \\ \text{de la Columna} \\ \text{Entrante} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} \text{nueva ecuación} \\ \text{pivote} \end{array} \right]$$

Estos dos tipos de operaciones de cálculo necesariamente generan la nueva solución básica, al sustituir la variable entrante en los dos renglones, excepto en la ecuación pivote.

Al aplicar los cálculos del tipo 1 a la tabla anterior, dividimos la ecuación s_2 entre el elemento pivote 2. Como x_E toma el lugar de s_2 en la columna básica, los cálculos del tipo 1 cambiarán la tabla inicial como se muestra a continuación.

Básica	z	x_E	x_1	s_1	s_2	s_3	s_4	Solución
z								
s_1								
x_E	0	1	1/2	0	1/2	0	0	8/2 = 4
s_3								
s_4								

Nótese que la columna “solución” da el nuevo valor de x_E (=4), que es igual a la razón mínima de la condición de factibilidad.

Para completar la tabla, realizamos los siguientes cálculos de tipo 2.



1. Ecuación z:

Ecuación z anterior: (1 -3 -2 0 0 0 0 0)
 - (-3) X nueva ecuación pivote: (0 3 3/2 0 3/2 0 0 12)
 = nueva ecuación z: (1 0 -1/2 0 3/2 0 0 12)

2. Ecuación s₁ :

Ecuación s₁ anterior: (0 1 2 1 0 0 0 6)
 -(1) X nueva ecuación pivote: (0 -1 -1/2 0 -1/2 0 0 -4)
 = nueva ecuación s₁: (0 0 3/2 1 -1/2 0 0 2)

3. Ecuación s₃ :

Ecuación s₃ anterior: (0 -1 1 0 0 1 0 1)
 -(-1) X nueva ecuación pivote: (0 1 1/2 0 1/2 0 0 4)
 = nueva ecuación s₃: (0 0 3/2 0 1/2 1 0 5)

4. **Ecuación s₄:** La nueva ecuación s₄ es la misma que la ecuación s₄ anterior por que su coeficiente de la columna de entrada es cero.

Por lo tanto, la nueva tabla completa se ve como sigue:

Básica	z	x _E	x ₁	s ₁	s ₂	s ₃	s ₄	Solución	Intersecciones x ₁ (razones)
z	1	0	-1/2	0	3/2	0	0	12	
s ₁	0	0	3/2	1	-1/2	0	0	2	2 % 3/2 = 4/3
x _E	0	1	1/2	0	1/2	0	0	4	4 % 1/2 = 8
s ₃	0	0	3/2	0	1/2	1	0	5	5 % 3/2 = 10/3
s ₄	0	0	1	0	0	0	1	2	2/1=2



La nueva solución resulta ser $x_E = 4$ y $x_1 = 0$ (punto B en la figura 2-10). El valor de z ha aumentado de 0 a 12. El incremento se debe a que cada incremento unitario en x_E aumenta 3 al valor de z ; por lo tanto, el incremento total en z es $3 \times 4 = 12$.

Nótese que la nueva tabla tiene las mismas propiedades de la anterior es decir, cuando se igualan a cero las variables no básicas x_1 y s_2 , los valores de las variables básicas se dan de inmediato en la columna de soluciones. Esto es lo que hace el método Gauss- Jordan.

Examinando la última tabla, la condición de optimidad selecciona x_1 como la variable que entra debido a que su coeficiente en x es $-1/2$. Por lo tanto la condición de factibilidad demuestra de la variable s_1 es la variable que sale. Las razones que se muestran en la última tabla indican que x_1 introduce como solución básica el valor $4/3$ (= razón mínima), con lo que se mejora el valor de la función objetivo en $(4/3) \times (1/2) = 2/3$.

La siguiente operación de Gauss- Jordan producirá la nueva tabla.

- i. Nueva ecuación pivote (s_1) = ecuación s_1 anterior / $(3/2)$.
- ii. Nueva ecuación z = ecuación z anterior - $(-1/2)$ X nueva ecuación pivote.
- iii. Nueva ec. X_E = ec. X_E anterior - $(1/2)$ X nueva ec. Pivote.
- iv. Nueva ec. S_3 = ec. S_E anterior - $(3/2)$ X nueva ec. Pivote.
- v. Nueva ec. S_4 = ec. S_4 anterior - (1) X nueva ec. Pivote.



Estos cálculos nos llevan a la tabla siguiente:

Básica	z	x_E	x_1	s_1	s_2	s_3	s_4	Solución
z	1	0	0	1/3	4/3	0	0	12 2/3
s_1	0	0	1	2/3	-1/3	0	0	4/3
x_E	0	1	0	-1/3	2/3	0	0	10/3
s_3	0	0	0	-1	1	1	0	3
s_4	0	0	0	-2/3	1/3	0	1	2/3

La solución da como resultado $x_E = 3$ y $x_1 = 1$ (punto C en la figura 2.10)

El valor de z ha aumentado de 12 en la tabla anterior a 12 2/3. El incremento $(12 2/3 - 12) = 2/3$ es el resultado de que x_1 aumente de 0 a 4/3, donde cada incremento de una unidad contribuye en 1/2 a la función objetivo. Por lo tanto el incremento total en z es igual a $(4/3) \times (1/2) = 2/3$.

La última tabla es óptima por que ninguna de las variables no básicas tiene un coeficiente negativo en la función z. Esto completa los cálculos del método símplex.

2.2.3.1 Solución Inicial Artificial para el Método SÍMPLEX PRIMAL

En el método todas las restricciones son del tipo \leq . Esta propiedad, junto con el hecho que el segundo miembro de todas las restricciones es no negativo, nos proporciona una solución factible básica inicial que contiene todas las variables de holgura. Tales condiciones no se satisfacen en todos los modelos de PL, lo que hace necesario diseñar un procedimiento de cálculo automático para comenzar las iteraciones símplex. Esta tarea se



logra agregando variables artificiales, donde sea necesario para utilizarlas como variables de holgura. Sin embargo, como tales variables artificiales no tienen significado físico en el modelo original (de ahí el nombre de artificiales), deben tomarse medidas para llevarlas al nivel cero en la iteración óptima. En otras palabras, las utilizamos para comenzar la solución y las eliminaremos una vez que hayan cumplido su propósito.

Llevemos acabo esta tarea utilizando la retroalimentación de información, que ara a esas variables atractivas desde el punto de vista de la optimización. Una manera lógica de llevar acabo este objetivo es el de penalizar las variables artificiales en la función objetivo. Para este propósito existen dos métodos (muy relacionados) que se basan en la utilización de las penalizaciones:

(1) La técnica m o método de penalización y (2) la técnica de dos fases. A continuación se dan los detalles de estas dos técnicas.

A. La técnica M (método de penalización)

Describiremos este método por medio del siguiente ejemplo numérico:

$$\text{Minimizar } z = 4x_1 + x_2$$

Sujeto a:

$$3x_1 + x_2 = 3$$

$$4x_1 + 3x_2 \geq 6$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 4$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$



La forma estándar de este modelo es entonces:

$$\text{Minimizar } z = 4x_1 + x_2$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} 3x_1 + x_2 &= 3 \\ 4x_1 + 3x_2 - x_3 &= 6 \\ x_1 + 2x_2 + x_4 &= 4 \\ x_1, x_2, x_3, x_4 &\geq 0 \end{aligned}$$

La primera y segunda ecuaciones no tienen variables que desempeñen la función de una holgura. Por lo tanto, aumentamos las dos variables artificiales R_1 y R_2 en estas dos ecuaciones de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} 3x_1 + x_2 + R_1 &= 3 \\ 4x_1 + 3x_2 - x_3 + R_2 &= 6 \end{aligned}$$

Podemos penalizar a R_1 y R_2 en la función objetivo asignándoles coeficientes positivos muy grandes en la función objetivo. Sea $M > 0$ una constante muy grande; entonces la programación lineal con su variable artificial se transforma en:

$$\text{Minimizar } z = 4x_1 + x_2 + MR_1 + MR_2$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} 3x_1 + x_2 + R_1 &= 3 \\ 4x_1 + 3x_2 - x_3 + R_2 &= 6 \\ x_1 + 2x_2 + x_4 &= 4 \\ x_1, x_2, x_3, R_1, R_2, x_4 &\geq 0 \end{aligned}$$

Obsérvese el uso de las variables artificiales. Tenemos tres ecuaciones y seis incógnitas. Por lo tanto, la solución básica inicial debe incluir $6-3=3$ variables con valor cero. Si colocamos



x_1 , x_2 y x_3 , en el nivel cero, inmediatamente obtenemos la solución, $R_1 = 3$, $R_2 = 6$ y $x_4 = 4$, que es la solución factible inicial que se necesita.

Ahora, obsérvese la forma como el “nuevo” modelo hace que R_1 y R_2 sea cero. Como analizamos un proceso de minimización asignado, M a R_1 y R_2 en la función objetivo, el proceso de optimización que busca el valor mínimo de z asignara, por último, valores de cero a R_1 y R_2 en la solución óptima. Nótese que en las iteraciones inmediatas anteriores a la iteración óptima no son de importancia para nosotros. En consecuencia, resulta inmaterial si incluyen o no variables artificiales en el nivel positivo.

¿Cómo cambia la técnica M si maximizamos en vez de minimizar?, mediante el uso de la misma lógica de penalizar la variable artificial, debemos asignarles el coeficiente $-M$ de la función objetivo ($M > 0$), con lo cuál se vuelve poco atractivo mantener la variable artificial en un nivel positivo en la solución óptima.

B. La técnica de dos Fases

Como quedo ilustrado en el ejercicio anterior, una desventaja de la técnica M es el posible error de cálculo que puede resultar al asignarse un valor muy grande a la constante M . El método de dos fases se ha diseñado para aminorar esa dificultad. Aunque las variables artificiales se agregan de la misma manera en que la técnica M , el uso de la constante M se elimina resolviendo el problema en dos etapas (de ahí el nombre



método de “dos fases”) A continuación se delinearán estas dos fases.

Fase I. Aumentarse las variables artificiales según se necesite para asegurar una solución inicial. Fórmese una nueva función objetivo que busque la minimización de la suma de las variables artificiales sujeta a las restricciones del problema original modificado por las variables artificiales. Si el valor mínimo de la nueva función objetivo es cero (lo que significa que todas las artificiales son cero), el problema tiene un espacio de soluciones factible. Diríjase a la fase II. De lo contrario, si el mínimo es positivo, el problema no tiene solución factible. Deténgase.

Fase II. Utilícese la solución básica óptima de la fase I como solución inicial para el problema original.

Fase I. Como necesitamos variables artificiales R_1 y R_2 en la primera y segunda ecuaciones, el problema de la fase I se lee como:

$$\text{Minimizar } r = R_1 + R_2$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} 3x_1 + x_2 + R_1 &= 3 \\ 4x_1 + 3x_2 - x_3 + R_2 &= 6 \\ x_1 + 2x_2 + x_4 &= 4 \\ x_1, x_2, x_3, R_1, R_2, x_4 &\geq 0 \end{aligned}$$

Como R_1 y R_2 están en la solución inicial, deben sustituirse en la función objetivo



(Compárese con la técnica M) , en la forma siguiente :

$$\begin{aligned}
 r &= R_1 + R_2 \\
 &= (3 - 3x_1 - x_2) + (6 - 4x_1 - 3x_2 + x_3) \\
 &= -7 x_1 - 4 x_2 + x_3 + 9
 \end{aligned}$$

Por consiguiente, la tabla inicial se convierte en.

Básica	x ₁	x ₂	x ₃	R ₁	R ₂	x ₄	Solución
r	7	4	-1	0	0	0	9
R ₁	3	1	0	1	0	0	3
R ₂	4	3	-1	0	1	0	6
x ₄	1	2	0	0	0	1	4

La tabla óptima se obtiene en dos iteraciones y está dada por:

Básica	x ₁	x ₂	x ₃	R ₁	R ₂	x ₄	Solución
r	0	0	0	-1	-1	0	0
x ₁	1	0	1/5	3/5	-1/5	0	3/5
x ₂	0	1	-3/5	-4/5	3/5	0	6/5
x ₄	0	0	1	1	-1	1	1

Como el mínimo es $r = 0$, el problema tiene una solución factible y pasamos a la fase II.

Fase II. Las variables artificiales han servido ahora a su propósito y deben eliminarse en todos los cálculos subsiguientes. Esto



significa que las ecuaciones de la tabla óptima de la fase I se puede describir como

$$X_1 + 1/5x_3 = 3/5$$

$$x_2 - 3/5x_3 = 6/5$$

$$x_3 + x_4 = 1$$

Estas ecuaciones son exactamente equivalentes a las de la forma estándar del problema original (antes de que se sumen las variables artificiales). Por lo tanto, el problema original se puede escribir como:

$$\text{Minimizar } z = 4x_1 + x_2$$

Sujeto a:

$$X_1 + 1/5x_3 = 3/5$$

$$x_2 - 3/5x_3 = 6/5$$

$$x_3 + x_4 = 1$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$$

Como se puede apreciar, la contribución principal de los cálculos de la fase I consiste en proporcionar una solución inicial preparada al problema original. Como el problema tiene tres ecuaciones y cuatro variables, al hacer la variable $4-3=1$, es



decir, x_3 , igual a cero, inmediatamente obtenemos la solución factible básica inicial $x_1 = 3/5$, $x_2 = 6/5$ y $x_4 = 1$.

Para resolver el problema, necesitamos sustituir las variables básicas x_1 y x_2 en la función objetivo como se hizo en la técnica M. Esto se logra mediante el uso de las ecuaciones de restricciones de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} Z &= 4x_1 + x_2 \\ &= 4 \left[3/5 - 1/5x_3 \right] + \left[6/5 + 3/5x_3 \right] \\ &= -1/5x_3 + 18/5 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la tabla inicial para la fase II se convierte en:

Básica	x_1	x_2	x_3	x_4	Solución
z	0	0	1/5	0	18/5
x_1	1	0	1/5	0	3/5
x_2	0	1	-3/5	0	6/5
x_4	0	0	1	1	1

La tabla no es óptima, ya que x_3 debe entrar en la solución. Si realizamos los cálculos símplex, obtendremos la solución óptima en una iteración.

La eliminación de las variables artificiales al fin de la fase I se efectúa sólo cuando todas son no básicas (como lo ilustra el ejemplo anterior). Sin embargo, es posible que una o, más variables artificiales permanezcan básicas, pero al nivel cero al final de la fase I. En este caso, tal variable necesariamente debe



formar parte de la solución iniciadle la fase II. En si, los cálculos de la fase II deben modificarse para prevenir que una variable artificial resulte con un valor positivo durante las iteraciones de esta fase.

La regla para garantizar que una variable artificial cero nunca resulte positiva en la fase II, es sencilla. Obsérvese que en la columna de entrada, el coeficiente de restricción asociado con el renglón de la variable artificial puede ser positivo, cero o negativo, definirá automáticamente al elemento pivote (por que corresponderá a la razón mínima de cero) y la variable artificial saldrá necesariamente, de la solución básica para convertirse en no básica en la siguiente iteración. Si el coeficiente es cero, entonces, aunque el elemento pivote (por que corresponderá a la razón mínima de cero) y la variable artificial saldrá, necesariamente, de la solución básica para convertirse en no básica en la siguiente iteración. Si el coeficiente es cero, entonces, aunque el elemento pivote estará en alguna otra parte de la columna de entrada, la naturaleza de las operaciones en renglones garantiza que el renglón artificial permanezca sin cambio, lo cual deja a la variable artificial básica al nivel cero, tal como se quiere. El único caso restante es aquel del coeficiente negativo. En este caso, el elemento pivote se encontrará necesariamente en alguna otra parte de la columna de entrada y si la razón resultante mínima es positiva, la variable tendrá un valor positivo en la siguiente iteración:

Para impedir esto, todo lo que tenemos que hacer es obligar a salir a la variable artificial, seleccionando al coeficiente negativo como el elemento pivote de la iteración. Aunque (no se está



respetando) la regla de la razón mínima, no se está haciendo lo mismo con la factibilidad del problema (que es lo fundamental de la regla de la razón mínima, por que la variable artificial tiene valor de cero. De esta manera, cuando se efectúan las operaciones de renglón, el segundo miembro de la tabla permanecerá constante y por ello factible.

Para resumir la “nueva” regla para la fase II, estipula que la variable artificial salga de la solución básica en el momento en que su coeficiente de restricción en la columna de entrada adopte un valor diferente a cero (positivo o negativo). (De hecho, esta reglase puede aplicar a cualquier variable básica cero en cualquier tabla símplex sin temor de infringir la condición de factibilidad).

2.2.4 Método SÍMPLEX DUAL.

En esta sección utilizamos variables artificiales para resolver problemas de PL. que no tienen una solución factible básica inicial con sólo holguras, existe una clase de problemas de PL que no tiene una solución factible básica inicial con solo holguras, pero que pueden resolver sin utilizar variables artificiales. El procedimiento para resolver esta clase de problemas se llama método símplex dual. En este método la solución comienza siendo infactible y óptima (en comparación con el símplex primal que comienza siendo factible, pero no óptimo). Mostraremos primero la idea del método símplex dual en forma gráfica y luego en forma algebraica.



Consideremos en siguiente problema de PL:

$$\text{Minimizar } z = 3 x_1 + 2 x_2$$

Sujeto a:

$$3 x_1 + x_2 \geq 3$$

$$4 x_1 + 3 x_2 \geq 6$$

$$x_1 + x_2 \leq 3$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Si convertimos las restricciones a ecuaciones, aumentando variables de exceso u holgura, el problema puede expresarse como:

$$\text{Minimizar } z = 3 x_1 + 2 x_2$$

Sujeto a:

$$-3x_1 - x_2 + x_3 = -3$$

$$-4 x_1 - 3x_2 + x_4 = -6$$

$$x_1 + x_2 + x_5 = 3$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0$$

La forma anterior puede considerarse como la forma estándar del método símplex dual. La conversación se hace de tal manera que todas las variables de exceso, en las restricciones, tengan un coeficiente de + 1 multiplicando simplemente sus ecuaciones por -1 . En este caso el segundo miembro de la restricción resulta negativo. Podemos ver inmediatamente que la solución básica inicial



$$x_3 = -3, x_4 = -6, x_5 = 3$$

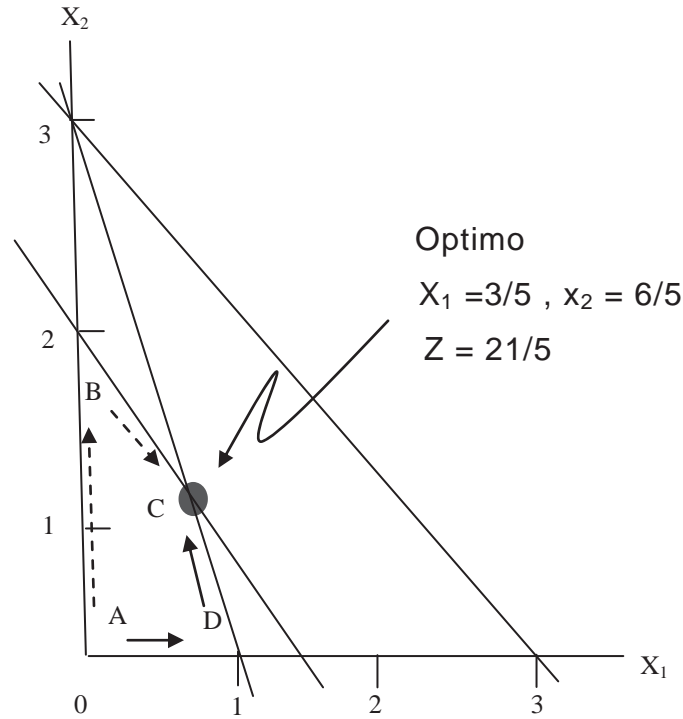
Es infactible. También es óptima (de hecho, mejor que óptima) por que el valor asociado de z es cero ($x_1 = x_2 = 0$), la que no puede ser menor para $x_1 \geq 0$ y $x_2 \geq 0$, por que todos sus coeficientes son positivos (3 y 2). Estas condiciones iniciales son características de las que se necesita en la aplicación del método símplex dual.

La idea general del procedimiento símplex dual es que mientras la primera iteración comienza siendo infactible y (mejor que) optima, las siguiente iteraciones se mueven hacia el espacio factible, sin perder jamás su propiedad de optimidad

(Recuérdese que el símplex regular mantiene la factibilidad a moverse hacia la optimidad). En la iteración donde la solución resulta factible por primera vez, el proceso termina. La figura 2.11 se ilustra esta idea gráficamente. La solución comienza en el punto A ($x_1 = x_2 = 0$ y $x_3 = -3, x_4 = -6, x_5 = 3$) con z es igual a cero, que es infactible con respecto al espacio de soluciones. La siguiente iteración se alcanza moviéndose.



Figura 2.11



Fuente: Hamdy A. Taha et. al (2004).

Al punto B ($x_1 = 0, x_2 = 2$) con z es igual a 4, que es aún infactible. Finalmente alcanzamos es punto C ($x_1 = 3/5, x_2 = 6/5$) en donde $z = 21/5$. Esta es la primera vez que encontramos una solución factible, lo que significa que el proceso de iteración a terminado. Nótese que las iteraciones podrían haber procedido en el orden $A \rightarrow D \rightarrow C$, con la misma conclusión. Veremos más adelante como el símplex dual selecciona una trayectoria específica. Nótese también que los valores de z asociados con A, B y C son 0, 4 y $4 \frac{1}{5}$, respectivamente, lo que explica por que la solución comienza en A, siendo mejor que óptima.



Las iteraciones símplex dual continúan estando asociadas con puntos extremos tal como en el método símplex primal. Por consiguiente las, iteraciones sucesivas se obtienen aplicando las operaciones regulares en renglones de Gauss–Jordan. La diferencia principal entre los dos procedimientos se reflejan en la manera de cómo se seleccionan las variables de entrada y salida; esto se explicará continuación.

La tabla para la iteración símplex dual del ejemplo dado es como se muestra:

Variable entrante
↓

Básica	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	Solución
z	-3	-2	0	0	0	0
x_3	-3	-1	1	0	0	-3
x_4	-4	-3	0	1	0	-6
x_5	1	1	0	0	1	3

Variable saliente→

Esta tabla corresponde al punto A en la figura 2.11. Nótese que el renglón objetivo satisface la condición de óptimidad (minimización). También es infactible por que x_3 y x_4 resultan con valores negativos. Estas son las condiciones (óptima e infactible) necesarias para la iteración inicial del método símplex dual.

Como nuestro objetivo es eliminar a la infactibilidad haremos esto excluyendo, de la solución las variables básicas



negativas. Aunque $x_3 (= -3)$ y $x_4 (= -6)$ califican para este propósito, una regla práctica sugiere la eliminación de la variable más infactible (más negativa) de entre todas las posibles, con la esperanza de que conduzca a la solución factible en la forma más rápida. Así, en este ejemplo seleccionamos a x_4 como la variable que sale.

Ahora debemos seleccionar la variable que entra del conjunto de las variables actuales no básicas, con y al de que no se pierda la óptimidad. Esto se logra tomando las razones entre los coeficientes del primer miembro de la ecuación z , y los coeficientes correspondientes en la ecuación de la variable saliente. Para mantener la óptimidad, se descartan las razones con denominadores positivos o cero. La variable entrante es la asociada con la razón que tenga el valor más pequeño. En la tabla inicial, las razones se calculan como sigue:

Variable	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Ecuación z	-3	12	0	0	0
Ecuación x_4	-4	-3	0	1	0
razón	$3/4$	$2/3$	-	-	-

Las razones muestran que x_2 entrará en la solución. La primera tabla de la siguiente página se obtienen efectuando operaciones regulares en los renglones, lo que conduce a:



Básica	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	Solución
z	-1/3	0	0	-2/3	0	4
x_3	-5/3	0	1	-1/3	0	-1
x_2	4/3	1	0	-1/3	0	2
x_5	-1/3	0	0	-1/3	1	1
Razón	1/5	-	-	2	-	

A continuación x_3 sale de la solución básica y entra x_1 lo que da la siguiente tabla:

Básica	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	Solución
z	0	0	-1/5	-3/5	0	21/5
x_1	1	0	-3/5	1/5	0	3/5
x_2	0	1	4/5	-3/5	0	6/5
x_5	0	0	-1/5	2/5	1	6/5

Esta tabla es ahora factible y óptima. La solución correspondiente es $x_1 = 3/5$, $x_2 = 6/5$ y $z = 21/5$.

El método símplex dual se aplica igualmente a problemas de maximización, siempre que la solución inicial sea óptima, pero infactible. La única diferencia, como es de esperarse, se presenta en la condición para seleccionar la variable entrante, como se



explica a continuación.

Condición de factibilidad: la variable saliente es la variable básica con el valor más negativo, (rompa los empates arbitrariamente). Si todas las variables básicas son no negativas, el proceso termina.

Condición de óptmidad: la variable entrante es la variable no básica asociada con la razón más pequeña, si se trata de una minimización, o con el valor absoluto más pequeño de las razones, si se trata de una maximización, o con el valor absoluto más pequeño de las razones, si se trata de una maximización (rompa los empates arbitrariamente). Las razones se determinan dividiendo los coeficientes del primer miembro de la ecuación z entre los correspondientes coeficientes negativos en la ecuación, entre los coeficientes negativos correspondientes en la ecuación asociada con la variable saliente. Si todos los denominadores son cero o positivos, no existe solución factible.

El método símplex dual, aparte de utilizarse para resolver una clase especial de problemas de PL, es útil para efectuar post optimizaciones en el análisis de sensibilidad y en la programación paramétrica.



3. Caso de Aplicación.

3.1 Implantación de la Calendarización en la Empresa.

Planeación y Programación de la Instalación eléctrica de un Mercado Municipal.

3.1.1 Ruta crítica del proyecto.

Para poder aplicar el método CMP – PERT, es necesario primeramente describir la obra en cuestión; por lo que continuación se hace una descripción generalizada del mercado antes citado.

En el plano arquitectónico se observa que el mercado cuenta con los siguientes servicios.

Interiores:

- Área para ventas de frutas y verduras con 24 puestos de 9m^2 c/u (3x3m).
- Área de fondas con 12 locales de 9 m^2 c / u (3x3 m).
- Sanitarios generales.
- Oficinas administrativas.
- Bodegas y cuartos de servicio.
- Pasillos.
- Áreas de locales comerciales, con un total de 62 locales (aparte de las fondas y de las fruterías), en su mayoría de 9m^2 c/u (3x3 m).



Exteriores:

- Un estacionamiento público.
- Un patio de maniobras.
- Una plaza de acceso.
- Área de tianguis.

El proyecto se puede dividir en tres actividades fundamentales, como son:

1) La instalación eléctrica para los locales, oficina, sanitarios y otros, además de la iluminación de las distintas áreas de tránsito con que cuenta el mercado tales como pasillos, área de frutas, verduras y el área de fondas.

2) Alumbrado exterior para el patio de maniobras, estacionamiento, tianguis y plaza de acceso.

3) Extensión de la red de alta tensión para poder suministrar energía al mercado.

Aplicando el método CMP – PERT a este problema se tiene:

Actividades

Actividad	Anteriores	Posteriores
A – Revisión de infraestructura		B
Necesaria (registros y mangueras)	--	
B – Suministro de cable.	--	C
C – Colocación de cable de acuerdo a diseño.	A, B	E
D – Suministro de interruptores contactos y equipo de protección (para locales)	--	E
E – Colocación y conexión de salidas y equipo de protección (en locales).	C, D, B, A.	I



F – Suministro de equipo de alumbrado (Interior).	--	G
G – Colocación y conexión de equipo de alumbrado	F , C , B , A	I
H – Suministro de equipo de medición y protección general.	--	I
I – Colocación y conexión de equipo de medición y protecciones generales.	H , C , B , A	U
J – Suministro de postes para alumbrado	--	L
K – Suministro de luminarias y equipo de iluminación	--	M
L – Colocación de postes en lugares indicados	J , C , B , A	M
M – Colocación de luminarias y conexión De equipo de iluminación	L , K , J , C , B , A	U
N – Suministro de poste de concreto.	A	Ñ
Ñ – Sembrado de postes de concreto.	A , N	P
O – Suministro de accesorios para vestido de postes	A	P
P – Vestido de postes.	O , Ñ , N , A	R
Q – Suministro de cable	O , Ñ , N	R
R – Tendido de línea (extensión de red de alta tensión)	Q , P	T
S – Suministro de transformadores y equipo necesario para su inst.	A	T
T – Colocación y conexión de transformadores Y resto de equipo.	S , R	U
U – Puesta en marcha de la instalación (Pruebas)	T , M , I	--

Descripción de secuencias y tiempos.

Actividad	(i)	Nodo	(j)	Duración (días)
A	1		3	2
B	1		2	1
C	3		4	7
D	1		4	1
E	4		14	4
F	1		10	1
G	10		14	5
H	1		11	1
I	11		14	7
J	1		12	1
K	1		13	1
L	12		13	2



M	13	14	2
N	3	5	1
Ñ	5	6	2
O	3	6	1
P	6	8	1
Q	6	7	1
R	7	9	1
S	3	9	1
T	9	14	1
U	14	15	0.5
F1	2	3	0
F2	4	10	0
F3	10	11	0
F4	11	12	0
F5	8	7	0

Calculo del paso hacia adelante.

$$E_{sj} = \text{Max}_i [E_{si} + t_{ij}]$$

$$Es_1 = 0$$

$$Es_2 = 1$$

$$Es_3 = 2$$

$$Es_4 = 9$$

$$Es_5 = 3$$

$$Es_6 = 5$$

$$Es_7 = 6$$

$$Es_8 = 6$$

$$Es_9 = 7$$

$$Es_{10} = 9$$

$$Es_{11} = 9$$

$$Es_{12} = 9$$

$$Es_{13} = 11$$

$$Es_{14} = 16$$

$$Es_{15} = 16.5$$

Cálculo del paso hacia atrás.

$$Lc_i = \text{Min}_j [Lc_j - t_{ji}]$$

$$Lc_1 = 0$$

$$Lc_2 = 2$$

$$Lc_3 = 2$$

$$Lc_4 = 9$$

$$Lc_5 = 11$$

$$Lc_6 = 13$$

$$Lc_7 = 14$$

$$Lc_8 = 14$$

$$Lc_9 = 15$$

$$Lc_{10} = 9$$

$$Lc_{11} = 9$$

$$Lc_{12} = 11$$

$$Lc_{13} = 14$$

$$Lc_{14} = 16$$

$$Lc_{15} = 16.5$$



Estimación de tiempos y holguras

Actividad nodos	Duración	Más próximo		Más tardío		Holgura	
		inicio	término	inicio	términ	TH	LH
A (1-3)	2	0	2	0	2	0	0
B (1-2)	1	0	1	1	2	1	0
C (3-4)	7	2	9	2	9	0	0
D (1-4)	1	0	1	8	9	8	8
E (4-14)	4	9	13	12	16	3	3
F (1-10)	1	0	1	8	9	8	8
G (10-14)	5	9	14	11	16	2	2
H (1-11)	1	0	1	8	9	8	8
I (11-14)	7	9	16	9	16	0	0
J (1-12)	1	0	1	10	11	10	8
K (1-13)	1	0	1	13	14	13	10
L (12-13)	2	9	11	12	14	3	0
M (13-14)	2	11	13	14	16	3	3
N (3-5)	1	2	3	8	11	8	0
Ñ (5-6)	2	3	5	11	13	8	0
O (3-6)	1	2	3	12	13	10	2
P (6-8)	1	5	6	13	14	8	0
Q (6-7)	1	5	6	13	14	8	0
R (7-9)	1	6	7	14	15	8	0
S (3-9)	1	2	3	14	15	12	4
T (9-14)	1	7	8	15	16	8	8
U (14-15)	0.5	16	16.5	16	16.5	0	0
F1 (2-3)	0	1	1	2	2	1	1
F2 (4-10)	0	9	9	9	9	0	0
F3 (10-11)	0	9	9	9	9	0	0
F4 (11-12)	0	9	9	11	11	2	0
F5 (8-7)	0	6	6	14	14	8	0

Aplicando el método PERT a la ruta crítica encontrada se tiene:

Act.	b	m	a	t	st
A	3	2	1	2	0.333
C	10	7	5	7.167	0.833
I	10	7	4	7	1
U	1	0.5	0.3	0.55	0.117



La desviación estándar de la ruta crítica es de $st = 1.3485$, y la media es de 16.717.

Por lo que puede establecerse que el proyecto de la instalación eléctrica se adapta a la distribución normal con media en 16.717 y una desviación estándar de 1.3485, por lo que existe en un 50% de probabilidad de que concluya el proyecto en 17 días o menos.

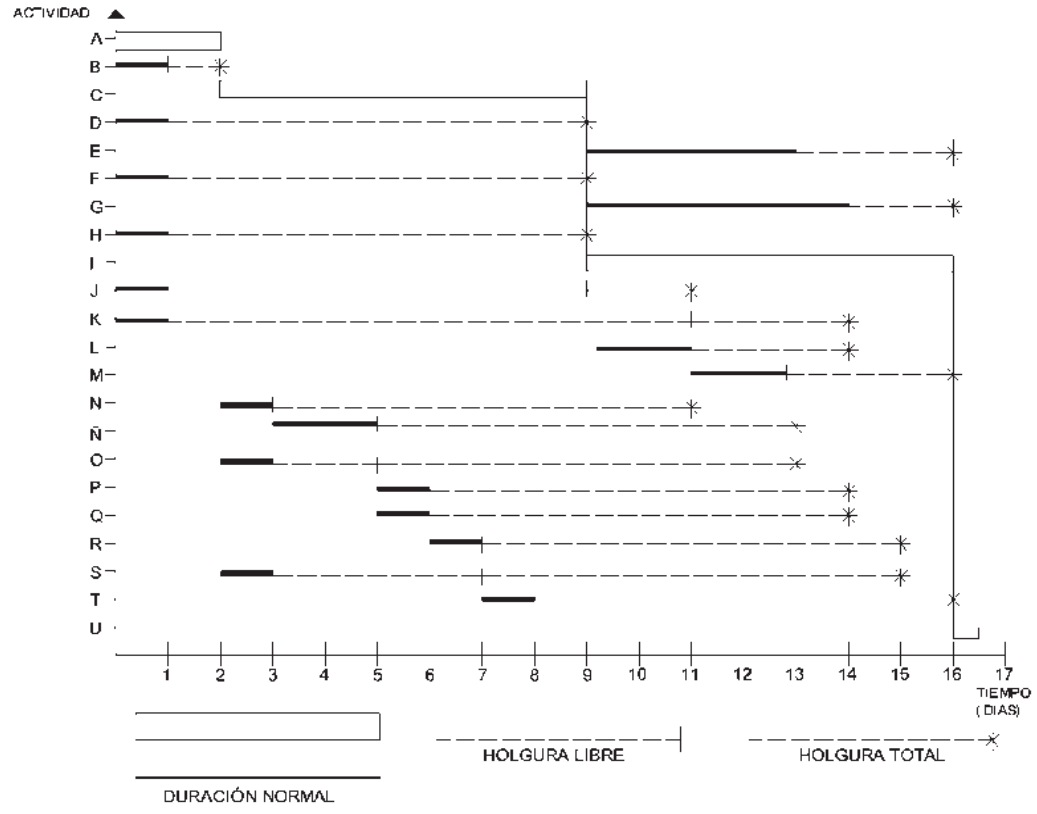
Ahora si se desea conocer la probabilidad de que el proyecto se termine en 20 días, es necesario calcular la variable de estandarización (z). Esta es igual a:

$$z = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$
$$= \frac{20 - 16.717}{1.3485} = 2.4345$$

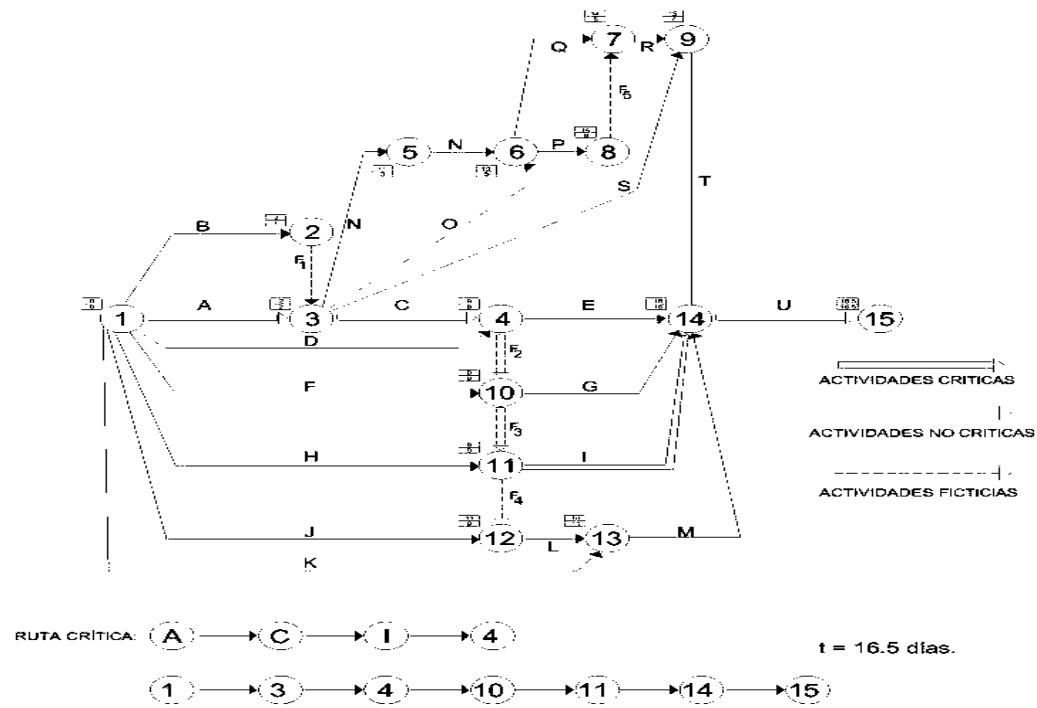
De la tabla de distribución normal se tiene que la probabilidad de terminar en 20 días es 99.25%.



PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES



RED DE ACTIVIDADES Y RUTA CRÍTICA





RESULTADOS.

Durante la aplicación de la técnica CPM-PERT al proyecto se obtuvieron los siguientes resultados:

- La duración media del proyecto es de aproximadamente 17 días.
- La probabilidad de terminar el proyecto en 20 días es de 99.21%.

El control del proyecto se facilita mediante el empleo de ruta crítica, ya que permite conocer las holguras de cada actividad y las consecuencias originadas por un atraso o adelanto durante la realización de cada actividad; y así mismo tomar las medidas necesarias para la corrección del problema, además al conocer el tiempo asignado a cada actividad podemos hacer una mejor administración de personal y recursos.

Conclusiones y Recomendaciones.

El empleo del método CPM – PERT en la planeación y programación de un proyecto permite mantener un control no solo del avance del proyecto mismo, si no que también de los ingresos y egresos que se tendrán durante la elaboración de la obra. Este control se logra combinando el empleo de gráficas de Gantt con el cálculo de holguras y el conocimiento de las interdependencias entre actividades que proporciona el método CPM.

Conociendo la holgura que se tiene para llevar acabo las actividades no críticas, es posible programar estas en el periodo de tiempo más conveniente – siempre y cuando se respeten los



tiempos y sus interrelaciones con otras actividades – desde el punto de vista económico. Esto es, que programación por camino crítico permite elaborar los presupuestos de egresos e ingresos en una forma más sencilla debido a que pueden señalarse con precisión las fechas en que se presentan los movimientos de dinero. Permitiendo con esto el tratar de nivelar los egresos período con período: siempre dentro de los límites de cada actividad, reduciéndose así los costos por recursos inmóviles y simplificando con ello la administración del proyecto.

Conociendo estas ventajas, y dada la sencillez del método CPM, se concluye que dicha técnica representa una manera sencilla y eficiente para planear, programar y controlar la elaboración de cualquier proyecto.



ANEXOS

I. Metodología para el Diseño de Estudios de Factibilidad como Base para el Plan.

I.I. Guión Metodológico General para la Elaboración de Estudios de Mercado.

A. OBJETIVO.

B. El Producto en el Mercado.

a) Producto principal y subproductos.

b) Características.

- Composición.
- Propiedades y vida útil.
- Normas y requerimientos de calidad.

c) Usos.

d) Productos y sustitutivos y /o similares.

e) Productos complementarios.

f) Servicios.

C. Área de Mercado o Zona de Influencia del Proyecto.

a) Factores determinantes del área de mercado.

b) Área del mercado seleccionada.

c) Factores limitativos de la comercialización.

D. Análisis de la Demanda.

a) Características de los consumidores o usuarios en el Área de Mercado.

b) Situación actual de la demanda.



c) Características teóricas.

- Coeficiente de crecimiento histórico.

d) Situación financiera.

- Método de proyección de la demanda.
- Proyección de la demanda.

E. Análisis de la Oferta.

a) Series históricas de crecimiento.

b) Oferta actual.

- Oferentes.
- Capacidad.
- Producción.
- Tipo de proceso y equipo.
- Costos de Producción.
- Fama de sus productos.

b. Régimen de mercado.

c. Comportamiento futuro de la oferta.

- a) Utilización de capacidad aprovechada.
- b) Planes y proyectos de paliación.
- c) Políticas de desarrollo.
- d) Estimación de la oferta futura.

F. Balance Oferta-Demanda.

a) Resultados.

b) Conclusiones.

G. Comercialización de el (los) Producto(s) del Proyecto.

a) Aspectos relacionados con el producto.

b) Sistema de distribución propuesto.



- c) Precios, fijación y estrategias.
- d) Aspectos promocionales.



I.II Guión Metodológico General para la Localización.

A. Macrolocalización

a) Aspectos Geográficos.

- Límites políticos.
- Coordenadas Geográficas.
- Extensión
- Orografía.
- Hidrografía.
- Clima.
- Suelos.

b) Aspectos socioeconómicos.

- Educación.
- Infraestructura
- Aspectos Institucionales
- Mapa de macrolocalización.

B. Factores Básicos Locacionales.

a) Análisis de los mercados de consumo.

- Dispersión geográfica de los demandantes.

b) Disponibilidad y Costo

- Materia prima.
- Insumos Auxiliares.
- Mano de obra.
- Asistencia técnica.
- Energía Eléctrica.
- Agua.



c) Costos de Transportación.

- Materia prima e insumos auxiliares.
- Productos terminados.

d) Servicios.

- Caminos.
- Terrenos

C. Microlocalización.

- a) Criterios de solución.
- b) Alternativa elegida
- c) Mapas de micro localización.

I.III. Guion Metodológico General para el Tamaño del Proyecto.

A. Introducción.

B. Determinación del Tamaño Mínimo Optimo.

C. Mercado Actual y Futuro.

D. Distribución Geográfica del Mercado.

E. Procesos Disponibles.

F. Tamaño Mínimo Económico.

G. Criterios de Cálculo del Tamaño Mínimo Económico.



H. Explicación del Método a usar.

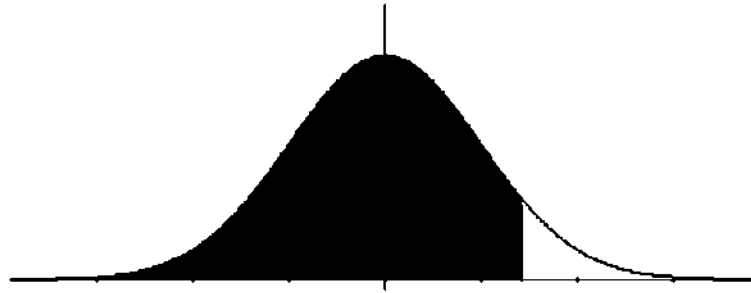
I. Aplicación del Método.

- a) Planteamiento del problema.
- b) Supuestos de solución.



II. Tabla de Distribución de Probabilidad Normal

$$P(Z \leq z) = \Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990



3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000



BIBLIOGRAFIA.

Acosta Flores J.J. (1975) Teoría de Decisiones en el sector Público y en la Empresa Privada. Representaciones y Servicios de Ingeniería. México.

Acosta Flores J.J. (1989) Como Mejorar su Habilidad Para Tomar Decisiones. DEAC (Desarrollo Integral Empresarial Y Consultoría S.A. de C.V.) México.

Alcaide, M. (1982): Las nuevas formas de organización del trabajo. Akal. Madrid, España.

Amabile, T. M; Conti, R. ; Coon, H.; Lazenby, J. y Herron, m. (1996) "Assesing the work enviroment for creativity" en: Academy Management Journal. N° 39 New York.

Andreu, R.; Ricart, J. E. y Valor, J. (1995): La organización en la era de la información: aprendizaje, innovación y cambio. Arthur Andersen. Madrid, España.

Bazaraa M. S. Javis John J. (1994) Programación lineal y flujo de redes, Limusa, México D.F.

Blanco R.F. (1977). Decisión Financiera de la Empresa. Coordinación y Dirección. Pirámide. Madrid, España.

Buffa, E.S. Y sarín, R. K. (1992) Administración de la producción de operaciones. Limusa, México.



Canals, J. (1991) Competitividad internacional y estrategia de la empresa. Ariel. Barcelona.

Canals, J. (1994): La internacionalización de a empresa. McGraw-Hill. Madrid, España.

Castells, M. (2001) Tecnópolis del mundo: La formación de los complejos industriales del siglo XXI. Alianza. Madrid, España.

Collins, J.C. Y Porras, J.L. (1996): Empresas que perduran. Paidós. Barcelona, España.

Cuervo A. (Dir) (1994): Introducción a la administración de empresas. Cívitas. Madrid, España.

Cuesta Fernández, F. (1998): La empresa virtual. La estructura cosmos Soluciones e instrumentos de transformación de la empresa. McGraw-Hill de Management. Madrid, España.

Chase, R.B. y Aquilano, N.J: (1992) Dirección y administración de la producción y de las administraciones. Addison- Wesley Iberoamericana. Madrid, España.

Chiavenato, I. (1992): Introducción a la teoría general de la administración. McGraw-Hill. Bogotá

Chuchaman, C.West.. (1981), El enfoque de sistemas, Diana.

Dávila Martin M. (1983), Métodos Operativos de Gestión Empresarial, Pirámide, Madrid España.



Davis, M. M.; Aquilano, N.J.; Chase, R. B. (2001). Fundamentos de Dirección de operaciones. McGraw-Hill. Madrid, España.

Díaz de Santos (1995) El diagnóstico de la empresa, Díaz de Santos, Madrid España.

Fernández Sánchez, E. (1993) Dirección de la producción. I. Fundamentos Estratégicos. Cívitas. España.

Fernández, E. (1993). Dirección de la producción. I. Fundamentos Estratégicos. Cívitas. España.

Flores Romero B. (2002). Procesos Estratégicos para la Administración Empresarial de Alto Impacto. División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas en la UMSNH, Morelia, México.

Gallagher Charles A., Watson Hugh J. (1982), Métodos Cuantitativos para la Toma de Decisiones, Mc. Graw Hill, México, D.F.

García Saldaña Gorki (1993) Esquemas y modelos para la competitividad, Ediciones Castello.

Gass I. Saúl (1985) , Programación Lineal, CESSA, México D.F:

Gil Aluja J. (1999) Elementos para una teoría de la decisión en la incertidumbre. Milladoiro.Spain.



González Santoyo Federico (2003). Diseño de Empresas de Orden Mundial, ed. Universitaria UMSH, Morelia Mich., Mex.

González Santoyo Federico (1997). Apuntes de dirección Empresarial, División de Estudios de Posgrado, FCA-UMSH.

González Santoyo F. (1985), Los proyectos de la Industrialización Forestal, ed. Universitaria- UMSNH, Morelia, Mich. Mex.

González Santoyo F. (1992) Técnicas Usadas en el Estudio del Trabajo, DEPFI-UNAM.

González Santoyo F. (1993) La Optimización un Enfoque Globalizador, Rev. Universidad Michoacana. UMSNH. Morelia, México.

González Santoyo F. (1998) Fuzzy sets versus enfoques tradicionales en la evaluación de inversiones. Tesis de grado de maestro en Administración. DEPFCA- UMSNH. Morelia, México.

González Santoyo F., de los Cobos Silva S. (1994), El enfoque de Optimización en los Sistemas Productivos, Rev. Universidad Michoacana No. 8, Morelia, Mich., Méx.

González Santoyo F., Flores J., Flores B. (2000). La Incertidumbre en la evaluación Financiera de Empresas. FeGoSa Ingeniería Administrativa y la FCA- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo México.



González Santoyo F. (1997). La reingeniería como herramienta indispensable para la nueva empresa mexicana. Informa técnico del proy. 20.1 CIC-UMSNH, Morelia, Mich., México.

González Santoyo F. (1997). Benchmarking, hacia una nueva empresa. Notas técnicas. DEPFCA-FCA-UMSNH, Morelia, Mich., Mex.

González Santoyo Federico, Flores Romero Beatriz (1997). La productividad como un elemento de apoyo a la eficiencia de la micro, pequeña y mediana empresa, Ciencias Empresariales, Rev. Jul-Dic #1 de la Fac. de Contabilidad y Administración, Univ. Michoacana de San Nicolas de Hidalgo (Morelia, Michoacán, México) pp. 24-31

González Santoyo Federico, Flores Romero Beatriz (1998). Los PMC's en el desarrollo de la empresa. Nota Técnica. División de Estudios de Posgrados FCA-UMSNH, Morelia, Michoacán, México.

Hamdy A. Taha (2004). Investigación de Operaciones, ed. Alfaomega, México, D.F.

Hammer, M. y Champy, J. (1994) Reingeniería de la empresa. Perramón. Barcelona.

Hernández Laos E. (1973), Evolución de la Productividad de los factores en México, CNPM.



Hilmer, F. G. Y Donaldson, L. (1998): Rescatando el valor de la gerencia. Más allá de las modas que desprestigian nuestras corporaciones. Paidós. Barcelona.

Joseph G. Monks (1991). Administración de Operaciones, ed. Mc Graw Hill, México, D.F.

Kaufmann A., Gil Aluja J. (1990) Las matemáticas del azar y de La Incertidumbre (elementos básicos para su aplicación en la economía). Centro de Estudios Ramón Arces. España.

Landier, H. (1992): Hacia la empresa inteligente. Guía para la gestión del cambio. Deusto. Bilbao.

Mao J.C:T. (1980). Análisis Financiero. El Ateneo. Buenos Aires, Argentina.

Márquez Alvarez N. González Santoyo F., Flores Romero B. (1999) ¿Qué y para qué de la Investigación de Operaciones? Ciencias Empresariales No. 5, Julio –Dic. P.p 13-30. Morelia México.

Maslow,. H. (1991): Motivación y personalidad. Díaz de Santos. Madrid.

Mintzberg, H. (1983): La naturaleza del trabajo directivo. Ariel. Barcelona.

Mintzberg, H. (1989): El diseño de las organizaciones eficientes. El Ateneo, Buenos Aires.



Mintzberg, H. (1991): Mintzberg y la dirección. Díaz de Santos. Madrid.

Mintzberg, H. et. al. (1998): El proceso estratégico. Prentice Hall. Madrid.

Mintzberg, H. et al. (1999): Safaria al a estrategia. Granica. Barcelona.

Mintzberg, H. (1994), “Los peligros de la palnificación estratégica”, en: Harvard Deusto Business Review, n° 60. Bilbao.

Mitroff I.L.et. al.(1974)). On Managin Science en the systems age: two schemas for the study of science as a whole sestems phenomenon, Interfaces, vol.4, n.3, pp. 46-58

Morcillo, P. (1999): Dirección estratégica de la tecnología e innovación. Un enfoque de competencias. Cívitas. Madrid.

Norbet Enrick et. al. (1989) Control de Calidad y Beneficio Empresarial Ed. Díaz Santos

Ohno Taiichi. (1988), Toyota Production System, Cambridge, M.A, Productivity Press.

Pardo Leandro (1987), Programación Lineal Continua (aplicaciones en la empresa), Díaz de Santos S.A., Madrid España.



Pardo Leandro, Felipe Angel, Pardo Julio A. (1990), Programación Lineal Entera (aplicaciones practicas en la empresa), Díaz de Santos S.A., Madrid España.

Pérez Carballo A. Monge F. (1987). La decisión de invertir. Impi. Madrid, España.

Pulido M. F, González Santoyo F. (2000). Modelo de Administración de la Calidad Total para el Sector Educativo de Nivel Superior. Ciencias Empresariales #6. Enero-Junio. FCA-Morelia, México.

Ramírez Padilla D., Cabello Garza M. (1997) Empresas competitivas (una estrategia de cambio para el éxito) Mc Graw Hill.

Ramírez S.D. (1998). Sistemas de decisión en condiciones de incertidumbre con evaluación ponderada aplicados al análisis financiero SIGEF. Reus Spain.

Sasieni M., Yaspan A, Friedman L. (1982), Investigación de Operaciones, Limusa, México D.F.

Suárez Rocha J. (1993), El Modelo del Diamante, División de Estudios de Posgrado-Facultad de Ingeniería de la UNAM, México D.F.

Taha H. (1995), Investigación de Operaciones, Alfaomega editor S.A. de C.V., México D.F.



Tarrago F. (1987). Decisiones de inversión en la empresa. Hispano-Europea. Barcelona España.

Tchobanian, R. (1991): “Los criterios económicos y la mejora de las condiciones de trabajo”, en J.J. Caststillo (comp.), Las nuevas formas de organización del trabajo. MTSS. Madrid.

Tena, V. (1996): La estructura organizativa de la empresa. Montecorvo. Madrid.

Terceño G. A. et. al. (1997). Un estudio sobre las aproximaciones a las expresiones financieras inciertas. IV Congress SIGEF. Santiago de Cuba.

Terceño G. A. et. al. (1997). Matemática Financiera. Pirámide-España.

Valdaliso, J. M. Y López, S. (2000): Historia económica de la empresa. Crítica. Barcelona.

Villalba Vilá Daniel, Jeréz Méndez Miguel (1990), Sistemas de Optimización para la Planificación y Toma de Decisiones, Pirámide, Madrid España.