



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



Mecánica e Industrial

CURSOS ABIERTOS

CA-638 PRESUPUESTACIÓN DE PROGRAMAS Y PROYECTOS



TEMA

APUNTES GENERALES

EXPOSITOR: M. EN I. ENRIQUE AUGUSTO HERNÁNDEZ RUIZ
DEL 14 AL 21 DE NOV. DEL 2005
PALACIO DE MINERÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

DEPARTAMENTO DE CURSOS ABIERTOS

"PRESUPUESTACIÓN DE PROGRAMAS Y PROYECTOS"

APUNTES



M. en I. Enrique Augusto Hernández-Ruiz

2005

ÍNDICE

I. Bases de la Planeación de Proyectos	2
I.1. La Planeación Estratégica	3
I.2. Un Modelo de Planeación	5
I.2.1. Premisas de Planeación	5
I.2.2. Implantación y Revisión	8
I.2.3. Observaciones a este Modelo	9
I.2.4. Beneficios de la Planeación	10
I.3. Un Modelo de Programación	11
II. Programación de Proyectos	15
II.1. La Estadística Descriptiva	17
II.2. El Método PERT	24
II.3. El Método CPM	29
II.4. El Método de GANTT	41
II.5. El Método FEP	46
III. Control de Proyectos	53
III.1. La Bitácora	53
IV. Principios de Evaluación de Proyectos	58
IV.1. Teoría del Interés	58
IV.1.1. Amortizaciones	63
IV.2. Consideración de la Inflación	65
IV.2.1. Tasa de Crecimiento Real del Patrimonio	67
IV.3. Análisis de Inversiones	68
IV.3.1. Periodo de Pago (PP)	69
IV.3.2. Valor Presente Neto (VPN)	70
IV.3.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)	71

I. BASES DE LA PLANEACIÓN DE PROYECTOS

La planeación formal con sus características modernas fue introducida por primera vez en algunas empresas comerciales a mediados de 1950, denominándose en ese entonces como sistemas de planeación a largo plazo; y desde entonces, la planeación se ha ido perfeccionando al grado que en la actualidad un número cada vez mayor de empresas del sector privado y público está siguiendo este ejemplo.

La planeación será entendida como un proceso que estructura y ordena información, variables e indicadores involucrados en un proceso de toma de decisiones.

Planear significa diseñar un futuro deseado e identificar las formas para lograrlo, por lo que la planeación es el apoyo determinante para la gerencia de un proyecto, es esencial para ayudar a los directivos a cumplir con sus responsabilidades de la dirección y ha sido dividida principalmente en dos ramas: la *planeación estratégica* y la *planeación operacional*, las cuales están fuertemente ligadas.

La planeación estratégica proporciona guía, dirección y límites para las operaciones cuando el problema más importante es el cómo usar eficientemente aquellos recursos que son cada vez más escasos para producir bienes y servicios, lo cual es una de las preocupaciones principales de la dirección de cualquier proyecto.

La planeación es una función ejecutiva a cualquier nivel de un proyecto, y para poderla llevar a cabo es necesario que se determine la estructura del proyecto y se promueva el desarrollo de la filosofía del mismo con las creencias, valores, actitudes y lineamientos que señalan "cómo se hacen las cosas en este proyecto".

Así mismo será necesario buscar y seleccionar al personal adecuado que posea el talento para ocupar los puestos determinados en la planeación del proyecto.

También se deben establecer los procedimientos que determinen y prescriban cómo se llevarán a cabo todas las actividades importantes y rutinarias. Estos procedimientos serán indicados en un documento llamado "manual de procedimientos".

Por otro lado, habrá que garantizar que se contará con equipo e instalaciones físicas adecuadas para desarrollar las actividades del proyecto y, por supuesto, con el capital de trabajo suficiente para sufragar los gastos necesarios para su realización.

Lo anterior de ninguna manera soslaya la motivación al personal que procurará se siga la filosofía del proyecto y el establecimiento de normas que fijen las medidas de su desempeño.

A su vez, en la planeación estratégica existen dos formas importantes que deben ser estimadas para ayudar a los altos directivos a cumplir con sus responsabilidades: la **planeación de anticipación intuitiva** y la planeación *sistemática formal*. Sin embargo, en muchos sitios de ambas formas existen conflictos, ya que se encuentran involucrados dos diferentes procesos de pensamiento, pero la planeación sistemática formal no puede llevarse a cabo sin la intuición de la dirección. Si el sistema de planeación formal se adapta correctamente a las características directivas puede contribuir a mejorar la intuición de los directores.

I.1. LA PLANEACIÓN ESTRATÉGICA

La planeación general trata con el porvenir de las decisiones actuales; esto significa que la *planeación estratégica* observa durante un tiempo establecido la cadena de causas, consecuencias y efectos relacionada con una decisión que tomará el responsable de ello.

La planeación estratégica también observa las posibles alternativas de los cursos de acción en el futuro; y al escoger unas alternativas, éstas se convierten en el nuevo fundamento para tomar decisiones presentes. La esencia de la planeación estratégica consiste en la identificación sistemática de las oportunidades y peligros que surgen en el futuro, los cuales combinados con otros datos importantes proporcionan la base para que una empresa tome mejores decisiones en el presente para explotar las oportunidades y evitar los peligros.

La planeación estratégica es un proceso que se inicia con el establecimiento de una misión organizacional, con la que se definirán políticas para cumplir con la misma, y desarrolla programas detallados para asegurar el éxito de sus proyectos

La planeación estratégica es sistemática en el sentido de que es organizada y conducida con base en una realidad entendida. También es un proceso para decidir de antemano qué tipo de esfuerzos deben hacerse, cuándo y cómo deben realizarse, quien los llevará a cabo, y qué se hará con los resultados.

Para la mayoría de las empresas, la planeación estratégica representa una serie de programas producidos después de un periodo de tiempo específico, durante el cual se elabora un plan; sin embargo debería entenderse como un proceso continuo, especialmente en cuanto a la formulación de políticas y estrategias, ya que los cambios en el ambiente del negocio son continuos.

La idea no es que los planes deberían cambiarse a diario, sino que la planeación debe efectuarse en forma continua y ser apoyada por acciones apropiadas cuando sea necesario.

Puede decirse entonces que la planeación estratégica es una actitud, una forma de vida, requiere de dedicación para actuar con base en la observación del futuro, y una determinación para planear constante y sistemáticamente como una parte integral de la dirección. Además, representa un proceso mental, un ejercicio intelectual, más que una serie de procesos, procedimientos, estructuras o técnicas prescritos.

Para lograr mejores resultados, los directivos y el personal involucrado en un proyecto deben creer en el valor de la planeación estratégica y deben tratar de desempeñar sus actividades lo mejor posible.

La planeación estratégica no trata de tomar decisiones futuras, que ya que éstas sólo pueden tomarse en el presente; por supuesto que una vez tomadas, pueden generar fuertes consecuencias irrevocables a largo plazo.

La planeación estratégica no realiza pronósticos para después determinar qué medidas tomar con el fin de asegurar la realización de tal pronóstico. La planeación estratégica va más allá de pronósticos actuales y formula preguntas mucho más fundamentales como: ¿tenemos la misión adecuada?, ¿cuáles son nuestros objetivos básicos?, ¿cuándo serán obsoletas nuestras acciones actuales?, ¿están aumentando o disminuyendo nuestros mercados?

La planeación estratégica no representa una programación del futuro, ni tampoco el desarrollo de una serie de planes que sirvan de molde para usarse diariamente sin cambiarlos en el futuro lejano. Una gran parte de empresas del sector público y privado revisan sus planes estratégicos en forma periódica, en general una vez al año. La planeación estratégica debe ser flexible para poder aprovechar el conocimiento acerca del medio ambiente.

En realidad, no consiste en la preparación de varios programas detallados y correlacionados, aunque en algunas organizaciones grandes y descentralizadas así se producen. Pero, la naturaleza conceptual básica de la planeación estratégica, abarca una amplia variedad de sistemas de planeación que va desde el más sencillo hasta el más complejo.

La planeación estratégica no representa un esfuerzo para sustituir la intuición y criterio de los directores, punto que debe ser acentuado.

I.2. UN MODELO DE PLANEACIÓN

Un modelo conceptual de planeación es aquel que presenta una idea de lo que algo debería ser en lo general, o una imagen de algo formado mediante la generalización de particularidades.

Un modelo conceptual claro representa una herramienta poderosa, ya que proporciona la guía adecuada para un funcionamiento adecuado en la práctica.

El modelo que se induce está integrado por tres secciones principales: premisas, formulación de planes, e implantación y revisión. Cada una de ellas será abordada a continuación.

I.2.1. Premisas de Planeación

Premisas significa literalmente lo que va antes, lo que se establece con anterioridad, o lo que se declara como introductorio, postulado o implicado. Las premisas están divididas en dos tipos: el plan para planear, y la información sustancial, necesaria para el desarrollo e implantación de los planes.

Antes de llevar a cabo un plan estratégico es importante que las personas involucradas en él tengan un amplio conocimiento de lo que tiene en mente el alto directivo y cómo operará el sistema.

La información acumulada durante la formulación de premisas es llamada "análisis de situación", pero también se usan otros términos para denominar esta parte de la planeación; por ejemplo: evaluación corporativa, análisis de posición, evaluación de la posición actual, y premisas de planeación.

Ninguna organización sin importar cuán grande o lucrativa sea, puede examinar en forma minuciosa todos los elementos que posiblemente están incluidos en el análisis de la situación. Por esto cada organización debe identificar aquellos elementos, pasados, presentes y futuros, que son de gran importancia para su crecimiento, prosperidad y bienestar, y debe concentrar su pensamiento y sus esfuerzos para entenderlos.

Sin embargo, otros elementos pueden ser estimados o supuestos sin ser investigados o sacados de documentos publicados al respecto.

Los directores y empleados de las organizaciones tienen intereses que también deben ser apreciados y considerados en el proceso de planeación, especialmente aquellos que provienen de sus sistemas de valores y los cuales son premisas fundamentales.

En esta parte de la planeación se pondrá atención en los fines más importantes y fundamentales buscados por una organización, y en los enfoques principales para lograrlos.,

Con base en las premisas antes mencionadas, el siguiente paso en el proceso de planeación estratégica es formular cada uno de los siguientes puntos que posteriormente serán explicados:

- Misión,
- Políticas,
- Análisis interno,
- Análisis externo,
- Matriz DAFO,
- Visión, y
- Programas.

▪ **Misión:**

Enunciará la dedicación primordial y general de la organización o del proyecto integral, así como los factores importantes que lo guiarán y caracterizarán durante su crecimiento continuo. Su naturaleza carece de límite de tiempo, es decir, la misión será permanente.

▪ **Políticas:**

Son enunciados orales que rigen las creencias, valores, actitudes y lineamientos que pueden definir o describir cómo se harán las cosas en el proyecto o en la organización, según sea el caso.

▪ **Análisis interno:**

Es un proceso que tiene como fin el señalar dos aspectos esenciales desde el punto de vista endógeno de la organización o del proyecto:

- Debilidades, y
- Fortalezas.

Las debilidades señalarán las carencias y aspectos deficientes del proyecto o de la organización como sistema, mientras que las fortalezas señalarán sus abundancias y sus aspectos robustos, también desde una concepción sistémica.

▪ **Análisis externo:**

Este proceso señala, desde una concepción exógena, dos aspectos que cobran especial importancia:

- Amenazas, y

- Oportunidades.

Las amenazas son los factores que tienden a dañar elementos específicos del proyecto o de la organización como sistema, y las oportunidades son aspectos que beneficiarán o robustecerán la integralidad como sistema.

- **Matriz “D A F O”:**

Conjuntando ambos análisis, el interno y el externo, se obtendrá la integración de los factores que favorecerán y perjudicarán de una forma o de otra al proyecto u organización desde el punto de vista endógeno y exógeno con el siguiente esquema:

	ENDÓGENO	EXÓGENO
PERJUICIOS	<u>D</u> ebilidades • • • • •	<u>A</u> menazas • • • • •
BENEFICIOS	<u>F</u> ortalezas • • • • •	<u>O</u> pportunidades • • • • •

La finalidad de este análisis es definir y potenciar las posibilidades tratando de:

- a) Aprovechar oportunidades.
- b) Potenciar las fortalezas.
- c) Contrarrestar amenazas.
- d) Disminuir debilidades

- **Visión:**

Es el planteamiento de una situación futura, que presente la idea de lo que será conforme los desempeños del plan. Este planteamiento futuro debe presentarse en dos vertientes:

1. Tendencial, y
2. Normativa.

La *visión tendencial* es el planteamiento que se espera encontrar en el futuro en caso de continuar las circunstancias actuales, es decir, que existirá si no se emprenden las acciones que señala el plan. La *visión normativa* presentará el escenario que se considera viable y posible de alcanzar en el futuro, siempre y cuando se lleven a cabo las acciones propuestas del plan.

- **Programas:**

Son los elementos fundamentales del plan que aportan los aspectos estructurales de fondo en materia cualitativa y cuantitativa, señalando así la parte operativa del plan estratégico. Su estructura será tratada más adelante dentro de la programación.

II.2.2. Implantación y Revisión

- Una vez que los planes son elaborados deben ser puestos en marcha. El proceso de implantación cubre toda la gama de actividades directivas, incluyendo la motivación, compensación, evaluación directiva y proceso de control.

Los planes deben ser revisados y evaluados. No existe mejor manera para producir planes por parte de los subordinados que cuando los altos directivos muestran un interés profundo en éstos y en los resultados que pueden producir.

Cuando fue desarrollada por primera vez la planeación formal en la década de los cincuenta, las organizaciones tendían a hacer planes por escrito y no revisarlos hasta que obviamente eran obsoletos. En la actualidad, la gran mayoría de las organizaciones pasan por un ciclo anual de planeación, durante el cual se revisan los planes y programas existentes. Este proceso debería contribuir significativamente al mejoramiento de la planeación del siguiente ciclo.

En todo el proceso será necesario aplicar las normas de decisión y evaluación que hayan sido establecidas. El desarrollo y desempeño mismos de las actividades representan normas de decisión cualitativas importantes pero, por otra parte, con el desarrollo de los programas, las normas de decisión se convierten en más cuantitativas, o sea, en fórmulas de sustitución de parámetros.

Habrà de tenerse presente que la buena planeación de un proyecto debe evitar que las personas que forman parte de él carezcan del conocimiento exacto sobre qué hacer y quién es el responsable, por lo que necesario será, al implantar o revisar el desempeño de cualquier plan, el empleo de talentos humanos que sustentan fundamentalmente a la planeación, como son: el sentido común, la habilidad para comunicarse con otras personas, y la capacidad para negociar soluciones que coadyuven a la solución de los problemas que comúnmente se presentan. Esto evitará también que el grupo directivo pida soluciones que no se

adecuen a la organización vigente del proyecto, lo cual no significa que éste pueda y deba ser modificado según las circunstancias que se presenten

1.2.3. Observaciones a este Modelo

El modelo conceptual es una representación simplificada de la operación y debe contener aquellos aspectos que son de fundamental importancia en el problema que se examina. Es muy útil para el análisis de una operación.

Íntimamente relacionado con el modelo conceptual del sistema se debe tener una medida de la efectividad con la cual se pueda evaluar si las modificaciones a la operación están logrando lo esperado.

Generalmente, el modelo conceptual se construye con base en observaciones, experiencias y datos. En algunas ocasiones dependerá notablemente de suposiciones "a priori" de la situación. En cualquier caso, la teoría que describe la operación del sistema se debe poder verificar en forma experimental. Dos tipos de experimento tienen gran importancia en este proceso: el primero está diseñado simplemente para obtener información; el segundo tiene carácter más crítico y se diseña para probar la validez de las conclusiones

Por otra parte, el planeador utiliza los métodos estadísticos cuando son necesarios, pero está restringido por ellos. La estadística se preocupa principalmente por las relaciones entre los datos; la planeación estratégica trata de entender la operación del sistema básico que esos datos representan, pero como consecuencia de esto, los resultados muchas veces pueden diferir significativamente.

El modelo comprende más de una dimensión de tiempo. La gente muchas veces habla de un plan de tres a cinco años, pero generalmente los sistemas de planeación estratégica carecen de una dimensión de tiempo fijo.

En la mayoría de las empresas, la misión y los propósitos básicos de la misma tienen una dimensión de tiempo ilimitado y son manejados sin ningún cambio durante mucho tiempo. Por otro lado, puede tomarse una decisión en el proceso de creación de una política para eliminar a una división poco rentable al día de mañana, o contratar un científico experimentado lo más pronto posible.

Dentro de la misión de una organización o proyecto pueden existir múltiples fines consignados en forma distinta y que tienen diferente importancia en su planeación y en sus operaciones.

No existe un sólo modelo de planeación para cualquier organización o proyecto. El sistema de planeación estratégica formal debe ser diseñado para satisfacer las características únicas de cada empresa. Los sistemas de planeación formal

pueden ser situados en un espectro, el cual en un extremo indica sistemas sencillos y en el otro sistemas extremadamente complejos y completos

I.2.4. Beneficios de la Planeación

Para aquellos directores que sienten que su intuición no es la única manera para tomar decisiones, la planeación debe llegar a formar una parte integral de sus actividades directivas, especialmente en aquellas organizaciones de actividades diversificadas, por las siguientes razones:

1. La planeación es indispensable para que los directivos puedan cumplir con sus responsabilidades en forma eficiente.
2. La planeación exige al director que formule y conteste preguntas claves para su organización, y a las cuales debería prestar su atención.
3. La planeación puede simular el futuro en papel, experiencia que no sólo es relativamente económica, sino que también permite a los corporativos tomar mejores decisiones acerca de las medidas a tomar en cuanto a oportunidades y peligros futuros, en vez de esperar hasta que sucedan las cosas. La planeación en sí aclara las oportunidades y peligros futuros de una corporación.
4. La planeación es una manera efectiva de considerar a un proyecto como un sistema, y así evitar la suboptimación de partes del sistema a costa de todo.
5. La planeación estimula el desarrollo de fines apropiados de la organización o del proyecto, los cuales a su vez son factores poderosos para la motivación de las personas.
6. La planeación proporciona una estructura para la toma de decisiones en toda la organización. Así mismo, permite que los ejecutivos de nivel inferior tomen sus decisiones de acuerdo con los deseos de la alta dirección
7. La planeación es necesaria para el mejor desempeño de la mayoría de las demás funciones directivas.
8. La planeación proporciona una base para medir el desempeño de la empresa y sus principales partes integrantes.
9. La planeación señala a la alta dirección los asuntos claves y ayuda a establecer las prioridades adecuadas para tratar a los mismos.

-
10. Los sistemas de planeación estratégica son canales perfectos de comunicación, mediante los cuales el personal en toda la organización habla el mismo lenguaje al tratar con problemas sustanciales tanto para ellos como para la misma empresa.
 11. La planeación estratégica ayuda a capacitar a los directivos como directores. Además contribuye a desarrollar habilidades directivas y del personal que facilitarán la reacción apropiada frente a eventos desconocidos.
 12. Los sistemas de planeación proporcionan una oportunidad para la gente que integra una organización de contribuir con sus talentos en el proceso de la toma de decisiones, dándole al mismo tiempo un sentido de participación y satisfacción único.
 13. Investigaciones muestran que la planeación beneficia. Aquellos corporativos que la aplican han superado a los que no la utilizan.
 14. Es posible que una organización tenga éxito sin la planeación formal, pero en la mayoría de los casos el éxito se obtiene más fácilmente con la planeación.
 15. La planeación tiene limitaciones: los pronósticos en los cuales se basa, pueden estar equivocados; la resistencia interna puede reducir su eficacia; es cara y difícil; requiere de un cierto tipo de talento que puede no estar a la mano; no puede sacar de una crisis a una organización; existen muchos peligros latentes que debe evitar.
 16. La planeación no es adecuada para cualquier persona. Existen algunas razones válidas, aunque no muchas, acerca del porqué una empresa puede preferir no adoptar un sistema de planeación formal.
 17. La planeación no garantiza el éxito, pero considerando todos los factores, los directivos en la mayoría de las empresas harán mejor en utilizarla. Para asegurar su resultado positivo será necesario adaptar el sistema de planeación a las características particulares de cada organización.

I.3. UN MODELO DE PROGRAMACIÓN

Hoy en día, un sistema de planeación estratégica formal integra y une tres tipos de programas: a corto o de plazo inmediato, a mediano o mediano plazo, y a largo plazo. Aunque en cuanto al tiempo de vigencia de estos hay indefinición, generalmente se acepta que los programas de corto plazo tienen una vigencia de

menos de un año, los de mediano plazo entre uno y tres años, y los de largo plazo más de tres.

El periodo típico de planeación es de cinco años, pero existe una tendencia en organizaciones avanzadas en el rubro tecnológico de planear sobre un horizonte de siete a diez años. Las empresas que se enfrentan a ambientes problemáticos reducen la perspectiva de planeación a cuatro o tres años.

La programación a mediano plazo es un proceso mediante el cual se preparan e interrelacionan programas específicos a largo plazo con aquellos que son de corto.

Una vez desarrollados los programas de plazo mediano, el siguiente paso es, con base en éstos, desarrollar los programas a corto plazo; por supuesto, los programas de plazo inmediato serán mucho más detallados que los de mediano plazo.

En algunas organizaciones los números obtenidos durante el primer año con los programas a mediano plazo son los mismos que aquellos logrados con los de corto plazo, aunque en otras empresas no existe la misma similitud.

Un conjunto de programas constituye la parte operativa de un plan y su integración es conocida con el nombre de *planeación operativa*. La formulación de cada plan se realiza con base en los siguientes puntos:

- Objetivos,
- Metas,
- Estrategias,
- Acciones concretas,
- Responsables,
- Instancias de apoyo,
- Calendarización,
- Indicadores para evaluación,
- Periodicidad de evaluación,
- Prioridad en el plan, y
- Presupuesto.

▪ **Objetivos:**

Son los logros pretendidos por el programa constituidos en términos cualitativos.

▪ **Metas:**

Este punto complementará al anterior, pues aquí se expresarán los logros pretendidos por el programa en términos cuantitativos. Sin embargo, las metas

también pueden formularse como una sucesión de eventos consecutivos, con los cuales serán cumplidos los objetivos de manera completa.

- ***Estrategias:***

Expresan las disposiciones generales con las que serán alcanzados los objetivos y cumplidas las metas, enfocadas a expresar el cómo. Para evitar confundir este concepto debe tenerse presente el siguiente enunciado: "con tácticas se encaran batallas, y con las estrategias se enfrentan guerras".

- ***Acciones concretas:***

Son los mecanismos operativos específicos con los cuales será cumplido el programa y la parte correspondiente del plan. Estos mecanismos pueden formularse como tácticas, pero jamás deben semejarse a las estrategias.

- ***Responsables:***

Son los entes físicos o morales responsables de cumplir, supervisar, o bien de llevar a cabo las acciones concretas.

- ***Instancias de apoyo:***

Entes físicos o morales que pueden coadyuvar para que los responsables cumplan su encomienda.

- ***Calendarización:***

En este apartado se señalarán con toda claridad la fecha de inicio de cada actividad y su duración, o bien la fecha de inicio y de término de cada una de ellas. La fecha de inicio podrá ser determinada con el auxilio del método de la ruta crítica que será expuesto más adelante

- ***Indicadores para evaluación:***

Serán elementos que deberán valuarse en términos cuantitativos para ser comparados con las metas fijadas, de este modo podrá determinarse el cumplimiento, avance, o bien, carencias de las mismas.

- **Periodicidad de la evaluación:**

Expresará los lapsos que deberán transcurrir para evaluar el desempeño del programa y del plan.

- **Prioridad en el plan:**

Éste será un valor numérico, preferentemente expresado en escala del uno al cien, que indicará la importancia de cada uno de los programas respecto de los demás; con esta calificación será posible ajustar aquellos programas que posean menor importancia en caso de que se disminuyan los recursos disponibles o que exista una reducción presupuestal. Para apoyar esta calificación se puede tomar en cuenta la relación beneficio sobre costo de los proyectos. Cabe destacar que la suma de las prioridades de todos los programas que integran un plan debe ser "normalizada", es decir, igual a cien en caso de seguir la escala que se ha recomendado.

- **Presupuesto:**

Es la cantidad de dinero que se requiere para realizar el programa, la cual estará constituida por la suma de los importes de todas las acciones concretas que deban ejecutarse para lograr y alcanzar los objetivos y metas fijados.

Por lo general existe una considerable repetición entre la creación de objetivos concretos de planeación a largo plazo y las estrategias para lograrlos. Si un director establece un objetivo y no puede desarrollar estrategias adecuadas para su logro, entonces el objetivo debe ser cambiado por uno más factible. De otra manera, al buscar las alternativas para obtener un objetivo particular, un ejecutivo puede descubrir una estrategia útil que funcionará mejor. Indudablemente el alcance de las metas en este caso debería ser aumentado.

II. PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS

Históricamente han sido empleados diversos métodos para programar y controlar las actividades de un proyecto. Hasta antes del año de 1870 el hombre acudía a la experiencia adquirida al paso de los años y a su intuición, pero en ese año Federico Taylor realizó los primeros estudios formales de temporización de movimientos.

En el año de 1915, posterior a los estudios de Taylor, surgió la teoría de Gantt, aplicable prácticamente a cualquier tipo de operación de cualquier tipo de industria, aunque con algunas limitaciones. Henry Gantt se basó en sencillos pero objetivos diagramas de barras, usando su sistema por primera vez durante la Primera Guerra Mundial para construir un arsenal en 1917, y en febrero de 1918 publicó un artículo sobre este tema en "Industrial Management".

A la muerte de Henry Gantt, Wallace Clark siguió desarrollando la técnica de diagramas de barras para la ejecución de trabajos específicos en proyectos de índole industrial.

En el año de 1956, surgió otra técnica que es complementaria a la desarrollada por Gantt para efectos de programación y control de proyectos, la cual recibe el nombre de *Método de la Ruta Crítica*, identificado por sus siglas en idioma inglés: CPM (Critical Path Method).

El CPM fue desarrollado por Morgan R. Walker de la División de Ingeniería de la Du Pont y por James E. Kelly, quien a la sazón trabajaba en la Remington Rand, desarrollando el sistema que originalmente se denominó PPS (Project Planning and Scheduling), el cual evolucionó en lo que constituye actualmente el CPM (Critical Path Method), con la intención de estructurar un mecanismo para la programación y el control de un plan muy amplio de construcción de plantas industriales en los Estados Unidos de Norteamérica.

Walker y Kelly se dedicaron a la resolución del problema de mejorar las técnicas de programación de algunos proyectos, como la construcción de una planta piloto modelo o el cierre de una planta destinada a la revisión y mantenimiento. Partiendo de la base de que todas las actividades de tales proyectos debían realizarse en un orden bien definido, encontraron que la manera más lógica de representar las interrelaciones existentes entre las tareas de cualquier proyecto era mediante los "diagramas de flechas".

El diagrama de flechas y el método de cálculo del camino crítico o más largo son análogos a las redes PERT y al procedimiento de determinación del camino crítico; sin embargo, Kelly y Walker utilizaban una sola estimación del tiempo y no abordaron el problema de lo impreciso de la duración del tiempo de los trabajos individuales.

El Método de la Ruta Crítica es una técnica “determinística” que procura identificar en una “red de actividades”, aquellas cuyo retraso repercute en la duración de ejecución del proyecto. El término calificativo “determinístico” indica que existe plena certidumbre en lo que se refiere a la duración de cada actividad de una red y por tanto se utilizará un solo valor en el método.

Sin embargo, no siempre es posible tener certidumbre del tiempo en que se ejecutará una o un conjunto de actividades, por lo que las estimaciones de tiempos, y consecuentemente de costos, deben hacerse con base en “probabilidades”, dando así lugar a una Técnica de Evaluación y de Revisión de Programas conocida por sus siglas en el idioma inglés: PERT (Program Evaluation and Review Technique).

Este método (PERT), originalmente llamado Program Evaluation Research Task y posteriormente Program Evaluation and Review Technique, fue desarrollado por la Oficina de Proyectos Especiales de la Marina Armada de los Estados Unidos de Norteamérica al iniciar la ejecución del proyecto comúnmente conocido como Sistemas de Projectiles “Polaris”, proyecto que consistió en el diseño y construcción de submarinos impulsados por energía atómica capaces de lanzar misiles con cabezas nucleares por debajo del mar, donde además de dificultades de tipo científico y tecnológico se enfrentaron problemas de coordinación entre más de 250 contratistas directos y más de 9,000 subcontratistas encargados de algún aspecto específico de todo el trabajo.

Así pues, la Técnica de Evaluación y Revisión de Programas (PERT) es un método probabilístico análogo al Método de la Ruta Crítica (CPM), pero que supone el desarrollo de tres escenarios básicamente: uno optimista, uno pesimista, y otro esperado, el cual puede ser determinado con técnicas de simulación acotadas por los primeros dos escenarios.

No obstante que tanto el PERT como el CPM serán expuestos más adelante, podemos decir que hicieron su aparición en el mundo industrial aproximadamente al mismo tiempo (el trabajo fundamental sobre el CPM fue realizado en 1957 y sobre el PERT en 1958) como consecuencia de investigaciones esencialmente independientes una de otra, razón por la que las notaciones utilizadas en ambos sistemas son distintas, aunque sus conceptos son similares y por tal motivo, son utilizadas indistintamente en la actualidad. Como ejemplo obsérvese la siguiente equivalencia entre las notaciones utilizadas en el PERT y en el CPM:

PERT	CPM
Red	Diagrama de flechas
Suceso	Nudo
Actividad	Trabajo
Tiempo	Duración
Holgura	Juego

Hoy en día, un sistema de planeación estratégica formal integra y une tres tipos de programas: a corto o de plazo inmediato, a mediano o mediano plazo, y a largo plazo. Aunque en términos del tiempo de vigencia de estos hay indefinición, generalmente se acepta que los programas de corto plazo tienen una vigencia de menos de un año, los de mediano plazo entre uno y tres años, y los de largo plazo más de tres.

El periodo típico de planeación es de cinco años, pero existe una tendencia en organizaciones avanzadas en el rubro tecnológico de planear sobre un horizonte de siete a diez años. Las empresas que se enfrentan a ambientes problemáticos reducen la perspectiva de planeación a cuatro o tres años.

La programación a mediano plazo es un proceso mediante el cual se preparan e interrelacionan programas específicos a largo plazo con aquellos que son de corto.

Una vez desarrollados los programas de plazo mediano, el siguiente paso es, con base en éstos, desarrollar los programas a corto plazo; por supuesto, los programas de plazo inmediato serán mucho más detallados que los de mediano plazo.

En algunas organizaciones los números obtenidos durante el primer año con los programas a mediano plazo son los mismos que aquellos logrados con los de corto plazo, aunque en otras empresas no existe la misma similitud.

II.1. LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Para analizar un conjunto de datos, como por ejemplo los obtenidos de una indagación de precios en un mercado específico de bienes, y efectuar inferencias sobre ellas, es preciso:

1. Formar clases estadísticas con los datos elegidos, estableciendo un intervalo o amplitud que sea conveniente en las mismas; posteriormente se calculará el valor medio en cada clase, la frecuencia con que se presentó cada clase en el conjunto seleccionado, la frecuencia relativa y la frecuencia relativa acumulada, tal como se ejemplifica en la siguiente tabla:

Valor Medio del Estrato de la Variable "X"	Frecuencia	Frecuencia Relativa P(X)	Frecuencia Relativa Acumulada
200	11	0.1058	0.1058
250	27	0.2596	0.3654
300	34	0.3269	0.6923
350	16	0.1538	0.8462
400	9	0.0865	0.9327
450	5	0.0481	0.9808
500	2	0.0192	1.0000
Suma	104	1.0000	

Clasificación de un conjunto de datos

2. Considerar que la frecuencia, frecuencia relativa y frecuencia relativa acumulada deberán cumplir las siguientes condiciones:

$$n = \sum_{i=1}^k f_i,$$

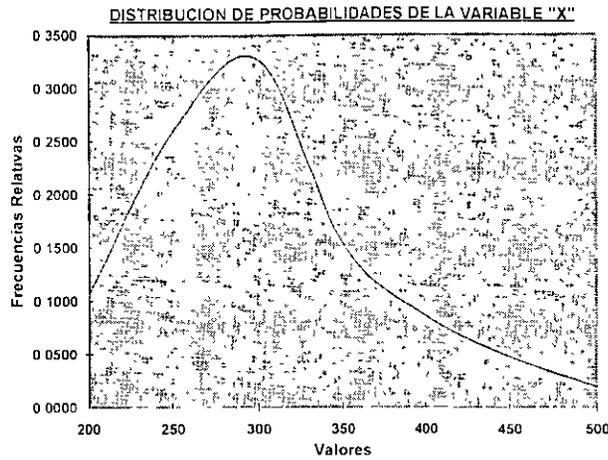
$$fr_i = f_i / n,$$

$$fra_i = \sum_{k=1}^i fr_k,$$

$$\sum_{i=1}^k fr_i = 1$$

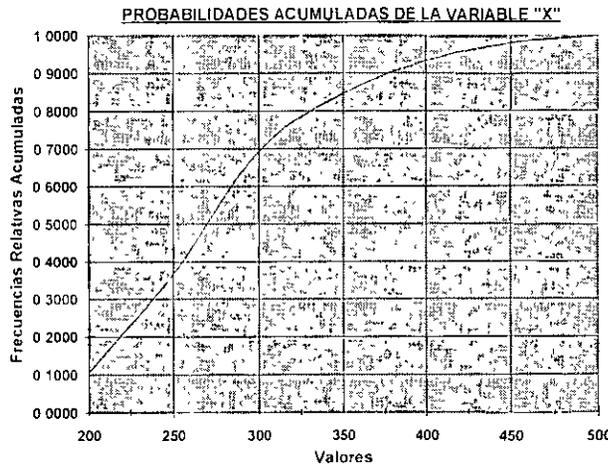
donde "n" es el número de elementos que integra el conjunto en estudio, "f_i" el número de elementos del conjunto en estudio que incurren en el estrato "i", "fr_i" y "fra_i" la frecuencia relativa y la frecuencia relativa acumulada que corresponden al estrato "i".

3. Con la frecuencia relativa calculada puede conocerse la distribución de probabilidades de los parámetros tratados, la cual se apreciará en una representación como la mostrada en la gráfica siguiente:



Frecuencias relativas del conjunto analizado

4. Complementariamente, se representará la frecuencia relativa acumulada como se ha hecho en esta gráfica:



Frecuencias relativas acumuladas del conjunto analizado

El resultado de un experimento estadístico puede registrarse como un valor numérico o como una representación descriptiva, y es por eso que la estadística se interesa principalmente por el análisis de datos numéricos.

La totalidad de las observaciones que interesan, sea su número finito o infinito, constituye lo que se llama una "población"; esta palabra considera las observaciones acerca de algo de interés, ya sean grupos de personas, animales u objetos, y el número de observaciones en la población se define como el tamaño de ésta.

En otros términos, se llamará población al conjunto formado por la totalidad de resultados obtenidos, o posibles, al realizar un experimento cualquiera.

Como ejemplo de una población de tamaño finito podemos citar, entre otros, los números de los naipes de la baraja, las estaturas de los residentes de una ciudad y las longitudes de los peces atrapados en un lago. El experimento de lanzar dados, las observaciones obtenidas al medir la presión atmosférica todos los días, desde el pasado remoto hasta el futuro, o todas las mediciones de la profundidad de un lago en cualquier punto concebible, son ejemplos de poblaciones de tamaño infinito. Algunas poblaciones finitas son tan grandes, que en teoría se supone que son infinitas.

En el campo de la inferencia estadística, interesa lograr conclusiones concernientes a una población cuando es imposible o impráctico observar el conjunto total que forma a la población, y es por eso que se depende de un subconjunto de ésta para poder realizar estudios relativos a la misma. Esto ha conducido al desarrollo de la teoría del muestreo.

A los datos obtenidos al realizar un experimento determinado número de veces se le conocerá como "muestra de la población", por lo que una muestra será entendida como un subconjunto de su población, y para que sean válidas las inferencias que se realicen se deben obtener "muestras representativas" de la citada población.

Siempre que se trabaje con una muestra, se debe contar con un plan preciso para delimitar el tamaño de la muestra que deseamos extraer de una población para cumplir con los objetivos de la investigación. Un error muy común consiste en pensar que una muestra debe ser grande para que realmente sea representativa de la población, pero quizá esto no suministre información adecuada sobre el parámetro en cuestión; sin embargo, sí mermará en mucho los recursos económicos que se empleen para llevar al cabo esta actividad

Con frecuencia, al elegir una muestra se seleccionan los elementos que se consideran más convenientes de la población; pero tal procedimiento puede conducir a inferencias erróneas. Los procedimientos de muestreo que generan inferencias que sobrestimen o subestimen de manera consistente algunas características de la población reciben el nombre de "sesgados".

Para eliminar cualquier posibilidad de sesgo en el procedimiento de muestreo, es deseable recurrir al manejo de "muestras aleatorias", las cuales se seleccionan de modo independiente y al azar, cuyo principal objeto es presentar información representativa acerca de los parámetros de la población que son desconocidos.

Para analizar características específicas de una muestra aleatoria, misma que se considerará representativa de una población, se emplearán los parámetros conocidos como estadísticos, mismos que reciben también el nombre de "medidas de tendencia central". Un estadístico o medida de tendencia central será cualquier función (expresión matemática) que involucre a las variables aleatorias que constituyen una muestra aleatoria.

Los estadísticos más comunes utilizados para determinar el punto medio de un conjunto de datos, dispuestos en orden de magnitud, son la media, la mediana y la moda

Si X_1, X_2, \dots, X_n constituyen una muestra aleatoria de tamaño "n", donde cada una de ellas tiene la misma probabilidad de ocurrencia, entonces la "media muestral" se define con el estadístico:

$$\mu_x = 1/n \sum_{i=1}^n X_i,$$

y en caso de que cada una de estas variables posea su propia y respectiva probabilidad de ocurrencia, el estadístico de la media muestral será:

$$\mu_x = \sum_{i=1}^n P(X_i) X_i.$$

Si X_1, X_2, \dots, X_n constituyen una muestra aleatoria de tamaño "n", dispuesta en orden creciente de magnitud, entonces la "mediana de la muestra" se define con el estadístico siguiente:

$$m_x = X_{(n+1)/2} \text{ si "n" es impar, y} \\ m_x = 1/2 (X_{n/2} + X_{(n/2)+1}) \text{ si "n" es par.}$$

Si X_1, X_2, \dots, X_n , que no son necesariamente diferentes, constituyen una muestra aleatoria de tamaño "n", entonces la "moda muestral" es el valor de la observación que ocurre más a menudo o con la mayor frecuencia. La moda será referida con la letra " M_x ", la cuál puede no existir y cuando existe no es necesariamente única, de hecho, cuando exista una sola moda se dirá que la muestra será unimodal, cuando sean dos será bimodal, y cuando sean tres o más la muestra será multimodal.

De las tres medidas de tendencia central definidas anteriormente, será la media en la que centraremos nuestra atención, pues servirá para definir otras características de índole estadística que referirá la dispersión que existe de los datos muestrales respecto de su media, definiendo así a las "medidas de dispersión". Esta información que es referida recibe el nombre de momento de orden "k" con respecto a la media y; el cuál, cuando los valores de la muestra tienen la misma probabilidad de ocurrencia, es definido de la siguiente manera:

$$m_k = 1/n \sum_{i=1}^n (X_i - \mu_x)^k,$$

pero cuando los valores de dicha muestra poseen distintas probabilidades de ocurrencia, la expresión aplicable será.

$$m_{xk} = \sum_{i=1}^n P(X_i) (X_i - \mu_x)^k.$$

En lo sucesivo, será el momento de orden dos con respecto a la media el que nos interesará, el cuál será denominado como varianza de la muestra y se determinará con la siguiente expresión cuando exista la misma probabilidad de ocurrencia en los valores de la muestra:

$$m_2 = \sigma_x^2 = 1/n \sum_{i=1}^n (X_i - \mu_x)^2,$$

y como se ha venido señalando, en caso de que los valores que integran la muestra tengan distinta probabilidad de ocurrencia, la expresión anterior será modificada del siguiente modo:

$$m_{x2} = \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n P(X_i) (X_i - \mu_x)^2.$$

A la raíz cuadrada de la varianza se le conocerá con el nombre de desviación estándar, misma que se expresará de la forma siguiente:

$$\sigma_x = (\sigma_x^2)^{1/2}.$$

Adicionalmente es posible determinar de una manera relativa o porcentual la dispersión de los datos analizados en una muestra con respecto de su media, la cual se fundamenta en la determinación de un índice conocido como “coeficiente de variación”, mismo que guarda la siguiente equivalencia:

$$v_x = \sigma_x / \mu_x.$$

No obstante, existe una cuarta medida de dispersión que no depende de la media de la muestra, ésta recibe el nombre de “rango de la muestra aleatoria”. Si X_1, X_2, \dots, X_n son elementos de una muestra aleatoria, el rango se define como $X_n - X_1$, donde X_n y X_1 son, respectivamente, las observaciones mayor y menor de la muestra.

En adición a lo expuesto, es posible calificar a una muestra con base en su distribución simétrica respecto de su media y con base en su aplanamiento o

exceso (kurtosis), es decir, podemos inducir el cálculo de dos índices: el primero denominado coeficiente de simetría, y el segundo llamado coeficiente de kurtosis.

El coeficiente de simetría se calcula con la siguiente relación:

$$\beta_1 = m_3^2 / m_2^3.$$

Si el valor de este coeficiente es igual a cero, significará que la curva de distribución de la muestra es simétrica, es decir, que existe el mismo número de elementos a la derecha y a la izquierda de la media. En cambio, si el valor del coeficiente de simetría es mayor que cero, se dirá que existe una asimetría "positiva", e indicará que el valor de la moda es menor que el de la media; si por el contrario, el valor del coeficiente es menor que cero, la asimetría será "negativa", y el valor de la moda será mayor que el de la media de la muestra,

Por su parte, el coeficiente de kurtosis o de aplanamiento se determinará con este cociente:

$$\beta_2 = m_4 / m_2^2.$$

Para calificar el grado de aplanamiento de la distribución de una muestra, se le comparará con una distribución teórica de gran importancia, la cual es llamada "normal estándar". El valor del coeficiente de kurtosis para la distribución normal es equivalente a tres unidades (mezokúrtica), por lo que, si éste coeficiente resulta ser menor que tres, la distribución de la muestra será "platokúrtica", es decir, más aplanada que la curva de la distribución normal; si por el contrario, el valor calculado fuera mayor que tres, la curva de distribución de la muestra será "leptokúrtica", o sea, menos aplanada que la distribución normal.

Una curva de distribución platokúrtica (achatada) indica que los datos muestrales se encuentran muy dispersos respecto de su media, ya que su altura es menor que la curva de distribución normal, en cambio, una curva leptokúrtica (alta y estrecha en el centro) indica que los elementos de la muestra son concentrados, es decir, poseen valores cercanos a la media.

Con base en lo anteriormente explicado, cabe destacar que la media es fácil de calcular y emplea toda la información disponible, por esa razón los métodos utilizados en inferencia estadística se basan en la media de la muestra. La única desventaja importante de la media es que puede ser afectada en forma nociva por los valores extremos.

La mediana tiene la ventaja de ser fácil de calcular si el número de observaciones es relativamente pequeño, y no es influida por valores extremos. Al considerar muestras tomadas de poblaciones, las medias muestrales por lo general no varían tanto de una muestra a otra como lo harían las medianas, por consiguiente, la media es más estable que la mediana si se intenta estimar el punto central de una

población con base en un valor de muestra. En consecuencia, una media muestral ha de estar probablemente más próxima a la media de la población que la mediana de su muestra.

La moda es la medida menos utilizada de las tres medidas de tendencia central ya referidas. Para conjuntos pequeños de datos su valor es casi inútil, si es que existe. Tiene un valor significativo sólo en el caso de una gran cantidad de datos. Sus dos principales ventajas son que:

1. no requiere cálculo y que,
2. se puede utilizar para evaluar datos cualitativos o cuantitativos

Sin embargo, las tres medidas de tendencia central definidas no dan por sí solas una descripción adecuada de los datos. Se necesita saber en qué grado las observaciones se apartan del promedio, y es entonces donde cobran relevancia las medidas de dispersión, ya que es posible tener dos conjuntos de observaciones con la misma media o mediana que difieran considerablemente en la variabilidad de sus mediciones con respecto a su respectiva media.

El rango puede ser una medida de variabilidad deficiente, en particular si el tamaño de la muestra o población es grande. Tal medida considera sólo los valores extremos y no expresa nada acerca de la distribución de valores comprendidos entre ellos.

La varianza contrarresta la desventaja del rango, y estas dos medidas de dispersión las complementa la desviación estándar, junto con los coeficientes de variación, de simetría y kurtosis.

II.2. EL MÉTODO PERT

Esta es una Técnica de Evaluación y de Revisión de Programas, la cual es referida mediante el acrónimo formado por su nombre en inglés (Program Evaluation and Review Technique -PERT-). "PERT" es un método probabilístico que supone el desarrollo y análisis de un escenario optimista, uno pesimista y otro esperado, este último acotado por los dos primeros.

En la técnica CPM, que será abordada más adelante, se requiere de una estimación única del tiempo de duración de cada actividad, pero con ello no se considera el problema de la imprecisión de la estimación de las duraciones, aunque se suele incluir en las estimaciones efectuadas el "tiempo muerto" suficiente para compensar esta imprecisión. Este procedimiento da buenos resultados en algunas aplicaciones específicas, tales como los proyectos de construcción, en los que se dispone de tiempos estándar para valorar las

actividades individuales, o bien de gran cantidad de datos estadísticos referentes a actividades análogas a las que se consideraran.

No obstante, es posible trabajar con una estimación única, la cual puede ser obtenida a través de las "duraciones esperadas" que pueden establecerse mediante el método PERT, el cual considera las posibles variaciones que pueden existir en la ejecución de las actividades, pero obviamente con la programación se trata de establecer el mejor ordenamiento de un conjunto de actividades que deberán ser emprendidas en el futuro, con las cuales se pretende llevar a cabo un proyecto; sin embargo, por ser eventos futuros se tratará inherentemente con incertidumbre respecto de las condiciones en que serán realizadas.

Es precisamente este hecho el que hace que las cosas resulten de manera distinta a la que se supuso de manera determinística, debido a que la ocurrencia de eventos futuros es una cuestión aleatoria, es decir, puede depender del azar; por esta razón es recomendable prepararse para las mejores y las peores condiciones.

El escenario optimista se formulará con la determinación de las mejores condiciones en que pueden ser desarrolladas las actividades del proyecto, o sea, se considerarán los menores costos y mínimas duraciones de las actividades, así como también la mayor disposición de recursos económicos y humanos.

Por el contrario, el escenario pesimista se formará determinando la ocurrencia de las peores condiciones de trabajo en el proyecto, es decir, se supondrá que se alcanzarán los mayores costos y máximas duraciones, además de la menor disposición de los recursos en general.

En el ámbito de la construcción, considerando que las cantidades de obra por ejecutar son constantes, el escenario optimista se generará a partir de la consideración de los rendimientos respectivos que presenten mayor valor, es decir, aquellos que logren mejor avance; mientras que el escenario pesimista surgirá con la aplicación de rendimientos con menor valor, o sea, los que representarán el peor avance. Esto debido a que la duración de las actividades se determinarán a través del cociente que resulte de dividir la cantidad de obra "Q" entre el rendimiento que corresponda "R", es decir:

$$d = Q / R$$

El escenario esperado resulta ser uno intermedio de los dos anteriores obviamente; su generación se logra considerando el acontecimiento de las situaciones "más probables" que pueden ocurrir en el futuro, por eso mismo es que este escenario también puede ser llamado "escenario más probable".

Estos tres escenarios se integrarán con las duraciones respectivas (optimistas, pesimistas y más probables) de cada actividad que deberá desarrollarse en el

proyecto, y una vez que se han obtenido las tres estimaciones de duración o tiempo se admite que éstas pertenecen a una distribución de probabilidades unimodal en la que el tiempo esperado corresponde al valor modal o más frecuente.

Como la relación entre el tiempo más probable y el optimista puede variar, así como también la relación entre este primero y el tiempo pesimista, el método PERT adoptó para los tiempos la "distribución beta de probabilidad", por ser la que mejor se ajusta a estas características generales, empleándola como modelo para la determinación del tiempo medio o esperado y de la desviación típica o estándar, correspondientes a las tres estimaciones del tiempo que hemos referido.

Tras un análisis matemático, en el que se admiten ciertas hipótesis sobre la relación existente entre el recorrido y la desviación típica y una relación aproximada entre la media y la moda de la distribución beta, se deducen las siguientes fórmulas generales para el tiempo esperado y la desviación estándar, a saber:

$$d_e = (d_o + 4d_{mp} + d_p) / 6$$

$$\sigma = (d_p - d_o) / 6$$

donde:

d_e : Duración o tiempo esperado

d_o : Duración o tiempo optimista

d_{mp} : Duración o tiempo más probable

d_p : Duración o tiempo pesimista

σ : Desviación estándar o típica de la duración o tiempo esperado

Para afirmar lo anterior partimos de la distribución beta de la duración esperada, cuya expresión es:

$$f(d_e) = k(d_e - a)^\alpha (b - d_e)^\gamma,$$

siendo "k", " α " y " γ " funciones de las tres estimaciones de duración o tiempos " d_o ", " d_{mp} " y " d_p ". Para igualar el valor de esta función de la densidad de la distribución a uno, comenzamos por hacer que el recorrido valga la unidad, esto es:

$$d_p - d_o = 1,$$

y haciendo un cambio de variable:

$$x = (d_e - d_o) / (d_p - d_o)$$

La moda o valor normal vendrá dada entonces por la siguiente expresión:

$$r = (d_{mp} - d_o) / (d_p - d_o)$$

Introduciendo ahora las funciones "α" y "γ", tales que:

$$\alpha = d_{mp} - d_o$$

$$\gamma = d_p - d_{mp}$$

se obtiene para la moda la expresión:

$$r = \alpha / (\alpha + \gamma)$$

La varianza de "x" estará dada por la siguiente fórmula:

$$\sigma_x^2 = (\alpha + 1) (\gamma + 1) / [(\alpha + \gamma + 2)^2 (\alpha + \gamma + 3)]$$

y admitiendo la *hipótesis simplificativa* de que la desviación típica o estándar "s" es igual a la sexta parte del recorrido:

$$\sigma = d_p - d_o / 6$$

$$\sigma = 1 / 6$$

se obtiene que:

$$1 / 36 = (\alpha + 1) (\gamma + 1) / [(\alpha + \gamma + 2)^2 (\alpha + \gamma + 3)]$$

Ahora, considerando el valor "r" obtenido para la moda, resulta la ecuación cúbica mostrada enseguida:

$$\alpha^3 + (36r^2 - 36r^2 + 7r)\alpha^2 - 20r^2\alpha - 24r^3 = 0$$

Sabiendo que el valor medio de "x" viene dado por la expresión:

$$E(x) = (\alpha + 1) / (\alpha + \gamma + 2)$$

y conociendo los valores de "d_o", "d_{mp}" y "d_p", se puede determinar el valor de "E(x)" mediante la aplicación de las ecuaciones respectivas expuestas anteriormente, que representa el valor de la duración esperada o "media" que será empleada en el método de la ruta crítica expuesto más adelante.

Sin embargo, este procedimiento supone la resolución de la ecuación cúbica expuesta, pero si para distintos valores de "r" obtenemos los correspondientes de "α", posteriormente, en función de éstos los de "E(x)", y los llevamos a un gráfico,

cuyos ejes representen valores de "r" y "E(x)", se apreciará que la función que los relaciona es prácticamente "lineal", pudiéndolo sustituir por la recta:

$$E(x) = (4r + 1) / 6$$

Sustituyendo en esta expresión el valor de "r" ya expuesto, e igualando al valor de "E(x)" dado por la fórmula:

$$E(x) = (d_e - d_o) / (d_p - d_o)$$

Llegamos al resultado ya expuesto:

$$d_e = (d_o + 4d_{mp} + d_p) / 6$$

Con esta base nos referiremos ahora a la probabilidad de cumplir una fecha programada de terminación "T_P" de un proyecto, considerando que con el método PERT se determine una fecha esperada de terminación del mismo "T_E" distinta (hay que recordar que la fecha programada de terminación suele determinarse efectuando una planificación general determinística y que de ella se deduce la fecha objetiva, aunque otras veces ésta puede haber sido fijada arbitrariamente como una "meta a alcanzar"). Si el tiempo esperado tiene un valor superior al tiempo programado, cabe preguntarse qué probabilidad habrá de terminar el proyecto en la fecha prevista.

El razonamiento estadístico de este cálculo establece que, aunque la distribución de los posibles tiempos de terminación de cada una de las actividades que componen el camino crítico puede variar, la distribución de los posibles tiempos de terminación correspondientes al suceso o evento final alrededor del tiempo esperado de terminación se aproxima a la distribución normal o de Gauss. Esta hipótesis es una consecuencia del teorema del límite central aplicado al caso en que el camino crítico esté compuesto por un gran número de actividades que responden a una distribución aleatoria o al azar, por ejemplo, superior a trece.

El valor de la probabilidad de que se cumpla una duración total programada o de que se termine el proyecto en una fecha programada "T_P" es igual a la siguiente relación que debe ser consultada en una tabla de distribución normal.

$$Z = (T_P - T_E) / \sigma$$

II.3. EL MÉTODO CPM

Este método presenta “el programa del proyecto” mediante la representación gráfica de todas las operaciones o acciones concretas que intervienen en el proyecto, coordinándolas y relacionándolas de acuerdo con exigencias, restricciones o condicionamientos de tipo tecnológicos, económicos, tácticos, políticos, sociales, ambientales, físicos, de seguridad, financieros, o de disponibilidad y utilización de recursos en general como son: de mano de obra, materiales, equipo, maquinaria, dinero, etc.

La representación gráfica que ha sido aludida anteriormente es conocida con el nombre de *red de actividades*, la cual, desarrollada integralmente con las técnicas de la Ruta Crítica, constituye un modelo matemático para la programación de un proyecto. Con este modelo es posible determinar el tiempo óptimo de realización de cada una de las *cadena de actividades* que integran la red con el fin de aprovechar en forma económica todos los recursos disponibles.

El CPM (Critical Path Method) supone que las experiencias pasadas nos liberan de la incertidumbre de tiempos de ejecución, pero no así del problema de los costos, por ello se requiere de estimaciones realistas de ellos con relación al tiempo.

La relación costo-tiempo tiene normalmente un número grande de puntos que logran la optimización de recursos. Si no considerar al factor tiempo no tuviera consecuencias, cada actividad podría ser ejecutada de manera que originara el menor costo posible; y si el costo no tuviese importancia, cada proceso podría ser acelerado con el fin de lograrlo en el menor tiempo. Entre estos dos límites se encuentra la solución más económica del problema, pero encontrarla implica recurrir a técnicas de programación matemática.

No obstante lo anterior, este método ofrece amplias ventajas como son las siguientes:

1. Suministra una base disciplinada y metódica para la programación de un proyecto.
2. Permite obtener una visión de conjunto muy clara en cuanto a los alcances, grado de complejidad, limitaciones, restricciones tecnológicas y de uso de recursos del proyecto.
3. Es una herramienta importante para controlar el proyecto, pues aporta elementos concretos para evaluar los objetivos y las metas del proyecto, y para efectuar la correcta selección de alternativas de corrección.

-
4. Reduce significativamente, desde el punto de vista de control del proyecto, la posibilidad de omitir un trabajo específico del mismo.
 5. Mostrando las interrelaciones entre las diferentes actividades, señala y ubica las responsabilidades de las diferentes personas, grupos o departamentos involucrados en el proyecto.
 6. Hace posible la "dirección por excepción", llamando la atención del ejecutivo sobre aquellas actividades que en realidad lo requieren por presentar mayores dificultades y riesgo.
 7. En la etapa de control forma un útil y completo registro del desarrollo de los proyectos para aprovechar las experiencias en el futuro.
 8. Es lo suficientemente flexible para permitir que durante la ejecución del proyecto se realicen ajustes o actualizaciones del programa original.
 9. Permite cuantificar y valorar la magnitud de las consecuencias de las desviaciones respecto del programa original.
 10. Proporciona al tomador de decisiones información objetiva sobre el desarrollo del programa.

El uso de una red de actividades permite, de una forma gráfica, establecer la secuencia e interrelación entre las actividades que se deben realizar como ya ha sido inducido anteriormente, siempre y cuando éstas estén perfectamente definidas, tengan inicios y terminaciones independientes de las demás, y puedan ser ordenadas con una secuencia condicionada por los requerimientos propios del proyecto.

El primer paso para elaborar la red de actividades de un programa consiste en detectar, configurar y separar las distintas operaciones o procesos necesarios para la ejecución de un proyecto, con fundamento en los objetivos, metas y estrategias establecidas en el programa.

Una vez elaborada la lista completa de estas actividades, el siguiente paso consiste en definir las relaciones esenciales entre todas las actividades, su secuencia y sus dependencias.

Cada "actividad" será representada con una flecha. El inicio de cada actividad constituirá un evento, así como también su culminación, el cual quedará representado generalmente con un círculo. La representación gráfica de una actividad y de sus eventos inicial y final es la siguiente:



Las flechas carecen de un significado integral vectorial; esto es, la dirección no es relevante y su magnitud tampoco, salvo los casos de representación de una red a escala. En cambio, el sentido indicado por la cabeza de la flecha sí tiene significado, pues indica que la acción se desarrolla del inicio al final de la flecha mientras que el tiempo transcurre.

Debe entenderse que las actividades consumen tiempo, los eventos no. Los primeros implican una acción y los segundos marcan un hecho; el momento del inicio de una acción será denominado como evento inicial o evento de origen, y el instante de su culminación será llamado evento final.

Cada vez que se va a trazar una flecha deben hacerse tres preguntas esenciales:

1. ¿Qué otra(s) actividad(es) debe(n) estar terminada(s) antes de que pueda iniciar ésta?
2. ¿Qué actividad(es) puede(n) efectuarse simultáneamente con ésta?
3. ¿Qué actividad(es) debe(n) seguir a ésta?

Con un conocimiento completo del proyecto por efectuarse las respuestas a estas preguntas son sencillas, y con ellas se pueden desarrollar una Red de actividades completa, que representa un esquema lógico para el desarrollo del proyecto.

La liga y secuencia de las diversas actividades identificadas (flechas) formarán "cadenas" o áreas de acción. La unión de todas las cadenas de actividades constituirá la Red de actividades, representada por un diagrama de flechas.

Para que la red de actividades de un programa determinado sea representativa, deberá incluir todas las actividades por realizar, habrá de incorporar todos los elementos y factores que intervienen en el proyecto como son recursos y procesos y, además, habrá de considerar todas las limitantes y restricciones tecnológicas, de procedimiento, de seguridad, ambientales, etc., así como consideraciones especiales como son la urgencia del proyecto, sus implicaciones económicas, políticas, o sociales, por citar algunos ejemplos.

El grado de desglose de las actividades y, en consecuencia, el tamaño de la red reflejado en el número de actividades que la constituyan deberá determinarse prudentemente para cada proyecto en particular. Dicho desglose dependerá de factores tales como: la naturaleza de los trabajos e importancia de los mismos, complejidad de las operaciones, grado del control de calidad y avance que se especifique, localización y finalidad del proyecto, y periodo esperado para su ejecución.

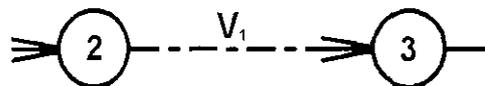
Es conveniente señalar que una red de actividades debe constituir una ayuda para quien tiene la responsabilidad de programar y controlar un proyecto; de ninguna manera debe incrementar sus problemas ni complicar su trabajo. Por otro lado la red debe tener objetividad para ayudar a visualizar la problemática que representa la realización del proyecto y debe carecer de una magnitud y complejidad que hagan que su manejo e interpretación signifique un consumo alto e innecesario de recursos.

Por otro lado, la preparación de un diagrama de flechas o red de actividades tiene reglas básicas que deberán respetarse, toda vez que constituyen la "lógica" de cualquier red.

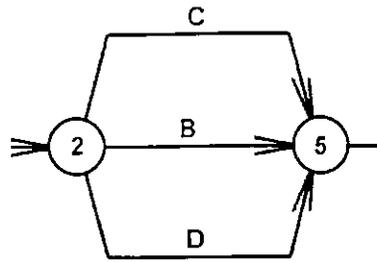
1. Los eventos serán identificados con números arábigos o romanos. Las actividades con nombres, letras mayúsculas, o bien, con números arábigos.
2. Todas las actividades tendrán un evento de origen o inicial y un evento final como se ejemplifica en la figura, donde la actividad "A" tiene su origen en el evento "1" y su término en el evento "2", y la actividad "B" tiene un origen en el evento "2" y finaliza en el evento "3".



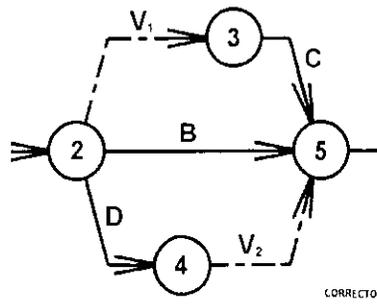
3. La numeración de eventos deberá ser tal, que siempre el número en el evento final de cada actividad debe ser mayor que el del evento inicial. El evento inicial de la primera actividad puede numerarse con el uno o con el cero.
4. Las actividades de tiempo cero y costo nulo se denominarán *actividades ficticias*, y se usan para mantener la secuencia correcta. Estas actividades se indicarán con flechas de líneas discontinuas como la que se ejemplifica en la figura, pero también tendrán eventos inicial y final.



5. Cuando dos o más actividades tengan los mismos eventos inicial y final, se utilizarán actividades ficticias para todas las ramas con excepción de una; esto con el fin de que cada actividad pueda identificarse separadamente por los números de los eventos inicial y final. La primera figura muestra la forma incorrecta, y la segunda la correcta.



INCORRECTO

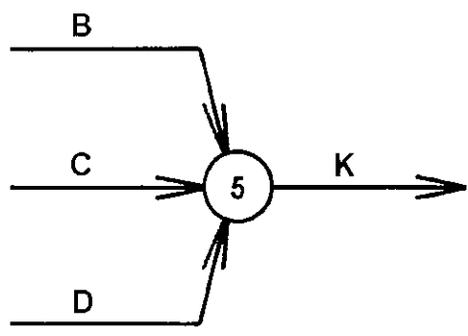


CORRECTO

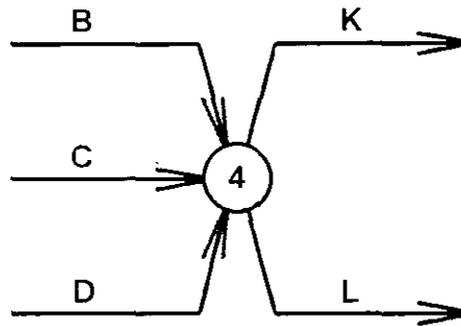
6. Las actividades que consuman tiempo pero no recursos, como por ejemplo el secado de pintura, o fraguado del concreto, o bien, que consuman recursos pero no tiempo en términos prácticos, como es el caso de los suministros, se conocerán como *actividades virtuales* o "dummy", representándose de la misma manera que las actividades ficticias. En otras palabras, las actividades virtuales son aquellas con costo o tiempo igual a cero, aunque se utilizan mayormente para simplemente representar periodos de espera obligados por cualquier circunstancia ajena a la ejecución del trabajo propiamente dicho.

Es evidente que cada proyecto tiene secuencias propias y diversas relaciones entre sus diferentes actividades; de hecho, esas situaciones son las que llegan a caracterizarlos. Sin pretender señalar todas las clases de relaciones factibles de existir entre las diversas actividades de un proyecto, a continuación se ejemplifican las más típicas, mismas que podrán combinarse para establecer relaciones complejas:

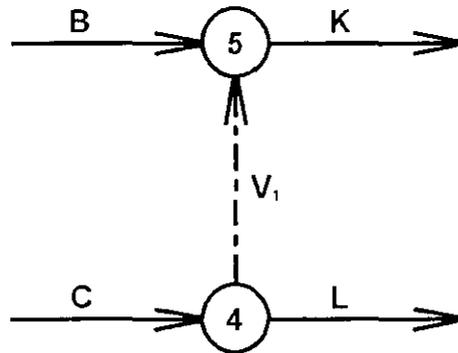
- a) La actividad "K" depende de las actividades "B", "C" y "D".



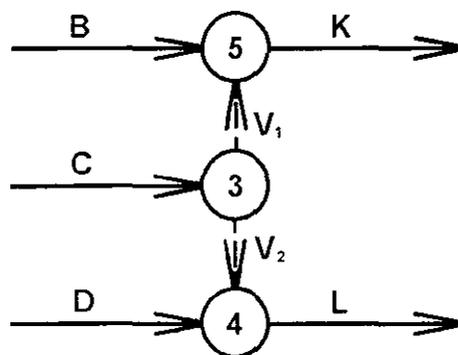
b) Las actividades "K" y "L" dependen de las actividades "B", "C" y "D".



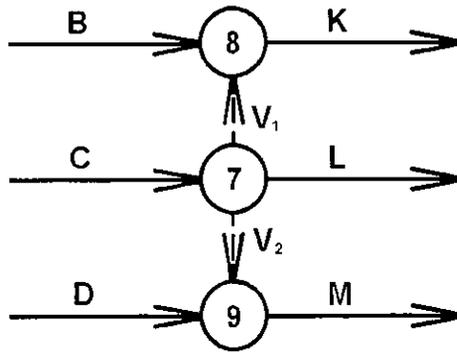
c) La actividad "K" depende de las actividades "B" y "C", y la actividad "L" depende solamente de "C".



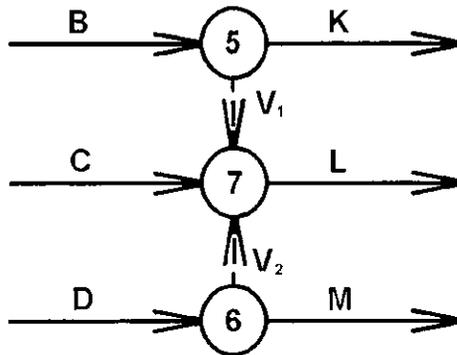
d) La actividad "K" depende de las actividades "B" y "C", y la actividad "L" depende de las actividades "C" y "D".



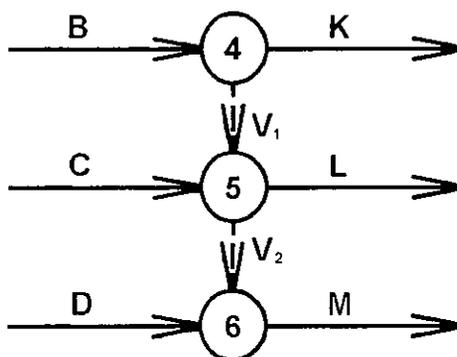
e) La actividad "K" depende de las actividades "B" y "C", la actividad "L" depende de la actividad "C" solamente, y la actividad "M" depende de las actividades "C" y "D".



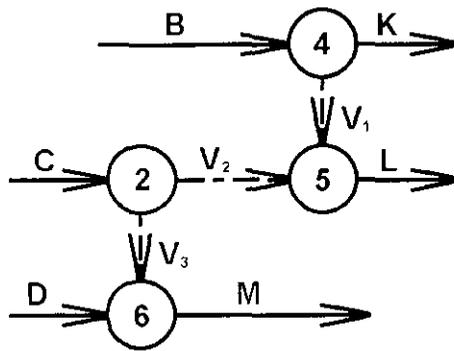
- f) La actividad "K" sólo depende de la actividad "B", la actividad "L" depende de las actividades "B", "C" y "D", y la actividad "M" depende de la actividad "D" solamente.



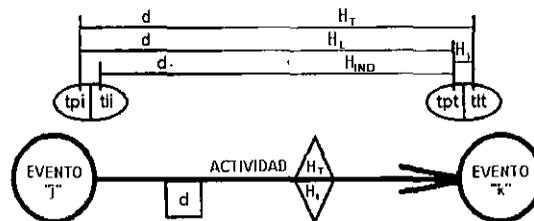
- g) La actividad "K" depende de la actividad "B", la actividad "L" depende de las actividades "B" y "C", y la actividad "M" depende de las actividades "B", "C" y "D".



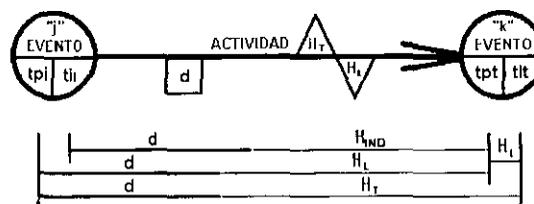
- h) La actividad "K" depende de la actividad "B", la actividad "L" depende de las actividades "B" y "C", y la actividad "M" depende de las actividades "C" y "D".



En adición a lo anteriormente expuesto habrá que considerar el empleo de la siguiente nomenclatura que complementará la información que es posible incluir en una red de actividades:



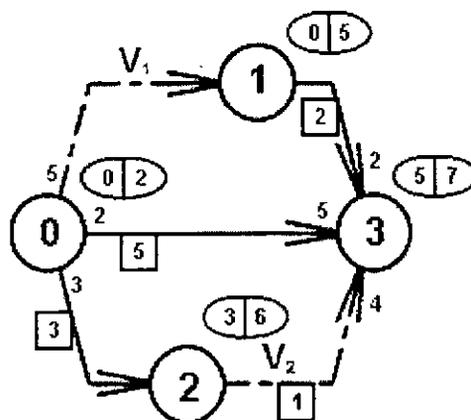
Donde el evento "j" es aquel que da origen a la actividad, el evento "k" es el generado al término de la misma, "d" es el tiempo que dura su ejecución (mismo que puede ser establecido por el método PERT como "d_e"), "t_{pi}" y "t_{li}" son el tiempo próximo de inicio y el tiempo lejano de inicio respectivamente en los que puede comenzar la actividad, mientras que "t_{pt}" y "t_{tt}" son el *tiempo próximo de término* y el *tiempo lejano de término* en que puede concluir ésta, " H_T ", " H_L ", " H_I " y " H_{IND} " representan a la *holgura total*, a la *holgura libre*, a la *holgura de interferencia* y a la *holgura independiente*, las cuales serán explicadas más adelante. Sin embargo, si se desea, puede emplearse la siguiente representación gráfica con la nomenclatura ya expuesta:



El cálculo de los números cardinales que se deben asentar del lado izquierdo y derecho de los eventos que integran una red de actividades, mismos que, según la actividad que se esté tratando, representarán al t_{pi}, t_{li}, t_{pt}, t_{tt} de la misma, se calcularán de la siguiente manera:

- a) Primeramente se determinará el lado izquierdo de cada evento, comenzando por anotar un cero en el evento inicial del proyecto, para posteriormente avanzar en el sentido indicado por las flechas, sumando las duraciones indicadas en cada actividad y colocando el resultado en la "cabeza" de la flecha.
- b) Cuando un evento final sea concurrido por más de una flecha, se colocará el número mayor de los anotados en cada "cabeza" de flecha.
- c) El lado izquierdo del resto de los eventos se determinará de la misma manera descrita en el inciso a), pero partiendo del número anotado en el evento inicial de cada actividad. Se procederá de este modo hasta llegar al evento final del proyecto.
- d) Una vez que se completó el cálculo de los lados izquierdos de todos los eventos, habrá que decidir sobre cuál será el tiempo lejano para la terminación del proyecto, es decir, se deberá elegir la "holgura" máxima que podrá disponerse para la conclusión de sus actividades, y se le sumará este número al lado izquierdo del evento final del proyecto, anotando el resultado del lado derecho del mismo.
- e) Los números de los lados derechos de cada evento se determinarán retrocediendo a partir del evento final del proyecto, restando las duraciones anotadas en cada actividad y se asentará el resultado en el inicio de flecha respectiva.
- f) Cuando de un evento inicial diverjan dos o más actividades, se anotará el menor número anotado en el inicio de cada flecha durante el retroceso.
- g) Finalmente, se verificará que la diferencia entre el lado derecho e izquierdo del evento inicial del proyecto sea la misma que la dispuesta como "holgura" del mismo.

Este procedimiento descrito, fue aplicado como ejemplo en la figura que a continuación se muestra:



Con base en lo anteriormente explicado y en lo mostrado por la figura, podrá verse en la red de actividades que los tiempos próximos y lejanos ya referidos guardan la siguiente relación:

$$tpt = tpi + d$$

$$tlt = tli + d$$

Para el cálculo de las holguras también ya mencionadas, se deberán aplicar las siguientes equivalencias por cada una de las actividades de la red:

$$H_T = tlt - tpi - d$$

$$H_T = tli - tpi$$

$$H_L = tpt - tpi - d \text{ (}^1\text{)}$$

$$H_I = H_T - H_L$$

$$H_{IND} = tpt - tli - d \text{ (}^2\text{)}$$

Para esto, es conveniente realizar una tabulación en la que se apliquen los siguientes pasos:

1. Se anotarán las duraciones asignadas a cada actividad.
2. Se extraerán de la red de actividades los tiempos próximos de inicio de cada actividad y se anotarán en la tabla, pero sumándoles la unidad.
3. Se calculará el tiempo próximo de término de cada actividad sumándole a su tiempo próximo de inicio la duración correspondiente y se le restará al valor obtenido la unidad.
4. Se extraerá de la red y se anotará en la tabla el tiempo lejano de término de cada actividad.
5. El tiempo lejano de inicio se calculará restando la duración de cada actividad de su tiempo lejano de término y se le adicionará la unidad.

¹ Estos valores serán tomados de la red de actividades y se omitirá la aplicación de la expresión que calcula el tiempo próximo de término de forma tabular.

² Estos valores serán tomados de la red de actividades, se omitirá la aplicación de las expresiones que calculan el tiempo próximo de término y el tiempo lejano de inicio de manera tabular, y habrá que considerar que el lapso entre estos tiempos puede ser insuficiente para cubrir la duración de la actividad, por lo que es posible que los valores de esta holgura sean negativos, en cuyo caso serán ignorados y considerados como equivalentes a cero

-
6. La holgura total de las actividades se determinará realizando la diferencia entre los respectivos tiempos lejanos de inicio y próximos de inicio, o bien, restándole al tiempo lejano de término el próximo de término.
 7. La ruta o cadena crítica la integrará aquella secuencia de actividades cuya holgura total sea equivalente a la "holgura" seleccionada para el proyecto, misma que suele ser igual a "cero".
 8. La holgura libre de las actividades deberá ser calculada en la red de actividades y de ninguna manera en la tabla que se está generando, pues esto provocaría incoherencias; al tiempo próximo de término de cada actividad se le restará su tiempo próximo de inicio y su duración, lo cual corresponde a la aplicación de la expresión señalada con anterioridad.
 9. Correspondientemente también a las expresiones aritméticas señaladas para determinar las distintas holguras, la de interferencia se calculará restándole a la holgura total de cada actividad, su holgura libre.
 10. Al igual que el cálculo de la holgura libre, el de la independiente se realizará sobre la red de actividades, restando del tiempo próximo de término de cada actividad, el lejano de inicio y la duración de la propia actividad, igualmente de conformidad con las expresiones ya anotadas. Deberá tomarse en cuenta que, las características conceptuales de esta holgura hacen posible que en su cálculo se obtengan valores negativos, en cuyo caso serán ignorados y se anotará un "cero".

La holgura total es el máximo tiempo que dispone una actividad en adición al necesario para su ejecución para ser llevada al cabo, es decir, es el máximo tiempo que puede retrasarse sin afectar la duración total del proyecto, aunque sí puede causar que se alteren los tiempos de iniciación de algunas de las actividades subsecuentes.

En cambio, la holgura libre es la parte de la holgura total que una actividad puede consumir sin retrasar el proyecto y sin impedir que ninguna de las actividades subsecuentes se comiencen en sus tiempos próximos de inicio.

Si una actividad se retrasara un lapso mayor al señalado por la holgura libre, pero menor o igual al de la holgura total, habrá también retraso en alguna actividad subsiguiente relativo a su tiempo próximo de inicio, aunque el proyecto mantendrá su fecha de terminación.

La situación anterior define entonces a la holgura de interferencia, que en caso de ser consumida completa o parcialmente, se hará necesario reprogramar las actividades subsecuentes y analizar las consecuencias de esa interferencia; de hecho, si un retraso consumiera un tiempo mayor al indicado por la holgura de interferencia, la conclusión del proyecto será postergada en la misma medida.

La holgura independiente es el tiempo adicional con que cuenta una actividad, independientemente de los tiempos más lejanos de inicio de las actividades precedentes y de los tiempos más próximos de término de las subsecuentes; en otras palabras, es el tiempo en exceso a la duración de una actividad que puede consumirse sin retardar la terminación del proyecto ni la iniciación de la siguiente actividad, y que no puede ser retardada a su vez por las actividades precedentes. Por esta razón, la expresión señalada con que se calcula la holgura independiente considera que la actividad precedente termine en su tiempo lejano de término y la actividad subsecuente inicie en su tiempo próximo de inicio.

La holgura independiente puede considerarse como una medida de la mínima holgura de una actividad, ya que representa el margen adicional de una actividad en las condiciones más ajustadas para llevarse a cabo.

Pasando a otro concepto, aquellas actividades consecutivas que posean holgura total con el mismo valor numérico recibirán el nombre conjunto de "cadena de actividades". Este conjunto de dos o más actividades en serie con la misma holgura total puede clasificarse en dos tipos: cadenas simples y cadenas complejas o ramificadas.

Una cadena de actividades será simple si a cada evento intermedio llega una sola actividad y de cada uno de ellos se genera una sola actividad; pero cuando más de una actividad es originada o más de una actividad concurre al mismo evento, se dirá que la cadena es compleja o ramificada.

La "ruta crítica", que da nombre a este método, se formará con aquella serie o cadena de actividades que tenga su origen en el evento inicial del proyecto, su término en el evento final o conclusión del mismo y, cuyas holguras totales coincidan con la establecida en el proyecto (generalmente iguales a cero). Esta cadena particular de actividades también recibirá el nombre de *cadena crítica*.

Con lo anterior se deduce que el conjunto de actividades no críticas tendrá una holgura total mayor que la del proyecto (generalmente mayor de cero, si es que éste valor fue elegido como holgura del proyecto); sin embargo, si se llegara a consumir toda la holgura de interferencia de una actividad, todas las actividades subsecuentes se convertirán en críticas, dando lugar así a una nueva cadena crítica.

El concepto de holgura es aplicable tanto a cada actividad de la red como a cadenas de actividades de la misma, ya que se pueden observar relaciones entre las holguras que son directamente aplicables a las cadenas de actividades.

Cabe señalar que la holgura libre, la de interferencia y la independiente son parte de la holgura total, por lo que ninguna de ellas podrá tener un valor numérico mayor a esta última.

Adicionalmente a esto, debe tenerse presente que las holguras sirven como margen de seguridad para posibles e inevitables retrasos, pero también pueden ser empleadas y consumidas intencionalmente de forma razonada para balancear o equilibrar el empleo de los diversos recursos que se invierten en un proyecto. Concretamente, del hecho que indica que la holgura libre puede consumirse sin afectar a las actividades subsecuentes, se desprende su importancia para dicho equilibrio o balanceo de recursos.

II.4. DIAGRAMAS DE GANTT

Claro es que durante las fases operativas de un proyecto se buscará facilitar las instrucciones sobre lo que se debe hacer y cómo se debe hacer para tener un control adecuado del mismo; con lo cual se procurará obtener los resultados esperados en el proyecto, así como también concluirlo con los recursos previstos en el tiempo especificado.

La pretensión de esta situación da origen a esta forma de control de proyecto, la cual busca evitar problemas de comunicación y el retraso de acciones por parte del personal que intervenga en cualquier proyecto.

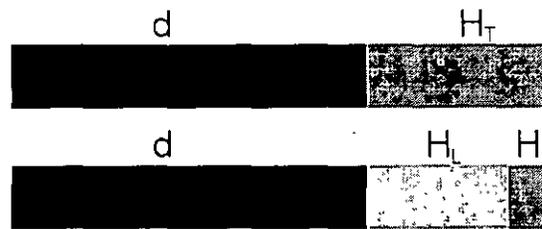
Durante la ejecución de un proyecto existe la posibilidad de que se presenten diversos factores que dificulten la ejecución del mismo, por ejemplo, que exista disidencia entre las personas que trabajan en él, que las actividades no provean los resultados óptimos que se esperaban, o que el proyecto consuma más recursos de los previstos. Por tales motivos es necesario diseñar mecanismos de control que procuren eficacia y eficiencia al respecto.

Un sistema de control debe ser simple y sencillo de seguir, con el fin de evitar que el personal y sus supervisores pasen la mayor parte del tiempo llenando y revisando papeles de distintos trámites.

Sin embargo, los documentos que se generen por el proyecto deben ser archivados sistemáticamente para facilitar su búsqueda en los momentos necesarios. En el futuro proveerán la retroalimentación de datos con los que será posible generar mayor y mejor información; con ello se conseguirá que las personas se especialicen, teniendo la experiencia y los conocimientos prácticos indispensables para analizar, diseñar, ejecutar y/o controlar proyectos de tipo específico.

A este respecto, los *diagramas de Gantt* resultan ser un mecanismo adecuado debido a su flexibilidad y claridad con que puede presentarse la información relativa al proyecto para su seguimiento y control.

Un diagrama de Gantt será sustentado en el método de la *ruta crítica*, donde la información relativa a cada actividad se representará mediante una barra horizontal que tendrá cualquiera de las dos siguientes características:



Estas barras tendrán una escala determinada y serán colocadas sobre un esquema análogo al de un calendario, donde el principio de cada barra coincidirá con la fecha o momento en que deba iniciarse la actividad que se está representando.

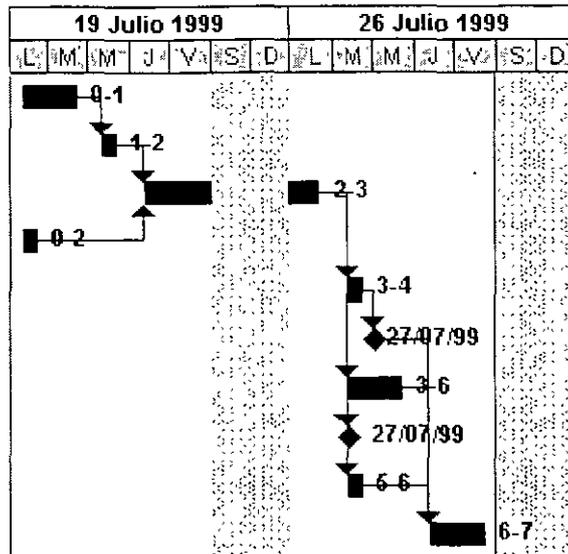
Si se selecciona la primera forma de las barras, la holgura total se presentará concentrada al final de cada cadena de actividades, es decir, se sumarán los valores de todas las holguras totales de las actividades que integran la cadena y se representará esta suma al final de la cadena, en la última actividad de la misma. Obviamente estas cadenas serán no críticas, pues las que sí son críticas carecen de holgura.

En cambio, si se selecciona la segunda forma, la holgura libre se colocará al final de la duración de cada actividad, y la suma de las holguras de interferencia de las actividades se concentrará al final de la cadena de la misma manera que la suma de las holguras totales en el caso anterior.

Es necesario señalar que la holgura total y la holgura de interferencia son holguras "compartidas", pues éstas pueden ser consumidas parcial o totalmente por una o varias de las actividades que forman una cadena.

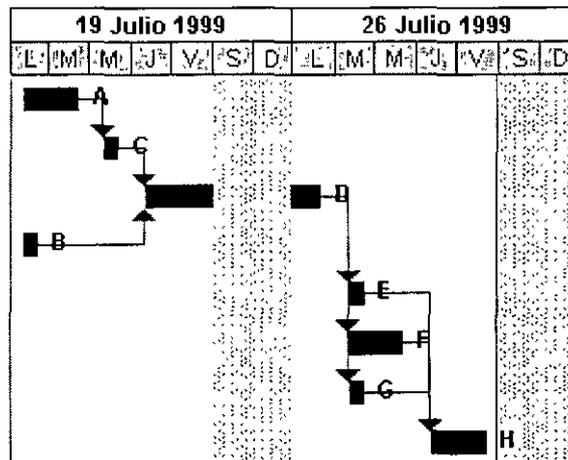
En una cadena simple, la holgura total y la suma de las holguras de interferencia de las actividades que la integran podrán considerarse pertenecientes a la cadena misma, pues aunque ambas se encontrarán concentradas al final de ésta, pueden ser compartidas por las actividades que la forman, tal como fue mencionado, causando este caso una reprogramación de las actividades de la misma. Con base en esto, puede afirmarse que la holgura de interferencia equivaldrá a la holgura total de la última actividad de una cadena.

Por otro lado, la holgura independiente de una actividad no puede ser compartida con ninguna otra. Existirá normalmente en actividades no críticas aisladas conectadas en su inicio y en su terminación con la ruta crítica; o bien, en las actividades finales de cadenas no críticas que terminen en otras cadenas más críticas. A continuación se presenta un ejemplo manejando un diagrama de Gantt:



En este ejemplo se expuso una red de actividades mediante la segunda representación de barras; pero la holgura libre se presentó mediante un alargamiento horizontal de las flechas que indican la secuencia de las actividades. Las actividades virtuales se presentaron con rombos, lo cual indica una duración de valor cero.

Lo anterior obedece a los principios expuestos por el método de la ruta crítica, sin embargo, también es posible la siguiente representación, la cual corresponde al mismo ejemplo esquematizado:



En este ejemplo las actividades son referidas por sus nombres, o bien por letras, pero si fueran referidas por sus eventos de inicio y término se tendría que emplear el primer caso expuesto con actividades virtuales.

Desde el punto de vista de control del proyecto, las actividades críticas deberán realizarse rigurosamente iniciando y terminando precisamente en sus tiempos

próximos de inicio y de término, los cuales coincidirán con los tiempos lejanos de inicio y término, esta característica específica es la que hace que carezcan de holgura y por tanto sean críticas. De ocurrir un retraso en cualquiera de estas actividades críticas, se producirá un retraso de la misma magnitud en todo el proyecto.

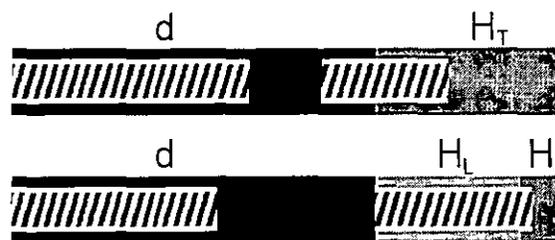
En contraposición, las actividades no críticas, sí tendrán un tiempo disponible para su ejecución mayor que el estrictamente necesario para su realización, y podrán moverse, desplazarse, o bien "flotar" dentro de ese tiempo más amplio disponible.

Sin embargo, si se dispone de las holguras de cada actividad para balancear y optimar los recursos del proyecto, habrá entonces que respetar estrictamente también sus tiempos de inicio y término. Esta situación deberá ser informada y especificada a los ejecutores y supervisores del proyecto.

A medida que la holgura total de una actividad o de una cadena de actividades sea más pequeña, el riesgo de convertirse en crítica es mayor. Las cadenas de actividades con holgura total pequeña deberán ser vigiladas con mayor cuidado durante la ejecución del proyecto, ya que un pequeño retraso puede convertirlas en críticas.

Hablando ahora de otra actividad inherente al control de un proyecto, el desarrollo operativo del mismo será seguido sobre su respectivo diagrama de Gantt, marcando sobre las barras el avance que se presente día a día cada actividad.

Este marcaje puede realizarse de una forma similar a la que a continuación se indica:



Debe observarse que solamente será colocada la marca referida en los días en que efectivamente sea ejecutada la actividad, esperando que la longitud de dicha marca sea equivalente a la duración esperada de la misma.

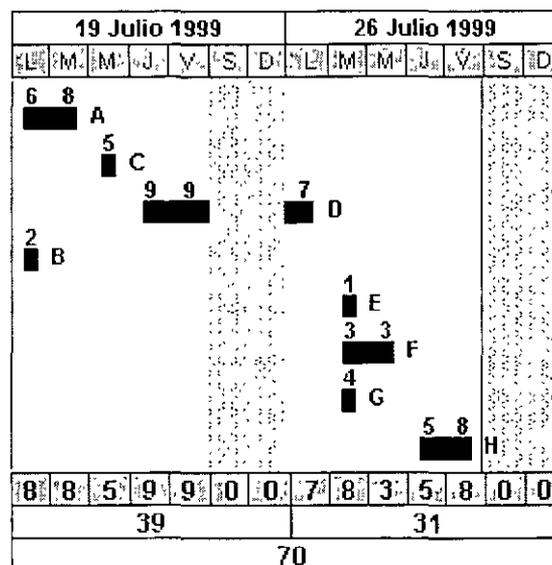
En caso de que la duración real de la actividad sea menor que la programada, podrán adelantarse los tiempos próximos de inicio de aquellas subsecuentes. Si esta duración menor se presenta en una actividad crítica, significará una conclusión anticipada del proyecto.

Por el contrario, también la duración real podría ser mayor que la prevista, por lo tanto, la longitud de la barra será entonces más grande que la duración indicada en la barra, consumiéndose necesariamente así las holguras que correspondan.

Existe además la posibilidad de que se genere un retraso operativo que haga que una o más actividades duren un lapso mayor que el indicado en las barras incluyendo sus holguras, por lo que se causará una reprogramación de las actividades subsecuentes que podrían convertirse en críticas, e incluso del proyecto mismo si se trata de actividades que ya son críticas como ha sido referido anteriormente; esta situación debe ser señalada en el diagrama de Gantt respectivo para efectos de memoria del proyecto. Las causas que pueden dar origen a una situación como ésta son diversas y su exposición es obvia.

Adicionalmente al control operativo que puede lograrse empleando diagramas de Gantt, este mecanismo puede auxiliar también en el manejo de una mayor y mejor información durante el proceso de programación de presupuestos; dicha información es relativa a la administración y consumo de los recursos financieros y humanos que deben invertirse en el proyecto. En este sentido, un diagrama de Gantt es un magnífico auxiliar para el proceso de *presupuestación*, con el cual es posible aplicar técnicas cuantitativas de evaluación de proyectos.

Para lo anterior, basta con colocar la cantidad de recursos que consumirá cada actividad de manera tal que se concuerde con el esquema de calendario que se esté empleando, y después sumar todos los valores por unidad de tiempo que procedan. Por ejemplo:



En este ejemplo se han acumulado en la parte inferior los valores de los recursos que serán consumidos por cada unidad de tiempo; por supuesto, si se efectúa una suma en sentido horizontal, se obtendrán los recursos que se destinarán o que consumirá cada actividad.

Así mismo, se obtuvo el total de recursos que se invertirán en el proyecto acumulando las sumas obtenidas en cada unidad de tiempo. Dichos recursos pueden ser de tipo monetario o de tipo humano, los cuales deberán ser evaluados mediante los métodos que sean convenientes para cada caso.

II.5. EL MÉTODO FEP

El flujo de efectivo de un proyecto es el seguimiento financiero del comportamiento, al paso del tiempo, de la "chequera" en la que serán depositados y retirados los recursos monetarios necesarios para la ejecución de un proyecto; la técnica empleada para ello es de orden contable, en la que se registrarán las percepciones derivadas de los ingresos y productos financieros, y las erogaciones causadas por los egresos y costos financieros.

Con este orden de ideas se hace necesario definir los conceptos de producto y costo financiero. El primero corresponde a las ganancias generadas por la inversión de los recursos monetarios excedentes del proyecto, es decir, cuando en la chequera de éste exista dinero que no requiera ser erogado existirá la posibilidad de invertirlo para producir nuevos recursos en favor del mismo; por su parte, el segundo se refiere al pago que se reclame por concepto de un préstamo o mutuo (contrato por el cual el mutuante se obliga a transferir la propiedad de una suma de dinero o de otras cosas fungibles al mutuario, quien se obliga a devolver otro tanto de la misma especie y calidad), siendo que esto ocurrirá cuando en la chequera no exista dinero suficiente para procurar la continua ejecución del proyecto, haciéndose necesario solicitar recursos monetarios ajenos. Ambos conceptos refieren el cálculo de un "interés", sea que éste represente una percepción en el caso del producto financiero, o bien una erogación en el caso del costo financiero.

Un producto financiero se calculará a través de la aplicación, sobre la cantidad monetaria que se invierta, de una tasa efectiva de interés que sea coherente con la magnitud del periodo durante el cual esto se realice; dicha tasa recibirá el nombre de "tasa efectiva de interés pasiva del periodo". Un costo financiero se determinará con el producto que resulte de multiplicar la cantidad de dinero involucrada en el préstamo o mutuo en el periodo que se trate, por otra tasa efectiva de interés que corresponda con la ofrecida por el ente que ofreció los recursos para el proyecto, la cual será denominada "tasa efectiva de interés activa del periodo".

Antes de aplicar esta técnica es importante determinar el "precio del proyecto", el cual se integrará con estos cuatro elementos:

-
- I.- Costo directo del proyecto: formado por los costos de todas las actividades que lo constituyen, mismos que representarán cantidades que se aplicarán en materiales y mano de obra.
 - II.- Costo indirecto del proyecto: éste suele presentarse como una proporción del anterior, representando la erogación necesaria para administrar y controlar preventiva y correctivamente el proyecto.
 - III - Financiamiento del proyecto: es la cantidad de dinero que se destinará a cubrir los costos financieros no compensados por los productos financieros en el proyecto, la cual se expresará como función de la suma del costo directo e indirecto.
 - IV.- Utilidad del proyecto: Ésta se fijará en términos porcentuales de la suma del costo directo, indirecto y financiamiento, siendo la ganancia que le corresponderá al ejecutante del proyecto por el simple hecho de llevarlo a cabo y responsabilizarse por él.

Conceptualmente la palabra "financiamiento" no debe entenderse como el dinero que externamente se le aporta al proyecto para mantener su continua ejecución, sino como la diferencia de los costos y los productos financieros cuando los primeros son superiores a los segundos; diferencia que debe repercutirse en el precio del proyecto para que sea pagado por quien encargue la ejecución de éste y no sea absorbido por quien lo ejecute a través de su utilidad. El concepto de la aportación de recursos monetarios al proyecto por una fuente externa se definirá un poco más adelante.

Evidentemente, al inicio del proceso se desconocerá si el proyecto requerirá financiamiento o carecerá del mismo, pues de hecho y entre otras cosas, el método servirá para establecer la existencia o ausencia de financiamiento, y en ese sentido, deberá formularse una hipótesis de inicio con la que se pueda integrar debidamente el precio del proyecto.

Para establecer el mecanismo de seguimiento del flujo de efectivo es necesario contar, primeramente, con la sucesión de ingresos y egresos periódicos del proyecto, mismos que se acumularán en cada periodo de análisis, y definir, posteriormente, algunas variables temporales, o sea, relativas al tiempo, ya que éstas cambiarán en los distintos periodos que dure el proyecto en cuestión; tales son: el saldo inicial, el saldo virtual, la aportación de crédito, el saldo del crédito y el saldo final.

Obviamente la sucesión de ingresos será establecida con base en el precio del proyecto, mientras que los egresos en función de la suma de los costos directos e indirectos del proyecto.

El saldo inicial del periodo se constituirá con la traslación del saldo final del periodo inmediato anterior, excepto el primero, el cual equivaldrá a cero, pues será

con éste el valor con el que inicie el estado de la chequera del proyecto, el saldo virtual del periodo se calculará sumando los ingresos y los productos financieros de éste, pero restando de esta suma los egresos y los costos financieros del mismo; la aportación de crédito del periodo corresponderá con las cantidades de dinero que deberán aportarse como préstamo o mutuo para que el proyecto mantenga su continua ejecución, o bien, con la cantidad de recursos que devolverá el proyecto al mutuante, es decir, a quien ha prestado en favor del proyecto, aunque este valor podrá ser, ocasionalmente, igual a cero; el saldo del crédito en el periodo contendrá la acumulación de las aportaciones de crédito ocurridas en todos los periodos anteriores más la propia del que esté en estudio; y el saldo final del periodo tendrá la equivalencia que resulta de la suma del saldo virtual del periodo más la aportación de crédito del mismo.

Con base en lo anterior, el proceso de cálculo para cada periodo de análisis puede describirse de la siguiente manera, acotándose las condicionantes generales respectivas:

1. Como esta técnica es prospectiva, se fijarán las tasas efectivas de interés activa y pasiva, mismas que permanecerán constantes en todos los periodos de análisis:

$$\begin{aligned} \text{TEA} &= \text{cte.} \\ \text{TEP} &= \text{cte.} \end{aligned}$$

2. Se anotará el saldo inicial del periodo considerando:

- Que si se trata del periodo inicial, este saldo será igual a cero:

$$\text{SI}_0 = 0$$

- Que si se trata de cualquier otro periodo, dicho saldo inicial será equivalente al saldo final del periodo inmediato anterior:

$$\text{SI}_j = \text{SF}_{j-1}$$

3. El ingreso acumulado del periodo será equivalente a la suma de los ingresos correspondientes a todos los periodos anteriores, más el ingreso propio del periodo:

$$\text{IA}_j = \sum_{k=0}^j \text{I}_k$$

4. El egreso acumulado del periodo será igual a la adición de los egresos de todos los periodos anteriores y del que se esté tratando.

$$EA_j = \sum_{k=0}^j E_k$$

5. Se calculará el producto financiero del periodo tomando en cuenta que:

- Si el saldo inicial del periodo tiene valor de cero, el producto financiero será igual a cero:

$$\text{Si } SI_j = 0 \rightarrow PF_j = 0$$

- Si el saldo inicial del periodo es mayor que cero, el producto financiero será equivalente a la multiplicación de la tasa efectiva pasiva de interés, por dicho saldo inicial del periodo:

$$\text{Si } SI_j > 0 \rightarrow PF_j = (TEP) (SI_j)$$

6. Se calculará el costo financiero del periodo tomando en cuenta que:

- Si el saldo del crédito en el periodo inmediato anterior es equivalente a cero, el costo financiero del periodo será de cero.

$$\text{Si } SC_{j-1} = 0 \rightarrow CF_j = 0$$

- Si el saldo del crédito en el periodo inmediato anterior es mayor que cero, el costo financiero será igual al producto de la tasa efectiva activa de interés por el saldo del crédito en el periodo inmediato anterior.

$$\text{Si } SC_{j-1} > 0 \rightarrow CF_j = (TEA) (SC_{j-1})$$

7. El saldo virtual del periodo será igual al ingreso del periodo, menos el egreso del periodo, más el producto financiero del periodo, menos el costo financiero del periodo.

$$SV_j = I_j - E_j + PF_j - CF_j$$

8. Se determinará la aportación de crédito del periodo con las siguientes bases.

- Cuando el saldo virtual del periodo tenga un valor negativo será necesario realizar una aportación de crédito equivalente a dicho saldo.

$$\text{Si } SV_j < 0 \rightarrow AC_j = -SV_j$$

- Cuando al saldo virtual del periodo le corresponda un valor positivo, habrá que revisarse lo siguiente:
 - Si el saldo del crédito en el periodo inmediato anterior es igual a cero corresponderá una aportación de crédito del periodo también igual a cero.

$$\text{Si } SV_j \geq 0; SC_{j-1} = 0 \rightarrow AC_j = 0$$

- Si el saldo del crédito en el periodo inmediato anterior es mayor que cero, deberá considerarse:
 - Que en el caso de ser el saldo virtual del periodo mayor que el saldo del crédito inmediato anterior del mismo, o igual, la aportación de crédito será negativa, e igual al saldo del crédito del periodo inmediato anterior referido.

$$\text{Si } SV_j \geq 0; SC_{j-1} > 0; SV_j \geq SC_{j-1} \rightarrow AC_j = -SC_{j-1}$$

- Que en el caso de ser el saldo virtual del periodo menor que el saldo del crédito inmediato anterior del mismo, la aportación de crédito también será negativa, pero en esta ocasión equivalente a este saldo virtual del periodo.

$$\text{Si } SV_j \geq 0; SC_{j-1} > 0; SV_j < SC_{j-1} \rightarrow AC_j = -SV_j$$

9. Deberán sumarse las aportaciones de crédito de todos los periodos anteriores y la del periodo que se esté tratando para establecer el saldo del crédito en el mismo.

$$SC_j = \sum_{k=0}^j AC_k$$

10. Para establecer el saldo final del periodo en la chequera del proyecto se deberá sumar el saldo virtual y la aportación de crédito del periodo.

$$SF_j = SV_j + AC_j$$

La nomenclatura empleada en la descripción anterior es la siguiente:

TEA: Tasa efectiva activa de interés.

TEP: Tasa efectiva pasiva de interés.

-
- j: Número del periodo que se esté tratando, variando de cero a "n".
 - SI_j: Saldo inicial del j-ésimo periodo.
 - I_j: Ingreso del periodo "j".
 - IA_j: Ingresos acumulados al periodo "j".
 - E_j: Egreso del j-ésimo periodo.
 - EA_j: Egresos acumulados al j-ésimo periodo.
 - PF_j: Producto financiero del periodo "j".
 - CF_j: Costo financiero del periodo "j".
 - SV_j: Saldo virtual del j-ésimo periodo.
 - AC_j: Aportación de crédito en el periodo "j".
 - SC_j: Saldo del crédito en el j-ésimo periodo.
 - SF_j: Saldo final del periodo "j".

Es importante destacar que a lo largo de este proceso deberás cumplirse estas cuatro condiciones:

- a) El saldo del crédito del último periodo deberá ser igual a cero, lo cual querrá decir que el proyecto puede liquidar los recursos monetarios provenientes de fuentes externas que le sean proporcionados:

$$SC_n = 0$$

donde:

SC_n: Representa al saldo del crédito en el último periodo del análisis.

n: Es el número de periodos integrados para el análisis del flujo de efectivo del proyecto.

- b) En el último periodo, el saldo final del mismo representará a la utilidad producida por el proyecto, misma que deberá coincidir con la establecida en el precio del proyecto; de no ocurrir así, significará que con la utilidad se estará compensando el déficit en los costos financieros del proyecto y que la integración de su precio es incorrecta en lo que respecta al rubro de financiamiento:

$$SF_n = U$$

donde:

SF_n: Constituye el saldo final en el último periodo analizado del flujo.

U: Es la utilidad del proyecto generada.

- c) En ningún periodo podrán tener, el costo y el producto financiero, valores simultáneos diferentes de cero, es decir, en cualquier periodo pueden tener ambos valor de cero, o bien, uno igual a cero y el otro mayor.

-
- d) La existencia de financiamiento al proyecto se definirá cuando la suma de los costos financieros supere a la de los productos financieros, y su magnitud quedará establecida con la diferencia que exista de los segundos respecto de los primeros, o sea:

$$\text{Si } \sum_{j=0}^n \text{PF}_j \geq \sum_{j=0}^n \text{CF}_j \rightarrow F = 0$$

$$\text{Si } \sum_{j=0}^n \text{CF}_j \geq \sum_{j=0}^n \text{PF}_j \rightarrow F = \sum_{j=0}^n \text{CF}_j - \sum_{j=0}^n \text{PF}_j$$

Si ocurre que el financiamiento calculado de esta forma no coincide con la hipótesis hecha al comienzo del método, deberá formularse una nueva, recomendándose que esta sea equivalente al calculado por la expresión anterior, procediendo con el proceso de nueva cuenta y de manera recursiva hasta que el financiamiento determinado coincida con la hipótesis realizada.

III. CONTROL DE PROYECTOS

El control es una función consistente en evaluar y corregir el desempeño de los recursos invertidos en un proyecto (materiales, humanos y financieros) para asegurar que lo planeado sea posible, teniendo presente que un sistema de control debe justificarse en relación con las ventajas económicas que aporte

Debe aplicarse preferentemente sobre las actividades representativas, a fin de reducir costos y tiempo, como por ejemplo sobre todas las actividades críticas y sobre aquellas que reclamen fuertes erogaciones; siendo importante destacar que las personas que realicen el control de un proyecto no deben estar involucradas con las actividad mismas.

Una ventaja destacada de los sistemas de control es que permiten, en los diferentes niveles y áreas, evaluar los desempeños de las actividades de manera genérica o específica, según se requiera, para así establecer y aplicar las acciones preventivas o correctivas que sean necesarias

Los mecanismos de control pueden ser:

- Estadísticos,
- Gráficos,
- Financieros, y
- Documentales.

Los primeros mencionados incurren en la aplicación de la estadística descriptiva y el análisis muestral, los gráficos abordan los métodos CPM y de Gantt, los financieros incluirán análisis contables y de chequera para estudiar los flujos de efectivo en el proyecto, y finalmente, respecto de los documentales podemos referir la bitácora.

II.1. LA BITÁCORA

La palabra "bitácora" refiere, originalmente, al armario o caja cilíndrica donde se guardan los instrumentos de navegación, entre los cuales se encuentra un libro en el que se anotan rumbos, velocidades, orígenes, destinos, maniobras e incidentes de viaje; no obstante esto, en materia de control se entenderá por bitácora al

dóculo utilizado para anotar en él cualquier situación que se presente durante el desarrollo de los trabajos de un proyecto que sean diferentes a lo supuesto o establecido durante los procesos de planeación o programación.

La bitácora es un medio oficial y legal de comunicación entre las partes que intervienen en la ejecución del mismo. Su objetivo es oficializar los comunicados y decisiones que se tomen, pues durante el desarrollo del proyecto será un documento vigente.

Cabe destacar que éste es un documento sumamente importante, por tanto debe ser utilizado únicamente para asentar notas trascendentes y relativas al proyecto mismo, de ninguna manera debe emplearse para hacer observaciones de carácter personal o como "buzón de quejas".

Evidentemente la bitácora es una herramienta importante para el control de un proyecto; de hecho, esa es la razón principal por la que es empleada. Además permite dar seguimiento al desarrollo del mismo durante su avance para así procurar que se logren y alcancen los objetivos y metas esperados.

Por tal motivo, habrá que seguir para su elaboración un conjunto de reglas que normarán las anotaciones que ahí se realicen:

1. Las fojas que integren el documento deberán ser foliadas con números arábigos consecutivos e iniciando con el uno. En caso de contar también con copias, éstas deberán tener los mismos folios e indicar que son una copia fiel de su original.
2. En la parte superior de cada foja deberá indicarse, al menos, el proyecto al que refieren las notas contenidas, fecha de inicio, plazo de ejecución, quien lo realiza y el personal responsable.
3. La apertura de la bitácora se realiza con un primer asiento en el cual se exprese de la manera más precisa posible los generales del proyecto, la misión que se pretende cumplir, los objetivos y metas que se deben alcanzar, la ubicación física del proyecto, los responsables de la actividades, las firmas autógrafas autorizadas para emitir notas de bitácora, etcétera.
4. Las personas que deben firmar la nota de apertura son aquellas que tengan capacidad técnica, jurídica y legal para hacerlo, ende la responsabilidad de tomar las decisiones. Quien en primera instancia debe firmar es el coordinador general del proyecto, y en segunda instancia aquellas personas que él mismo ha designado y autorizado como responsables de realizar las acciones concretas, así como aquellas que las supervisarán.

-
5. Con el objeto de evitar posibles contradicciones en los trabajos, la participación de un mando superior en la bitácora debe restringirse al caso exclusivo de autorizar, o bien de desautorizar la intervención de los subordinados, pues al final de las cuentas, los asientos en la bitácora son responsabilidad de las personas autorizadas.
 6. Todas las notas deben seriarle consecutivamente con números arábigos y seguidamente se colocará la fecha de su asiento, respetando el orden sin excepción alguna. En caso de que alguna nota carezca de esto deberá ser invalidada.
 7. Se deberá evitar el uso de abreviaturas, sin embargo sí se permite el uso de acrónimos, siempre y cuando se señale en una nota el significado del término formado por las primeras letras de las palabras de la expresión compuesta
 8. Habrá que respetar un margen izquierdo para que en él se anote el número de nota que proceda y su fecha de escritura.
 9. La escritura de las notas debe efectuarse con tinta indeleble, a mano y con letra de molde para que sea completamente legible.
 10. Al final de cada una de las notas de bitácora deberá aparecer la firma autógrafa de quien la emitió. Dicha firma deberá pertenecer a alguna de las personas autorizadas en la nota de apertura para realizar los asientos que procedan, tal como ya fue referido.
 11. Cuando se cometa un error de ortografía o de redacción la nota debe invalidarse colocando una leyenda que diga: "esta nota es inválida por presentar errores". De inmediato se asentará la siguiente sustituyendo a la anterior.
 12. Una nota con tachaduras o enmendaduras es ilegal, por tal razón debe ser anulada como se indica en el punto inmediato anterior.
 13. Es ilícito sobreponer o añadir algún escrito a una nota de bitácora, así como escribir entre renglones y en los márgenes, por lo que en este caso de detectar esta situación la nota debe ser invalidada como ya se ha establecido.
 14. Cuando cambien los responsables de un programa, sea porque se les asignó otra tarea o porque dejan de prestar sus servicios para el proyecto, será necesario que el coordinador general del proyecto desautorice sus funciones mediante el asentamiento de la nota correspondiente, indicando quienes los sustituirán. Los sustitutos deberán firmar esta nota que se genere para que sea autorizada y validada su firma.

-
15. Al completar el uso de cada una de las fojas de la bitácora, se cancelará el espacio restante en ellas rayándolos diagonalmente para inutilizarlos.
 16. La bitácora es un documento que debe estar encuadernado con pastas duras y resistentes al mal trato, con lo cual esta bitácora estará contenida en una libreta.
 17. El tamaño de las libretas de bitácora es difícil de determinar; en ocasiones las fojas encuadernadas son insuficientes y en otras son demasiadas. En el primer caso será necesario abrir otra libreta e indicar en cada una de sus fojas el volumen que corresponde con número romano, así como también en las libretas anteriores; si ocurriera lo segundo, las fojas desocupadas se cruzarán con líneas diagonales con el fin de inutilizarlas.
 18. Cuando sea necesario emplear más de una libreta para la bitácora, todas las fojas de cada uno de estos volúmenes serán foliadas también con números arábigos consecutivos e iniciando, en cada caso, con el uno.
 19. Al momento de terminar el proyecto, se efectuará el cierre de la bitácora mediante el asiento de la nota final, misma que expresará este hecho junto con la indicación del número de volúmenes que la integran y el número de fojas contenidas en cada uno de ellos. Deberá ser firmada por el coordinador general del proyecto y por las personas que, como responsables, lo hayan concluido.

Como en su momento se mencionó, la bitácora nunca debe utilizarse para discutir asuntos intrascendentes, insensateces y mucho menos para agraviar o agredir, por eso cabe destacar la conveniencia de meditar y pensar cuidadosamente lo que se quiere decir y cómo debe expresarse antes de asentar alguna nota.

Es conveniente primero hacer un borrador por separado para asegurar que se escribirá una nota pertinente y adecuada. Debe evitarse en la medida de lo posible realizar una nota directamente en la bitácora.

Así mismo, es importante cuidar la ortografía y semántica de las palabras, pues esta cuestión es la que da seriedad al documento.

Por su lado la redacción es un asunto también de vital importancia, pues la descripción de hechos u órdenes debe ser clara y precisa para evitar futuras interrogantes o dudas al respecto.

Se recomienda que en cada nota se especifique primeramente si se trata de una orden, de un informe o si se trata de dar constancia de un hecho, por ejemplo; después expresar una breve descripción del asunto o problema, su ubicación, las causas que han dado origen al problema, la solución necesaria, el plazo para

realizarla, medidas futuras de prevención, posibles consecuencias económicas, sanciones procedentes, croquis explicativos, nuevos mecanismos de seguimiento y control, etcétera.

Como puede notarse, la bitácora es un excelente mecanismo de "memoria" de un proyecto, además de constituir una buena herramienta para el seguimiento y control del mismo; por tal motivo es preciso que siempre sea referido en ella todo hecho que se considere de singular importancia o que signifique un logro o un retraso en el avance de las acciones concretas. El uso y manejo de una bitácora jamás deben ser omitidos.

IV. PRINCIPIOS DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

IV.1. TEORÍA DEL INTERÉS

El interés que se pacta pagar por el préstamo en cada subperiodo se establecerá como una proporción de la suerte principal, es decir, se calculará mediante el producto de la misma por una "tasa" expresada en términos porcentuales, y denotada como "i"; con lo cual se obtiene que:

$$I' = C_0 (i'),$$

y si se desea conocer la "tasa de interés nominal del periodo", entonces bastará con multiplicar el número total de subperiodos de cada periodo por la tasa de cada subperiodo, es decir:

$$i_{(m)} = m i',$$

donde "m" es el número de subperiodos que tiene cada periodo, "i'" es la tasa de interés aplicable en cada subperiodo para el cálculo del interés, y la tasa de interés nominal del periodo " $i_{(m)}$ " se conocerá simplemente con el nombre de "tasa nominal de interés".

Con esto, es posible definir la tasa de interés aplicable en cada subperiodo de la siguiente manera:

$$i' = i_{(m)} / m.$$

Ahora bien, si nos referimos a los montos " $C_1, C_2, C_3, \dots, C_{mn}$ " indicados anteriormente, esta tasa tiene la siguiente equivalencia:

$$i' = (C_{k+1} - C_k) / C_k,$$

donde el subíndice "k" señala el monto de un subperiodo específico, y variará desde cero, haciendo referencia a la suerte principal, hasta el valor del producto "mn".

La teoría del interés parte de esta última expresión, en la cual la tasa de interés es vista como un cociente o razón de cambio de la diferencia entre el monto siguiente y el anterior, respecto del monto anterior.

Ahora se puede deducir otra expresión que calcule el siguiente monto a pagar con fundamento en lo anterior de la siguiente manera:

$$C_k(i') = C_{k+1} - C_k$$

$$C_{k+1} = C_k + C_k(i')$$

$$C_{k+1} = C_k(1 + i')$$

Sin embargo, habrá que considerar la idea del interés compuesto introducida anteriormente, pues cuando un interés no es pagado en el subperiodo correspondiente, es costumbre que éste se adicione a la suerte principal; y con este nuevo monto incrementado, se calculará el interés del siguiente subperiodo.

Si esta situación se repite, aplicando la misma tasa en cada subperiodo, se aplicará la misma mecánica, generalizándola de la siguiente manera:

$$C_1 = C_0(1 + i')$$

$$C_2 = C_1(1 + i')$$

$$C_2 = C_0(1 + i')(1 + i')$$

$$C_2 = C_0(1 + i')^2$$

$$C_3 = C_2(1 + i')$$

$$C_3 = C_0(1 + i')^2(1 + i')$$

$$C_3 = C_0(1 + i')^3$$

$$C_4 = C_3(1 + i')$$

$$C_4 = C_0(1 + i')^3(1 + i')$$

$$C_4 = C_0(1 + i')^4$$

$$C_5 = C_4(1 + i')$$

$$C_5 = C_0(1 + i')^4(1 + i')$$

$$C_5 = C_0(1 + i')^5$$

.....

$$C_k = C_{k-1}(1 + i')$$

$$C_k = C_0(1 + i')^{k-1}(1 + i')$$

$$C_k = C_0(1 + i')^k$$

$$C_{k+1} = C_k(1 + i')$$

$$C_{k+1} = C_0(1 + i')^k(1 + i')$$

$$C_{k+1} = C_0(1 + i')^{k+1}$$

con lo cual se da lugar a la expresión general del interés compuesto:

$$C_k = C_0(1 + i')^k$$

Si se restringe el valor del subíndice "k" desde cero hasta el número de subperiodos que tiene cada periodo, la diferencia entre "C_k" y "C₀" es el interés total que "efectivamente" se generó durante los "m" subperiodos por el préstamo del recurso ajeno, desprendiéndose de esta situación el concepto de "tasa efectiva de interés del periodo", que será distinguida con la literal simple "i", y que tendrá la siguiente equivalencia:

$$i = (C_m - C_0) / C_0,$$

de donde se desprende que:

$$C_m = C_0 + C_0 (i)$$

Sustituyendo el valor de "C_m" en la expresión general del interés compuesto, y teniendo presente que "k" tomará el valor de "m", se llega a que:

$$C_0 + C_0 (i) = C_0 (1 + i)^m$$

Si se divide lo anterior entre el término "C₀" se obtiene la expresión que relaciona a la tasa efectiva con la tasa de interés aplicable en cada subperiodo, que es la siguiente:

$$1 + i = (1 + i')^m$$

$$i = (1 + i')^m - 1$$

El valor de "i" y de "i_(m)" son referidos a una misma amplitud de tiempo: el periodo; pero la primera es de índole efectivo y la otra de índole nominal.

Para obtener la relación de la tasa efectiva de interés con la tasa nominal de interés, ambas referidas al periodo como se ha mencionado, se sustituye el valor de la tasa de interés aplicable a cada subperiodo por la equivalencia correspondiente, quedando:

$$i = (1 + i_{(m)}/m)^m - 1$$

Despejando de lo anterior a la tasa nominal de interés se obtiene que:

$$i_{(m)} = m \{ (1 + i)^{1/m} - 1 \}$$

En términos de la tasa de interés aplicable en cada subperiodo, esta expresión se transforma a lo siguiente:

$$i' = (1 + i)^{1/m} - 1$$

Tomando la expresión general del interés compuesto, y considerando que "k" puede ser variada desde cero hasta el valor del período "mn", se tendrá lo siguiente.

$$C_{mn} = C_0 (1 + i)^{mn},$$

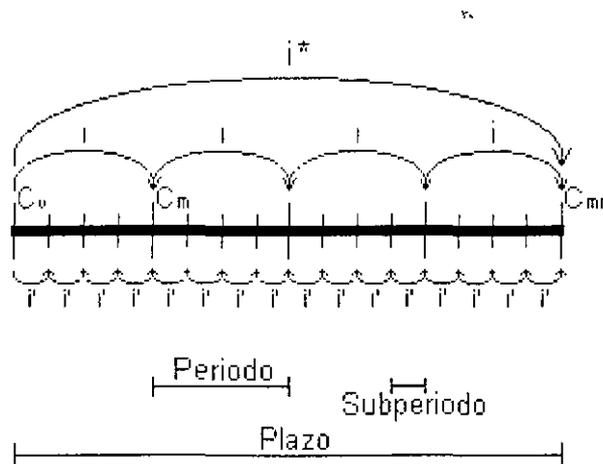
o bien, si se considera la tasa efectiva del periodo:

$$C_{mn} = C_0 (1 + i)^n$$

donde "m" es el número de subperiodos que tiene cada periodo, y "n" el número de periodos que tiene el plazo.

Por ejemplo, con las bases ya planteadas, si deseamos en un plazo de cinco años generar intereses doce veces al año (serán cinco periodos con duración cada uno de un año y se tendrán en cada periodo doce subperiodos con duración cada uno de un mes), el exponente al que habrá que elevar el binomio "(1+i)" será igual a sesenta, cantidad proveniente de multiplicar doce por cinco, es decir, el valor aplicable de "m" en este caso es de doce, y el de "n" igual a cinco. Cabe mencionar con este ejemplo, que al proceso de generar intereses en cada subperiodo, se le denomina como "capitalización de la tasa".

Con base en lo hasta ahora explicado, es posible realizar un esquema con los conceptos planteados de tasas efectivas referidas a los subperiodos, periodos y plazo de la operación, así como las cuantías de valor involucradas en cada punto de la barra del tiempo como se esquematiza en la figura que a continuación se muestra, donde "i" es la tasa efectiva del subperiodo y servirá como base para determinar el valor de "i", misma que es la tasa efectiva del periodo y que se empleará para determinar a "i*", que es la tasa efectiva del plazo.



Esquemización del concepto de plazo, periodo y subperiodo

Estas tres tasas están relacionadas entre sí mediante las siguientes expresiones matemáticas:

$$i = (1 + i')^m - 1$$

$$i^* = (1 + i)^n - 1$$
$$i^* = (1 + i')^{mn} - 1$$

Consecuentemente, las relaciones de capital serán las siguientes:

$$C_m = C_0 (1 + i')^m$$

$$C_{mn} = C_0 (1 + i)^n$$
$$C_{mn} = C_0 (1 + i')^{mn}$$

Es muy importante destacar que, no obstante todo lo anterior, el producto "mn" puede inclusive ser definido en el campo de los número reales, es decir, puede tener valores numéricos con cifras decimales; sin embargo, esta idea será discutida más adelante.

Es prudente aclarar que "i*" es la tasa de interés que será pagada al transcurrir todo el tiempo que durará la operación comercial, y puede ser calculada también de la siguiente manera:

$$i^* = (C_{mn} - C_0) / C_0.$$

Por otro lado, en materia de comprobación, la validez de la expresión general del interés compuesto puede verificarse, para el conjunto de los número naturales, por el método de Inducción Matemática de la siguiente manera:

Si $mn = 0$:

$$C_0 = C_0 (1 + i')^0$$
$$C_0 = C_0$$

Si $mn = 1$:

$$C_1 = C_0 (1 + i')$$
$$C_1 = C_0 (1 + i')$$

Si $mn = k$:

$$C_k = C_0 (1 + i')^k$$

Si $mn = k+1$:

$$C_{k+1} = C_0 (1 + i')^{k+1}$$

o bien:

$$C_{k+1} = C_0 (1 + i')^k (1 + i')$$
$$C_{k+1} = C_0 (1 + i')^{k+1}$$

El ser las dos expresiones idénticas y equivalentes, queda demostrada su validez.

IV.1.1. Amortizaciones

Un concepto más que debe abordarse dentro del tratado de la matemática financiera es el de "amortización", misma que se define como el elemento de un conjunto de pagos iguales, realizados a intervalos iguales de tiempo para liquidar una cuantía monetaria. La amortización suele conocerse también con el nombre de "anualidad", pero a pesar de este nombre, no necesariamente los pagos deben ser hechos anualmente.

La amortización es el procedimiento con el que se salda gradualmente una deuda por medio de una serie de pagos que, generalmente, son iguales y se realizan en periodos equivalentes como ya se mencionó.

En el cálculo del monto de estos pagos, infiere también la teoría del interés, y se relaciona con el concepto matemático de las progresiones geométricas.

Para conocer el valor presente de una serie de ingresos periódicos, referidos subsecuentemente con la literal "a", se generaría la siguiente sumatoria:

$$C_0 = a(1+i)^{-1} + a(1+i)^{-2} + a(1+i)^{-3} + \dots + a(1+i)^{-(n-1)} + a(1+i)^{-n}$$

La expresión corresponde evidentemente a una progresión geométrica, que se define como una serie de cantidades que guardan entre sí una relación constante, donde para determinar el siguiente término de la serie, deberá multiplicarse el elemento anterior por la razón conocida "r", que para este caso específico resulta ser equivalente a "(1+i)".

Cabe destacar que, tanto el ingreso periódico "a" como la tasa de interés "i", son referidos a la misma amplitud de tiempo, es decir, el subperiodo es equivalente al periodo. En caso de que ambos no coincidan, habrá que aplicar la tasa de interés del subperiodo "i" que corresponda, y la literal "n" será sustituida por el término "mn", así como la amortización será entonces "a".

Si se formula la solución a este problema con fundamento al concepto matemático de la suma de una progresión geométrica se llega al siguiente desarrollo:

$$C_0 = a'(1+i')^{-1} + a'(1+i')^{-2} + a'(1+i')^{-3} + \dots + a'(1+i')^{-(mn-1)} + a'(1+i')^{-(mn)}$$

Si se multiplica la expresión anterior por el término " $-(1+i')^{mn}$ " se llega a que:

$$- C_0 (1+i')^{mn} = - a'(1+i')^{mn-1} - a'(1+i')^{mn-2} - a'(1+i')^{mn-3} - \dots - a'(1+i') - a'$$

Multiplicando esta ecuación por la razón negativa de interés " $-(1+i')$ " se obtiene:

$$C_0 (1+i')^{mn+1} = a'(1+i')^{mn} + a'(1+i')^{mn-1} + a'(1+i')^{mn-2} + \dots + a'(1+i')^2 + a'(1+i')$$

Ahora, se sumarán ambas ecuaciones anteriores, generando lo siguiente:

$$C_0 (1+i')^{mn+1} - C_0 (1+i')^{mn} = a'(1+i')^{mn} - a'$$

$$C_0 (1+i')^{mn} (1+i'-1) = a' [(1+i')^{mn} - 1]$$

$$C_0 = [a' / i'] [1 - (1+i')^{-mn}]$$

Donde "C₀" corresponde a la suerte principal y "a'" el monto del pago periódico que amortizará una deuda considerando el esquema del interés.

De la expresión anterior puede despejarse fácilmente el pago periódico "a" de la siguiente manera:

$$a' = C_0 (i') / [1 - (1+i')^{-mn}],$$

Debe hacerse hincapié en que con esto se ha considerado un esquema de pagos vencidos, es decir, el primer pago se liquidará una vez transcurrido el primer subperiodo, el segundo al final del siguiente, y así sucesivamente.

Relacionando las expresiones anteriores con el monto, es decir, con el valor futuro de una suerte principal se tendrá lo siguiente:

$$C_{mn} = [a' / i'] [(1+i')^{mn} - 1];$$

$$a' = C_{mn} (i') / [(1+i')^{mn} - 1],$$

donde las literales "a'" e "i'" corresponden al pago periódico y a la tasa de interés aplicables en cada subperiodo respectivamente.

No obstante lo anterior, en finanzas existen casos en los cuales se efectúan amortizaciones de "suertes principales" mediante la aportación de pagos constantes que duran un periodo muy grande, que incluso puede considerarse como indefinido; dando lugar de este modo al concepto de "amortizaciones perpetuas", las cuales son pagos constantes que se realizan a lo largo de un tiempo muy amplio para igualar un valor presente.

En matemáticas, esto se traduce a lo consideración de un plazo tan grande que tiende al "infinito", es decir, el número de periodos son tantos, que hacen que el plazo se vuelva en un valor sumamente grande.

Siguiendo las ideas planteadas por el concepto de amortización, es posible determinar valores presentes y futuros con esta nueva condición, efectuando el siguiente límite:

$$C_0 = \lim_{mn \rightarrow \infty} [a' / i'] [1 - (1+i')^{-mn}];$$

evidentemente el término " $(1+i')^{-mn}$ " tenderá al valor de cero al aplicar las sustituciones correspondientes, quedando la siguiente expresión:

$$C_0 = a' / i',$$

misma que resulta ser la equivalencia de un valor presente con una sucesión de amortizaciones perpetuas.

Sin embargo, este proceso sólo es aplicable de manera práctica hacia un valor presente, no así para un valor futuro, pues como puede observarse, si se aplica el límite a la expresión que liga a una amortización con un valor futuro, éste generará un valor tan grande, comparable solamente con el del "infinito".

IV.2. CONSIDERACIÓN DE LA INFLACIÓN

En términos conceptuales macroeconómicos, la inflación es el aumento medido en términos porcentuales del nivel agregado de precios entre dos fechas determinadas en un mercado general, o bien, de bienes específicos; si por el contrario, entre dichas fechas correspondiera una disminución en lugar de un aumento, se dirá que ocurrió deflación. El nivel agregado de precios es la media de los precios de los bienes y/o servicios de la economía en relación con una fecha base dada.

Es importante notar que la definición de inflación o deflación, según proceda, es relacionada con el precio y no con el valor, ya que si en términos de intercambio de bienes existiera aumento o disminución, se dirá que existe plusvalía (utilidad) o minusvalía (pérdida) correspondientemente.

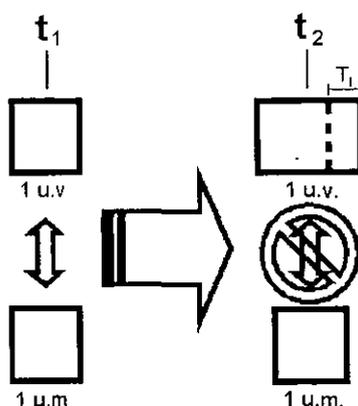
Como ya fue explicado, los precios de mercado están ligados con la oferta y la demanda y, consecuentemente, la inflación o deflación dependerá de las reacciones del mercado ante los cambios en la oferta y la demanda.

Cuando en una economía se presenta inflación continua combinada con recesión o estancamiento de la actividad económica durante un periodo determinado, a dicho periodo se le llama "estanflación", situación que es frecuentemente vista en economías de tipo emergente.

Se mencionó que la inflación es medida como un porcentaje, misma que tiene como consecuencia inherente la pérdida del poder adquisitivo, concepto también

macroeconómico que se define como la cantidad porcentual de bienes o servicios que una unidad monetaria deja de adquirir.

Debe entenderse que la inflación y la pérdida del poder adquisitivo son conceptos diferentes, la primera tiene como consecuencia la segunda, por lo que de ningún modo les corresponderá el mismo valor porcentual como medida de cada una de ellas. Como ejemplo, obsérvese la siguiente figura:



Esquema explicativo del concepto “pérdida del poder adquisitivo”

En la figura anterior, en una primera fecha (t_1) existe una debida correspondencia entre una unidad monetaria (moneda) y una unidad de valor (cantidad determinada de bienes y/o servicios), pero en otra posterior (t_2), el incremento en los precios hace que la misma unidad monetaria no pueda adquirir la unidad de valor que ha sufrido un incremento debido al alza de los precios en el mercado, alza que es denominada “inflación” y es expresada en términos porcentuales (T_1). Surgen entonces dos preguntas: ¿qué nueva porción de bienes y/o servicios adquiere en la segunda fecha la unidad monetaria? y, ¿cuánto deja de adquirir dicha unidad monetaria?

Se sabe que ahora el 100% de los bienes y/o servicios son ahora la unidad de valor más la tasa inflacionaria (T_1), la porción de estos bienes y/o servicios que adquiere la unidad monetaria se determinará planteando, en términos aritméticos, una relación directa de tres parámetros, es decir:

$$P = 1/(1+T_1);$$

consecuentemente, la cantidad porcentual de bienes y/o servicios que se dejan de adquirir será la diferencia de “P” con la unidad porcentual, o sea:

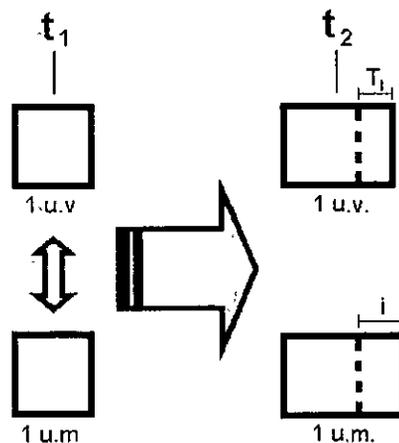
$$PPA = 1 - 1/(1+T_1).$$

Reduciendo la expresión anterior, puede afirmarse que la pérdida del poder adquisitivo (PPA) de la moneda es función de la tasa inflacionaria (T_1), misma que guarda la siguiente equivalencia:

$$PPA = T_i / (1+T_i)$$

IV.2.1. Tasa de Crecimiento Real del Patrimonio

Con base en lo expuesto en el punto inmediato anterior, surge ahora la interrogante ilustrada en la figura siguiente: si se considera que, además de existir inflación, la unidad monetaria es invertida en la fecha "t₁" y produce para la segunda fecha "t₂" un beneficio agregado, medido en términos porcentuales "i" (tasa efectiva del periodo definido entre las dos fechas), que hace a dicha unidad monetaria más grande, ¿en qué proporción es mayor o menor la nueva unidad monetaria respecto de la nueva unidad de valor?



Esquema explicativo del concepto "tasa de crecimiento real del patrimonio"

Para contestar esta pregunta debe medirse la proporción de cambio de la nueva unidad monetaria respecto de la nueva unidad de valor y, consecuentemente, la tasa de crecimiento real del patrimonio (unidad monetaria) corresponderá a la diferencia de esta proporción de cambio con la unidad, a saber:

$$1 + T_R = (1 + i) / (1 + T_i)$$

$$T_R = \{(1 + i) / (1 + T_i)\} - 1.$$

A esta relación que vincula el rendimiento efectivo de un determinado periodo y a la inflación ocurrida dentro del mismo a través del concepto de la tasa de crecimiento real del patrimonio se le suele denominar "efecto de Fisher".

Por ejemplo, si la inflación de un periodo fuera del 14% y la tasa efectiva del mismo que gana una inversión fuera del 19%, de ninguna manera deberá decirse que la tasa de crecimiento real del patrimonio fue del 5% (19%-14%); esto sería falso. Dicha tasa sería equivalente al 4.39%:

$$T_R = \{(1 + 0.19) / (1 + 0.14)\} - 1$$
$$T_R = 0.04385 \approx 4.39\%.$$

Pero, ¿qué pasaría si la tasa inflacionaria fuera mayor que la tasa efectiva? Supóngase que los valores de estas tasas fueran 21% y 16% respectivamente. Entonces la tasa real sería negativa, a saber:

$$T_R = \{(1 + 0.16) / (1 + 0.21)\} - 1$$
$$T_R = 0.04132 \approx 4.13\%.$$

Esta situación resulta lógica de pensar si se toma en cuenta que la media del cambio en el nivel agregado de precios fuera mayor que los rendimientos otorgados por las inversiones, es decir, no solamente habría pérdida del poder adquisitivo como consecuencia inherente de la inflación, sino que además existiría una disminución real en el patrimonio. Casos como el descrito suelen verse frecuentemente en economías de tipo emergente.

IV.3. ANÁLISIS DE INVERSIONES

Para efectos de la exposición de estos criterios, la notación utilizada para la definición de un proyecto será el siguiente:

- C_0 Inversión inicial requerida.
- B_t Beneficio generado por el proyecto durante el periodo "t".
- C_t Costo causado por el proyecto en el periodo "t"
- FEN_t Flujo de Efectivo Neto del periodo "t".
- n Horizonte de la inversión dividido en periodos.

Debe señalarse que el Flujo de Efectivo Neto del periodo "t" (FEN_t) será determinado calculando la diferencia que exista entre los ingresos generados menos las erogaciones causadas en el mismo periodo; pero cuando a esta diferencia le corresponda un signo negativo, el Flujo de Efectivo Neto será entendido como el "déficit" o costo neto incurrido en el punto "t" del tiempo (C_t), mientras que si su signo es positivo será referido como un "superávit" o beneficio neto (B_t) a favor del proyecto o negocio en marcha, según sea el caso.

Con estos elementos descritos serán calculados los indicadores con los cuales se establecerá la conveniencia o inconveniencia de realizar una inversión, dichos indicadores son los siguientes:

1. Periodo de Pago (PP),
2. Valor Presente Neto (VPN),
3. Tasa Interna de Retorno (TIR),

Los Flujos de Efectivo Neto forman el conjunto básico y fundamental que deberá determinarse para proceder con el cálculo de estos indicadores, sin ellos es imposible efectuar el análisis de una inversión; sin embargo, será necesario proponer y justificar un costo de capital central, con el cual será posible calcular los indicadores enunciados, mismos que en seguida se definirán.

IV.3.1. Periodo de Pago (PP)

Este método consiste en cuantificar el período en que será recuperada la inversión inicial "C₀", tomando como parámetro principal el costo total del proyecto (inversión total), respecto de los ingresos obtenidos periódicamente durante el horizonte de inversión del mismo.

El periodo de recuperación de una inversión puede ser definido como el tiempo requerido para que el flujo de ingresos producido por una inversión sea igual al desembolso original; con lo cual es posible medir la liquidez del proyecto, la recuperación de su aportación de capital y su ganancia o utilidad. Para determinar el periodo de pago de una inversión se debe establecer la siguiente ecuación:

$$\sum_{t=1}^{PP} FEN_t (1 + i)^{-t} = C_0,$$

donde el valor de "t" será variado desde uno y hasta el valor del periodo de recuperación de la inversión, mismo que es la incógnita a resolver mediante tanteos, por aproximaciones sucesivas o mediante la aplicación de un método numérico.

Para calcular este indicador es recomendable acumular en cada periodo los Flujos de Efectivo Neto de manera deflactada, es decir, el Flujo de Efectivo Neto Acumulado Deflactado en cualquier periodo será igual a su Flujo de Efectivo Neto referido en valor presente más el Flujo de Efectivo Neto Acumulado Deflactado del periodo inmediato anterior, encontrándose el Periodo de Pago (PP) entre los dos periodos que presenten un cambio de signo en sus Flujos de Efectivo Neto Acumulados Deflactados.

Bajo el criterio del Periodo de Pago se considerará que una inversión es rentable si el periodo de recuperación de la misma es menor o igual que el horizonte o plazo de ejecución del proyecto o periodo de vida del negocio en marcha; es decir:

$$PP \leq n,$$

y será considerada como no rentable en caso que esto no ocurra.

Es importante decir que este método es conocido también con el nombre de “periodo de recuperación de la inversión” o “periodo de recuperación actualizado”

IV.3.2. Valor Presente Neto (VPN)

El método del Valor Presente Neto es uno de los criterios financieros más ampliamente utilizado en el Análisis de Inversiones. Para entender su conceptualización, y también posteriormente el de Tasa Interna de Retorno, consideremos el siguiente esquema mostrado en la figura que recibe el nombre de Diagrama de Flujo de Efectivo, en el cual se representan, como su nombre lo indica, los flujos de efectivo para una inversión.

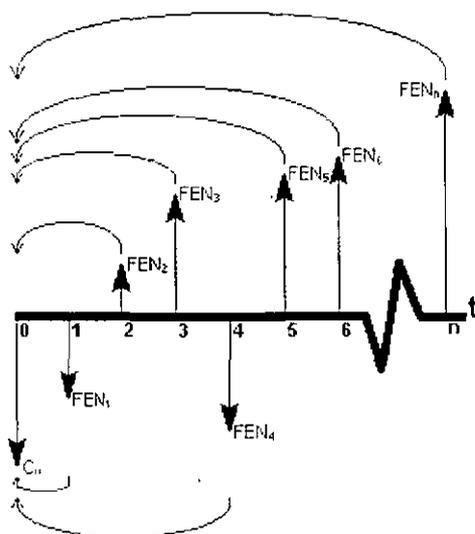


Diagrama de Flujo de Efectivo

En este proyecto de inversión se requiere de un desembolso inicial de efectivo “ C_0 ”, con lo que se generarán una sucesión de Flujos de Efectivo Neto al paso del tiempo, desde el primer periodo y hasta el horizonte de la inversión donde se presenta el flujo de efectivo final, quedando éstos representados como “ FEN_1 ”, “ FEN_2 ”, “ FEN_3 ”, ..., “ FEN_n ”. Los subíndices colocados corresponden a la variación del contador “t”, el cual representa al t-ésimo periodo.

En la figura anterior, la inversión inicial es denotada con la sigla “ C_0 ” y se representa gráficamente con una flecha hacia abajo de la línea de tiempo, lo cual significa que es una erogación de efectivo. Los flujos de efectivo “ FEN_1 ” y “ FEN_4 ” también son hacia abajo en la línea de tiempo y representan flujos de efectivo negativos, es decir, son erogaciones proyectadas. Los flujos positivos son representados con flechas hacia arriba y representan ingresos o beneficios que el proyecto le aporta al inversionista.

El valor presente neto se calcula sumando la inversión inicial al valor actualizado de los Flujos de Efectivo Neto futuros; es decir, a la inversión inicial (representada

por un flujo de efectivo negativo) se le suman algebraicamente los Flujos de Efectivo Neto traídos a valor presente mediante una "tasa" con la aplicación de la teoría del interés, tratada ya anteriormente. Dicha tasa será conocida como Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable (TREMA).

La Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable (TREMA) es una tasa de interés que indica el rendimiento mínimo que se espera tenga el proyecto o negocio en marcha, misma que puede correlacionarse con la Tasa de Crecimiento Real del Patrimonio.

En resumen, el método del Valor Presente Neto (VPN) consiste en actualizar los flujos de efectivo a través de una tasa de interés y compararlos con la inversión inicial mediante la siguiente relación:

$$VPN_i = C_0 + \sum_{t=1}^n FEN_t (1 + i)^{-t}$$

Se considerará que la inversión es rentable si el Valor Presente Neto (VPN) tiene un valor positivo, y en caso contrario será no rentable; por lo que se deduce entonces que el resultado que se obtiene refleja si el proyecto será capaz de generar utilidades o pérdidas respectivamente.

Este método tiene las ventajas que a continuación se numeran:

1. Considera el valor del dinero en el tiempo mediante la aplicación de la teoría del interés.
2. Existe verdadera facilidad para calcularlo.
3. Tiene solución única por cada tasa de interés que se aplique.

Sin embargo, la desventaja es que el resultado obtenido depende de la tasa de interés para deflactación que sea utilizada.

En lo sucesivo, se entenderá por deflactación al procedimiento mediante el cual un Valor Futuro es transformado en un Valor Presente. Al proceso inverso se le conocerá como reflactación.

IV.3.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

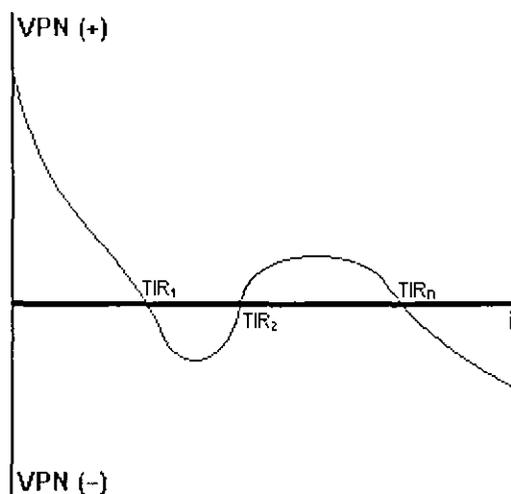
La Tasa Interna de Retorno (TIR), considerada también como tasa interna de rendimiento financiero, se define como la tasa de interés de deflactación que hace que el Valor Presente Neto de todos los Flujos de Efectivo Neto de una inversión o proyecto, sea igual a cero, satisfaciendo la siguiente ecuación:

$$f(\text{TIR}) = C_0 + \sum_{t=1}^n FEN_t (1+\text{TIR})^{-t} = 0,$$

donde la Tasa Interna de Retorno (TIR) es la solución o raíz de dicha ecuación. Es necesario observar que la ecuación anterior representa el desarrollo de un polinomio de grado "t".

Este método tiene una desventaja, la cual radica en el hecho que, la anterior es una ecuación de grado "t", como ya se menciona, la cual tendrá hasta "t" raíces o soluciones; algunas comprendidas, por pares conjugados, en el campo de los números complejos, y el resto existirán en el campo de los números reales, aunque podría ser el caso que no exista alguna solución en este conjunto.

Lo anterior significa que, cuando existe uno o más Flujos de Efectivo Neto negativos, pueden traer como resultado la obtención de Tasas Internas de Retorno múltiples; en otras palabras, cuando tratamos casos con características no típicas, pueden obtenerse varias soluciones (Tasas Internas de Retorno) que hacen que el Valor Presente Neto de una inversión sea igual a cero, por lo que para tomar una decisión, es necesario apoyarse en un mecanismo gráfico como el que se ilustra a continuación:



Representación gráfica del polinomio del VPN

Las soluciones o raíces del polinomio que representa el comportamiento del Valor Presente Neto, pueden encontrarse mediante la aplicación de algún método numérico, como puede ser el "Método de Newton". Para resolver la ecuación representativa del Valor Presente Neto, el Método de Newton resulta ser eficaz y eficiente, siempre y cuando existan soluciones pertenecientes al campo de los números reales, por tal razón es uno de los métodos numéricos más ampliamente utilizados para resolver polinomios, de hecho, es un método que converge más

rápidamente que cualquiera otro (de manera cuadrática en términos del error obtenido en cada paso).

Este método es de aproximaciones sucesivas, es decir, se obtendrá una mejor solución mientras más iteraciones se realicen. Se aplicará comenzando a partir de una estimación inicial que esté cercana a la raíz, extrapolando a lo largo de la tangente del polinomio en cuestión hasta su intersección con el eje de las abscisas y se le tomará a ese valor como la siguiente aproximación, continuando así hasta que los valores sucesivos de la solución que se esté buscando se encuentren lo suficientemente cercanos entre ellos, o bien, el valor de la función sea lo suficientemente próximo a cero.

La expresión postulada por el método, adaptada para encontrar el valor de la Tasa Interna de Retorno (TIR) es la siguiente:

$$TIR_{k+1} = TIR_k - [f(TIR_k) / f'(TIR_k)]$$

En términos prácticos, habrá que obtener la primera derivada de la función particular que represente al Valor Presente Neto (VPN), partir de un valor supuesto para la Tasa Interna de Retorno (cero, por ejemplo), y sustituir dicho valor en la función y en su derivada como lo indica la expresión anterior. El nuevo valor obtenido servirá para que, de nueva cuenta, se sustituya en la función y en su derivada y, con este procedimiento iterativo, se obtenga a cada paso un mejor valor que se aproxime al verdadero de la Tasa Interna de Retorno.

Es importante acotar que la Tasa Interna de Retorno (TIR) es independiente de la tasa o tasas de deflactación elegidas para calcular el Valor Presente Neto (VPN), el único vínculo que existe entre ambos indicadores es que si los Flujos de Efectivo Neto se deflactan y suman, esta sumatoria será igual a cero.