

I. La Ingeniería de Costos como parte de la Ingeniería de Sistemas.

26 y 27 de julio de 1971

Conferencista: ING. CARLOS URIEGAS

- a) Conceptos generales sobre sistemas.
- b) Sistemas económicos análogos.
- c) Objetos de estudio en la Ingeniería de Costos.
- d) Análisis de subsistemas.
- e) El Subsistema de la construcción.

II. Conceptos básicos de Ingeniería Económica.

28 y 29 de julio de 1971

Conferencista: ING. MELESIO GUTIERREZ

- a) Naturaleza y propósito de la Ingeniería Económica.

Tasa de interés. Tasa de rentabilidad. Diagramas de flujo monetario. Relaciones entre las variables económicas.

- b) Métodos para la evaluación de alternativas.

Valor presente. Costo anual. Tasa de rentabilidad. Beneficio. Costo.

- c) Análisis de sensibilidad.

III. Técnicas generales de estimación de costos.

30 de julio de 1971

Conferencistas: ING. EDGAR FERNANDEZ

ING. PABLO BARROETA

- a) Niveles de detalle en los estimados.
- b) Metodología de estimación de costos.
- c) Exactitud de los estimados.

- c) Los costos como variables alcatorias. Distribuciones y sus parámetros.
- f) Funciones de costos. Métodos de regresión simple y múltiple. Correlación.

IV. Costos de Operación y Mantenimiento de Equipo.

4, 5 y 6 de agosto de 1971

Conferencistas: ING. MELESIO GUTIERREZ

ING. MANUEL LANDA MEINHARD

- a) Integración de los costos de operación y mantenimiento.
 - a.1) Costos fijos: depreciación e interés, concepto de vida económica, mantenimiento.
 - a.2) Costos variables: consumos.
 - a.3) Costos indirectos.
- b) Conceptos sobre depreciación. Sistemas usuales.
- c) Estudios de retiro y reemplazo.
- d) Enfoque de investigación de operaciones a los problemas de vida económica de los equipos.

V. Aplicaciones de la Ingeniería de Costos a problemas de construcción.

- a) Costos de movimientos de tierras.

9 y 10 de agosto de 1971.

Conferencista: ING. JULIAN NAME MACCISE

- a.1) Los costos como función de los ciclos de trabajo.
- a.2) Máquinas y ciclos de trabajo más importantes.
- a.3) Programación y optimización de operaciones.
- a.4) Costos Típicos.

b) Costos de estructuras.

11 y 12 de agosto de 1971

Conferencistas: ING. RICARDO FLORES

ING. REGINO RAMON

- b.1) Costos de estructuras de concreto reforzado.
- b.2) Costos de estructuras de concreto prefabricado.
- b.3) Costos de estructuras metálicas.
- b.4) Criterios económicos generales sobre el uso de estructuras.

c) Costos de edificación

13 y 16 de agosto de 1971

Conferencista: ING. JOSE LUIS CASTILLO TUFIÑO

- c.1) Parámetros de costo de edificación e instalaciones
- c.2) Costos de sistemas arquitectónicos típicos.
- c.3) Costos detallados de edificación.
- c.4) Relación entre especificaciones y costos.
- c.5) Funciones de costos de edificación. Enfoque probabilista.

d) Costos de instalaciones industriales.

17, 18 y 19 de agosto de 1971

Conferencistas: ING. CESAR CONCHA

ING. EDGAR FERNANDEZ

- d.1) Costos de ingeniería.
- d.2) Equipo de proceso.
- d.3) Tuberías y tanques.
- d.4) Instalaciones eléctricas y mecánicas.
- d.5) Instrumentación.

d.6) Servicios auxiliares.

d.7) Funciones de costos de instalaciones. Enfoque probabilista.

VI. Control de Costos.

a) Sistemas de información contable.

20 y 23 de agosto de 1971

Conferencista: ING. GONZALO GOUT

a.1) Retroalimentación.

a.2) Sistemas de información.

a.3) Tiempo de respuesta, Estabilidad.

a.4) Control de sistemas económicos.

a.5) La contabilidad tradicional.

a.6) Los costos desde el punto de vista contable.

a.7) Costeo directo.

a.8) Integración de la contabilidad en los sistemas de información.

b) Control de costos de construcción.

24 y 25 de agosto de 1971

Conferencista: ING. RUFINO GUZMAN RASGADO

b.1) Estructura general de un catálogo de cuentas. El punto de vista del "cliente"

b.2) Aplicación de los catálogos de cuentas.

b.3) Elementos básicos de control de costos.

b.4) Uso de computadoras para el control de costos.

b.5) El Control como retroalimentación de la estimación de costos.

VII. Los costos indirectos de una empresa constructora.

26 y 27 de agosto de 1971

Conferencista: ING. JORGE TERRAZAS Y DE ALLENDE

Estructura de los costos indirectos.

Financiamiento.

Capital.

VIII. Demanda.

30 y 31 de agosto de 1971

Conferencista: M EN C. LEONEL CORONA TREVIÑO

Modelos de competición.

Modelos de demanda en la industria de la construcción.

Indices de costos.

Series cronológicas.

Curso diario de 1:40 Hs. de lunes a viernes de 19 a 20:40 Hs.

Lugar: PALACIO DE MINERIA

Fecha de iniciación 26 de julio de 1971

Fecha de terminación 31 de agosto de 1971.

DIRECTORIO DE CONFERENCISTAS DEL CURSO DE
INGENIERIA DE COSTOS DE CONSTRUCCION

ING. PABLO BARROETA GONZALEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
OFICINA DE MECANIZACION Y COMPUTACION
PETROLEOS MEXICANOS.

ING. JORGE LUIS CASTILLO TUFÍÑO
GERENTE GENERAL
CONTROL ECONOMICO DE OBRAS, S. A.

ING. CESAR CONCHA BORJES
BUFETE INDUSTRIAL

ING. EDGAR FERNANDEZ GOMEZ
GERENTE DEL DEPARTAMENTO DE
ESTIMACIONES Y CONTROL DE COSTOS
BUFETE INDUSTRIAL

ING. RICARDO FLORES MARTINEZ
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS ESPECIALES
PRESFORZADOS MEXICANOS, S. A. (PREMESA)

ING. RUFINO GUZMAN RASGADO
DIRECTOR TECNICO ADMINISTRATIVO
BUFETE INDUSTRIAL

ING. MANUEL LANDA MEINHARD
GERENTE GENERAL
LANDA Y RUBIO, S. A.

ING. JULIAN NAME MACCISE
DIRECTOR GENERAL DE EDIFICIOS
SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS

ING. AUGSTIN PAULIN PEREZ
INVESTIGADOR
INSTITUTO DE INGENIERIA

ING. JORGE TERRAZAS Y DE ALLENDE
GERENTE GENERAL
EDIFIMEX, S. A.

ING. CARLOS URIEGAS TORRES
SUBGERENTE DE INSPECCION Y
VERIFICACION DE CONSTRUCCION
PETROLEOS MEXICANOS

ING. LEONEL CORONA TREVIÑO
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA
Y TECNOLOGIA

ING. GONZALO GOUT
PRESIDENTE DEL CONSEJO
DE ADMINISTRACION
EDIFIMEX

ING. REGINO RAMON
ALTOS HORNOS DE MEXICO
MONCLOVA, COAH.

HACIA UN ENFOQUE CIENTIFICO DE LA ESTIMACION DE COSTOS

CONCEPTO DINAMICO DE UN SISTEMA

Es conveniente considerar la ingeniería de costos como parte integrante de la ingeniería de sistemas. El enfoque de sistemas da a la ingeniería de costos coherencia, orden y metodología. Por lo tanto, se expondrá brevemente el concepto dinámico de un sistema como base para las consideraciones posteriores.

Para que un sistema quede bien determinado, es necesario primeramente definir en forma precisa sus objetivos. Los elementos componentes del sistema serán todos aquellos recursos (hombres, máquinas, dinero, información, etc.) que sea necesario acumular y organizar para poder alcanzar los objetivos propuestos. Todo aquello que no forma parte del sistema constituye su "ambiente". Para realizar sus objetivos, el sistema toma del ambiente los recursos necesarios, los cuales constituyen las "entradas" o "insumos" del sistema. La realización de los objetivos del sistema se logra a través de las "salidas" o "productos" del sistema.

Los sistemas tienen un carácter eminentemente dinámico. Las entradas, las salidas y los elementos componentes del sistema son funciones del tiempo, según se indica en la figura No. 1. Los recursos acumulados $R(t)$ que constituyen el sistema varían constantemente, de acuerdo con el flujo de recursos $r(t)$ que entran al sistema y el flujo de productos $p(t)$ que salen del mismo. Una parte de $r(t)$ es transformada

por el sistema en la corriente $p(t)$ y otra parte puede integrarse al sistema $R(t)$ produciendo su crecimiento. Como resultado de su experiencia y de su evolución, los objetivos del sistema sufren también cambios, por lo que deben también considerarse como funciones del tiempo $0(t)$.

Aunque en la figura No. 1 se ha indicado el flujo $r(t)$ hacia el sistema, la dirección de esta corriente puede invertirse durante determinados lapsos. El sistema devuelve entonces recursos al ambiente externo y sufre en consecuencia una "contracción". Teniendo en cuenta que el sistema es generalmente multidimensional, es decir, compuesto por recursos de diversa índole, puede suceder que $r(t)$ sea positiva para algunos de los recursos y nula o negativa para otros. La corriente de salidas $p(t)$ puede también invertirse ocasionalmente; o bien, algunos de los productos pueden permanecer en el sistema contribuyendo a su crecimiento, o como inventarios.

Los sistemas pueden realizarse y describirse por medio de "modelos". En un modelo, los subsistemas o elementos del sistema se representan mediante símbolos; el modelo se denomina físico, gráfico, matemático, etc., según la clase de símbolos que se usen para construirlo. Cuando el sistema es multidimensional, cada modelo del mismo describe su comportamiento con relación a una cierta dimensión del sistema; o como se dice frecuentemente, el modelo representa un "sistema análogo" monodimensional. En un modelo termodinámico se describe el comportamiento del sistema desde el punto de vista de la energía; un modelo geométrico describe las relaciones espaciales entre las partes físicas del sistema.

Cuando hablamos de ingeniería de costos, nos referimos al comportamiento de un sistema desde el punto de vista económico, es decir, a la construcción y el análisis de un modelo económico del sistema. Este modelo se muestra en la figura No. 2, que es una adaptación de la presentada por J. Morley English (1). Nótese que aquí se invierte el sentido de las corrientes: al flujo de recursos $r(t)$ corresponde un flujo de costos $c(t)$ que debe "pagar" el sistema para la adquisición de dichos recursos; y a la corriente de productos $p(t)$ corresponde una corriente de valores o beneficios $v(t)$ que recibe el sistema como resultado de su operación. El sistema económico análogo $I(d)$ está constituido por la acumulación de inversiones que tienen un valor potencial, el cual debe traducirse en una corriente $v(t)$ tal que

$$\int_{t_1}^{t_2} v(t) dt > \int_{t_1}^{t_2} c(t) dt$$

La diferencia entre estas dos sumas constituye el beneficio neto que recibe el sistema en el lapso $t_2 - t_1$ correspondiente.

SUBSISTEMAS

Para analizar un sistema se divide éste en subsistemas. Desde el punto de vista económico conviene considerar los siguientes subsistemas:

- a) Subsistemas Funcionales: Corresponden a las funciones o subobjetivos del sistema, derivados de sus objetivos básicos; por ejemplo: proceso químico, almacenamiento de materias primas, envase de productos, etc. Algunos de estos subsistemas pueden dividirse aún más.

Son subsistemas funcionales de especial importancia los de carácter gerencial o administrativo, y entre éstos, los sistemas de información que captan datos del ambiente, generan datos relativos a la operación del sistema y procesan los datos para convertirlos en información relevante. Así, la información es un producto del sistema que él mismo aprovecha como insumo, para regular sus operaciones. Este mecanismo constituye la retroalimentación del sistema, que se representa en las figuras 1 y 2 por una línea punteada.

Los sistemas de información guardan, por lo tanto, una relación estrecha con el control del sistema. Controlar implica medir lo realizado comparándolo con un plan, objetivo o norma prefijada, y corregir las desviaciones observadas para asegurar la consecución de los objetivos y metas del sistema. Control es información más acción; debe aplicarse al sistema completo y a cada uno de los subsistemas funcionales considerados.

- b) Subsistemas Físicos: Comprenden conjuntos de elementos con características físicas similares, como por ejemplo: estructuras, recipientes, tuberías, distribución eléctrica, etc. Desde luego que los subsistemas físicos podrían considerarse como funcionales, en el sentido de que todo elemento de un sistema tiene una función que desempeñar; sin embargo, las funciones de los subsistemas físicos son de carácter general y no están ligados directamente con el objetivo específico del sistema. Un subsistema físico generalmente comprende elementos pertenecientes a varios subsistemas funcionales.

- c) Subsistemas de Recursos: Puesto que el sistema está constituido por una acumulación de recursos multidimensionales, pueden considerarse subsistemas monodimensionales correspondientes a fuerza de trabajo, materiales, capital, terrenos o cualquier otro recurso. En el análisis del sistema económico, estos subsistemas corresponden generalmente a la última subdivisión considerada.
- d) Subsistemas Evolutivos: Corresponden a las etapas de crecimiento y evolución del sistema. En la figura No. 3 se muestra el modelo económico de los subsistemas de Ingeniería, Construcción y Operación que son característicos de los sistemas productivos. Al analizar cada subsistema es necesario considerar los costos que se transfieren de un subsistema al siguiente. El influjo de valores $v(t)$ debe compararse con la suma de los flujos de costos de proyecto $C_p(t)$, de construcción $C_c(t)$ y de operación $C_o(t)$. Cuando el sistema está en la etapa de proyecto deben estimarse los flujos de costos C_p , C_c y C_o en que se incurrirá durante toda la vida económica del sistema, así como el flujo de beneficios $v(t)$. Resulta evidente la necesidad de contar con buenas técnicas de predicción.

INGENIERIA DE SISTEMAS ECONOMICOS

La ingeniería del sistema económico correspondiente a un sistema productivo comprende:

- a) La estimación y el análisis de los costos (salidas del sistema);
- b) El estudio de la estructura económica y financiera de la empresa y la valuación de activos (elementos componentes e integración del sistema);

- c) El pronóstico y análisis de los beneficios del sistema (entradas);
- d) El estudio de la relación entre beneficios y costos con un enfoque analítico -sintético (eficiencia del sistema); y
- e) El diseño e implementación del subsistema de información y control (retroalimentación).

Es necesario enfatizar el enfoque de "ingeniería". Lo característico de la ingeniería es el diseño, es decir, la síntesis creativa seguida del análisis, en un proceso convergente, para obtener un producto óptimo. Por lo tanto, al hablar de ingeniería de sistemas económicos se desea recalcar el aspecto sintético, el diseño de sistemas económicos óptimos, como parte fundamental del diseño total de los sistemas.

La Asociación Americana de Ingenieros de Costos ha adoptado la siguiente definición oficial de Ingeniería de Costos: "El campo de la ingeniería en donde la experiencia y criterio del ingeniero se utilizan en la aplicación de principios y técnicas científicos a los problemas de estimación de costos, control de costos, evaluación económica y rentabilidad". Esta definición cubre la mayor parte de la ingeniería de los sistemas económicos; se enfatiza el aspecto de costos, pero no se hace referencia al valor o efectividad de los sistemas.

Por otra parte, lo que se conoce como Ingeniería Económica comprende esencialmente los principios y técnicas para evaluar y comparar alternativas desde el punto de vista económico; es la teoría de la decisión económica. Parece, por lo tanto, que este concepto se usa en un sentido aún más restringido que el de ingeniería de costos; le falta énfasis en la estimación y el control de los costos.

Otro concepto que se menciona frecuentemente es el de Ingeniería del Valor; en él se enfatiza el análisis del valor de un sistema y se trata de maximizarlo en relación con los recursos empleados.

Finalmente, desde hace algunos años se ha puesto en boga el concepto de "costo-efectividad". Seiler (2) lo define así: "El análisis de costo-efectividad es el procedimiento mediante el cual se comparan los costos de medios alternativos de lograr una efectividad determinada (de un sistema) , o inversamente, las efectividades de medios alternativos que tienen un costo especificado, a través de una serie de índices numéricos. El objetivo del análisis es encontrar la alternativa, o combinación de alternativas, que den la mayor efectividad esperada para un costo fijo esperado, o la efectividad fija esperada al mínimo costo esperado". Como hace notar Morley English (3), "esta nueva combinación de palabras -costo y efectividad- es nueva y por tanto tiende a crear la impresión de una nueva disciplina. Sin embargo, costo-efectividad es una disciplina muy antigua. Básicamente no es otra cosa que la ingeniería económica... (Sin embargo) la ingeniería económica tradicional se caracterizó por un enfoque esencialmente determinista. Se reconocía la existencia del riesgo y la incertidumbre, pero no se les consideraba explícitamente en los cálculos; en cambio, en la nueva metodología, la probabilidad juega un papel importante. (Además) costo-efectividad, en su aplicación moderna, pone énfasis en la estimación de costos y la evaluación del valor o efectividad de los sistemas."

Puede apreciarse que ingeniería de costos, ingeniería económica, ingeniería del valor y costo-efectividad constituyen básicamente la misma

disciplina, y sólo difieren en el énfasis que ponen en los diversos aspectos del problema. Quizá la expresión "ingeniería de sistemas económicos" pueda servir como denominador común para dar unidad a toda esta terminología. Se está necesitando mucho esta unidad para evitar confusiones y dar más coherencia a este conjunto de conocimientos.

FACTORES DE COSTOS

El concepto de costo se relaciona con el de sacrificio o cesión de recursos escasos. Siempre que es posible, se expresan los costos en unidades monetarias; sirve así el dinero como medida y denominador común del costo de los recursos. Sin embargo, esta reducción no siempre es válida, por lo cual en muchos sistemas es necesario evaluar los costos en varias dimensiones.

Siendo los costos monetarios los más importantes en los sistemas productivos, conviene analizar los factores que determinan su monto. De estos factores, algunos son "endógenos", es decir, radican en la estructura y características del sistema específico analizado; otros son "exógenos", o sea que radican en los supra-sistemas que integran el ambiente del sistema considerado.

Los factores endógenos de los costos pueden referirse a:

- 1) Características de los productos: Volumen de producción, calidad de los productos, variedad de la producción, necesidad de investigación y desarrollo, etc.
- 2) Características del proceso: Productividad de los recursos empleados — mano de obra, equipo y capital; estructura del sistema.
- 3) Características de los insumos: cantidad, clase, calidad, escasez,

Los factores exógenos pueden tener relación con:

- 1) El tiempo: Valor del capital y flujo de efectivo descontado; plazo para instalar el sistema; vida del sistema; inflación.
- 2) El lugar: Accesibilidad, disponibilidad de recursos y servicios, clima y otras condiciones del sitio.
- 3) Otros factores ambientales: tecnológicos, políticos y sociales.

Frecuentemente es necesario analizar los costos de un sistema con relación a su producción; surgen entonces los siguientes conceptos:

- a) Costos Fijos.- Los que a corto plazo son independientes del volumen de la producción.
- b) Costos variables.- Los que varían proporcionalmente al volumen de la producción.
- c) Costos marginales.- Los que corresponden a un aumento determinado de la producción.
- d). Costos medios.- El costo total del sistema dividido entre la producción.

Estos conceptos conducen a parámetros tales como el punto de equilibrio o de producción mínima económica; el punto de máximo beneficio y el punto de eficiencia máxima del sistema.

Por lo que se refiere al costo de los insumos, especialmente el del capital y el de instalaciones heredadas de otros sistemas, es importante el concepto de "costo de oportunidad", según el cual, el costo de un proyecto se determina por los beneficios que se derivarían del mismo, así como de otras oportunidades de inversión que es necesario descartar.

carlo al proyecto que se analiza. Este concepto puede aplicarse igualmente al recurso humano cuando está limitado, de tal manera que su aprovechamiento en un sistema obliga a desechar otras oportunidades de aprovechamiento.

Como antes se dijo, la evaluación de los costos en unidades monetarias tiene limitaciones. Difícilmente podría expresarse en dinero, por ejemplo, el costo de la pérdida de vidas. La existencia de un tope en la disponibilidad de un recurso significaría que más allá de dicho tope, el costo relativo sería infinito. Hay también con frecuencia un límite en el tiempo disponible; el tiempo es entonces un recurso limitado, que en muchas ocasiones puede intercambiarse por otros recursos, aumentando el costo monetario del sistema. Por eso, cuando se requieren recursos limitados cuyo valor no se puede expresar en dinero, Rudwick recomienda (4):

- a) Diseñar todos los sistemas (alternativos) con el mismo nivel de efectividad.
- b) Determinar los costos de cada sistema alternativo equivalente en función de dinero, vidas, tiempo y otros recursos limitados que sean necesarios.
- c) Revisar si los recursos así determinados no rebasan los límites de disponibilidad; si así fuera, trátase de rediseñar el sistema para reducir el recurso crítico, aun a costa de un aumento en el costo (consumo) de otros recursos.
- d) Presentar a quien deba tomar la decisión el costo multidimensional de cada sistema aceptable, para que él haga la selección

con base en su propia escala preferencial de valores.

La ingeniería de costos, aún reconociendo que el costo puede tener carácter multidimensional, se limita a la determinación, control y evaluación de los costos monetarios.

MODELOS DE COSTOS DE SISTEMAS

La estimación del costo total de un sistema debe comprender el de todos los elementos necesarios para planearlo, diseñarlo, construirlo y operarlo durante su vida útil, integrándolo debidamente a los sistemas de orden superior. Ello exige normalmente la consideración de numerosos subsistemas, por lo que es preciso establecer una metodología que evite omisiones importantes y que conduzca a la formulación de un modelo matemático conveniente. Dicha metodología tiene por base la división del sistema en subsistemas claramente identificables y que puedan compararse con subsistemas similares construidos en el pasado. Según lo dicho anteriormente, conviene considerar como dimensiones del modelo de costos las siguientes clases de subsistemas:

- (a) Subsistemas evolutivos.
- (b) Subsistemas funcionales
- (c) Subsistemas físicos.
- (d) Subsistemas de recursos.

El orden indicado corresponde al que normalmente conviene considerar. Frecuentemente se desea estimar el costo de un sistema completo comparándolo con otros similares: aún en estos casos, casi siempre es necesario considerar separadamente los subsistemas evolutivos: inge-

nería, construcción y operación. En un intento de mayor aproximación, se divide generalmente el sistema en subsistemas funcionales, sobre los cuales se tenga una estadística más amplia. La consideración de subsistemas físicos, combinados con los funcionales, conduce a elementos más simples, cuyo costo puede relacionarse con un gran número de experiencias pasadas, de tal manera que la correlación estadística de costos puede hacerse con mayor grado de exactitud. Finalmente, al considerar separadamente los recursos —mano de obra, materiales, etc— se pueden tomar en cuenta variaciones de sistema a sistema que afectan de manera diferente a cada recurso. Por supuesto que no siempre es necesario o conveniente considerar las cuatro clases de subsistemas indicados.

El modelo de costos consiste en una matriz de tantas dimensiones como clases de subsistemas se consideren. En la figura número 4 se han separado los modelos matriciales correspondientes a los subsistemas o etapas de ingeniería, construcción y operación. El primero, correspondiente a ingeniería, ilustra una matriz unidimensional (vector); el segundo modelo referente a construcción, consiste en una matriz de tres dimensiones; y el último, correspondiente a operación, supone que se requieren dos dimensiones.

El uso de estos modelos es muy flexible, ya que en ellos pueden considerarse submatrices de cualquier tamaño y dimensión, que posteriormente pueden dividirse según lo permita el avance del proyecto. Usando un índice para cada dimensión, los costos se pueden clasificar y agrupar mediante computadora si el tamaño del sistema lo hace deseable o necesario.

En la aplicación de estos modelos surge la pregunta: ¿Qué clases de subsistemas deben considerarse y hasta qué grado conviene llevar la división de los subsistemas? La respuesta depende obviamente del grado de definición del proyecto. Inicialmente puede considerarse el sistema completo; por ejemplo, una planta de proceso químico cuyo costo global se estima con referencia a su capacidad y algunos otros requisitos básicos. Cuando se cuenta con un diagrama de flujo de proceso y un plano general de distribución, pueden definirse varios sistemas funcionales y físicos, cuyo costo se puede estimar con mayor exactitud. A medida que avanza el proyecto, los grandes subsistemas considerados inicialmente se pueden ir dividiendo y analizando con mayor detalle. La división máxima se alcanza cuando se obtienen listas detalladas de materiales y estimaciones de horas-hombre requeridas para cada operación constructiva. Puesto que en cada paso, el costo de la estimación aumenta considerablemente, es necesario establecer un equilibrio entre la exactitud deseable y el costo del estimado. Es necesario tener en cuenta que un mayor grado de detalle en el estimado no siempre conduce a mayor exactitud del mismo; un sistema no debe dividirse cuando el costo de cada parte no pueda definirse independientemente del de las demás, o cuando no se cuenta con estadísticas más precisas relativas al costo de cada parte.

COSTO DE LOS SUBSISTEMAS

Cualquiera que sea el grado de división adoptado para el análisis, el segundo problema a que se enfrenta el ingeniero de costos es el de determinar el costo de cada subsistema. Ello exige, en primer lugar,

buscar una unidad de medida para expresar dicho costo y poder así obtener una estadística del costo histórico de cierto número de subsistemas similares, expresado en función de la unidad seleccionada. Esta unidad se denomina "parámetro de costo", por ejemplo: costo de estaciones de compresión, por caballo instalado; costo de edificios, por metro cuadrado de construcción, etc.

La dispersión de los datos, medida por la varianza de la muestra, puede ser demasiado grande. Podemos disminuirla mediante un análisis de los factores o las características funcionales del subsistema considerado que mayormente influyen en la variabilidad del costo por unidad.

Cuando los factores o características determinantes del costo de un subsistema pueden medirse en función de parámetros, se trata de establecer una "función de costo" del subsistema mediante procedimientos de regresión y correlación estadística

$$C = f(x_1, x_2, \dots, x_n; k_1, k_2, \dots, k_m) \quad (a.)$$

siendo C = parámetro de costo del subsistema,

x_1, x_2, \dots, x_n = parámetros funcionales o de diseño del subsistema

k_1, k_2, \dots, k_m = constantes empíricas

Es deseable anticipar la forma de la función, teniendo en cuenta consideraciones teóricas o técnicas, y la manera en que cada parámetro de diseño influye en el costo del subsistema. Si ello no es posible, será preciso analizar diversos tipos de funciones para encontrar la mejor correlación.

Pueden derivarse también funciones de costo en las que los parámetros $x_1, x_2 \dots x_n$ correspondan cada uno a un componente del sistema considerado. La función de costo toma entonces la forma agregativa:

$$C = \sum_{i=1}^n f_i (k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{im}, x_i) \quad (b)$$

Esto equivale realmente a dividir el sistema en "n" sistemas más elementales.

Las funciones del tipo (a) son especialmente útiles en la etapa de proyecto, ya que permiten realizar estudios de optimización de costos. Las funciones del tipo (b) son especialmente útiles desde el punto de vista del control de los costos; en efecto, a medida que se cuenta con mayor información de proyecto, los términos $f_i(x_i)$ pueden substituirse por expresiones más exactas, obteniendo así estimados de costo actualizados. Un ejemplo muy interesante fue reportado por A.S. Correll de la Esso Research and Engineering Co. en el último congreso de la AACE en San Francisco (5). Algunos ejemplos de funciones del tipo (b) fueron presentados por G.T. Gin, de la Bechtel Corporation, en la misma reunión (6).

Quando no es posible encontrar un parámetro numérico que mida adecuadamente cierta característica determinante del costo de un subsistema, es necesario subdividir la muestra estadística en categorías que correspondan a las diferentes variantes cualitativas de la característica considerada. Se generan así varias estadísticas en lugar de una sola; para cada una de ellas se intenta encontrar una función de costo, mediante un análisis de regresión y correlación, en la forma que antes se indicó.

LOS COSTOS CONSIDERADOS COMO VARIABLES ALEATORIAS

La estimación de costos sólo es posible con referencia a experiencias pasadas. Puesto que, en general, los sistemas construídos en el pasado son diferentes entre sí y diferentes al sistema que se proyecta, es necesario dividir los sistemas en partes que sean comparables de un proyecto a otro y susceptibles de generar estadísticas de costos útiles para predecir el costo de nuevos sistemas. De ahí que el modelo de costos de un sistema deba tener una estructura agregativa.

Puede apreciarse fácilmente la importancia de considerar los costos como variables aleatorias, en forma sistemática. Ya sea que seamos conscientes de ello o no, cada vez que estimamos el costo de un elemento constructivo o de una operación, estamos echando mano de una experiencia que constituye una estadística formal o informal. Cada estimador va formando con su experiencia un conjunto de "recetas" que aplica con la debida discreción. Esta "debida discreción" significa que el estimador tiene que hacer interpolaciones y extrapolaciones que exigen juicios de tipo subjetivo. Es indudable que la sistematización de las experiencias de costo disminuye el rango de las interpolaciones o extrapolaciones y conduce, por consiguiente, a estimados más objetivos, exactos y uniformes.

Al considerar los costos como variables aleatorias surgen dos problemas que están íntimamente ligados. El primero consiste en lo limitado de los datos de que puede disponerse para formar estadísticas confiables. Es bien conocida la importancia que tiene el tamaño de la muestra

al fijar los límites de confianza de un estimado o al hacer un análisis de correlación. El hecho de que generalmente contemos con muestras demasiado pequeñas quita gran parte de la utilidad al análisis estadístico y hace que se considere éste con bastante reserva y escepticismo.

El segundo problema se refiere a la normalización de los subsistemas a considerar y de los parámetros de diseño de cada subsistema. Puede decirse que la falta de normalización es la causa predominante de la carencia de estadísticas amplias; en efecto, cada empresa y aun cada estimador, usa su propio juicio para hacer la división de sistemas en subsistemas y para fijar los parámetros de diseño de éstos últimos.

Se limita así la estadística a la experiencia individual de cada empresa; si bien las grandes empresas pueden disponer de muestras más o menos amplias y variadas, no puede decirse otro tanto de la gran mayoría de las empresas medianas y pequeñas.

El costo de cualquier sistema o subsistema, considerado como variable aleatoria, queda definido, no por un solo valor, sino por un modelo estadístico, es decir, por una "distribución" o "función de densidad de probabilidad" que podría describirse en términos de un valor esperado, una desviación estándar, un sesgo y otros parámetros matemáticos.

Hay un amplio campo de investigación para determinar los modelos estadísticos más apropiados para cada tipo de sistema. Las distribuciones beta, gama, de Weibull, de valores extremos y otras, ofrecen amplias posibilidades. Cuando no se tengan bases teóricas para suponer una distribución de las mencionadas, se puede recurrir a distribuciones empíricas como la de Johnson o la de Pearson. Cuando la muestra de que

se dispone es pequeña, puede echarse mano de las técnicas de probabilidad subjetiva y de la técnica Delphi para obtener una opinión de grupo (7).

Las funciones de costos se obtienen mediante regresión respecto a los parámetros de diseño del sistema; cabe aquí el análisis de regresión múltiple y el análisis de factores para determinar los parámetros más significativos desde el punto de vista del costo. Los modelos agregativos de costo descritos con anterioridad exigen técnicas para determinar la distribución del costo de un sistema en función de las distribuciones de los costos de los subsistemas componentes. Los métodos de generación de momentos y de Monte Carlo son aplicables en estos casos; es necesario seleccionar para cada situación el más apropiado y económico. Por fortuna, la computación electrónica ha venido a hacer práctica la aplicación de estos métodos, que de otro modo tendrían una utilidad muy limitada.

PRECISION DE LOS ESTIMADOS Y EVALUACION DEL RIESGO

Al tratar los costos como variables aleatorias se puede plantear sobre bases más racionales la evaluación del riesgo en los costos de inversión. Ha sido una práctica usual el tratar de correlacionar de algún modo el avance del proyecto, es decir, la información de proyecto disponible, con el grado de exactitud del estimado. Los métodos propuestos por H.C. Bauman (8) y J.W. Hackney (9) hace varios años son de esta clase. La principal limitación de estos métodos reside en los juicios subjetivos que

deben hacerse respecto al "porcentaje de información" disponible y/o la correlación entre el grado de información y la exactitud del estimado.

Cuando el costo de cada sistema y subsistema se identifica con un modelo estadístico, puede expresarse en términos numéricos la precisión del estimado, así como la probabilidad de riesgo asociado a un margen de "imprevistos" o "contingencias" especificado.

A este respecto existe cierta confusión al aplicar los llamados "intervalos de confianza"; éstos se refieren a la probabilidad (nivel de confianza) de que cierto parámetro estadístico (por ejemplo, el valor medio del costo) esté dentro del intervalo especificado. Para una probabilidad dada (por ejemplo 95%), este intervalo puede reducirse aumentando el tamaño de la muestra, según se ilustra en la figura No. 6. Como expresan Hahn y Shapiro (10) "el aumento de precisión en el conocimiento de un parámetro no debe confundirse con la mejora del producto (en este caso la variabilidad del costo de un sistema). Al obtener mayor número de (datos de costo), el estimado del (costo) medio mejora, pero la distribución (del costo) es la misma. Un intervalo dentro del cual podemos afirmar, con una probabilidad dada de estar en lo cierto, que se encuentra al menos una proporción pre-especificada de los valores de una distribución muestreada, se conoce como intervalo de tolerancia estadística".

Claramente, lo que interesa desde el punto de vista de la precisión de un estimado de costo no es el "intervalo de confianza", sino el "intervalo de tolerancia". Este último solo puede reducirse mediante regresión respecto a los parámetros de diseño convenientes del sistema. Esto se ilustra en la figura No. 7.

Por ejemplo, si se fija en \$350,000 el límite superior del costo estimado de un sistema, se toma esta cifra como límite superior de tolerancia estadística y, con base en la distribución de la muestra, se puede calcular la probabilidad de que al menos 95% de los costos posibles del sistema sean inferiores a dicha cifra. Es posible así formar una tabulación en la que se aprecie el riesgo asociado a cada costo estimado, permitiendo así a la gerencia de la empresa tomar una decisión sobre bases claras y objetivas.

LOS COSTOS COMO SERIES CRONOLÓGICAS

En la discusión anterior se han considerado los costos como variables aleatorias independientes del tiempo. En la realidad, las experiencias de costo que constituyen una muestra estadística se distribuyen en una serie cronológica. Se han mencionado ya varios factores exógenos de los costos que guardan relación en el tiempo, especialmente los fenómenos inflacionarios; por lo tanto, el costo de cada sistema o subsistema debería considerarse como una serie cronológica, introduciendo la variable "tiempo" en todas las funciones de costo y en los modelos estadísticos de costos.

Se mencionó igualmente la existencia de factores de costo exógenos relacionados con el lugar, que tienen gran importancia en la variabilidad de los costos. Ello exige introducir el lugar o ubicación como otra variable en las funciones y modelos de costos. Obviamente la consideración de series cronológicas para cada lugar y cada tipo de sistema o subsistema

resultaría impráctica, por lo cual la metodología corriente consiste en lo siguiente:

- a) Se consideran separadamente de los factores de costo exógenos y los endógenos. Se refieren los costos a cierta fecha de referencia y a ciertas condiciones "normales" dejando como variables de costo únicamente los factores endógenos. Los costos así obtenidos se denominan "costos normales".
- b) Se consideran "sistemas base", cada uno de los cuales tiene una composición que se supone representativa de cierto grupo de sistemas.
- c) Se establece el registro sistemático de "índices de costo" que midan las variaciones de costo de los "sistemas base" a lo largo del tiempo y por regiones. Se establecen asimismo índices que reflejen las variaciones de costos debidas a condiciones de trabajo.
- d) Se usan los índices de costo para corregir los "costos normales" ajustándolos a cualesquiera fecha y condiciones de trabajo, o recíprocamente.

Uno de los problemas que se presentan consiste en elaborar un número suficiente de índices que sean aplicables a la gran diversidad de sistemas que pueden construirse, ya que cada sistema presenta una "mezcla" diferente de elementos de costo. Una solución que se ha propuesto (11) consiste en llevar índices de ciertos elementos básicos para poder combinarlos en diferentes proporciones y obtener así índices ad hoc que sean representativos de los diferentes sistemas por analizar.

Estos índices pueden llevarse también por lugares, como en el sistema "PRICE" que describen J.J. Bollwark y D.F. Hagan, de la Esso Research and Engineering Co. (12); estos autores muestran que los índices pueden ser una función estadística de algún parámetro del material o sistema a que se refieren.

Los índices de costo básicos, considerados como series de tiempo, pueden correlacionarse con las tendencias generales de la economía por medio de modelos estadísticos como los descritos por G.T.Gin en el trabajo ya citado (6).

En segundo lugar, debe tomarse en cuenta que los avances tecnológicos provocan cambios de estructura de los sistemas, los cuales se reflejan en un aumento de la productividad de las inversiones. Es necesario, por lo tanto, hacer ajustes en las "mezclas" de elementos que sirven de base a un índice para que éste refleje con fidelidad la estructura de los sistemas a los cuales se aplicará. Cuando la mano de obra es uno de los componentes de la base del índice, es necesario introducir un factor de corrección que disminuya la contribución porcentual de este componente en la misma proporción que aumenta su productividad.

Cuando la base del índice es el producto o salida de un sistema, la variación de aquél refleja automáticamente el aumento de productividad; tal es el caso del índice de "costo verdadero" de Nelson para refinerías. Este tipo de índices es especialmente útil cuando se aplica a sistemas productivos de diversos grados de complejidad.

CONCLUSIONES :

- 1.- La ingeniería de costos debe ser parte integrante de la ingeniería de sistemas. Los modelos de costo deben reflejar la estructura del sistema analizado.
- 2.- Para que la Ingeniería de Costos y, en particular, la estimación de costos, tenga un carácter sistemático y científico, es necesario considerar los costos como variables aleatorias y sujetar su análisis a las leyes de la probabilidad y de la estadística.
- 3.- El enfoque estadístico de los costos exige:
 - a) La normalización de los subsistemas que conviene considerar, para cada tipo de sistemas y cada etapa del diseño.
 - b) La normalización de los parámetros de costo de los subsistemas previamente definidos.
 - c) La determinación de funciones de costos normalizados.
 - d) Normalización de la metodología para la formulación de índices que permitan convertir los costos normalizados en costos reales, o recíprocamente, con base en los factores exógenos de los costos.
- 4.- El carácter confidencial que hasta ahora ha tenido mucha de la información de costos, y aún a la metodología para su análisis, constituye una fuerte barrera para la normalización de los modelos de costos y para la obtención de estadísticas amplias y significativas. Es tiempo de eliminar estas ba-

REFERENCIAS

- (1) J. Morley English, Ed., "Cost Effectiveness - The Economic Evaluation of Engineered Systems", J. Wiley and Sons, Inc. 1968, p. 65.
- (2) Karl Seiler, III, "Introduction to Systems Cost - Effectiveness", J. Wiley and Sons, Inc., 1969, p.1.
- (3) Op. Cit., p. 2 y 3.
- (4) Bernard H. Rudwick, "Systems Analysis for Effective Planning: Principles and Cases", J. Wiley and Sons, Inc., 1969, p. 226.
- (5) A.S. Correll, "ESSO's in - House Estimating Now Computerized", A.A.C.E. Transactions, 1970, pp. 114-119.
- (6) Gene T. Gin, "Statistics and Cost Engineering", A.A.C.E. Transactions, 1970, pp. 38 -44 .
- (7) Lawrence S. Hill, "The Delphi Process: A Tool for Business Forecasting", A.A.C.E. Transactions, 1970, pp. 101-104.
- (8) H. Carl Bauman, "Fundamentals of Cost Engineering in the Chemical Industry", Reinhold Publishing Corp., 1964, pp. 31- 37.
- (9) John W. Hackney, "Control and Management of Capital Projects", J. Wiley and Sons, Inc., 1965, pp. 81 - 91.
- (10) Gerald J. Hahn and Samuel S. Shapiro, "Statistical Models in Engineering", J. Wiley and Sons, Inc., 1967, pp. 76-77.
- (11) William H. Patterson, "Preparing and Maintaining a Construction Cost Index", A.A.C.E. Transactions, 1969, pp. 272 - 280.
- (12) J.J. Bollwark and D.F. Hagan, "Data Index System Estimates Costs", The Oil and Gas Journal, July 20, 1970, pp. 59 - 63.

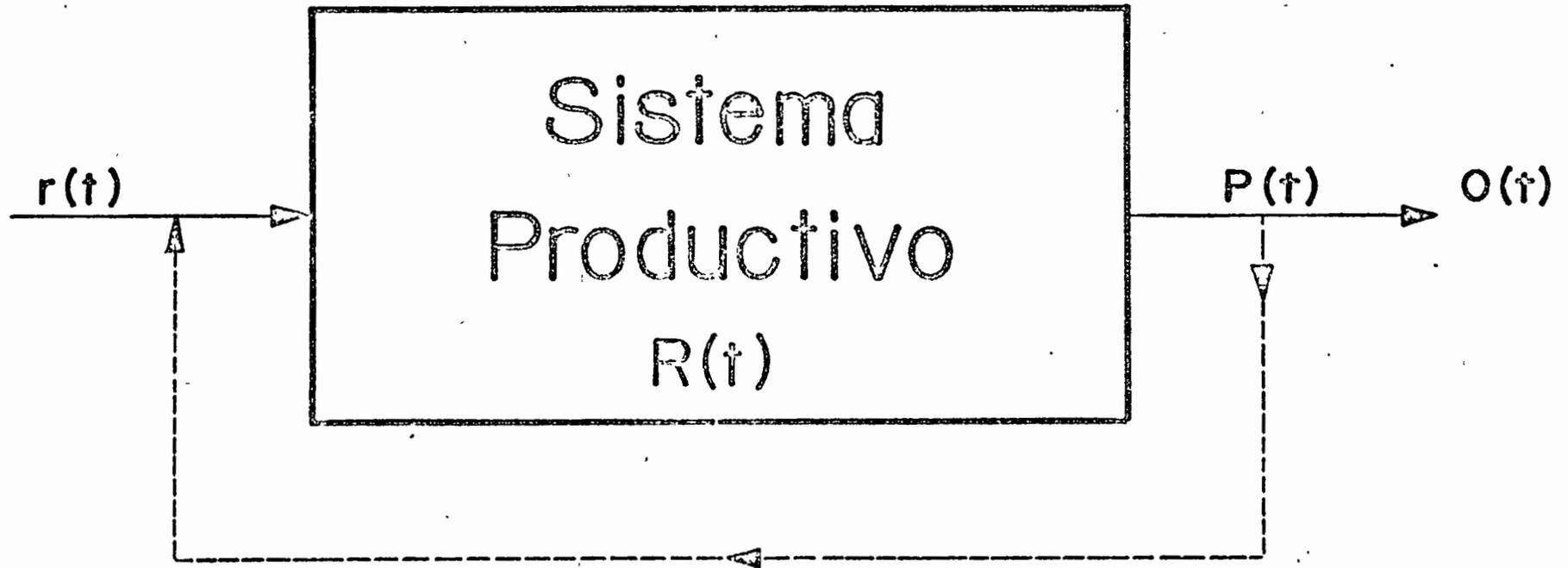
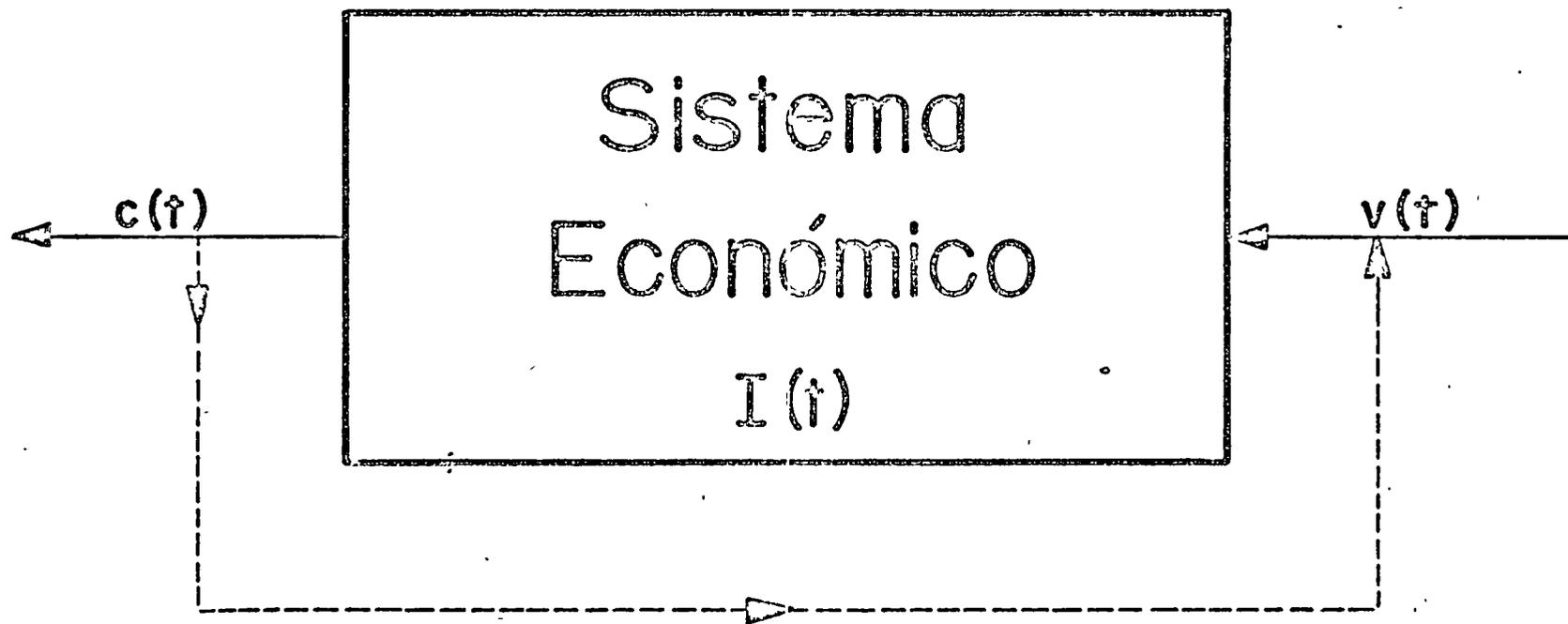
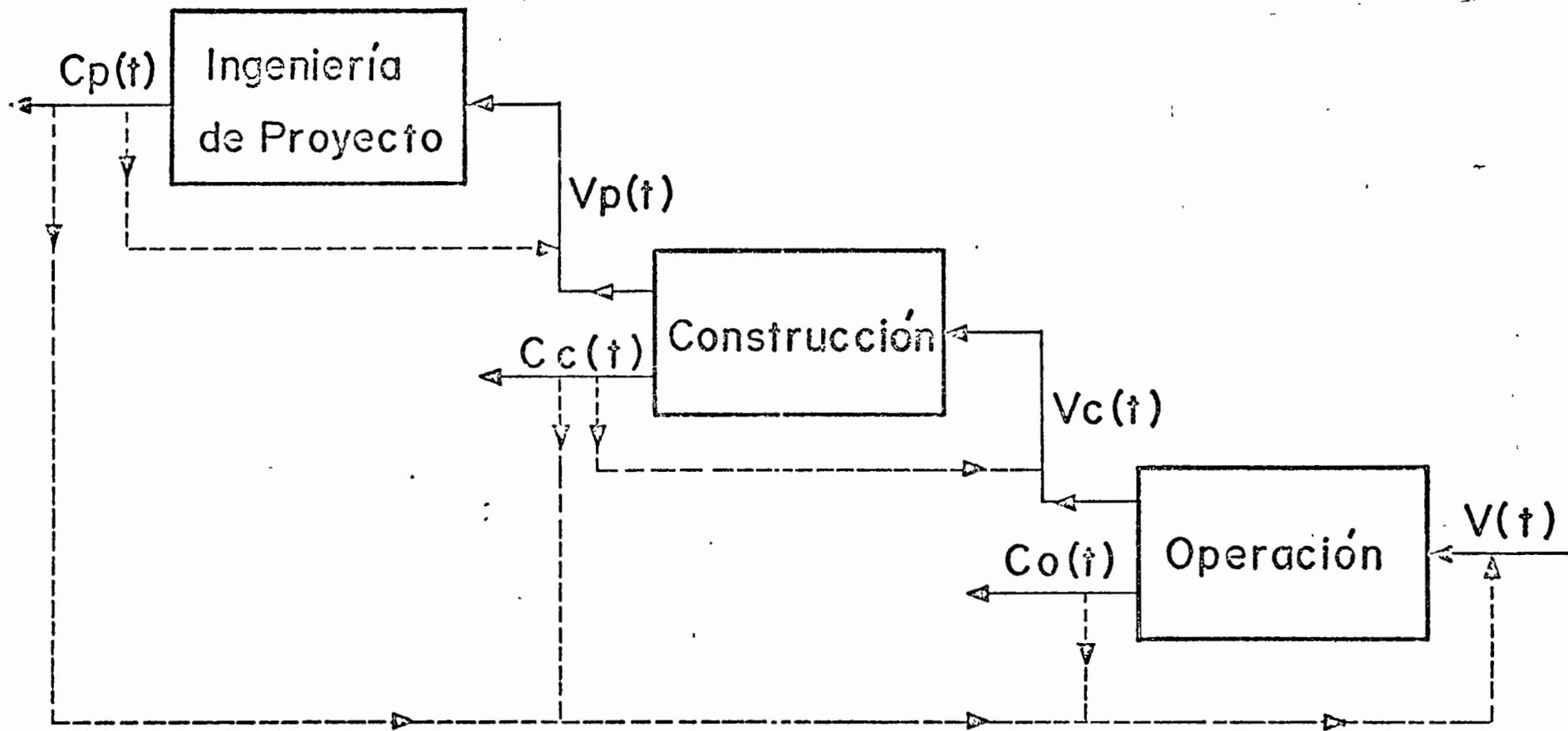


Fig. N° 1



$$\int_{t_1}^{t_2} v(t) dt > \int_{t_1}^{t_2} c(t) dt$$

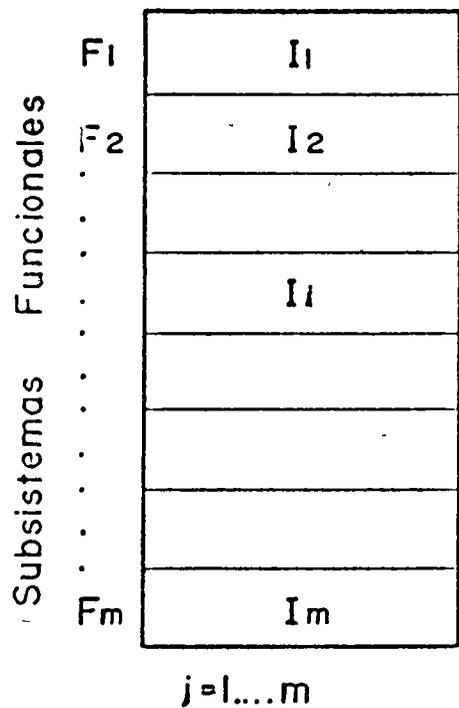
Fig. N° 2



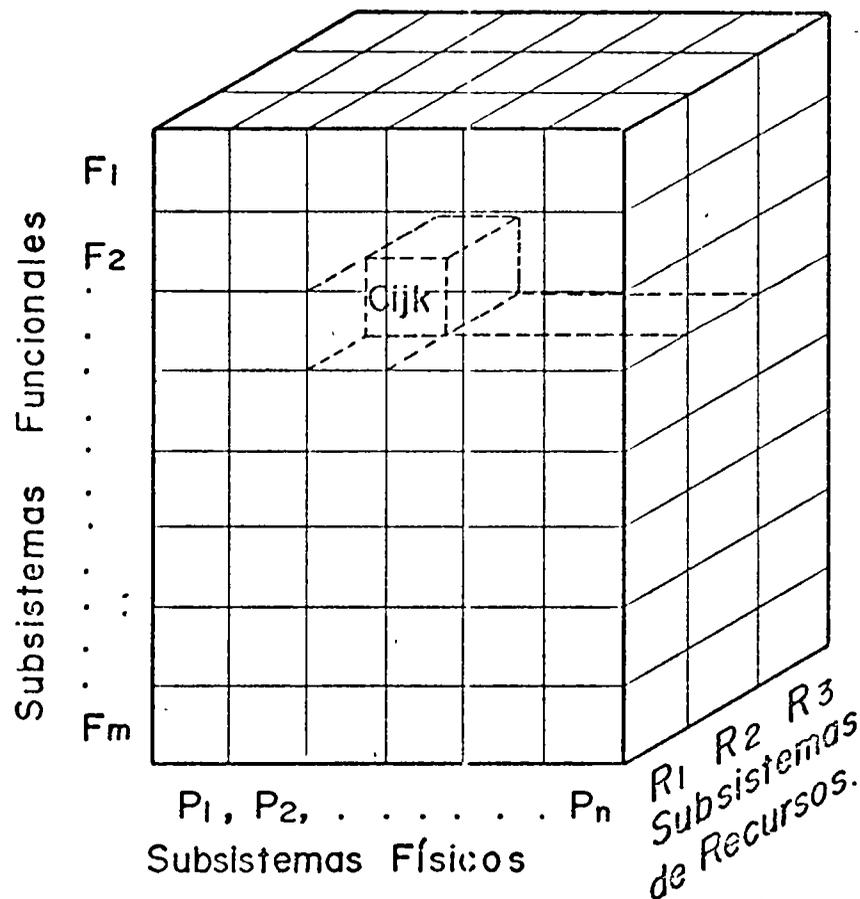
SUBSISTEMAS EVOLUTIVOS

Fig. N° 3

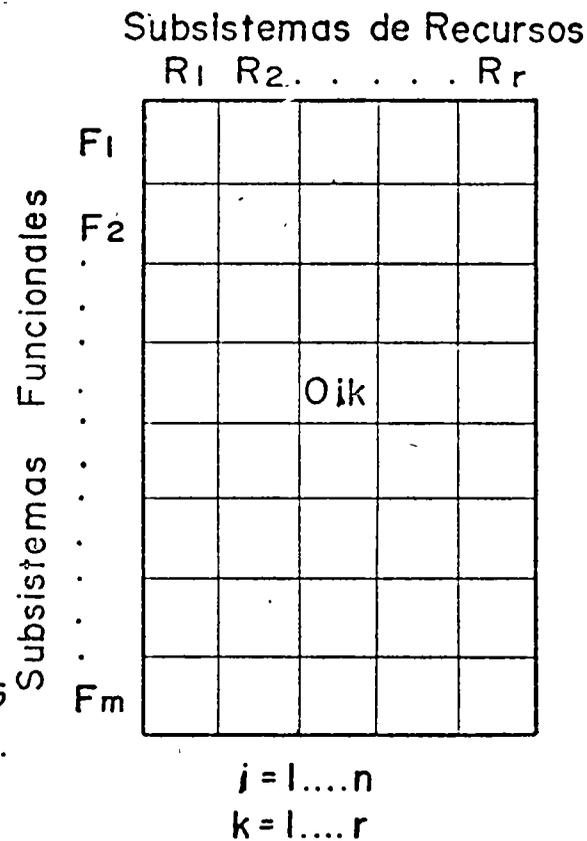
$$\text{Costo Total} = \sum_{i,j,k=1}^{m,n,r} I_i + C_{ijk} + O_{ik}$$



a) Ingeniería



b) Construcción



c) Operación

Fig. N° 4 - Modelo de Costos de un Sistema.

Area total bajo la curva = 1
 Valor medio $\mu_1 = \int f(x) x dx$
 Varianza = $\mu_2 = \sigma^2 = \int f(x) (x - \mu_1)^2 dx$
 Sesgo = $\mu_3 = \int f(x) (x - \mu_1)^3 dx$

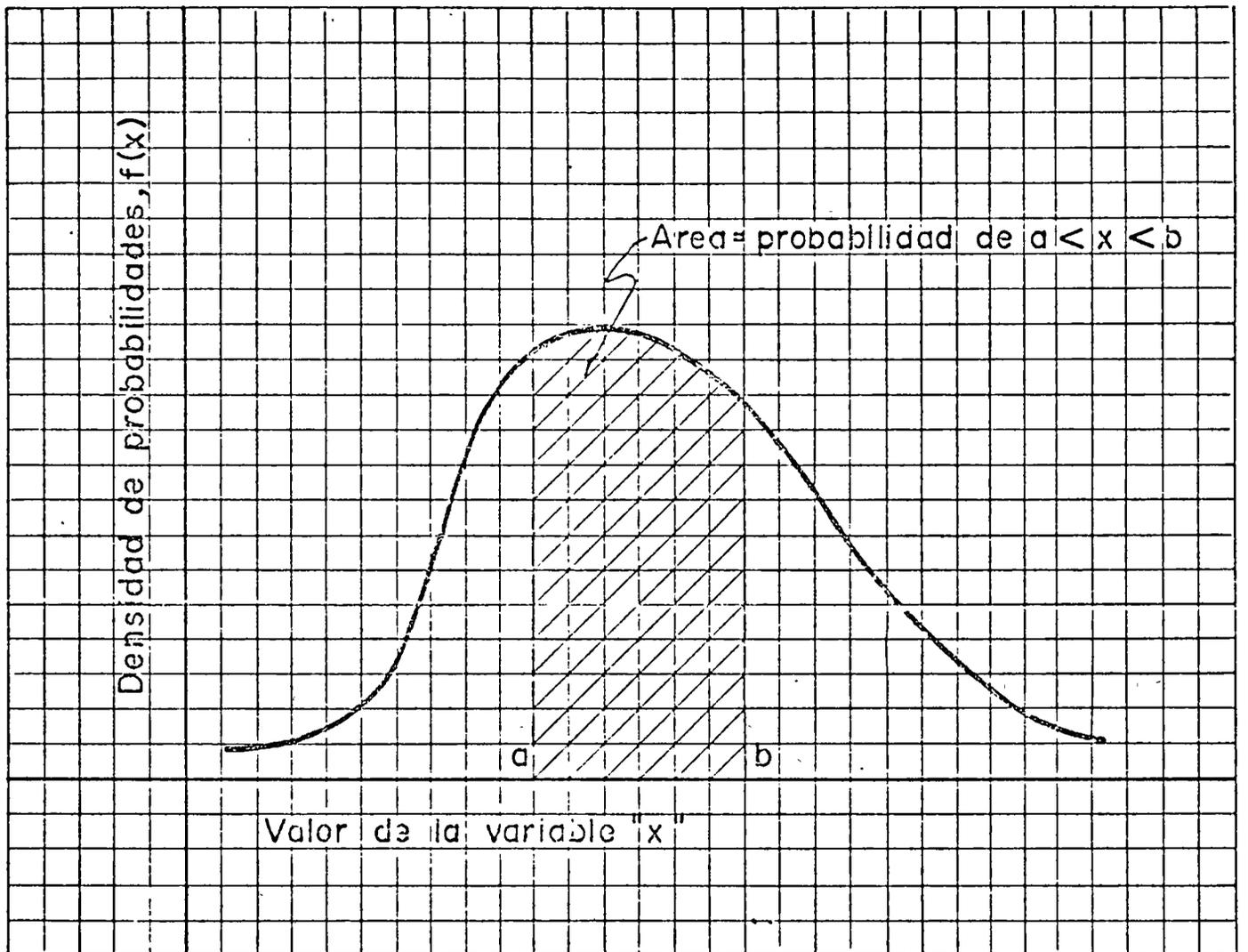
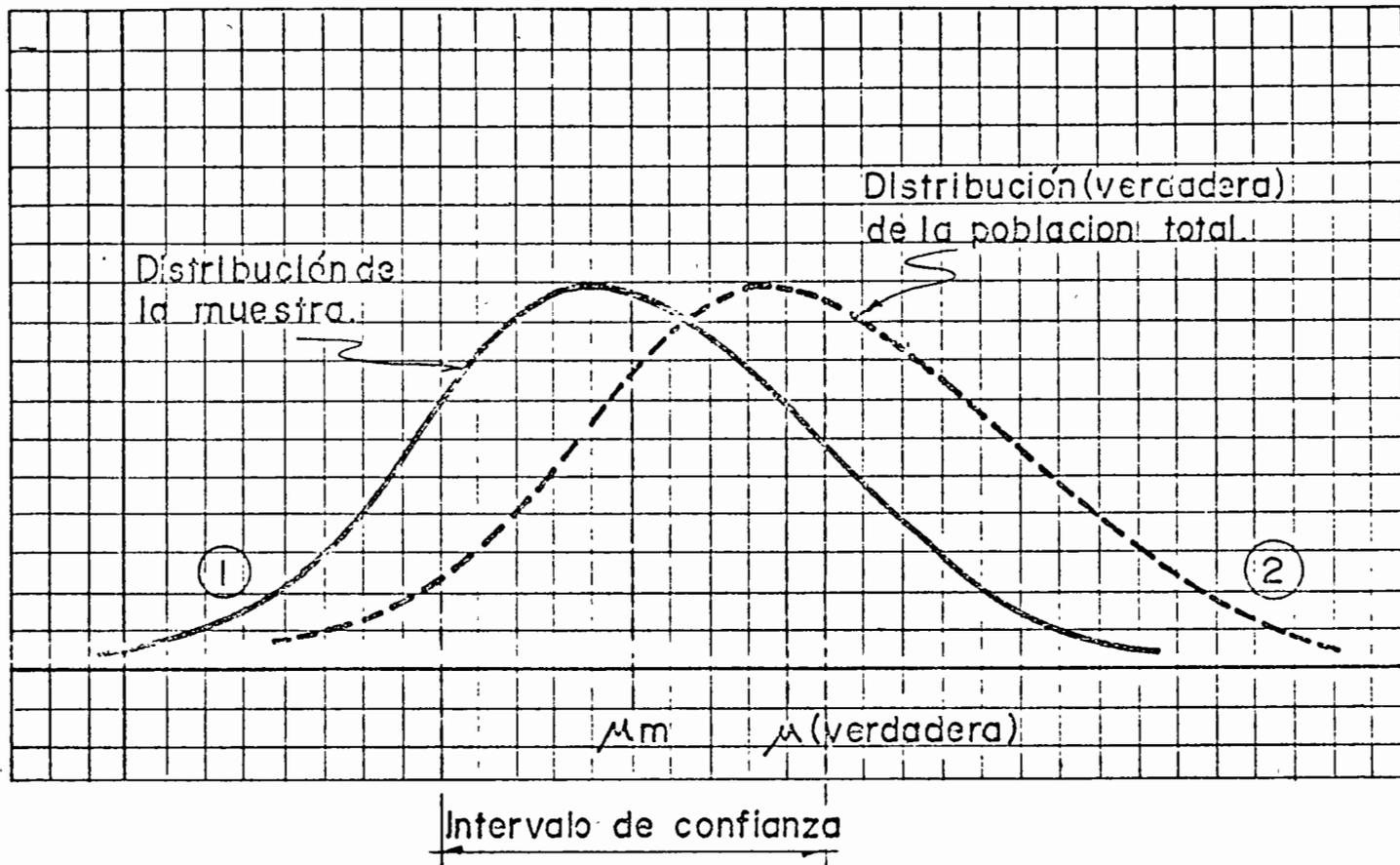


Fig. N°5 - Modelo estadístico de una variable aleatoria.



CUANDO AUMENTA EL TAMAÑO DE LA MUESTRA :

- a) La curva ① se acerca a la curva ② y el intervalo de confianza disminuye
- b) La forma de la curva no cambia apreciablemente. Por lo tanto la varianza no disminuye

Fig. N° 6 - Intervalo de confianza

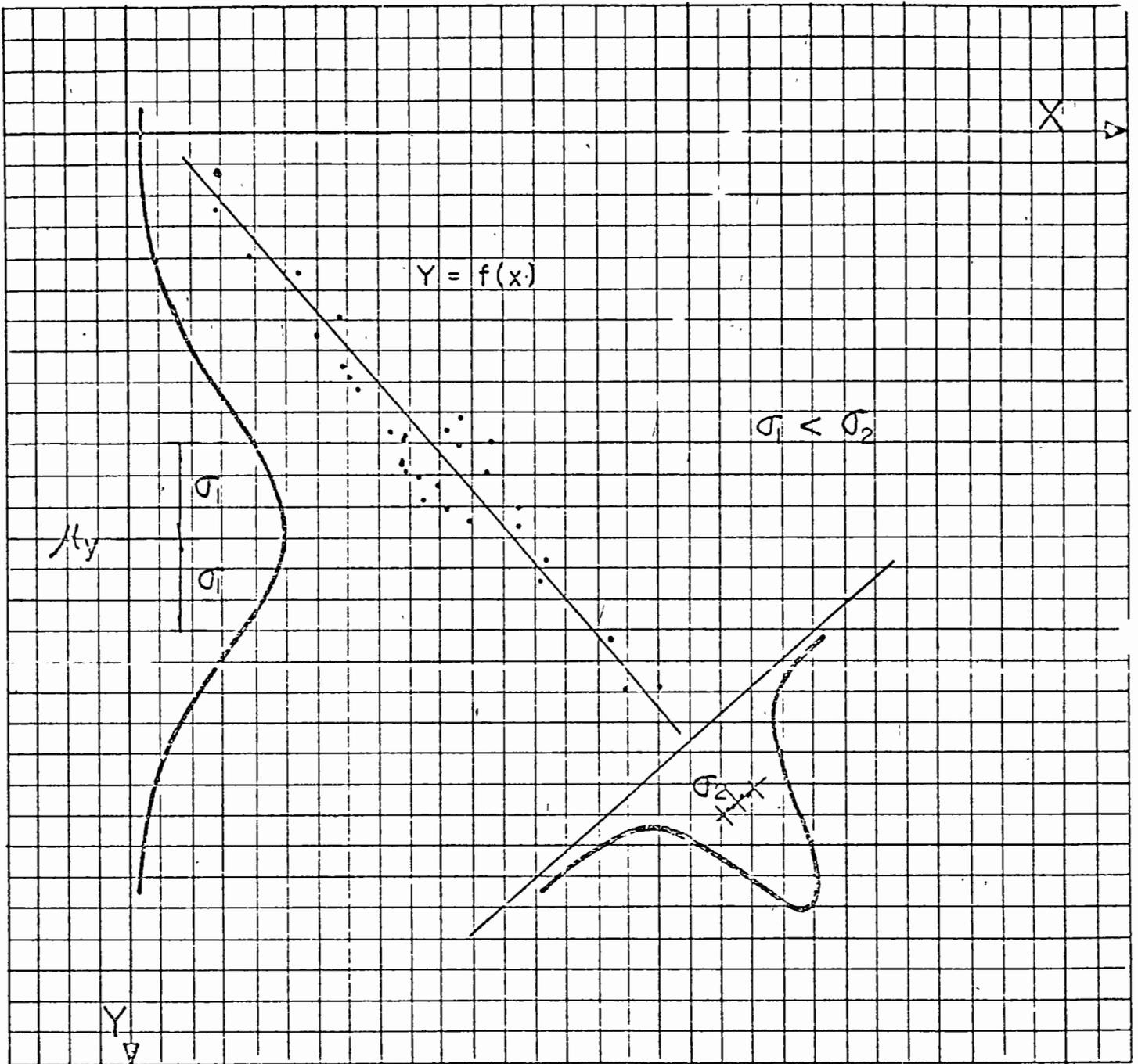


Fig. N° 7 Regresion de "Y" respecto a "X"

NECESIDAD DE UN MARCO DE REFERENCIA TEORICO PARA LA INGENIERIA DE COSTOS

La ingeniería es a la vez arte y ciencia; es eminentemente creativa, pero sus creaciones tienen una firme base científica. No siempre fue así. Las ciencias han tenido su desarrollo más significativo durante el presente siglo y el que le precedió. Así, durante varios siglos la ingeniería fue más arte que ciencia; estuvo basada más en la intuición creativa y en el empirismo que en leyes y principios científicos derivados de la experimentación sistematizada y controlada. Al aplicar el método científico para determinar las propiedades de los materiales y deducir las leyes que rigen su comportamiento bajo diferentes sollicitaciones o estímulos, fue posible establecer métodos racionales de diseño que han hecho posibles las grandes realizaciones de la ingeniería que todos admiramos.

Parte fundamental de la ingeniería es el criterio económico. No se concibe al ingeniero que proyecte o construya sin buscar el aprovechamiento más racional, y por lo tanto más económico, de los recursos disponibles. Sin embargo, es notorio que las técnicas de costos no han salido de la etapa del empirismo; los costos de construcción siguen siendo en gran parte materia de experiencia personal. Mientras para el diseño estructural se ha desarrollado una amplia ciencia de los materiales y una teoría general de las estructuras; mientras el diseño de máquinas se ha desarrollado sobre la base de la mecánica, la termodinámica y la elec-

tricidad, el diseño económico de nuestras obras de ingeniería no se ha basado en un desarrollo paralelo de la ciencia y las técnicas de los costos.

Los programas de estudio de ingeniería son notoriamente deficientes en materia de ciencias y técnicas de costos. Quizá sea porque no hay muchas ciencias y técnicas que enseñar. La mayor parte de los textos sobre costos de construcción constituyen colecciones de recetas prácticas, pero no exponen una adecuada teoría científica de los costos. El resultado es que muchos de nosotros los ingenieros vemos el estudio de los costos con desdén y recelamos de las teorías en este campo, cuando nos hablan de ellas. Y sin embargo, debemos conceder que para ser buenos ingenieros tendríamos que manejar las técnicas de costos como manejamos las de cálculo estructural o las de diseño hidráulico.

Existe, por lo tanto, la necesidad de desarrollar ampliamente lo que se ha denominado ingeniería de costos: verdadera ingeniería, que cuente con un marco teórico de referencia que le dé coherencia, orden y metodología. En palabras del profesor Jay W. Forrester: "Los rápidos jalones del progreso profesional se logran cuando la estructura y los principios que integran las experiencias individuales pueden identificarse y enseñarse explícitamente, en lugar de indirectamente o en forma difusa. El estudiante puede entonces heredar un legado intelectual del pasado y construir a partir de ese nivel con sus propias experiencias, en vez de tener que partir del punto en donde empezaron sus predecesores.

"Sin un fundamento científico, el progreso de un arte llega eventualmente a una planicie. Para que el progreso continúe, debe surgir una ciencia aplicada como cimiento de los desarrollos futuros del arte. Tal base de ciencia apli-

cada permite que las experiencias se traduzcan a un marco de referencia común, del cual puedan transferirse del pasado al presente, o de un lugar a otro, para aplicarse de manera efectiva a nuevas situaciones".

Nos proponemos esbozar aquí este marco teórico de referencia y lo haremos usando los conceptos modernos de la teoría y la ingeniería de sistemas.

SIGNIFICADO DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS

EL ENFOQUE DE SISTEMAS.

Los problemas de ingeniería han aumentado considerablemente en complejidad. A ello ha contribuido, por una parte, el desarrollo acelerado de la ciencia y la técnica, que ha hecho proliferar las especialidades aplicables a la resolución de cualquier problema; por otra parte, el fenómeno que se ha dado en llamar "explosión demográfica", ha aumentado radicalmente al ámbito de los problemas y provocado profundas transformaciones sociales que obligan al ingeniero a considerar cada vez en mayor grado el impacto económico y social de sus decisiones. Los problemas se han inter-relacionado a tal grado que es necesario ampliar el alcance de los estudios y los proyectos para tener en cuenta los efectos que una decisión en un sector determinado tiene sobre otros sectores.

Sobre esta característica de inter-relacionamiento de los problemas de la sociedad moderna, C. West Churchman escribe:

"Supongamos que empezamos por enlistar los problemas del mundo actual que en principio pueden ser resueltos por la tecnología moderna. En principio, tenemos la capacidad tecnológica de alimentar y dar casa y vestido adecuados a todos los habitantes de la tierra.

En principio, tenemos la capacidad tecnológica para proscribir la guerra e instituir sanciones sociales que impidan el estallido de la guerra ilegal.

En principio, tenemos la capacidad de crear en todas las sociedades una libertad de opinión y de acción que minimice las restricciones ilegítimas impuestas al individuo por la sociedad.

En principio, tenemos la capacidad de desarrollar nuevas tecnologías que produzcan nuevas fuentes de energía para hacer frente a las emergencias físicas y económicas que se presentan en todo el mundo. En principio, tenemos la capacidad de organizar las sociedades del mundo actual para elaborar planes bien desarrollados que resuelvan los problemas de pobreza, salubridad, educación, guerra, libertad humana y desarrollo de nuevos recursos.

Si el ser humano tiene la capacidad de hacer todas estas cosas, ¿por qué no las hace?...

Si revisamos la anterior lista de problemas, un aspecto de éstos resulta obvio: dichos problemas están interconectados y se traslapan. La solución de uno claramente tiene mucho que ver con la de otro. De hecho, están tan interconectados que no resulta claro por cuál debiéramos empezar. Supongamos, por ejemplo, que decidimos que el primer problema a resolver es el de alimentación, habitación y vestido para cada habitante de la tierra... (Nos damos cuenta de que) debe resolverse primero el problema del desarrollo de organizaciones que se aboquen a los problemas mayores del mundo... (Para ello) tenemos que crear un mundo en que las naciones se tengan confianza mútua... Por lo tanto, el

primer problema a resolver es el de crear una política internacional (de cooperación)... (Pero) no se puede esperar crear una política internacional inteligente sin crear al mismo tiempo la base educacional en todos los individuos que tendrán algo que opinar sobre la forma de dirigir nuestro mundo... Pero, obviamente, no hay forma adecuada de educar a un hombre que se muere de hambre... Y así llegamos otra vez al punto donde empezamos."

Como consecuencia de la necesidad de atacar en forma metódica los complejos problemas que plantea la sociedad contemporánea ha surgido el "enfoque de sistemas" para estos problemas, a través del cual se han desarrollado técnicas para hallar soluciones racionales de los mismos. Han nacido así en las últimas décadas el "análisis de sistemas", la "ingeniería de sistemas" y la "teoría general de sistemas". El concepto de sistema se ha extendido, prácticamente a todas las ramas de la técnica contemporánea. Se habla así de sistemas de aprovechamiento hidráulico, sistemas eléctricos, sistemas estructurales, sistemas de información, sistemas urbanos, y muchos otros; y han cobrado particular relevancia la administración por sistemas, las teorías sistémicas de la organización y las teorías de los sistemas sociales y económicos.

La ingeniería de sistemas tiene, por lo tanto, un doble significado: como filosofía, enfoque o marco teórico de referencia; y como conjunto de técnicas aplicables a la resolución de problemas complejos.

ASPECTO CONCEPTUAL DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS.

Con relación al primer significado, dicen Katz y Kahn:

"En ciertos aspectos la teoría de los sistemas abiertos no es realmente una teoría; no apunta a secuencias específicas de causa y efecto, o a hipótesis específicas y comprobación de las mismas, que son los elementos básicos de una teoría. La teoría de los sistemas abiertos es más bien un marco de referencia, una meta-teoría, un modelo en la más amplia acepción de este término demasiado usado. La teoría de sistemas abiertos es un enfoque, un lenguaje conceptual para entender y describir muchas clases y niveles de fenómenos". Se ha hecho notar repetidamente que el todo (sistema) no es una mera agregación de las partes (subsistemas), sino algo distinto, que requiere enfoques de conjunto totalmente nuevos; y que a menudo, la interacción de las partes es más importante que las partes mismas. O como expresó elegantemente el físico Eddington: "A menudo pensamos que cuando hemos terminado el estudio de uno, lo sabemos todo acerca de dos, puesto que dos es uno y uno. Olvidamos que aún tenemos que hacer el estudio de y, es decir de la organización". El convencimiento acerca de la necesidad de ver de este modo las organizaciones ha hecho que muchas empresas, se orienten hacia la ingeniería de sistemas, o enfoque de sistemas, como filosofía de pensamiento y de acción. He aquí como plantea Churchman el significado primordial de este enfoque:

"¿Hay algo esencial acerca del concepto de sistema como forma de pensar?. Seguramente que sí. Los sistemas están hechos de conjuntos de componentes que operan coordinadamente para lograr el objetivo global del

El enfoque de sistemas es sencillamente un modo de considerar estos sistemas totales y sus componentes;... una característica esencial de este modo de pensar consiste en que dicho pensamiento debe entrar desde un principio para dictar la manera en que describimos lo que planeamos hacer.

No debemos considerar ciegamente al mundo, dejando que nuestras observaciones y lo que otras gentes nos dicen sean la base de nuestra descripción. No debemos decir que el mundo está hecho de problemas como la pobreza, la salubridad, la educación y así sucesivamente, sólo porque estos son los problemas de los que todo el mundo habla. Debemos preguntarnos desde un principio cómo pensar acerca de un sistema complejo; y nuestro modo de pensar determinará la forma en que describamos el sistema. Algunas descripciones de sistemas no son de ninguna manera obvias. Hay modos de describir sistemas que no se le ocurrirían a la mayor parte de la gente, quienes tienden a ver el mundo de una sola manera, o sea, la manera que les es más familiar. El enfoque de sistemas tendrá que perturbar procesos mentales típicos y sugerir algunas actitudes radicales de pensamiento. Para algunos puede ser bastante radical pensar primero en el objetivo global y después empezar a describir el sistema en función del objetivo global.

Por ejemplo, si nos piden describir un automóvil, podemos interrumpir nuestro proceso de pensamiento y empezar a hablar inmediatamente de las cosas que recordamos de un automóvil: las ruedas, el motor y la forma... (Sin embargo) la forma de describir un automóvil es pensar primero acerca de su función, y no en la lista de partes o características

que forman su estructura... Empezaremos por pensar que un automóvil es un medio mecánico de transportar unas pocas personas de un lugar a otro, a un costo dado. Tan pronto como se empieza a pensar de esta manera, la "descripción" del automóvil empieza a cobrar nuevos aspectos, a menudo radicales. Esto sería el enfoque de sistemas del transporte automotriz.

"O veamos de nuevo las preguntas planteadas (anteriormente) sobre los problemas del mundo actual. Desde el punto de vista de sistemas, tenemos que reconocer que pudimos empezar incorrectamente, por que empezamos por describir al mundo en términos de su estructura y no de su propósito; empezamos por hablar acerca de los habitantes del mundo y de los varios defectos de su ambiente. El "mundo" que estábamos describiendo puede no ser lo que será el "mundo" en términos de sistemas. En la medida en que aprendamos algunas lecciones sobre pensamiento por sistemas, quizá seremos capaces de llegar a modos bastante radicales de pensar acerca del significado del mundo".

INSTRUMENTAL DE LA INGENIERIA DE SISTEMAS.

Pasemos ahora a considerar la Ingeniería de Sistemas con conjunto de técnicas aplicables a la resolución de problemas complejos. Para resolver estos problemas no basta pensar correctamente en términos de sistemas, según se expresó antes, sino contar además con herramientas de análisis que permitan predecir, evaluar u optimizar el comportamiento de los sistemas. Los siguientes conceptos del profesor Jay W. Forrester ilustran sobre los desarrollos en este aspecto de la

Ingeniería de Sistemas.

Cuatro cimientos, que sirven de apoyo para un mejor entendimiento de la dinámica de las organizaciones sociales, se han contruido en los Estados Unidos a partir de 1940, principalmente como un subproducto de la investigación de los sistemas militares:

1. - La teoría de los sistemas con retroalimentación de información:

El concepto de servomecanismos se desarrolló durante la Segunda Guerra Mundial y en los años posteriores. Un sistema con retroalimentación de información existe cuando el ambiente conduce a una decisión, que se traduce en acción, la cual afecta al ambiente, influyendo así sobre futuras decisiones. Estos sistemas, ya sean mecánicos, biológicos o sociales, deben su comportamiento a tres características: estructura, demoras y amplificación. La estructura del sistema nos indica cómo se relacionan las partes entre sí. Las demoras siempre existen en la disponibilidad de información, en la toma de decisiones basadas en la información y en la acción resultante de las decisiones. La amplificación existe en todo el ámbito de dichos sistemas, especialmente en las políticas de decisión de nuestros sistemas industriales y sociales; se manifiesta cuando una acción es más intensa de lo que pudiera inferirse a primera vista de los insumos de información que gobiernan las decisiones.

Nuestro conocimiento de los sistemas con retroalimentación de información ha crecido exponencialmente, aumentando 10 veces aproximadamente en cada década. De los modelos analíticos se pasó a los modelos matemáticos lineales y no-lineales; la aparición de l

computadora digital abrió el camino a la simulación de sistemas en gran escala. Actualmente pueden procesarse modelos de 2000 variables, que nos colocan dentro de un vasto campo de importantes problemas económicos y administrativos.

2. - Los procesos de toma de decisiones: Un mejor entendimiento de estos procesos se logró a partir de la década de los 50. Al acelerarse el ritmo de la guerra, ha habido necesariamente un cambio de énfasis de la decisión táctica (dirección de la batalla momento a momento) a la planeación estratégica (preparación para posibles eventualidades, estableciendo políticas y determinando de antemano cómo se tomarán las decisiones tácticas). Se ha demostrado ampliamente que las reglas formales, cuidadosamente seleccionadas, pueden conducir a decisiones tácticas a corto plazo que son mejores que las hechas con el criterio humano bajo la presión del tiempo, o con hombres que no tienen suficiente experiencia y práctica, o dentro de la rigidez de las grandes organizaciones. El análisis de decisiones se ha aplicado con éxito en el campo de los sistemas administrativos.
3. - El enfoque experimental al análisis de sistemas: El análisis matemático no es una herramienta suficientemente poderosa para hallar soluciones analíticas a los complejos problemas que se encuentran en los negocios. La alternativa es el enfoque experimental. Se da el nombre de "simulación" al proceso de llevar a cabo experimentos en un modelo matemático, en vez de intentar hacerlos en el sistema real. Durante los años 50 la simulación se aplicó amplia-

aplicado a sectores de los negocios. Pueden ensayarse diferentes políticas gerenciales y suposiciones respecto al mercado para determinar sus efectos sobre el éxito de la empresa.

4. - La computadora digital: Sin ésta, la enorme cantidad de trabajo necesario para obtener soluciones específicas de las características de los sistemas complejos, sería excesivamente cara. En los últimos 15 años el costo de la computación aritmética ha disminuido 10,000 veces o más, cuando las computadoras se usan eficientemente. Paralelamente, la eficiencia técnica de las computadoras se ha incrementado casi 10 veces en cada año durante la década de los 50; casi en cada año se ha decuplicado la velocidad, capacidad de memoria o confiabilidad. Las computadoras digitales son ahora tan ampliamente disponibles y a tan bajo costo, que las dificultades que antes había para procesar los modelos de simulación ya no limitan nuestro progreso para entender la dinámica de los sistemas.

Dentro de los campos señalados por Forrester se han desarrollado muchas técnicas específicas que constituyen herramientas poderosas de la Ingeniería de Sistemas. La programación matemática y en particular, la programación lineal y la programación dinámica se han aplicado a problemas complejos de asignación de recursos y optimización de operaciones. La teoría de redes y de gráficas se ha aplicado con éxito a problemas de programación de proyectos y optimización de flujos de recursos. En lo referente a toma de decisiones se han desarro-

llado la teoría del valor y de la utilidad, la teoría de juegos y el análisis de decisiones. El comportamiento económico de los sistemas se ha estudiado mediante el análisis marginal, el análisis de actividades y el análisis de efectividad-costo. En la base de muchas de estas técnicas está la consideración de fenómenos de carácter aleatorio típicos de la mayor parte de los sistemas reales, a los que se aplican las modernas teorías de la probabilidad y la estadística matemática.

INGENIERIA DE SISTEMAS APLICADA A LA CONSTRUCCION.

Quienes tienen la responsabilidad de dirigir las operaciones de construcción o administrar una empresa constructora quizá se pregunten si los conceptos de sistemas expuestos más arriba tienen alguna aplicación práctica a los problemas que confrontan, o si es mera "teoría" de escasa utilidad práctica. Ante todo, debemos poner en claro desde un principio que la "teoría" no es teoría si no tiene aplicación práctica. La teoría es, en efecto, el conjunto de principios de aplicación general derivados de la práctica; es sólo a través de la teoría que lo que se aprende en la práctica puede condensarse, sistematizarse y legarse a las generaciones futuras; sólo a través de la teoría puede el ingeniero atacar racionalmente los problemas y optimizar sus operaciones.

Lo anterior no significa que todas las teorías sean válidas y puedan aplicarse indiscriminadamente a cualquier problema en particular.

Generalmente cuando decimos que algo es "demasiado teórico" o que tal o cual teoría es "mala" queremos decir que no la consideramos aplicable al caso que nos ocupa. Por eso debemos conocer explícitamente y con toda precisión cuáles son las hipótesis en que se basa cada teoría y sus límites de aplicabilidad; y cuando, después de un análisis cuidadoso, decidamos que una teoría no es aplicable, debemos esforzarnos por buscar otra que sí lo sea. En tanto que rechazamos toda teoría y hagamos uso del empirismo, disminuirémos la probabilidad de hallar soluciones racionales y eficientes a los problemas que confrontamos. En cambio, el reconocimiento explícito de las limitaciones de una teoría conduce siempre a otras teorías de mayor aplicabilidad que van reforzando nuestro arsenal de herramientas de análisis.

Desde el punto de vista que se acaba de exponer, un somero análisis nos indica la importancia del enfoque de sistemas en el campo de la construcción, tanto en el aspecto conceptual como en la aplicación de técnicas específicas de la ingeniería de sistemas.

Uno de los sistemas más elementales que podemos considerar, a modo de ejemplo, está constituido por una máquina y su (s) operador(es). El enfoque de sistemas nos plantea conceptos de análisis como los siguientes: a) Objetivos del sistema (análisis del trabajo por ejecutar; máquinas alternativas; sistemas de trabajo alternativos; política laboral; políticas administrativas); b) compatibilidad entre el subsistema operador y el subsistema máquina (adiestramiento de operadores; turnos de

operación; facilidad de operación y control de la máquina; mantenimiento, etc.); c) compatibilidad de la máquina con su ambiente (análisis del trabajo por ejecutar y adaptación de la máquina al mismo; protección de la máquina y del operador de condiciones ambientales adversas; contaminación del ambiente, etc.); d) análisis de productividad de la máquina (ciclos de operación, tiempos perdidos; ciclos de mantenimiento más económicos; estudios de retiro o reemplazo); e) insumos del sistema (abastecimiento de combustible y materiales de operación; abastecimiento de refacciones y materiales de mantenimiento: sustitución de operadores; transporte de la máquina); f) control del sistema (control de insumos, control de la producción; control de operadores: sistemas de reportes).

Aún al nivel de este sistema elemental se puede apreciar la utilidad conceptual del enfoque de sistemas para analizar el problema en forma racional, completa y coordinada. En varios de los conceptos de análisis señalados pueden aplicarse técnicas de la ingeniería de sistemas. Por ejemplo, las políticas de mantenimiento, las de reemplazo o retiro de equipos y las de inventario de maquinaria están íntimamente ligadas y pueden estudiarse conjuntamente mediante modelos matemáticos convenientes. Los ciclos de operación pueden optimizarse mediante un estudio de las condiciones aleatorias de operación. La teoría de inventarios puede aplicarse ventajosamente a la determinación de los niveles de existencias de refacciones y materiales de operación que hagan mínimos los costos; y así sucesivamente.

Al tratar de fijar los objetivos del sistema elemental hombre-má-

quina, nos damos cuenta de que casi siempre es necesario ampliar el ámbito del sistema. Encontramos que es preciso incluir dentro del sistema considerado otras máquinas y otros recursos que deben contribuir, dentro de un plan general, para la ejecución de una obra determinada. Podemos llegar así a la consideración del sistema "fase de obra" u "obra completa".

En este segundo nivel de sistema surgen conceptos de análisis tales como objetivos globales de costo y de utilidad, planeación y programación de la obra, análisis y nivelación de recursos, programación financiera, compatibilidad y coordinación de los diferentes procesos constructivos, políticas laborales y administrativas y control de programas y de costos. Es en este sistema más amplio en donde hallamos una aplicación muy importante la mayor parte de las técnicas de ingeniería de sistemas.

Podemos avanzar un nivel más y considerar el conjunto de obras que realiza una empresa constructora, es decir, considerar a dicha empresa como sistema. Surgen aquí los conceptos de organización y administración por sistemas, las políticas competitivas de la empresa analizadas mediante modelos probabilísticos, los sistemas de información y control a nivel de empresa, las políticas de expansión o contracción, las políticas de diversificación de actividades y muchas otras. Cabe señalar la importancia de que, con relación al sistema "empresa", los subsistemas correspondientes a "obras" guarden con el primero las relaciones debidas de compatibilidad y subordinación. Es decir,

Los objetivos de las obras deben subordinarse a los de la empresa, y los sistemas administrativos deben ser congruentes.

Finalmente, conviene visualizar el sistema "empresa constructora" como subsistema del "sistema de la industria de la construcción". Al considerar este sistema aún más amplio son pertinentes los aspectos de fijación de objetivos válidos dentro del marco político, económico y social del país; de coordinación de intereses y acciones de clientes, usuarios empresas de ingeniería y consultoría, contratistas generales, sub-contratistas, fabricantes y proveedores, y financieros y aseguradores, integrantes todos del sistema; son importantes también los sistemas de información y control entre todos los sectores de la industria de la construcción antes mencionados.

Podemos concluir que la ingeniería de sistemas tiene muchas posibilidades de ser aplicada con grandes beneficios en el contexto de la industria de la construcción, tanto en su aspecto conceptual como en el de técnicas específicas. Una de las aplicaciones más interesantes que trataremos en este curso, es la referente a la ingeniería de costos, considerada como parte de la ingeniería de sistemas.

Ingeniería Económica

Por el Ing. Melesio Gutiérrez P.

PRIMERA PARTE: CONCEPTOS BASICOS.

1.—INTRODUCCION.

La Ingeniería Económica es el conjunto de principios y técnicas empleados para evaluar los beneficios de un proyecto de ingeniería en relación con su costo. Consiste en determinar la solución alternativa que produzca mayores beneficios, para un problema específico.

El término "beneficio" se aplica en su más amplio sentido e incluye tanto los beneficios económicos o reducibles a términos monetarios como aquellos no cuantificables en dinero. En caso de que existan factores irreducibles a términos monetarios se introduce un sistema de ponderación de alternativas, es decir, una escala de valores para realizar comparaciones.

Las técnicas de análisis de Ingeniería Económica se aplican tanto a la solución de problemas planteados en proyectos ya instalados, por ejemplo en estudios de retiro y reemplazo de equipo, como en la evaluación de nuevos y complejos proyectos.

Ahora bien: puesto que estamos tratando con proyectos de ingeniería, es conveniente definirlos para evitar confusiones: Proyecto es el ordenamiento de ideas y conjunto de planes, procedimientos y programas de construcción que permiten realizar una instalación.

Sin embargo, para fines económicos llamaremos proyecto al conjunto de antecedentes que permite la justificación del uso de los factores de producción para la obtención de bienes o servicios, en cierta unidad productora. Es la unidad más pequeña que se considera desde el punto de vista de la planeación.

Recopilación de diversos conceptos sobre el tema con fines de difusión.

Los distintos criterios de evaluación de alternativas y su mayor o menor complejidad derivan, a su vez, de la forma de definir los beneficios y de la selección que se haga entre las distintas normas y tipos de cálculo. Elegido éste, los resultados generalmente se expresan en forma de coeficientes numéricos o índices y suele ordenarseles de tal modo que mientras más alto sea su valor numérico, es mejor su posición en la escala de prioridad.

Se prefiere, pues, aquel proyecto que rinda el máximo de beneficios, pero es preciso definir lo que se entiende por beneficios desde el punto de vista social y desde el punto de vista privado. La evaluación consiste en seleccionar el proyecto que rinda mayores beneficios de entre varios analizados. Esta evaluación no tiene sentido cuando, como es práctica corriente en algunas dependencias oficiales, no se prepara más proyecto que aquel para el que se sabe de antemano que se van a obtener fondos. Es recomendable por lo tanto, preparar y analizar varias alternativas a fin de que la evaluación tenga un significado práctico.

La determinación de prioridades plantea tres tipos de problemas:

- 1.—Justificación del uso de ciertos recursos, lo cual constituye propiamente la evaluación económica. Podría plantearse mediante la siguiente pregunta: ¿Por qué producir tales bienes o servicios y no otros?
- 2.—Justificación de la técnica propuesta en el proyecto. El problema se plantea en la siguiente forma: ¿Por qué producir dichos bienes o servicios de determinada manera?
- 3.—Fecha para la iniciación del proyecto, es decir, asignación de prioridad en el tiempo. Se plantea con la siguiente interrogante: ¿Por qué hacerlo ahora y no más adelante?

Es evidente que esto es aplicable a proyectos totalmente nuevos, pues si forman parte de un complejo ya iniciado o son terminación de obras iniciadas. éstos tienen prioridad sobre cualesquiera otros, ya que permiten aprovechar al máximo las inversiones. Si desde el comienzo del proyecto total se hubieran previsto todas las inversiones, este problema no se plantearía; pero en nuestro medio es común seguir proyectos a partir de ciertas condiciones previamente impuestas.

2.—VARIABLES IMPORTANTES EN INGENIERIA ECONOMICA Y DEFINICIONES.

Puesto que en general hablaremos de realizaciones futuras, será necesario establecer las relaciones de los diversos conceptos económicos entre sí a través del tiempo.

Interés (i): intuitivamente es el incentivo que para una persona representa el dejar de tener una satisfacción presente por tener una mayor satisfacción futura, lo que se traduce en el interés por invertir. Económicamente es el dinero que se paga por el uso de una cantidad de dinero prestada o la recuperación del producto de la inversión de un capital.

Puede ser simple, cuando es constante en el tiempo, y compuesto cuando la cantidad obtenida al final de un periodo se suma al capital inicial para

constituir un nuevo capital que a su vez obtendrá una renta en el periodo siguiente.

Número de periodos (n): duración de la inversión.
Principal (P): capital inicial o valor presente de una serie de ingresos y egresos. (Cuando $n = 0$).

Capital futuro (S): ingreso o egreso total al final de n periodos.

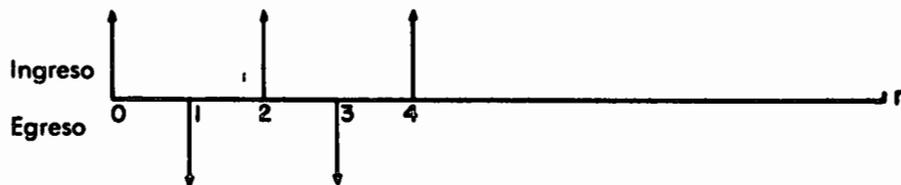
Anualidad (R): ingresos o egresos iguales, al o término de cada uno.
(mensualidad) de los n periodos.

Tasa de interés es la relación entre la cantidad que deberá de pagarse al final de un periodo por el uso de un capital y la propia cantidad de dinero proporcionada al iniciarse ese periodo.

Tasa de rentabilidad es el porcentaje que representa la utilidad con respecto a la inversión por periodo de tiempo.

Tasa mínima de rentabilidad es el porcentaje mínimo de utilidad que se puede aceptar sobre una inversión (es diferente para personas y empresas diferentes).

Diagrama de flujo monetario es la representación gráfica sobre un eje horizontal, de los ingresos y egresos distribuidos en el tiempo, con la siguiente convención de signos:



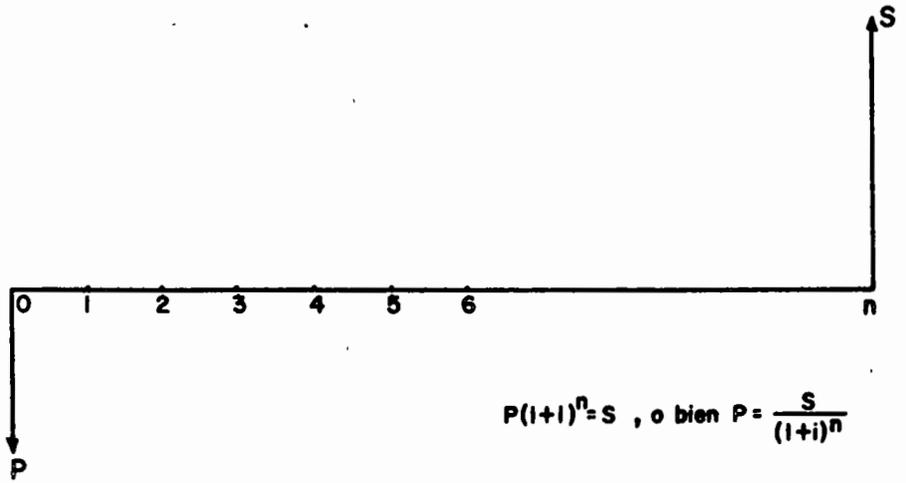
Se supone que los ingresos o egresos ocurren al finalizar un periodo.

Equivalencia: Se dice que dos o más series de flujo monetario son equivalentes cuando su valor presente (P), valor futuro (S) o anualidades (R) son iguales aun cuando los ingresos y egresos totales sean diferentes. La equivalencia es función del tiempo y de la tasa de interés.

3.—FORMULAS O RELACIONES ENTRE LAS DIFERENTES VARIABLES.

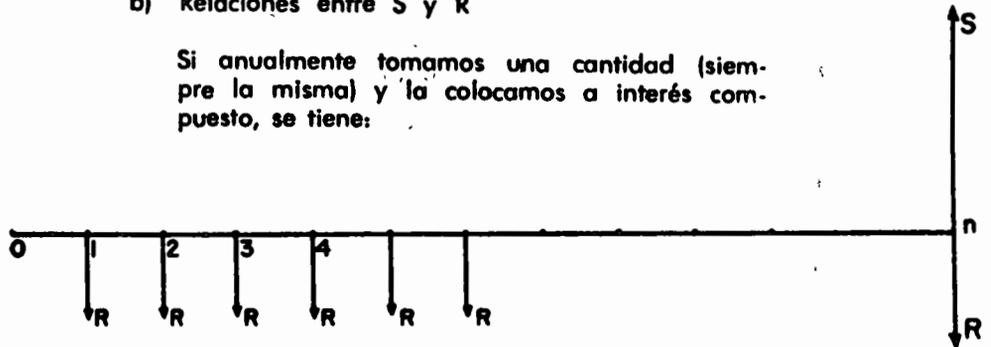
Puesto que son la base de la Ingeniería Económica, estableceremos las relaciones entre las variables del inciso anterior, en las que usamos el interés compuesto, ya que el simple no se usó en análisis económicos.

a) Relaciones entre S y P



b) Relaciones entre S y R

Si anualmente tomamos una cantidad (siempre la misma) y la colocamos a interés compuesto, se tiene:



$$R(1+i) + R(1+i) + \dots + R(1+i) + R = S$$

o bien:

$$R(1+i)^{n-1}$$

$$R(1+i)^{n-2}$$

$$\dots (1+i) + 1 = S$$

la suma de la progresión geométrica dentro del paréntesis cuadrado es

$$\frac{(1+i)^n - 1}{(1+i) - 1}$$

$$\frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

por tanto $R \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i) - 1} = S$

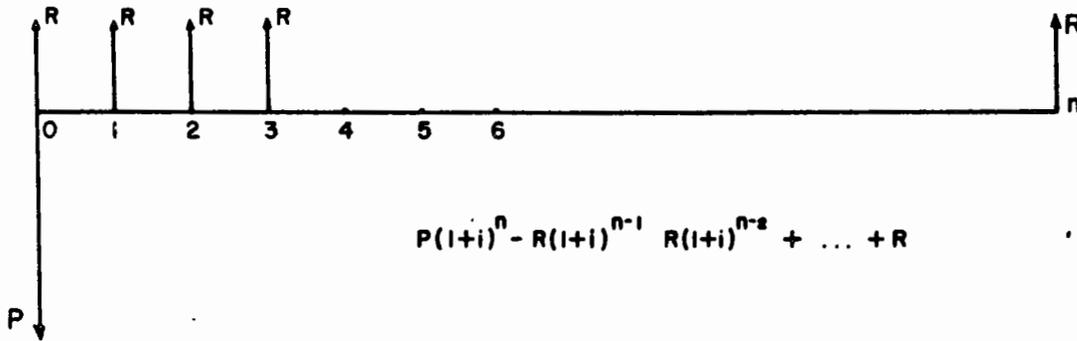
o bien $S = R \frac{(1+i)^n - 1}{i}$

Factor de interés compuesto para series uniformes.

y $R = S \frac{i}{(1+i)^n - 1}$
Factor de fondo acumulativo de amortización.

c) Relaciones entre R y R

Pueden obtenerse del desarrollo del inciso anterior, pero tomando en cuenta el capital inicial, actualizando al año n:



$$P(1+i)^n - R(1+i)^{n-1} - R(1+i)^{n-2} + \dots + R$$

$$P(1+i)^n - R(1+i)^{n-1}$$

$$R(1+i)^{n-2} + \dots + R$$

$$P(1+i)^n = R \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

o bien $P = R \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$
Factor de valor presente.

y $R = P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$
Factor de recuperación del capital.

Los factores que afectan a las variables principales en las fórmulas anteriores se encuentran tabulados en los anexos de algunos libros de Ingeniería Económica para distintos valores de i y de n . También pueden conseguirse "tablas financieras" sueltas.

4.—METODOS PARA LA EVALUACION DE ALTERNATIVAS.

Los más comunes son los siguientes:

- a) Valor presente.
- b) Anualidades.
- c) Tasa de rentabilidad.
- d) Beneficio/Costo.

a) **Valor presente.**—Este método consiste en llevar todos los ingresos y egresos a su valor actual y comparar las alternativas para seleccionar la que tenga el mayor valor presente. Para el cálculo se consideran los ingresos positivos y los egresos negativos y debe emplearse la tasa de interés a la que se obtuvo el capital cuando es financiamiento

externo, o a tasa mínima de rentabilidad cuando se trate de capital propio.

b) **Método de Anualidades.**—Los ingresos y egresos que se efectúan durante la vida útil del proyecto en cuestión, se distribuyen en una serie de ingresos y egresos anuales iguales. Se selecciona la que reporte anualidades mayores y se usa la misma convención del método anterior.

c) **Tasa de Rentabilidad.**—(Tasa anual de retorno del capital). Este método consiste en determinar la tasa anual de rentabilidad de cada alternativa, la cual se encuentra para el valor del interés cuando el valor presente de los ingresos y egresos es igual a cero. Se selecciona la que reporte mayor tasa.

d) **Beneficio/Costo.**—El método consiste en actualizar por separado los beneficios y los costos, para establecer a continuación la relación que forman. Se selecciona la alternativa que reporte mayor relación beneficio/costo.

Estos son los métodos más sencillos y se presentan en plan didáctico; sin embargo, pueden plantearse problemas en forma más general cuando las utilidades y los costos anuales son iguales a lo largo de la vida útil del proyecto en cuestión.

Así, generalizando, la tasa anual de retorno se define como la tasa de interés que hace iguales al año de estudio (año cero), los valores actualizados de los beneficios y los costos totales del proyecto correspondientes a toda su vida útil.

Esta tasa es raíz de la ecuación

$$\sum_{n=0}^{n=m} \frac{B}{(1+r)^n} = \sum_{n=0}^{n=m} \frac{C}{(1+r)^n}$$

o bien:
$$\sum_{n=0}^m (B - C) (1+r)^{-n} = 0$$

Cuando los ingresos y egresos no son iguales anualmente esta ecuación se resuelve por aproximaciones, con el método de Newton.

$$X_k + 1 = X_k - \frac{f(X)}{f'(X)}$$

Cuando los ingresos y egresos son iguales anualmente, es fácil resolver el problema, pues se convierte en la tasa de rentabilidad ya estudiada.

Si se prefiere el sistema de índices debe tomarse en cuenta que existen dos criterios: el parcial y el integral. El criterio integral trata de medir la bondad de un proyecto mediante un coeficiente, mientras

que los parciales establecen una combinación de varios coeficientes. Los índices para evaluar proyectos de ingeniería pueden agruparse en los de uso empresarial, que normalmente se basan en la obtención de utilidades máximas y los de evaluación social, que toma en cuenta los costos sociales y las repercusiones del proyecto en la sociedad. Algunos de estos índices se mencionan a continuación:

$$\text{Índice de rentabilidad} = \frac{\text{utilidad}}{\text{capital}}$$

$$\text{Producto costo} = \frac{\text{Valor del producto}}{\text{Valor de la producción}}$$

$$\text{Ocupación por unidad} = \frac{\text{Mano de obra y equipo}}{\text{Capital}}$$

Primer efecto sobre la balanza de pagos

$$= \frac{\text{Aporte neto a la balanza de pagos}}{\text{Unidad de inversión total.}}$$

Algunos índices de productividad de capital.

Valor agregado
Capital
Divisas ahorradas
Capital
Personal ocupado
Capital

En cualquier caso deben actualizarse los datos al año de estudio para establecer la comparación según el índice elegido.

5.—EJEMPLO.

Sean 2 alternativas que desde el punto de vista técnico son igualmente deseables y veamos cual deberá seleccionarse desde el punto de vista económico.

Alternativa	A	B
Costo inicial (Ci)	100	200
Utilidades anuales (Ua)	80	90
Costos anuales (Ca)	40	20
Vida útil (n)	5 años	5 años

Tasa mínima de rentabilidad: 15%

a) Método del valor presente.

$$VP = -Cl + (Ua - Ca) \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

Para la alternativa A y leyendo el coeficiente del paréntesis para el 15% en 5 años (f^s 15%) en las tablas:

$$VPa = -100 + (80 - 40) (3.352) = 34.5$$

$$VPb = -200 + (90 - 20) (3.352) = 35$$

b) Método de anualidades.

$$Aa = 80 - 40 - 100 (0.29832) = 10.02$$

Para la alternativa B:

$$Ab = 90 - 20 - 200 (0.29832) = 10.03$$

c) Tasa de rentabilidad.

$$0 = Cl + (Ua - Ca) \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

Para la alternativa A:

$$0 = 100 + (80 - 40) \frac{f^s}{aa}$$

$$\frac{f^s}{aa} = \frac{100}{40} = 2.5 \quad \text{TRa} = 27\%$$

(Valor obtenido de la tabla correspondiente)

Para la alternativa B:

$$0 = 200 + (90 - 20) \frac{f^s}{aa}$$

$$\frac{f^s}{aa} = \frac{200}{70} = 2.85 \quad \text{TRb} = 22\%$$

(Valor obtenido de la tabla correspondiente)

d) Beneficio/Costo

$$B = Ua \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (\text{Beneficio})$$

$$C = Cl + Ca \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (\text{Costo})$$

y se forma el cociente:

Para la alternativa A:

$$Ba = 80 (3.352) = 267$$

$$Ca = 40 (3.352) = 100 = 234.5$$

$$Ba/Ca = \frac{267}{234} = 1.14$$

Para la alternativa B:

$$B = 90 (3.352) = 302$$

$$C = 200 (3.352) = 267.2$$

$$B/C = \frac{302}{267.2} = 1.13$$

6.—ESTIMACION DE COSTOS Y BENEFICIOS

Hasta ahora se han manejado todos los conceptos aceptando que pueden conocerse tanto los costos como los estudios económicos se hacen en el momento de la decisión y que las diferencias posibles son diferencias futuras y no siempre predecibles.

Los datos para la evaluación deben tener tres características fundamentales: valoración correcta, homogeneidad y misma extensión. La primera se explica por sí misma, la segunda se obtiene mediante el uso de índices para reducirlos los datos de diferentes períodos de tiempo al mismo año en que se realiza la comparación y la tercera se alcanza cuantificando al mismo nivel las repercusiones del proyecto.

Para la estimación de costos y beneficios deben considerarse dos casos:

- a) Cuando el futuro es supuestamente conocido a los riesgos presentan una distribución conocida.
 - a 1) Para la estimación de los costos y beneficios pueden utilizarse los estandar, los que resulten de una investigación de operaciones o con modelos matemáticos resultantes de una correlación estadística o de una programación lineal.
 - a 2) Cuando la distribución de los riesgos es conocida, pueden utilizarse los métodos que asocian la probabilidad de realización de un hecho a su costo correspondientes, como por ejemplo los llamados árboles decisionales o los métodos de programación probabilística, por ejemplo PERT.
- b) Cuando existe incertidumbre en el futuro. En este caso se introducen los conceptos de sensibilidad y punto de equilibrio o punto de nivelación para realizar los estudios económicos.

Si las variaciones de un elemento en particular no afectan en la decisión de una alternativa se dice que dicha alternativa no es sensitiva con respecto a las incertidumbres rela-

cionadas con ese elemento, en caso contrario, es sensitiva.

Matemáticamente puede manejarse este concepto en la misma forma que el elasticidad que veremos más adelante, es decir, como la relación de la tasa de incremento de una función, a la de una variable específica.

Si la función es el valor de la alternativa en un estudio y se introduce una variable x que represente un elemento, debe plantearse y resolverse la ecuación x para ese elemento, lo cual establece el punto de equilibrio entre dos alternativas. Comparando por pares las alternativas se pueden estudiar el conjunto.

Se llama punto de equilibrio al valor de la variable que hace económicamente iguales dos alternativas comparadas, manteniendo las otras variables como constantes.

Para aclarar este concepto se incluye el siguiente ejemplo:

Ejemplo: 1) Efecto del tiempo de operación en la selección de un sistema de iluminación.

Se planea la construcción estandarizada de tiendas de servicios en diversas localidades. Tres sistemas de iluminación satisfacen el nivel proyectado y sus costos se estiman en dólares de la siguiente manera:

	Tipo Incandescente	Tipo I Flourescente	Tipo II Flourescente
Inversión inicial	\$ 150.00	\$ 1,200.00	\$ 1,400.00
Número de unidades requeridas	25	40	15
Número de lámparas por unidad	1	2	4
Costo por lámpara	1.25	1.75	3.50
Vida promedio de las lámparas (en horas)	1000	4000	5000
Watts por unidad de iluminación	500	90	200

El costo de mano de obra por reemplazar cada lámpara se estima en 20 centavos, independientemente del tipo. El costo de energía eléctrica se estima en 2.6 centavos por kilowatt-hora. La recuperación de la inversión inicial se fija a 10 años con una tasa mínima de retorno antes de impuesto del 15%; seguros e impuestos sobre la propiedad se estiman en 2.5% de la inversión inicial.

1) Tomado de Engineering Economy de Grant & Ireson.

Las diferencias climáticas de las localidades in-

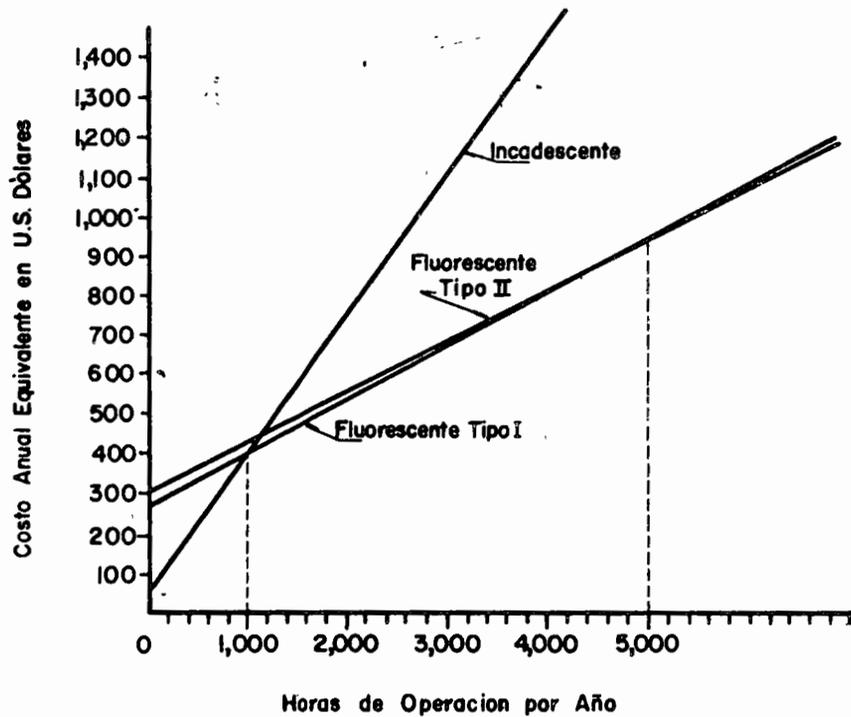
fuyen en las necesidades de alumbrado, las cuales varían considerablemente durante el día y también debido al volumen de operaciones que varía en cada localidad. Algunas localidades pueden requerir dos o tres cambios de operaciones, mientras que otras requieren solamente uno. La utilización del sistema de iluminación obviamente afectará los costos anuales de cada proyecto. La siguiente tabla muestra los costos anuales equivalentes de los tres sistemas para mil o cuatro mil horas por año. Los costos anuales de inversión son independientes de la utilización de los sistemas. Por otra parte, tanto los costos de reemplazo de las lámparas como el de energía eléctrica varían directamente con la cantidad de utilización.

COMPARACION DE COSTOS ANUALES PARA LOS TRES SISTEMAS DE ILUMINACION.

	Incand.	Flour. Tipo I	Flour. Tipo II	Incand.	Flour. Tipo I	Flour. Tipo II
Inversión anual	\$ 33.26	266.10	310.45	33.26	266.10	310.45
Reemplazo de lámparas	36.25	39.00	44.40	145.00	156.00	177.60
Gasto de energía eléctrica	325.00	93.60	78.00	1,300.00	374.40	312.00
Equivalente del costo anual	\$ 391.51	\$ 398.70	\$ 432.85	\$ 1,478.26	\$ 796.50	\$ 800.05

La siguiente gráfica muestra la comparación de los costos anuales de los tres sistemas contra el número de horas de utilización. La curva para el sistema incandescente y el Fluorescente Tipo I se interceptan aproximadamente a las mil horas. Este es punto de equilibrio entre los dos sistemas. Si se prevé que el promedio de utilización sea mayor de mil horas por año, el sistema Fluorescente Tipo I deberá escogerse sobre el sistema Incandescente.

El punto de equilibrio entre los dos tipos de sistema fluorescente ocurre aproximadamente a las cinco mil horas. Similarmente, si se prevé que el promedio anual de utilización sea mayor de cinco mil horas, el Sistema Fluorescente Tipo II deberá seleccionarse sobre el Tipo I. Deberá notarse que la diferencia en costo anual equivalente de los dos sistemas fluorescentes es muy pequeña y que los imprevisibles pueden alterar fácilmente la decisión.



SENSIBILIDAD DE LA DECISION DEL EJEMPLO A LOS CAMBIOS EN EL PRECIO DE LA ENERGIA ELECTRICA.

La tendencia en los costos de la energía eléctrica indica que puede irse reduciendo el costo de 2.6 centavos utilizando en el ejemplo. ¿Qué tan sensitivo es el problema a los cambios en los costos de energía por kilowat-hora?. Un modo de determinar la sensibilidad es computar los puntos de equilibrio

entre el sistema Fluorescente Tipo I. y el sistema Incandescente para varios precios.

Sea X el número de horas de utilización por año al cual los costos anuales equivalentes del sistema Incandescente son iguales a los costos anuales equivalentes del sistema Fluorescente Tipo I. A 2.6 centavos por kilowat-hora la ecuación se plantea como sigue:

10			
\$ 150 (F15)	0.025	$\frac{(\$0.026) (500) (25)x}{1,000}$	$\frac{(\$1.45) (25)x}{1,000}$
10			
\$ 1,250 (F15)	0.025	$\frac{(\$0.026) (90) (40)x}{1,000}$	$\frac{(\$1.95) (80)x}{1,000}$

Substituyendo el valor del factor de recuperación del capital en la ecuación y resolviéndola por X, encontramos que el punto de equilibrio es 1,018 horas por año, que corresponde con el valor encontrado en la gráfica anterior. Repitiendo la ope-

ración para precios más pequeños de la energía eléctrica se obtienen los puntos de equilibrio mostrados en la siguiente tabla. **Se observa que la decisión no es sensitiva al precio de la energía eléctrica en este caso.**

Punto de equilibrio (horas de utilización por año)	Precio de la Energía Eléctrica. (Centavos por kilowat-hora)				
	2.6	2.4	2.2	2.0	1.8
	1,018	1,084	1,206	1,328	1,479

Si se hace la comparación entre los dos tipos de sistemas Fluorescentes se encuentra que los puntos de equilibrio crecen y que no estamos interesados en considerar la selección entre el Tipo I y el Tipo II del sistema Fluorescente si se presenta una reducción progresiva en el precio de la energía que haría más difícil justificar la selección del Tipo II. El punto de equilibrio para 1.8 centavos por kilowat-hora es 8,212 horas por año.

SEGUNDA PARTE.

APLICACIONES EN LA EVALUACION DE PROYECTOS

1.—UBICACION DEL PROYECTO EN EL PROGRAMA DE DESARROLLO ECONOMICO.

La aplicación de la Ingeniería Económica a la evaluación de proyectos permite observar todas las fases del estudio y por lo tanto conviene que los analicemos en detalle.

Se ha llegado a la conclusión de que el desarrollo económico de los diferentes países no se debe dejar al libre juego de las fuerzas sino que debe alcanzarse mediante un esfuerzo deliberado y orientado a obtener un ritmo de crecimiento más activo del ingreso por habitante y a lograr una justa distribución del ingreso.

La programación consiste en hacer un diagnóstico de la situación económica, conocer las necesidades e impulsar aquellos sectores que más necesiten desarrollarse; dictar medidas que protejan las estructuras económicas más importantes, delimitar los campos de acción pública y privada, estimular a las inversiones donde se requieran y en general planear la estructura económica del país y su proyección y relaciones con el exterior.

2.—RELACION ENTRE PROYECTO Y PROGRAMA DE DESARROLLO.

Existe interdependencia entre proyectos individuales y programa, de tal manera que tanto el proyecto necesita tomar en cuenta la política del

sistema, como éste deberá conocer el resultado de los proyectos para corregir sus hipótesis dentro del proceso de ajustes sucesivos que es la programación.

Es, por otra parte, indispensable conocer la información correspondiente a cada proyecto, pues aparte de las prioridades establecidas en el programa global deben tomarse en cuenta las prioridades en el tiempo, a cuya solución contribuye dicha información para elaborar los presupuestos anuales o periódicos, así como los programas parciales.

Es necesario también, conocer las alternativas técnicas de cada proyecto o de un grupo de proyectos semejantes para saber el beneficio individual o colectivo que podrán generar; en conclusión, ningún programa, por bien elaborado y estudiado que esté, resultará benéfico si los proyectos son malos.

3.—SELECCION PREVIA DE LOS PROYECTOS.

Aunque este problema propiamente corresponde a la técnica de programación, existe como ya se ha dicho, tal interdependencia entre programa y proyecto, que se considera conveniente incluirlo en esta parte, estableciendo ciertos criterios generales para seleccionar los proyectos que deben estudiarse.

Si existe plan global de desarrollo o planes sectoriales y regionales, se conocen los ritmos de crecimiento y las iniciativas en este caso son claras. Si no existe plan global, sectorial o regional los criterios de selección se derivan del crecimiento del mercado.

Se presentan algunas variantes en este caso:

- a) Mercados de explotación de bienes, para cuya producción el país está especialmente dotado.
- b) Sustitución de importaciones.
- c) Sustitución de la producción artesanal por producción fabril.
- d) Crecimiento de la demanda interna.
- e) Demanda insatisfecha.

Pueden asimismo, en ocasiones seleccionarse proyectos de origen político o estratégico.

4.—INTEGRACION DEL PROYECTO Y SU EVALUACION.

La ingeniería del proyecto o aspecto técnico y la economía del proyecto o aspecto económico, están íntimamente ligados y no es posible hablar del uno sin tomar en cuenta el otro. Es necesario pues, un grupo de economistas e ingenieros que estudien el problema, o bien los dos aspectos estudiados por un ingeniero-economista. No existe una secuencia para considerar las cuestiones técnicas y económicas, sino que ambas deberán estudiarse simultáneamente.

Un proyecto debe contener las siguientes partes, aunque su orden no es necesariamente riguroso, pero puede servir de base para su estudio.

- a) Estudio del mercado.
- b) Determinación del tamaño y localización.
- c) Ingeniería de proyecto.
- d) Cálculo de las inversiones.
- e) Presupuesto de gastos e ingresos anuales y organización de los datos para evaluación.
- f) Financiamiento.
- g) Organización y ejecución.

5.—ESTUDIO DEL MERCADO.

Como ya se ha visto, cuando no existen planes global o sectoriales, la selección de los proyectos depende del conocimiento del mercado y de ahí la importancia que daremos a este Capítulo.

El estudio del mercado está orientado a determinar la cuantía de los bienes o servicios que se originen en una nueva unidad productora, que la sociedad esté dispuesta a adquirir a cierto precio esto es, la demanda.

Mercado es un conjunto de individuos, cuyas sollicitaciones establecen situaciones de oferta y de-

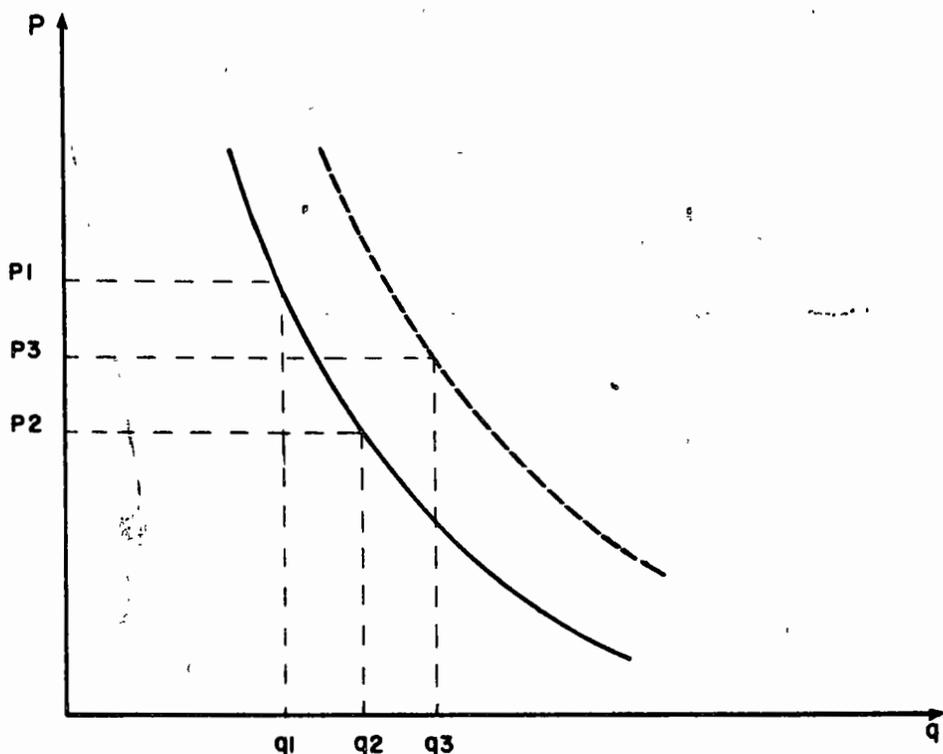
manda de ciertos bienes o servicios, tendientes a asignarles determinado precio (precio de mercado).

Es obvio que habrá que hacer estudios con diferentes demandas y sus precios correspondientes y determinar la capacidad instalada del proyecto y las utilidades y beneficios que se obtengan para cada una de las variantes.

5-1.—Recopilación de antecedentes.—La primera fase del estudio es la recopilación de antecedentes. Se recomienda obtener los siguientes:

- a) Series históricas de población, ingreso, consumo, producción, exportación, precios. (Cuando no se conoce el consumo real se usa el consumo aparente que es igual a la producción más importaciones menos exportaciones).
- b) Usos y especificaciones del bien o servicio que se trata de producir y que tienden a definir sus características (se prefieren aquellos proyectos que tienen mayor valor agregado en sus productos).
- c) Tipo e idiosincrasia de los consumidores. Este antecedente es muy importante sobre todo cuando el bien es de consumo final. Deberá clasificarse a los consumidores por tramos de ingreso y observar su sensibilidad a la propaganda.
- d) Costos y precios. Si existen en el mercado otros productores deberán averiguarse costos y precios de sus productos y sus utilidades, así como las utilidades, así como las utilidades del distribuidor o importador en previsión de que tales individuos puedan financiar la bancarrota del nuevo proyecto.
- e) Fuentes de abastecimiento de las empresas competidoras. Averiguar si el producto proviene de fuentes nacionales o extranjeras o si son nacionales averiguar la capacidad instalada y la utilización de la misma, así como sus rendimientos.
- f) Estudio de los mecanismos de distribución, que constituye la comercialización o mercadotecnia.
- g) Política económica. Recabar decretos de congresos nacionales o estatales o bien tendencias de algunos grupos financieros.

5-2.—Estudio de la Demanda.—Dentro del capítulo del mercado, merece especial atención el estudio de la demanda, tanto actual como proyectada durante la vida útil del proyecto. La demanda queda definida como una función del precio: $q = q(p)$, de tal manera que a cada precio corresponde una demanda del bien o servicio. Esto es representado gráficamente en la siguiente forma:



La curva se desplaza paralelamente a sí misma cuando cambia la oferta, es decir, se genera una nueva función de demanda diferente de la primera (curva punteada). El ingreso por habitante, por ejemplo, influye en estos movimientos.

Conceptos matemáticos importantes en el estudio de la demanda.—Para relacionar la función de demanda con el ingreso y otros factores semejantes, se usa el concepto de elasticidad que permite observar el comportamiento dinámico de una cantidad con el de otra.

Antes de definir el concepto de elasticidad con frecuencia. En forma simplista podemos definirla como la relación de la diferencia de la función a la propia función.

$$dr = \frac{df}{f} \quad (1)$$

Integrando en el intervalo $T_2 \leq T \leq T_1$, se obtiene:

$$r = \frac{Lf_2 - Lf_1}{T_2 - T_1} \quad (2 \text{ fórmula que se usa})$$

cuando se conocen únicamente dos puntos.

La elasticidad se define como la relación de tasa de crecimiento:

$$E = \frac{df}{f} \cdot \frac{dx}{x} \quad (3)$$

o bien con incrementos finitos:

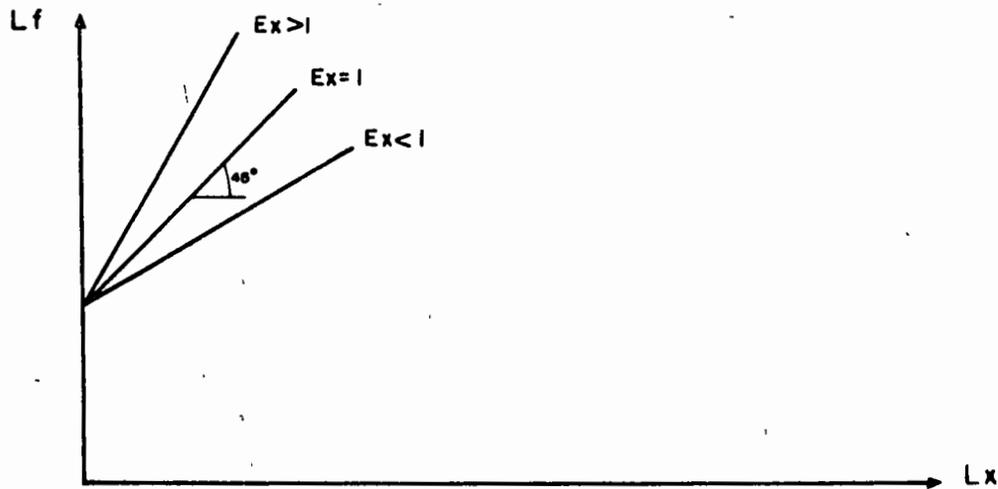
$$Ex = \frac{\Delta f}{f} \cdot \frac{\Delta x}{x} \quad (4)$$

Rearreglando (3) se obtiene:

$$Ex = \frac{dx}{x} \cdot \frac{df}{f} \quad (5)$$

(Fórmula que se usa para hacer regresiones a partir de series históricas)

Integrando en (5): $Lf = Ex Lx + Lc$, fórmula que se grafica de la siguiente manera:



En forma general se define $Ex = \frac{X_1}{f} \frac{af}{ax_1}$ (6)

Si Ex es constante y se tienen los datos de dos puntos, se puede calcular la elasticidad a partir de los mismos con la siguiente fórmula:

$$Ex = \frac{Lf_2 - Lf_1}{Lx_2 - Lx_1} \quad (7)$$

Para determinar la demanda en el futuro debe hacerse una proyección de la serie histórica a lo largo de la vida útil del proyecto por extrapolación de la tendencia histórica, haciendo uso de las elasticidades, precio e ingreso.

$rq = Ey ry$ Tasa de crecimiento de la demanda per cápita.

$rq = Ey ry + rp$ Tasa de crecimiento de la demanda global.

y finalmente:

$Q = (1 + rq)^n Q_0$ Proyección de la demanda global en donde Q_n : demanda al año n y Q_0 demanda en el año cero.

La demanda de los servicios gratuitos se cuantifica en función de indicadores de comparación entre los diversos países. Por ejemplo en educación: número de alumnos/maestro y población menor de 12 años/salón de clase. En salubridad: número de habitantes/cama, etc.

Ejemplo: Proyectar la demanda de 1960 a 1970.

Supongamos las tasas de crecimiento conocidas o determinadas mediante una regresión:

$ry = 0.0171$
 $rp = 0.0125$
 $Ey = 1.72$
 $Q_0 = 11.9$ millones de tons.
 $rq = Ey ry + rp$
 $rq = 1.72 \times 0.0171 + 0.0125$
 $rq = 0.0294 + 0.0125$
 $rq = 0.0419$
 $Q_n = (1 + rq)^n Q_0$

Año	1.0419^n	Consumo Global.
1960	1	11.9
1961	1.0419	12.4
1962	1.0855	12.9
1963	1.1310	13.4
1964	1.1780	14.0
1965	1.2270	14.6
1966	1.2790	15.2
1967	1.3320	15.8
1968	1.3870	16.5
1969	1.4460	17.2
1970	1.5090	18.0

Por tanto, el consumo global en 1970 será de 18 millones de tons.

5-3.—**Area de Mercado.**—Es la superficie que alberga a quienes establecen las relaciones entre las fuerzas de la oferta y la demanda de cierto producto derivado de un proyecto específico.

Criterios simplistas para el cálculo de área de mercado.

Existen dos casos: 1) Si se considera constante el precio unitario de transporte 2) Precio unitario de transporte variable con la distancia.

Caso 1.—Sean A y B dos proyectos y P un punto del que se pretende conocer a qué área pertenece.

P es de la área A si y solamente si el precio del producto de A puesto en P es menor que el precio del producto de B puesto en P.

La frontera de las áreas de mercado de A, y B es el conjunto de todos los puntos en donde el precio del producto no depende del proyecto donde se origina.

viene definir el de tasa de crecimiento que usaremos

Por tanto, la condición de frontera es $CBP = CAP$, en donde P es un punto de la frontera en cuestión, CA costo del producto en A, CB costo del producto en B; sea además F el precio unitario del transporte (\$/Km.); entonces se tiene que es la ecuación de una hipérbola, una de cuyas ramas no tiene sentido.

Caso 2.—Si los fletes son variables con la distancia y tienden a ser menores cuando ésta aumenta, la condición de frontera es la siguiente: $CA + FAP = CB + FBP$, que se resuelve por aproximaciones sucesivas siguiendo estos pasos.

- 1.—Escoger distancias arbitrarias AP.
- 2.—Calcular FAP con cada una de las distancias y la duración de transporte que le corresponde.
- 3.—Hallar FBP.
- 4.—Encontrar la diferencia BP a partir del valor de FBP y la duración.
- 5.—P queda fijo por la intersección de dos circunferencias, una con centro en A y radio AP y otra con centro en P y radio BP.

6.—DETERMINACION DEL TAMAÑO Y LOCALIZACION.

El tamaño de un proyecto es la capacidad de producción del proyecto asociado a un periodo de tiempo de su funcionamiento.

La determinación del tamaño constituye ya un problema de evaluación, pues una vez determinada la demanda actual y futura deberán tabularse diversos proyectos para diferentes capacidades instaladas con posibilidades de ampliación; por lo tanto este estudio deberá hacerse simultáneamente con la evaluación.

Dos tamaños de proyecto deben determinarse necesariamente y constituyen de hecho, límites extremos.

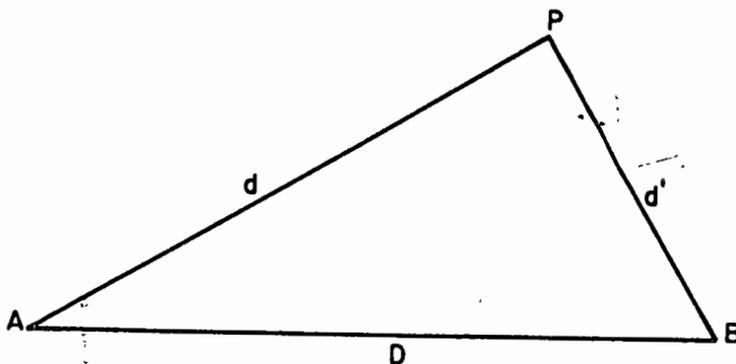
El tamaño mínimo que se define como la capacidad instalada del proyecto para la cual el producto compite en el mercado con igual precio que los disponibles en el mismo.

El tamaño óptimo que se define por una función objetivo que puede ser minimizar los costos de capital durante la vida útil del proyecto, o maximizar el empleo de mano de obra o alguna otra función objetivo. Se establecen las restricciones y se plantea un problema típico de programación lineal.

El elemento de juicio más importante para determinar el tamaño de un proyecto es generalmente la cuantía de la demanda que ha de atenderse, de la que existen tres casos básicos: a) la cuantía de la demanda no presenta limitaciones prácticas de acuerdo a escala de producción b) Que dicha cuantía sea tan pequeña que no alcance a justificar el tamaño mínimo c) Que sea del mismo orden de magnitud que el tamaño mínimo posible. Se infiere de inmediato que en el primer caso la cuantía de la demanda no es factor decisivo, en el segundo lo es definitivamente haciendo imposible el proyecto y en el tercero debe analizarse conjuntamente con otros factores.

El aspecto técnico influye en la determinación del tamaño desde el punto de vista que al elegir cierto proceso de producción existen mínimos de producción abajo de los cuales los costos serían tan elevados que la posibilidad de operar queda fuera de consideración. La mayor parte de los proyectos industriales caen en este caso.

Deberán hacerse diversas curvas de costos de producción en función del tamaño en estudio y compararlos con las curvas de variación de la demanda en función del ingreso, precios, factores demográficos y distribución geográfica del mercado para observar la conveniencia de instalar tamaños mayores a la demanda actual previendo el incremento de la demanda en el futuro. Este criterio



y se forma una tabla con las siguientes columnas:

Distancias AP FAP FBP = CA — CB — FAP Distancia BP

es solo justificable en aquellos proyectos que son difícilmente divisibles en unidades parciales, pues de lo contrario lo conveniente es ir agregando nuevas unidades paralelamente al crecimiento de la demanda.

La inversión necesaria para instalar cierto proyecto con una técnica determinada puede ser también un factor limitativo del tamaño del mismo, buscando en general el menor costo de inversión por unidad de capacidad instalada y el mayor rendimiento por mano de obra y por otros insumos.

El tamaño queda asimismo limitado por la localización del proyecto y la distribución geográfica del mercado, ya que a los costos de producción habrá que sumarles los de transportación del producto hasta los lugares de consumo. Esto da como resultado un mayor tamaño del proyecto, pero los costos de distribución se incrementan y el precio de mercado puede resultar no competitivo.

Si los recursos financieros no están limitados, el financiamiento no resulta factor decisivo en la elección del tamaño; pero como lo común en nuestro medio es que dichos recursos tengan limitaciones, es criterio prudente elegir aquel tamaño que da lugar a una evaluación satisfactoria (aunque no necesariamente óptima), pero que puede financiarse con seguridad y comodidad. Una alternativa a las limitaciones financieras es desarrollar el proyecto por etapas.

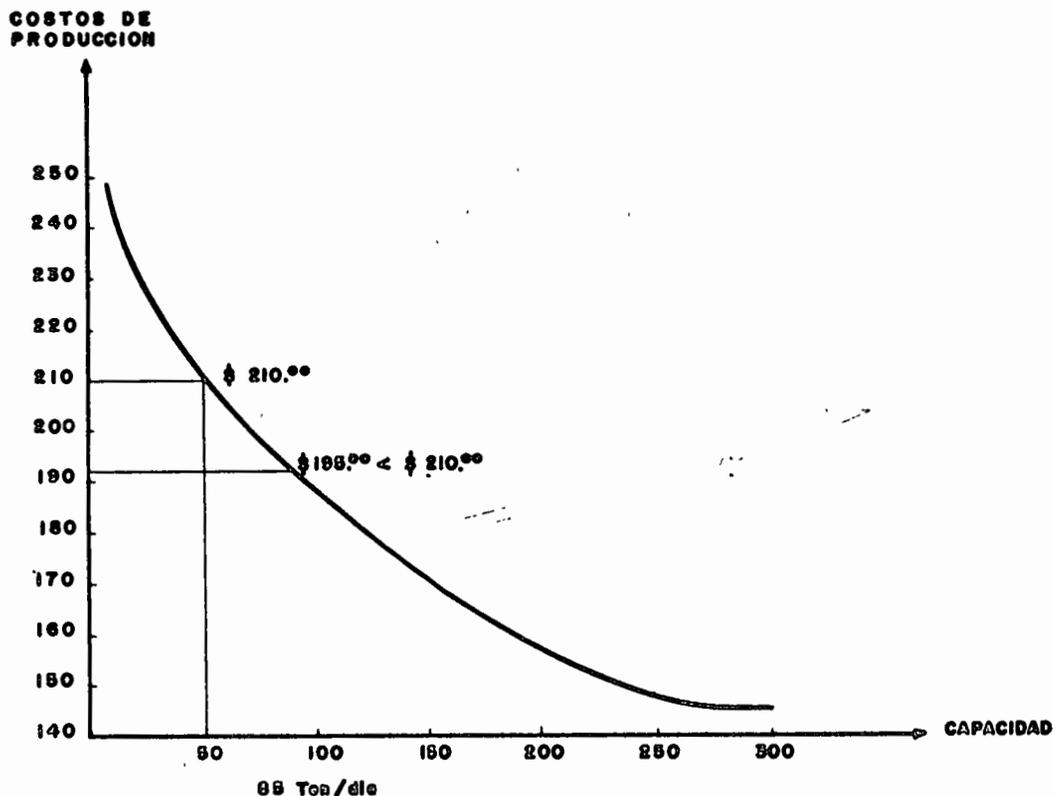
Ejemplo: Para ilustrar la aplicación de esta técnica supongamos un sencillo problema de sustitución de importaciones. El precio del producto importado es de \$ 210.00/ton., y la demanda actual se estima de 100 ton./día. Se supone que la demanda crece en forma constante.

Primero se estima la estructura de costos de producción en unidades monetarias por tonelada de Producción

CAPACIDADES

Conceptos	50	100	150	300
Materias primas	54	54	54	54
Mano de obra	18.4	11.5	9.2	6.9
Costo de capital	170.2	129.5	108.6	83.1
Totales	242.6	195.0	172.8	144

Y se grafican capacidades vs. costos de producción:



El problema se reduce entonces a:

- 1) Estudiar la evolución de la demanda.
- 2) Encontrar el año "n" llamado óptimo, al cual corresponde un valor de la demanda que define el tamaño o capacidad óptima, minimizando los costos:

C: Costo de capital durante la vida útil del proyecto.

$C = KT^\alpha$ en donde T: Tamaño o capacidad de producción.

K: Constante.

α : Exponente de capital

1.10
0.80
1.12

Es conveniente trabajar con el costo de capital por unidad producida (c), para lo cual solamente se divide la expresión anterior entre la producción total durante la vida útil del proyecto (P).—Entonces:

$$c = \frac{KT^\alpha}{P}$$

Minimizando esta expresión mediante el algoritmo adecuado se encuentra el año óptimo y con ese dato el tamaño óptimo.

7.—INGENIERIA DE PROYECTO.

Este inciso se analizará someramente, ya que constituye la parte técnica y, por lo tanto, la más conocida por los ingenieros.

Como recomendaciones generales destacan dos importantes:

- 1.—Observar y decidir el uso de técnica nacional o extranjera.
- 2.—Comparar el uso de equipos de producción contra la mano de obra.

El formato de presentación se integrará de la siguiente manera:

- a) Ensayos e investigaciones previas. Por ejemplo, determinación de insumos en un proceso, pruebas piloto, estudios de mecánica de suelos, etc.
- b) Selección y descripción de los procesos de producción. Esta selección se hace tomando en cuenta costos, insumos, precios, etc.
- c) Selección y especificación de los equipos por emplear.
- d) Distribución de los equipos de producción.

- e) Distribución de los edificios.
- f) Obras complementarias de ingeniería.
- g) Rendimientos. (Participación del técnico en los costos de producción).
- h) Programas de trabajo.

8.—CALCULO DE LAS INVERSIONES.

Las inversiones de un proyecto constan de dos partes fundamentales: el activo fijo el capital circulante.

El activo fijo está integrado por el conjunto de bienes que se adquieren durante la etapa de su instalación y se amortizan durante toda su vida útil; estos bienes no son motivo de transacciones corrientes

La inversión inicial que forma el activo fijo se acostumbra agrupar en los siguientes rubros:

- 1.—Costos de investigaciones y estudios.
- 2.—Costos de terrenos.
- 3.—Costos de recursos naturales adquiridos.
- 4.—Costos de equipos.
- 5.—Costos de instalación de equipos.
- 6.—Costos de edificios.
- 7.—Costos de instalaciones complementarias.
- 8.—Costos de estudios del proyecto.
- 9.—Costos de ingeniería y administración durante la construcción.
- 10.—Costos de la puesta en marcha.
- 11.—Costos de los intereses durante la construcción.
- 12.—Costos de patentes y similares.
- 13.—Costos de organización.
- 13.—Costos de organización.
- 14.—Costos de los imprevistos.

La inversión en el activo fijo, que representa un porcentaje muy importante de la inversión total, solo puede conocerse en la etapa de estudio del proyecto, mediante estadísticas confiables de los costos de proyectos semejantes. Es muy importante la determinación precisa de estos costos para evitar problemas de financiamiento durante la construcción, que pueden afectar seriamente la instalación del proyecto.

El capital circulante o capital de trabajo de un proyecto, es el patrimonio en cuenta corriente que requiere la unidad productora para atender la pro-

ducción y distribución de los bienes y servicios que en ella se originen. Se define en la siguiente forma:

Inventarios = materias primas en almacén + bienes en proceso de elaboración + bienes terminados en almacén.

Circulante = inventario + cuentas a cobrar + adelantos a proveedores + caja + bancos — cuentas a pagar.

Por supuesto que lo que se expresa aquí en forma

simple requiere un desglose más o menos complicado; la estimación del inventario de un proyecto constituye en sí un problema típico de la investigación de operaciones.

9.—PRESUPUESTO DE GASTOS E INGRESOS ANUALES Y ORGANIZACION DE LOS DATOS PARA EVALUACION.

Se acostumbra organizar la información básica para evaluar un proyecto utilizando el presupuesto de gastos e ingresos hecho en un lapso contable (de un año por ejemplo). El esquema simplificado del presupuesto es el siguiente:

GASTOS	INGRESOS
1.—Materiales	1.—Ventas
2.—Energía y combustibles	2.—Subsidios
3.—Mano de obra	
4.—Seguros, impuesto y arrendamientos	
5.—Depreciación e intereses	
Utilidad.	
SUMAS IGUALES:	

La utilidad se determina por diferencia de los totales entre gastos e ingresos. La presentación tan simple de esta cuenta no implica que tales subcuentas de gastos e ingresos deben ser tan resumidas, sino que deberán desglosarse para darle mayor flexibilidad al estudio. Por ejemplo, es útil para evaluación conocer los montos de las componentes nacionales y extranjeras de cada uno de los rubros anotados, sobre todo si se pretende observar los efectos del proyecto en la balanza de pagos del país.

Otro criterio para proporcionar cierta flexibilidad a la evaluación del proyecto, lo constituye el estudio de la ecuación de los costos, pues permite averiguar las variaciones experimentadas por el presupuesto y los costos unitarios al cambiar el precio de los insumos, el porcentaje de utilización de la capacidad instalada del proyecto, o ambos. Permite también determinar el porcentaje de utilización mínima de la capacidad instalada del proyecto al que puede ser operado sin que exista pérdida.

El costo total de producción puede considerarse integrado como $C = F + Vx$

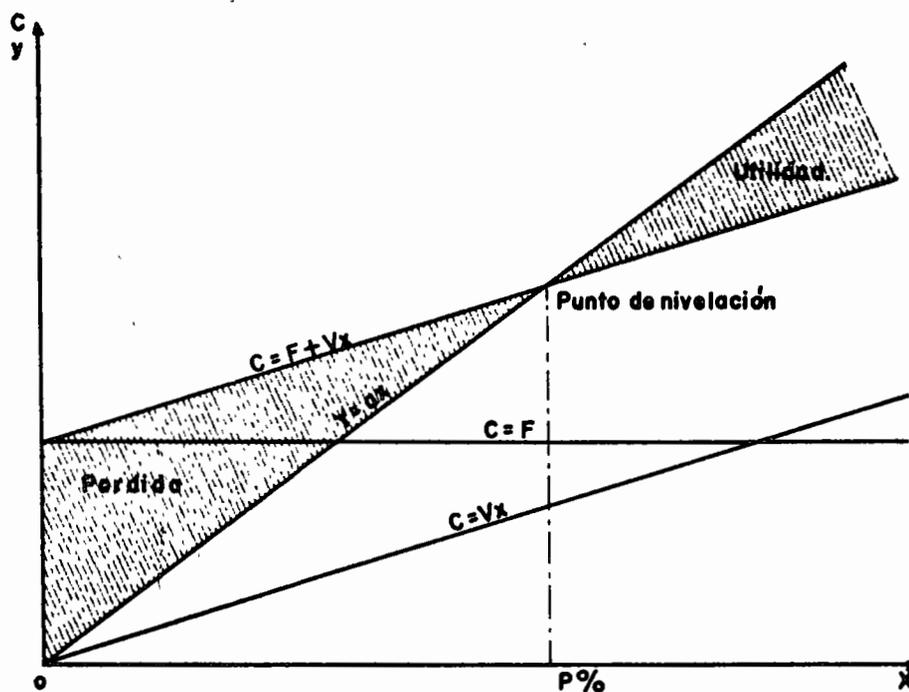
Siendo F y V los costos totales fijos y variables asociados al proceso y computadoras en cierto lapso. Si suponemos que estos últimos son funciones lineales del nivel de producción.

$$C = F + Vx$$

Por otra parte, si los ingresos se comportan también en forma lineal:

$$Y = aX$$

Ambas expresiones pueden representarse en la siguiente figura, interpretando los niveles de producción como porcentajes del tamaño del proyecto. El punto para el cual no existen pérdidas ni ganancias (punto de nivelación) separa los niveles de oferta del proyecto en función de las utilidades que puedan obtenerse del mismo y permite definir estrategias de operación de la capacidad instalada cuando varían los elementos que se manejan.



10.—FINANCIAMIENTO.

La instalación y el funcionamiento de un proyecto requieren conocer cómo habrá de financiarse.

Los recursos financieros para la instalación de los proyectos provienen del mercado de capitales y bancos, denominados genéricamente fuentes externas de la empresa, o se originan dentro de ésta en cuyo caso reciben el nombre de fuentes internas de la misma.

Las principales fuentes externas se consiguen en forma de acciones y préstamos a mediano y largo plazo; en cambio las fuentes internas de una empresa radican en las utilidades no distribuidas más reservas de depreciación y otras reservas.

CUENTA DE FUENTES Y USOS DE FONDOS DURANTE LA INSTALACION.

F U E N T E S AÑO 1. AÑO 2. AÑO 3.

Externas:

- 1) Aportaciones de Capital.
 - 1.1) Acciones.
 - 1.2) Otras formas.
- 2) Préstamos a mediano y largo plazo.
 - 2.1) Bonos.
 - 2.2) Bancos de Inversión y Compañías de Seguros.

Internas:

- 3) Utilidades no distribuidas.
- 4) Reservas de Depreciación.
- 5) Saldo de año anterior.

TOTAL FUENTES.

USOS.

- 7) Terrenos.
- 8) Equipo e Instalaciones.
- 9) Gastos de Estudio.
- 10) Gasto de Organización.

TOTAL USOS.

Durante el lapso de funcionamiento, las fuentes resultan ser las ventas y los subsidios y los usos tienen también una naturaleza completamente distinta. Entre estos se cuentan los gastos de producción sin considerar las provisiones para depreciación y los intereses imputados para los fines de evaluación, que constituyen una reserva y no un uso definido.

Esta cuenta de fuentes y usos durante el funcionamiento se presenta en el siguiente cuadro:

CUENTA DE FUENTES Y USOS DE FONDOS DURANTE EL FUNCIONAMIENTO.

F U E N T E S	AÑO 1.	AÑO 2.	AÑO 3.
1) Ventas.			
2) Subsidios.			
3) Saldo del año anterior.			
TOTAL FUENTES.			
USOS.			
4) Gastos de Producción.			
5) Intereses por Créditos a Corto Plazo.			
6) Servicios de Créditos a Mediano y Largo Plazo.			
7) Impuestos.			
7.1) Territoriales de transferencia.			
7.2) Sobre la renta y dependientes de las utilidades.			
8) Dividendos que se propone pagar.			
TOTAL USOS.			
9) Saldo para el año siguiente.			
10) Depreciación y otras reservas.			
11) Intereses imputados para fines de evaluación.			
12) Utilidades según presupuesto estimativo de evaluación.			

Evidentemente si restamos el total de fuentes, al saldo del año anterior, los gastos de producción, los impuestos territoriales y de transferencia, la depreciación y los intereses imputados para fines de evaluación, obtendremos las utilidades del presupuesto estimativo de gastos e ingresos del proyecto, lo cual constituye la finalidad de deudécimo renglón de esta cuenta.

Además de otros usos contables y de estrategia del empresario, estos cuadros permiten obtener coeficientes de evaluación financiera en un lapso con-

table, que representen el estado financiero del proyecto. Entre estos últimos se usan frecuentemente los siguientes:

Cobertura de la deuda =

$$\frac{\text{Beneficios brutos anuales}}{\text{Amortización de intereses anuales}}$$

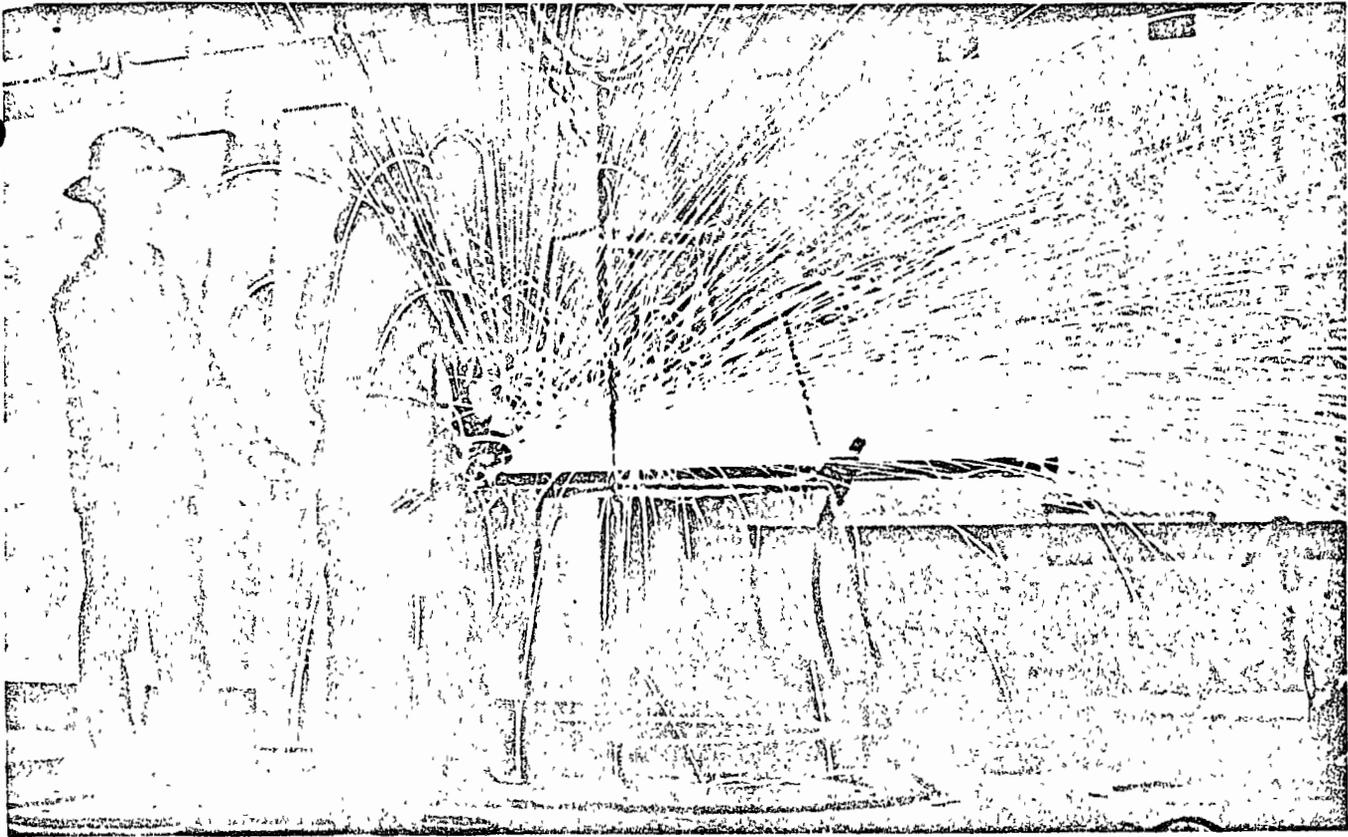
$$\text{Coeficiente de liquidez} = \frac{\text{Caja Disponibilidad}}{\text{Deudas a corto plazo}}$$

$$\frac{\text{Capital propio}}{\text{Deuda a largo plazo}}$$

11.—ORGANIZACION Y EJECUCION.

La organización de una nueva entidad productora interesa la fase del proyecto únicamente en la medida en que pueden plantearse y recomendarse diversas posibilidades en esta etapa. Por esta razón son mero orden general durante el estudio y atienden a la constitución de la empresa y a diversas disposiciones de tipo legal que involucran ciertos vínculos entre la empresa y el sector público; por ejemplo, existen proyectos que solo pueden operar satisfactoriamente estableciendo subsidios y protecciones aduaneras, exenciones de impuestos, etc., asimismo consideran la estructura técnico-administrativa conveniente para la empresa tanto durante la instalación del proyecto como dentro del periodo de funcionamiento.

En el caso de proyectos del sector público es necesario proveer arreglos administrativos en la entidad ejecutora del proyecto, que tomen en cuenta el control y vigilancia de las inversiones y el tipo de convenios requeridos cuando intervengan varias entidades gubernamentales en determinado proyecto.



CONCLUSION.

Las consideraciones de naturaleza política suelen desempeñar un papel decisivo en las prioridades de la inversión. Además, existen proyectos destinados a abastecer servicios gratuitos y cuya demanda, como ya hemos visto, no se expresa en términos monetarios, sino en peticiones de los grupos interesados. Por ejemplo: alcantarillado, alumbrado público, escuelas, hospitales, etc. En estos casos es difícil cuantificar los beneficios aun cuando los costos puedan estimarse con cierta precisión.

Por otra parte, no debe perderse de vista la estrategia política a corto plazo que incide sobre los proyectos de inversión y que resulta de las solicitudes, impulsos e inhibiciones que los gobernantes deben conciliar, orientar y armonizar dentro de las normas generales de la política económica adoptada. Asimismo en ocasiones se eligen inversiones que influyan en proyectos relacionados con la necesidad de dar unidad social y administrativa a un país.

En ocasiones se puede plantear a la autoridad correspondiente la siguiente alternativa: Por una parte la evaluación económica; por otra la razón de Estado para tomar su decisión, dicha autoridad deberá conocer perfectamente los costos de una y otra alternativa.

En los proyectos de tipo social debe tomarse en cuenta que además de los beneficios económicos deben analizarse los beneficios sociales, pues el desarrollo armónico de un país no se concibe ac-

tualmente como un mero cambio cuantitativo, en el ingreso por habitante, por ejemplo, sino que debe ir acompañado de un cambio cualitativo en la sociedad que es sujeto de ese desarrollo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.—CEPAL - ONU.—Manual de Proyectos.
 - 2.—GONZALEZ CUETO, ALEJANDRO.—Evaluación de Proyectos. Artículo integrante del libro sobre Gestión de Empresas Constructoras. Cámara Nacional de la Industria de la Construcción.
 - 3.—GONZALEZ CUETO, ALEJANDRO.—Apuntes de de la Cátedra de Evaluación de Proyectos de la División del Doctorado. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.
 - 4.—Grant and Iresson. Economy Engineering.
-

M C P

E

Interest Tables

TABLE E-1
1% COMPOUND INTEREST FACTORS

n	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				n
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor pwf	Sinking Fund Factor sff	Capital Recovery Factor erf	Compound Amount Factor	Present Worth Factor pwf	
	Given P To find S $(1+i)^n$	Given S To find P $\frac{1}{(1+i)^n}$	Given S To find R $\frac{1}{(1+i)^n - 1}$	Given P To find R $\frac{1}{(1+i)^n - 1}$	Given R To find S $(1+i)^n - 1$	Given R To find P $\frac{1}{(1+i)^n - 1}$	
1	1.010	0.9901	1.00000	1.01000	1.000	0.990	1
2	1.020	0.9803	0.49751	0.50751	2.010	1.970	2
3	1.030	0.9706	0.33092	0.34092	3.030	2.941	3
4	1.041	0.9610	0.24628	0.25628	4.060	3.902	4
5	1.051	0.9515	0.19604	0.20604	5.101	4.853	5
6	1.062	0.9420	0.16255	0.17255	6.152	5.795	6
7	1.072	0.9327	0.13863	0.14863	7.214	6.728	7
8	1.083	0.9235	0.12069	0.13069	8.286	7.652	8
9	1.094	0.9143	0.10674	0.11674	9.369	8.566	9
10	1.105	0.9053	0.09558	0.10558	10.462	9.471	10
11	1.116	0.8963	0.08645	0.09645	11.567	10.368	11
12	1.127	0.8874	0.07885	0.08885	12.683	11.255	12
13	1.138	0.8787	0.07241	0.08241	13.809	12.131	13
14	1.149	0.8700	0.06700	0.07700	14.947	12.997	14
15	1.161	0.8613	0.06212	0.07212	16.097	13.865	15
16	1.173	0.8528	0.05791	0.06791	17.258	14.718	16
17	1.184	0.8444	0.05426	0.06426	18.430	15.562	17
18	1.196	0.8360	0.05098	0.06098	19.615	16.398	18
19	1.208	0.8277	0.04805	0.05805	20.811	17.226	19
20	1.220	0.8195	0.04542	0.05542	22.019	18.046	20
21	1.232	0.8114	0.04303	0.05303	23.239	18.857	21
22	1.245	0.8034	0.04086	0.05086	24.472	19.660	22
23	1.257	0.7951	0.03889	0.04889	25.716	20.456	23
24	1.270	0.7876	0.03707	0.04707	26.973	21.243	24
25	1.282	0.7798	0.03541	0.04541	28.243	22.023	25
26	1.295	0.7720	0.03387	0.04387	29.526	22.795	26
27	1.308	0.7644	0.03245	0.04245	30.821	23.560	27
28	1.321	0.7568	0.03112	0.04112	32.129	24.316	28
29	1.335	0.7493	0.02990	0.03990	33.450	25.066	29
30	1.348	0.7419	0.02875	0.03875	34.785	25.808	30
31	1.361	0.7346	0.02768	0.03768	36.133	26.542	31
32	1.375	0.7273	0.02667	0.03667	37.494	27.270	32
33	1.389	0.7201	0.02573	0.03573	38.869	27.990	33
34	1.403	0.7130	0.02481	0.03481	40.258	28.703	34
35	1.417	0.7059	0.02400	0.03400	41.660	29.409	35
40	1.489	0.6717	0.02046	0.03016	48.886	32.835	40
45	1.565	0.6391	0.01771	0.02771	56.481	36.095	45
50	1.645	0.6080	0.01551	0.02551	64.463	39.196	50
55	1.729	0.5785	0.01373	0.02373	72.852	42.147	55
60	1.817	0.5501	0.01224	0.02224	81.670	44.955	60
65	1.909	0.5237	0.01109	0.02109	90.937	47.627	65
70	2.007	0.4983	0.00993	0.01993	100.676	50.164	70
75	2.109	0.4741	0.00902	0.01902	110.913	52.587	75
80	2.217	0.4511	0.00822	0.01822	121.672	54.888	80
85	2.330	0.4292	0.00752	0.01752	132.979	57.078	85
90	2.449	0.4081	0.00690	0.01690	144.863	59.161	90
95	2.574	0.3886	0.00636	0.01636	157.351	61.143	95
100	2.705	0.3697	0.00587	0.01587	170.481	63.029	100

TABLE E-5
2% COMPOUND INTEREST FACTORS

n	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				n
	Compound Amount Factor	Pre-cent Worth Factor pwf	Sinking Fund Factor sff	Capital Recovery Factor crf	Compound Amount Factor	Present Worth Factor pwf	
	Given P To find S $(1+i)^n$	Given S To find P $\frac{1}{(1+i)^n}$	Given S To find R $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	Given P To find R $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	Given R To find S $\frac{(1+i)^n - 1}{i}$	Given R To find P $\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i}$	
1	1.020	0.9804	1.00000	1.02000	1.000	0.980	1
2	1.040	0.9612	0.19505	0.51505	2.020	1.912	2
3	1.061	0.9123	0.32575	0.34675	3.060	2.854	3
4	1.082	0.8635	0.24262	0.26262	4.122	3.805	4
5	1.104	0.8057	0.19216	0.21216	5.204	4.713	5
6	1.126	0.7880	0.15853	0.17853	6.308	5.601	6
7	1.149	0.7703	0.13151	0.15151	7.431	6.472	7
8	1.172	0.7525	0.11651	0.13651	8.583	7.325	8
9	1.195	0.7348	0.10252	0.12252	9.755	8.162	9
10	1.219	0.7263	0.09133	0.11133	10.950	8.983	10
11	1.243	0.7073	0.08218	0.10218	12.160	9.787	11
12	1.268	0.7885	0.07455	0.09455	13.412	10.575	12
13	1.294	0.7730	0.06812	0.08812	14.689	11.345	13
14	1.319	0.7579	0.06260	0.08260	15.974	12.106	14
15	1.346	0.7430	0.05783	0.07783	17.293	12.849	15
16	1.373	0.7284	0.05365	0.07365	18.630	13.575	16
17	1.400	0.7142	0.04997	0.69997	20.012	14.292	17
18	1.428	0.7002	0.04677	0.67777	21.412	15.012	18
19	1.457	0.6864	0.04378	0.65378	22.841	15.735	19
20	1.486	0.6730	0.04116	0.62916	24.297	16.451	20
21	1.516	0.6598	0.03878	0.60578	25.783	17.161	21
22	1.546	0.6468	0.03663	0.58263	27.299	17.865	22
23	1.577	0.6342	0.03467	0.55967	28.845	18.562	23
24	1.608	0.6217	0.03287	0.53687	30.422	19.254	24
25	1.641	0.6095	0.03122	0.51422	32.030	19.941	25
26	1.673	0.5976	0.02970	0.49170	33.671	20.621	26
27	1.707	0.5859	0.02829	0.46929	35.344	21.297	27
28	1.741	0.5744	0.02699	0.44699	37.051	21.968	28
29	1.776	0.5631	0.02578	0.42478	38.792	22.635	29
30	1.811	0.5521	0.02465	0.41165	40.568	23.296	30
31	1.848	0.5412	0.02360	0.41360	42.379	23.958	31
32	1.885	0.5306	0.02261	0.41261	44.227	24.612	32
33	1.922	0.5202	0.02169	0.41169	46.112	25.259	33
34	1.961	0.5100	0.02082	0.41082	48.034	25.900	34
35	2.000	0.5000	0.02000	0.41000	49.994	26.535	35
40	2.208	0.4529	0.01656	0.03656	60.402	27.555	40
45	2.438	0.4102	0.01391	0.03391	71.893	29.490	45
50	2.692	0.3715	0.01182	0.03182	84.579	31.424	50
55	2.972	0.3365	0.01014	0.03014	98.587	33.357	55
60	3.281	0.3048	0.00877	0.02877	114.052	35.291	60
65	3.623	0.2761	0.00763	0.02763	131.126	37.225	65
70	4.000	0.2500	0.00667	0.02667	149.978	39.159	70
75	4.416	0.2265	0.00586	0.02586	170.792	41.093	75
80	4.875	0.2051	0.00516	0.02516	193.772	43.027	80
85	5.383	0.1858	0.00456	0.02456	219.144	44.961	85
90	5.943	0.1683	0.00405	0.02405	247.157	46.895	90
95	6.562	0.1524	0.00360	0.02360	278.085	48.829	95
100	7.245	0.1380	0.00320	0.02320	312.232	50.763	100

APPENDIX E

TABLE E-7

3% COMPOUND INTEREST FACTORS

n	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				n
	Compound Amount Factor cal ^a	Present Worth Factor pwl ^b	Sinking Fund Factor sff	Capital Recovery Factor crf	Compound Amount Factor cal ^c	Present Worth Factor pwl ^d	
	Given P To find S (1+i) ⁿ	Given S To find P $\frac{1}{(1+i)^n}$	Given S To find R $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	Given P To find R $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	Given R To find S $\frac{1}{i(1+i)^n - 1}$	Given R To find P $\frac{1}{i(1+i)^n - 1}$	
1	1.030	0.9709	1.00000	1.00000	1.000	0.971	1
2	1.061	0.9126	0.92261	0.92261	2.030	1.913	2
3	1.093	0.8151	0.82253	0.82253	3.091	2.829	3
4	1.126	0.7285	0.72973	0.72973	4.184	3.717	4
5	1.159	0.6626	0.65335	0.65335	5.309	4.550	5
6	1.194	0.5975	0.5460	0.5460	6.468	5.417	6
7	1.230	0.5331	0.4951	0.4951	7.662	6.230	7
8	1.267	0.4824	0.4426	0.4426	8.892	7.020	8
9	1.305	0.4361	0.3983	0.3983	10.159	7.786	9
10	1.344	0.3941	0.05723	0.11723	11.461	8.530	10
11	1.384	0.7224	0.07808	0.10808	12.808	9.253	11
12	1.426	0.7014	0.07016	0.10016	14.192	9.951	12
13	1.469	0.6810	0.06403	0.09403	15.618	10.635	13
14	1.513	0.6611	0.05853	0.08853	17.086	11.296	14
15	1.558	0.6419	0.05377	0.08377	18.599	11.938	15
16	1.605	0.6232	0.04961	0.07961	20.157	12.561	16
17	1.653	0.6050	0.04595	0.07595	21.762	13.166	17
18	1.702	0.5874	0.04271	0.07271	23.414	13.751	18
19	1.754	0.5703	0.03981	0.06981	25.117	14.321	19
20	1.806	0.5537	0.03722	0.06722	26.870	14.877	20
21	1.860	0.5375	0.03487	0.06487	28.676	15.415	21
22	1.916	0.5212	0.03275	0.06275	30.537	15.937	22
23	1.974	0.5057	0.03081	0.06081	32.453	16.441	23
24	2.033	0.4910	0.02905	0.05905	34.426	16.936	24
25	2.094	0.4776	0.02743	0.05743	36.459	17.413	25
26	2.157	0.4637	0.02594	0.05594	38.553	17.877	26
27	2.221	0.4502	0.02456	0.05456	40.710	18.327	27
28	2.288	0.4371	0.02329	0.05329	42.931	18.764	28
29	2.357	0.4243	0.02211	0.05211	45.219	19.188	29
30	2.427	0.4120	0.02102	0.05102	47.575	19.600	30
31	2.500	0.4000	0.02000	0.05000	50.003	20.000	31
32	2.575	0.3883	0.01905	0.04905	52.503	20.389	32
33	2.652	0.3770	0.01816	0.04816	55.078	20.766	33
34	2.732	0.3659	0.01732	0.04732	57.730	21.132	34
35	2.814	0.3554	0.01654	0.04654	60.462	21.487	35
40	3.262	0.3066	0.01226	0.04226	75.491	23.115	40
45	3.782	0.2611	0.01079	0.04079	92.729	24.519	45
50	4.381	0.2251	0.00887	0.03887	112.797	25.730	50
55	5.052	0.1968	0.00735	0.03735	136.072	26.774	55
60	5.822	0.1697	0.00613	0.03613	163.053	27.676	60
65	6.650	0.1461	0.00515	0.03515	191.333	28.453	65
70	7.915	0.1263	0.00434	0.03434	230.591	29.123	70
75	9.179	0.1089	0.00367	0.03367	272.631	29.702	75
80	10.611	0.0910	0.00311	0.03311	321.363	30.201	80
85	12.336	0.0811	0.00265	0.03265	377.557	30.671	85
90	14.369	0.0720	0.00226	0.03226	443.219	31.092	90
95	16.733	0.0633	0.00193	0.03193	519.272	31.323	95
100	19.213	0.0550	0.00165	0.03165	607.253	31.589	100

TABLE E-9
4% COMPOUND INTEREST FACTORS

n	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				n
	Compound Amount Factor cal'	Present Worth Factor pwf'	Sinking Fund Factor sff	Capital Recovery Factor crf	Compound Amount Factor cal	Present Worth Factor pwf	
	Given P To find S (1+i) ⁿ	Given S To find P $\frac{1}{(1+i)^n}$	Given S To find R $\frac{1}{(1+i)^n - 1}$	Given P To find R $i(1+i)^n$	Given R To find S $(1+i)^n - 1$	Given R To find P $\frac{1}{i(1+i)^n}$	
1	1.040	0.9615	1.00000	1.04000	1.000	0.962	1
2	1.082	0.9246	0.49020	0.53029	2.010	1.586	2
3	1.125	0.8890	0.32035	0.36035	3.122	2.775	3
4	1.170	0.8548	0.23519	0.27519	4.246	3.670	4
5	1.217	0.8219	0.18463	0.22463	5.416	4.452	5
6	1.265	0.7903	0.15076	0.19076	6.633	5.212	6
7	1.316	0.7599	0.12691	0.16691	7.895	6.002	7
8	1.369	0.7307	0.10853	0.14853	9.211	6.733	8
9	1.423	0.7026	0.09419	0.13419	10.583	7.435	9
10	1.480	0.6755	0.08320	0.12320	12.006	8.111	10
11	1.539	0.6496	0.07415	0.11415	13.486	8.769	11
12	1.601	0.6246	0.06655	0.10655	15.026	9.385	12
13	1.665	0.6009	0.06014	0.10014	16.627	9.956	13
14	1.732	0.5775	0.05467	0.09467	18.292	10.503	14
15	1.801	0.5553	0.04994	0.08994	20.024	11.118	15
16	1.873	0.5339	0.04582	0.08582	21.825	11.652	16
17	1.945	0.5134	0.04220	0.08220	23.698	12.165	17
18	2.020	0.4935	0.03899	0.07899	25.645	12.659	18
19	2.100	0.4743	0.03614	0.07614	27.671	13.131	19
20	2.191	0.4564	0.03353	0.07353	29.778	13.580	20
21	2.279	0.4388	0.03128	0.07128	31.969	14.029	21
22	2.370	0.4220	0.02920	0.06920	34.248	14.451	22
23	2.465	0.4057	0.02731	0.06731	36.615	14.857	23
24	2.563	0.3901	0.02559	0.06559	39.055	15.247	24
25	2.666	0.3751	0.02401	0.06401	41.616	15.622	25
26	2.772	0.3607	0.02257	0.06257	44.312	15.983	26
27	2.883	0.3468	0.02124	0.06124	47.054	16.330	27
28	2.999	0.3335	0.02001	0.06001	49.945	16.663	28
29	3.119	0.3207	0.01885	0.05885	52.965	16.984	29
30	3.243	0.3083	0.01783	0.05783	56.085	17.292	30
31	3.373	0.2965	0.01685	0.05685	59.328	17.588	31
32	3.505	0.2851	0.01595	0.05595	62.701	17.874	32
33	3.645	0.2741	0.01510	0.05510	66.219	18.148	33
34	3.791	0.2635	0.01431	0.05431	69.885	18.411	34
35	3.945	0.2534	0.01358	0.05358	73.692	18.665	35
40	4.501	0.2083	0.01052	0.05052	95.026	19.703	40
45	5.811	0.1712	0.00826	0.04826	121.029	20.720	45
50	7.107	0.1407	0.00655	0.04655	152.667	21.452	50
55	8.646	0.1157	0.00523	0.04523	191.159	22.109	55
60	10.520	0.0951	0.00420	0.04420	237.931	22.623	60
65	12.799	0.0781	0.00339	0.04339	294.968	23.047	65
70	15.572	0.0642	0.00275	0.04275	364.290	23.395	70
75	18.945	0.0528	0.00223	0.04223	448.601	23.680	75
80	23.050	0.0434	0.00181	0.04181	551.245	23.915	80
85	28.014	0.0357	0.00145	0.04145	676.000	24.109	85
90	34.117	0.0296	0.00112	0.04112	827.953	24.267	90
95	41.511	0.0241	0.00089	0.04089	1012.455	24.395	95
100	50.505	0.0195	0.00071	0.04071	1237.621	24.505	100

TABLE E-11
5% COMPOUND INTEREST FACTORS

n	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				n
	Compound Amount Factor cal	Present Worth Factor pwf	Sinking Fund Factor sff	Capital Recovery Factor crf	Compound Amount Factor cal	Present Worth Factor pwf	
	Given P To find S $(1+i)^n$	Given S To find P $\frac{1}{(1+i)^n}$	Given S To find R $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	Given P To find R $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	Given R To find S $\frac{(1+i)^n - 1}{i}$	Given R To find P $\frac{1}{i(1+i)^n}$	
1	1.050	0.9524	1.00000	1.05000	1.000	0.952	1
2	1.103	0.9070	0.48780	0.53750	2.050	1.859	2
3	1.158	0.8638	0.31721	0.36721	3.153	2.723	3
4	1.216	0.8227	0.23201	0.28201	4.310	3.545	4
5	1.276	0.7835	0.18097	0.23037	5.526	4.329	5
6	1.340	0.7462	0.14702	0.19702	6.802	5.076	6
7	1.407	0.7107	0.12282	0.17282	8.112	5.786	7
8	1.477	0.6768	0.10472	0.15472	9.549	6.463	8
9	1.551	0.6445	0.09069	0.14069	11.027	7.103	9
10	1.629	0.6139	0.07950	0.12950	12.578	7.722	10
11	1.710	0.5847	0.07039	0.12039	14.207	8.306	11
12	1.795	0.5568	0.06283	0.11283	15.917	8.853	12
13	1.886	0.5303	0.05645	0.10645	17.713	9.371	13
14	1.980	0.5051	0.05102	0.10102	19.593	9.869	14
15	2.079	0.4810	0.04631	0.09631	21.579	10.350	15
16	2.183	0.4581	0.04227	0.09227	23.667	10.815	16
17	2.292	0.4363	0.03870	0.08870	25.849	11.274	17
18	2.407	0.4155	0.03555	0.08555	28.132	11.729	18
19	2.527	0.3957	0.03275	0.08275	30.519	12.181	19
20	2.653	0.3769	0.03024	0.08024	33.006	12.632	20
21	2.785	0.3589	0.02800	0.07800	35.599	13.081	21
22	2.925	0.3418	0.02597	0.07597	38.295	13.529	22
23	3.072	0.3256	0.02411	0.07411	41.090	13.976	23
24	3.225	0.3101	0.02247	0.07247	44.002	14.422	24
25	3.386	0.2953	0.02095	0.07095	47.027	14.867	25
26	3.553	0.2812	0.01956	0.06956	50.171	15.312	26
27	3.733	0.2678	0.01829	0.06829	53.439	15.757	27
28	3.920	0.2551	0.01712	0.06712	56.836	16.202	28
29	4.116	0.2429	0.01605	0.06605	60.359	16.647	29
30	4.322	0.2314	0.01505	0.06505	64.004	17.092	30
31	4.538	0.2204	0.01413	0.06413	67.776	17.537	31
32	4.765	0.2100	0.01328	0.06328	71.673	17.982	32
33	5.003	0.1999	0.01249	0.06249	75.693	18.427	33
34	5.253	0.1904	0.01175	0.06175	79.842	18.872	34
35	5.516	0.1813	0.01107	0.06107	84.119	19.317	35
40	7.040	0.1420	0.00828	0.05828	120.800	17.150	40
45	8.955	0.1113	0.00626	0.05626	159.700	17.774	45
50	11.467	0.0872	0.00478	0.05478	209.348	18.256	50
55	14.636	0.0683	0.00367	0.05367	272.713	18.632	55
60	18.679	0.0535	0.00283	0.05283	353.584	18.929	60
65	23.840	0.0419	0.00219	0.05219	459.798	19.161	65
70	30.426	0.0329	0.00170	0.05170	598.529	19.343	70
75	38.533	0.0255	0.00132	0.05132	776.651	19.485	75
80	49.561	0.0192	0.00103	0.05103	991.229	19.596	80
85	63.251	0.0145	0.00080	0.05080	1245.087	19.684	85
90	80.799	0.0112	0.00063	0.05063	1591.697	19.752	90
95	103.035	0.0087	0.00049	0.05049	2090.691	19.806	95
100	131.801	0.0066	0.00038	0.05038	2610.025	19.848	100

TABLE E-13
6% COMPOUND INTEREST FACTORS

n	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				n
	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	Sinking Fund Factor	Capital Recovery Factor	Compound Amount Factor	Present Worth Factor	
	Given P To find S $(1+i)^n$	Given S To find P $\frac{1}{(1+i)^n}$	Given S To find R $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	Given P To find R $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	Given R To find S $\frac{(1+i)^n - 1}{i}$	Given R To find P $\frac{1}{i(1+i)^n} - 1$	
1	1.000	0.9434	1.00000	1.00000	1.000	0.943	1
2	1.124	0.8900	0.48544	0.51511	2.060	1.843	2
3	1.191	0.8393	0.31411	0.37411	3.151	2.673	3
4	1.252	0.7921	0.22859	0.25859	4.375	3.465	4
5	1.308	0.7473	0.17740	0.23710	5.637	4.212	5
6	1.419	0.7050	0.14336	0.20336	6.975	4.917	6
7	1.501	0.6651	0.11314	0.17314	8.394	5.582	7
8	1.591	0.6271	0.10101	0.16101	9.837	6.210	8
9	1.689	0.5919	0.09570	0.14702	11.491	6.802	9
10	1.791	0.5584	0.07587	0.13587	13.181	7.360	10
11	1.898	0.5268	0.06070	0.12670	14.972	7.887	11
12	2.012	0.4970	0.05028	0.11928	16.870	8.384	12
13	2.133	0.4688	0.04286	0.11296	18.882	8.853	13
14	2.261	0.4423	0.04758	0.10758	21.015	9.295	14
15	2.397	0.4173	0.04296	0.10296	23.276	9.712	15
16	2.540	0.3936	0.03895	0.09895	25.673	10.105	16
17	2.693	0.3714	0.03544	0.09544	28.213	10.477	17
18	2.851	0.3503	0.03256	0.09256	30.906	10.828	18
19	3.022	0.3303	0.03012	0.08962	33.760	11.158	19
20	3.207	0.3118	0.02718	0.08718	36.786	11.470	20
21	3.400	0.2942	0.02520	0.08520	39.993	11.764	21
22	3.601	0.2775	0.02305	0.08305	43.392	12.042	22
23	3.820	0.2618	0.02128	0.08128	46.996	12.303	23
24	4.049	0.2470	0.01968	0.07968	50.816	12.550	24
25	4.292	0.2330	0.01823	0.07823	54.865	12.783	25
26	4.549	0.2198	0.01690	0.07690	59.156	13.003	26
27	4.822	0.2074	0.01570	0.07570	63.706	13.211	27
28	5.112	0.1956	0.01459	0.07459	68.528	13.405	28
29	5.418	0.1846	0.01358	0.07358	73.610	13.591	29
30	5.743	0.1741	0.01263	0.07263	79.058	13.765	30
31	6.088	0.1643	0.01179	0.07179	84.892	13.929	31
32	6.453	0.1559	0.01103	0.07103	90.960	14.084	32
33	6.841	0.1482	0.01027	0.07027	97.313	14.230	33
34	7.251	0.1379	0.00960	0.06960	104.184	14.368	34
35	7.686	0.1301	0.00897	0.06897	111.435	14.498	35
40	10.286	0.0972	0.00646	0.06646	154.762	15.016	40
45	13.765	0.0727	0.00470	0.06470	212.744	15.456	45
50	18.420	0.0543	0.00344	0.06344	290.336	15.762	50
55	24.650	0.0406	0.00251	0.06251	391.172	15.991	55
60	32.985	0.0303	0.00188	0.06188	533.128	16.161	60
65	44.145	0.0227	0.00139	0.06139	719.683	16.289	65
70	59.076	0.0169	0.00103	0.06103	967.932	16.385	70
75	79.057	0.0126	0.00077	0.06077	1300.949	16.456	75
80	105.796	0.0095	0.00057	0.06057	1746.600	16.509	80
85	141.579	0.0071	0.00043	0.06043	2342.982	16.549	85
90	189.465	0.0053	0.00032	0.06032	3141.675	16.579	90
95	253.546	0.0039	0.00024	0.06024	4209.101	16.601	95
100	339.302	0.0029	0.00018	0.06018	5638.368	16.618	100

INTEREST TABLES

TABLE E-11
7% COMPOUND INTEREST FACTORS

n	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				n
	Compound Amount Factor caf	Present Worth Factor pwf	Sinking Fund Factor sff	Capital Recovery Factor crf	Compound Amount Factor caf	Present Worth Factor pwf	
	Given P To find S $(1+i)^n$	Given S To find P $\frac{1}{(1+i)^n}$	Given S To find R i	Given P To find R $i(1+i)^n$	Given R To find S $(1+i)^n - 1$	Given R To find P $\frac{1}{i(1+i)^n}$	
1	1.070	0.9346	1.00000	1.07000	1.000	0.935	1
2	1.145	0.8731	0.45000	0.55000	2.070	1.805	2
3	1.235	0.8163	0.31105	0.38105	3.215	2.624	3
4	1.311	0.7620	0.22523	0.25523	4.410	3.357	4
5	1.403	0.7130	0.17359	0.21359	5.751	4.100	5
6	1.501	0.6663	0.13050	0.20050	7.153	4.767	6
7	1.606	0.6227	0.11555	0.18555	8.654	5.359	7
8	1.718	0.5820	0.09747	0.16747	10.260	5.971	8
9	1.838	0.5430	0.08049	0.15349	11.978	6.515	9
10	1.967	0.5053	0.07238	0.14238	13.816	7.021	10
11	2.105	0.4751	0.06326	0.13326	15.784	7.499	11
12	2.252	0.4449	0.05500	0.12500	17.888	7.943	12
13	2.410	0.4150	0.04955	0.11955	20.141	8.353	13
14	2.579	0.38575	0.04454	0.11454	22.550	8.745	14
15	2.759	0.3624	0.03979	0.10979	25.120	9.105	15
16	2.932	0.3357	0.03586	0.10586	27.855	9.447	16
17	3.150	0.3100	0.03243	0.10243	30.760	9.763	17
18	3.359	0.2859	0.02941	0.09941	33.840	10.059	18
19	3.617	0.2765	0.02675	0.09675	37.099	10.336	19
20	3.870	0.2584	0.02439	0.09439	40.540	10.594	20
21	4.141	0.2415	0.02229	0.09229	44.165	10.835	21
22	4.430	0.2257	0.02041	0.09041	47.975	11.061	22
23	4.741	0.2109	0.01871	0.08871	51.970	11.272	23
24	5.072	0.1971	0.01719	0.08719	56.147	11.469	24
25	5.427	0.1842	0.01581	0.08581	60.500	11.654	25
26	5.807	0.1722	0.01456	0.08456	65.030	11.826	26
27	6.214	0.1609	0.01343	0.08343	69.740	11.987	27
28	6.649	0.1504	0.01239	0.08239	74.630	12.137	28
29	7.114	0.1406	0.01145	0.08145	79.700	12.275	29
30	7.612	0.1314	0.01059	0.08059	84.950	12.409	30
31	8.145	0.1225	0.00980	0.07980	90.380	12.532	31
32	8.715	0.1147	0.00907	0.07907	95.990	12.647	32
33	9.325	0.1072	0.00841	0.07841	101.780	12.754	33
34	9.975	0.1002	0.00780	0.07780	107.750	12.851	34
35	10.677	0.0937	0.00723	0.07723	113.900	12.945	35
40	14.974	0.0668	0.00501	0.07501	169.635	13.332	40
45	21.032	0.0476	0.00350	0.07350	235.740	13.606	45
50	29.457	0.0339	0.00246	0.07246	320.520	13.801	50
55	41.315	0.0242	0.00174	0.07174	435.920	13.940	55
60	57.946	0.0173	0.00123	0.07123	585.520	14.039	60
65	81.273	0.0123	0.00087	0.07087	795.755	14.110	65
70	113.950	0.0088	0.00062	0.07062	1084.134	14.159	70
75	159.876	0.0063	0.00044	0.07044	1470.657	14.196	75
80	224.234	0.0045	0.00031	0.07031	1980.633	14.222	80
85	311.520	0.0032	0.00022	0.07022	2650.576	14.240	85
90	411.103	0.0023	0.00016	0.07016	3530.135	14.253	90
95	548.670	0.0016	0.00011	0.07011	4700.554	14.263	95
100	737.716	0.0012	0.00008	0.07008	6251.662	14.269	100

TABLE E-15

8% COMPOUND INTEREST FACTORS

n	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				n
	Compound Amount Factor $(1+i)^n$	Present Worth Factor $\frac{1}{(1+i)^n}$	Sinking Fund Factor $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	Capital Recovery Factor $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	Compound Amount Factor $(1+i)^n - 1$	Present Worth Factor $\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i}$	
	Given P To find S	Given S To find P	Given S To find R	Given P To find R	Given R To find S	Given R To find P	
1	1.080	0.926	1.00000	1.08000	1.000	0.926	1
2	1.166	0.857	0.48077	0.59977	2.059	1.753	2
3	1.260	0.793	0.30593	0.35893	3.246	2.577	3
4	1.360	0.735	0.22192	0.26192	4.599	3.312	4
5	1.469	0.680	0.17016	0.20016	6.067	3.993	5
6	1.587	0.630	0.13432	0.21032	7.666	4.623	6
7	1.714	0.583	0.11207	0.19297	8.923	5.205	7
8	1.851	0.539	0.09791	0.17491	10.637	5.747	8
9	1.999	0.500	0.08693	0.16693	12.453	6.247	9
10	2.159	0.463	0.07903	0.14903	14.357	6.710	10
11	2.332	0.429	0.07268	0.14068	16.415	7.139	11
12	2.518	0.397	0.06720	0.13270	18.977	7.536	12
13	2.720	0.367	0.06252	0.12552	21.435	7.901	13
14	2.937	0.340	0.05850	0.12130	24.215	8.241	14
15	3.172	0.315	0.05503	0.11653	27.132	8.559	15
16	3.426	0.291	0.05203	0.11293	30.324	8.851	16
17	3.700	0.270	0.04953	0.10993	33.759	9.122	17
18	3.996	0.250	0.04720	0.10690	37.459	9.372	18
19	4.316	0.231	0.04493	0.10413	41.426	9.691	19
20	4.661	0.214	0.04255	0.10155	45.762	9.988	20
21	5.034	0.198	0.04003	0.09903	50.423	10.017	21
22	5.437	0.183	0.03793	0.09693	55.437	10.291	22
23	5.871	0.170	0.03612	0.09512	60.893	10.371	23
24	6.311	0.157	0.03453	0.09353	66.765	10.529	24
25	6.818	0.146	0.03303	0.09203	73.106	10.675	25
26	7.396	0.135	0.03151	0.09051	79.951	10.810	26
27	7.985	0.125	0.03014	0.08914	87.351	10.925	27
28	8.627	0.115	0.02893	0.08793	95.339	11.021	28
29	9.317	0.107	0.02782	0.08682	103.969	11.103	29
30	10.063	0.100	0.02683	0.08583	113.283	11.175	30
31	10.868	0.092	0.02591	0.08491	123.346	11.239	31
32	11.737	0.085	0.02507	0.08407	134.214	11.295	32
33	12.676	0.078	0.02430	0.08330	145.931	11.344	33
34	13.690	0.072	0.02359	0.08259	158.527	11.387	34
35	14.785	0.067	0.02293	0.08193	172.317	11.425	35
40	21.725	0.046	0.01833	0.07633	250.057	11.925	40
45	31.920	0.031	0.01259	0.05279	355.525	12.198	45
50	46.902	0.021	0.00917	0.03817	573.770	12.233	50
55	68.914	0.014	0.00618	0.02618	845.923	12.319	55
60	101.257	0.009	0.00430	0.01730	1253.213	12.377	60
65	145.750	0.006	0.00301	0.01231	1847.248	12.416	65
70	215.699	0.004	0.00217	0.00877	2729.050	12.443	70
75	321.205	0.003	0.00155	0.00625	4092.557	12.461	75
80	471.955	0.002	0.00117	0.00457	5889.935	12.474	80
85	684.456	0.001	0.00082	0.00322	8555.708	12.482	85
90	1013.915	0.000	0.00058	0.00228	12722.992	12.488	90
95	1497.121	0.000	0.00042	0.00162	18791.597	12.492	95
100	2197.791	0.000	0.00031	0.00117	27451.516	12.494	100

TABLE E-16
10% COMPOUND INTEREST FACTORS

n	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				n
	Compound Amount Factor cal'	Present Worth Factor pwf'	Sinking Fund Factor sff	Capital Recovery Factor crf	Compound Amount Factor cal	Present Worth Factor pwf	
	Given P To find S $(1+i)^n$	Given S To find P $\frac{1}{(1+i)^n}$	Given S To find R $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	Given P To find R $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	Given R To find S $\frac{(1+i)^n - 1}{i}$	Given R To find P $\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i}$	
1	1.100	0.9091	1.00000	1.10000	1.000	0.909	1
2	1.210	0.8264	0.47619	0.57619	2.100	1.736	2
3	1.331	0.7513	0.30211	0.46211	3.310	2.487	3
4	1.464	0.6830	0.21547	0.31547	4.641	3.170	4
5	1.611	0.6209	0.16350	0.26350	6.105	3.791	5
6	1.772	0.5645	0.12961	0.22961	7.716	4.355	6
7	1.949	0.5132	0.10541	0.20541	9.487	4.868	7
8	2.144	0.4655	0.08744	0.18744	11.430	5.335	8
9	2.358	0.4241	0.07364	0.17364	13.579	5.759	9
10	2.594	0.3855	0.06275	0.16275	15.937	6.141	10
11	2.853	0.3505	0.05396	0.15396	18.531	6.495	11
12	3.135	0.3186	0.04676	0.14676	21.384	6.834	12
13	3.452	0.2897	0.04095	0.14095	24.523	7.103	13
14	3.797	0.2633	0.03625	0.13625	27.975	7.367	14
15	4.177	0.2394	0.03147	0.13147	31.772	7.605	15
16	4.595	0.2176	0.02752	0.12752	35.950	7.824	16
17	5.054	0.1978	0.02405	0.12405	40.545	8.022	17
18	5.559	0.1799	0.02143	0.12143	45.597	8.201	18
19	6.116	0.1635	0.01935	0.11935	51.139	8.365	19
20	6.727	0.1486	0.01746	0.11746	57.275	8.514	20
21	7.400	0.1351	0.01562	0.11562	64.022	8.649	21
22	8.140	0.1228	0.01391	0.11391	71.403	8.772	22
23	8.954	0.1117	0.01237	0.11237	79.443	8.883	23
24	9.850	0.1015	0.01130	0.11130	88.177	8.985	24
25	10.835	0.0923	0.01017	0.11017	97.647	9.077	25
26	11.918	0.0830	0.00916	0.10916	107.882	9.161	26
27	13.110	0.0763	0.00826	0.10826	118.900	9.237	27
28	14.421	0.0703	0.00745	0.10745	130.740	9.307	28
29	15.863	0.0649	0.00673	0.10673	143.431	9.370	29
30	17.449	0.0597	0.00608	0.10608	156.994	9.427	30
31	19.191	0.0549	0.00550	0.10550	171.463	9.479	31
32	21.114	0.0497	0.00497	0.10497	186.863	9.525	32
33	23.225	0.0443	0.00449	0.10449	203.210	9.567	33
34	25.548	0.0389	0.00407	0.10407	220.547	9.605	34
35	28.102	0.0336	0.00369	0.10369	238.904	9.644	35
40	45.259	0.0221	0.00226	0.10226	442.593	9.779	40
45	72.599	0.0137	0.00139	0.10139	718.975	9.863	45
50	117.391	0.0085	0.00086	0.10086	1163.905	9.915	50
55	189.059	0.0053	0.00053	0.10053	1880.591	9.947	55
60	304.482	0.0033	0.00033	0.10033	3031.810	9.967	60
65	490.371	0.0020	0.00020	0.10020	4893.707	9.980	65
70	789.747	0.0013	0.00013	0.10013	7887.479	9.987	70
75	1271.595	0.0008	0.00008	0.10008	12768.954	9.992	75
80	2048.420	0.0005	0.00005	0.10005	20471.002	9.995	80
85	3294.969	0.0003	0.00003	0.10003	32970.600	9.997	85
90	5313.023	0.0002	0.00002	0.10002	53129.226	9.998	90
95	8276.676	0.0001	0.00001	0.10001	82759.712	9.999	95
100	13750.612	0.0001	0.00001	0.10001	13750.612	9.999	100

TABLE E-17
12% COMPOUND INTEREST FACTORS

n	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				n
	Compound Amount Factor cal	Present Worth Factor pwl	Sinking Fund Factor sff	Capital Recovery Factor crf	Compound Amount Factor cal	Present Worth Factor pwl	
	Given P To find S $(1+i)^n$	Given S To find P $\frac{1}{(1+i)^n}$	Given S To find R $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	Given P To find R $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	Given R To find S $\frac{1}{i(1+i)^n - 1}$	Given R To find P $\frac{1}{i(1+i)^n - 1}$	
1	1.120	0.8929	1.00000	1.12000	1.079	0.933	1
2	1.251	0.7972	0.47170	0.59170	2.120	1.690	2
3	1.405	0.7118	0.29635	0.41635	3.374	2.492	3
4	1.574	0.6355	0.20223	0.32223	4.779	3.037	4
5	1.762	0.5674	0.15741	0.27711	6.353	3.605	5
6	1.974	0.5055	0.12323	0.24323	8.115	4.111	6
7	2.211	0.4523	0.09912	0.21912	10.050	4.561	7
8	2.476	0.4069	0.08139	0.20139	12.290	4.958	8
9	2.773	0.3666	0.07068	0.18768	14.776	5.328	9
10	3.106	0.3220	0.06595	0.17695	17.549	5.650	10
11	3.479	0.2875	0.06182	0.16842	20.655	5.938	11
12	3.896	0.2567	0.05811	0.16141	24.133	6.191	12
13	4.363	0.2292	0.05488	0.15568	28.029	6.424	13
14	4.887	0.2046	0.05207	0.15087	32.303	6.638	14
15	5.474	0.1827	0.04962	0.14682	37.020	6.831	15
16	6.130	0.1631	0.04739	0.14339	42.153	6.974	16
17	6.866	0.1456	0.04536	0.14036	47.754	7.120	17
18	7.690	0.1300	0.04349	0.13794	53.780	7.259	18
19	8.613	0.1161	0.04176	0.13576	60.280	7.385	19
20	9.646	0.1037	0.04015	0.13388	67.302	7.499	20
21	10.804	0.0926	0.03864	0.13224	74.899	7.592	21
22	12.100	0.0826	0.03723	0.13081	83.120	7.665	22
23	13.552	0.0738	0.03590	0.12956	91.993	7.718	23
24	15.179	0.0659	0.03466	0.12846	101.555	7.754	24
25	17.000	0.0588	0.03350	0.12750	111.931	7.783	25
26	19.040	0.0525	0.03241	0.12665	124.163	7.806	26
27	21.325	0.0469	0.03138	0.12590	138.294	7.823	27
28	23.884	0.0419	0.03040	0.12524	154.369	7.834	28
29	26.759	0.374	0.02946	0.12466	172.432	8.022	29
30	29.960	0.0334	0.02856	0.12414	192.620	8.055	30
31	33.555	0.0298	0.02770	0.12369	215.072	8.085	31
32	37.582	0.0266	0.02688	0.12328	240.847	8.112	32
33	42.091	0.0238	0.02610	0.12292	270.000	8.135	33
34	47.142	0.0212	0.02536	0.12260	302.670	8.157	34
35	52.799	0.0189	0.02466	0.12232	340.000	8.176	35
40	93.051	0.0107	0.02130	0.12130	767.088	8.244	40
45	163.957	0.0061	0.02074	0.12074	1358.224	8.283	45
50	259.001	0.0035	0.02012	0.12012	2400.008	8.305	50
∞				0.12000		8.333	∞

TABLE E-18
15% COMPOUND INTEREST FACTORS

n	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				n
	Compound Amount Factor cal'	Present Worth Factor pwf'	Sinking Fund Factor sff	Capital Recovery Factor crf	Compound Amount Factor cal	Present Worth Factor pwf	
	Given P To find S $(1+i)^n$	Given S To find P $\frac{1}{(1+i)^n}$	Given S To find R $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	Given P To find R $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	Given R To find S $(1+i)^n - 1$	Given R To find P $\frac{1}{i(1+i)^n - 1}$	
1	1.150	0.8696	1.00000	1.15000	1.000	0.870	1
2	1.322	0.7561	0.46312	0.61512	2.150	1.626	2
3	1.521	0.6575	0.28795	0.43795	3.472	2.283	3
4	1.749	0.5715	0.20026	0.35027	4.993	2.855	4
5	2.011	0.4972	0.14532	0.29532	6.742	3.352	5
6	2.313	0.4323	0.11424	0.26124	8.754	3.781	6
7	2.660	0.3757	0.09035	0.24036	11.067	4.150	7
8	3.059	0.3259	0.07285	0.22285	13.727	4.457	8
9	3.518	0.2813	0.06057	0.20957	16.786	4.772	9
10	4.046	0.2412	0.05125	0.19925	20.301	5.019	10
11	4.652	0.2119	0.04407	0.19107	24.340	5.231	11
12	5.350	0.1869	0.03845	0.18445	29.002	5.421	12
13	6.153	0.1625	0.03391	0.17911	34.352	5.584	13
14	7.076	0.1413	0.03029	0.17469	40.505	5.724	14
15	8.137	0.1229	0.02710	0.17102	47.550	5.847	15
16	9.358	0.1069	0.02435	0.16795	55.717	5.951	16
17	10.761	0.0929	0.02203	0.16537	65.075	6.047	17
18	12.375	0.0808	0.02001	0.16319	75.836	6.125	18
19	14.232	0.0703	0.01815	0.16134	88.212	6.195	19
20	16.367	0.0611	0.01657	0.15976	102.443	6.259	20
21	18.821	0.0531	0.01524	0.15842	118.810	6.312	21
22	21.645	0.0462	0.01412	0.15727	137.631	6.359	22
23	24.891	0.0402	0.01318	0.15625	159.276	6.399	23
24	28.625	0.0350	0.01243	0.15533	184.167	6.434	24
25	32.919	0.0304	0.01170	0.15470	212.793	6.464	25
26	37.857	0.0264	0.01107	0.15427	245.711	6.491	26
27	43.535	0.0230	0.01053	0.15393	283.568	6.514	27
28	50.065	0.0200	0.01006	0.15366	327.103	6.534	28
29	57.575	0.0174	0.00965	0.15345	377.169	6.551	29
30	66.212	0.0151	0.00928	0.15330	434.744	6.566	30
31	76.143	0.0131	0.00894	0.15320	500.936	6.579	31
32	87.595	0.0114	0.00863	0.15313	577.000	6.591	32
33	100.700	0.0099	0.00835	0.15309	664.664	6.600	33
34	115.805	0.0086	0.00811	0.15301	765.364	6.609	34
35	133.175	0.0075	0.00789	0.15299	881.169	6.617	35
40	267.862	0.0057	0.00606	0.15295	1779.1	6.642	40
45	535.767	0.0049	0.00525	0.15295	3585.1	6.654	45
50	1083.652	0.0043	0.00464	0.15294	7217.7	6.661	50
∞				0.15000		6.667	∞

TABLE E-19
20% COMPOUND INTEREST FACTORS

n	SINGLE PAYMENT		UNIFORM SERIES				n
	Compound Amount Factor cal ^a	Present Worth Factor pwf ^b	Sinking Fund Factor sff	Capital Recovery Factor crf	Compound Amount Factor cal	Present Worth Factor pwf	
	Given P To find S $(1+i)^n$	Given S To find P $\frac{1}{(1+i)^n}$	Given S To find R $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	Given P To find R $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	Given R To find S $\frac{1}{i} \left[(1+i)^n - 1 \right]$	Given R To find P $\frac{1}{i(1+i)^n}$	
1	1.200	0.8333	1.00000	1.20000	1.000	0.833	1
2	1.410	0.6911	0.45155	0.65455	2.200	1.528	2
3	1.728	0.5787	0.27473	0.47473	3.640	2.105	3
4	2.074	0.4823	0.18629	0.38629	5.368	2.589	4
5	2.458	0.4019	0.13435	0.33435	7.442	2.991	5
6	2.956	0.3349	0.10071	0.30071	9.930	3.326	6
7	3.553	0.2791	0.07742	0.27742	12.916	3.605	7
8	4.309	0.2326	0.06061	0.26061	16.499	3.837	8
9	5.169	0.1938	0.04808	0.24808	20.799	4.011	9
10	6.192	0.1615	0.03852	0.23852	25.959	4.192	10
11	7.430	0.1346	0.03110	0.23110	32.150	4.327	11
12	8.916	0.1122	0.02526	0.22526	39.580	4.439	12
13	10.699	0.0935	0.02062	0.22062	48.497	4.533	13
14	12.839	0.0779	0.01689	0.21689	59.196	4.611	14
15	15.407	0.0649	0.01385	0.21385	72.005	4.675	15
16	18.488	0.0541	0.01141	0.21141	87.442	4.730	16
17	22.186	0.0451	0.00941	0.20941	105.931	4.775	17
18	26.623	0.0376	0.00781	0.20781	128.117	4.812	18
19	31.948	0.0313	0.00646	0.20646	154.740	4.844	19
20	38.338	0.0261	0.00536	0.20536	186.688	4.870	20
21	46.095	0.0217	0.00441	0.20441	225.025	4.891	21
22	55.296	0.0181	0.00369	0.20369	271.061	4.909	22
23	66.247	0.0151	0.00307	0.20307	326.237	4.925	23
24	79.497	0.0126	0.00255	0.20255	392.484	4.937	24
25	95.396	0.0105	0.00212	0.20212	471.981	4.948	25
26	114.475	0.0087	0.00176	0.20176	567.377	4.956	26
27	137.370	0.0073	0.00147	0.20147	681.852	4.964	27
28	164.845	0.0061	0.00122	0.20122	819.223	4.970	28
29	197.513	0.0051	0.00102	0.20102	981.067	4.975	29
30	237.376	0.0042	0.00085	0.20085	1181.881	4.979	30
31	284.851	0.0035	0.00070	0.20070	1419.257	4.982	31
32	341.522	0.0029	0.00059	0.20059	1701.108	4.985	32
33	410.156	0.0024	0.00049	0.20049	2015.939	4.988	33
34	492.223	0.0020	0.00041	0.20041	2466.116	4.990	34
35	590.668	0.0017	0.00034	0.20034	2948.339	4.992	35
40	1469.771	0.0007	0.00014	0.20014	7343.9	4.997	40
45	3657.258	0.0003	0.00005	0.20005	18281.3	4.999	45
50	9100.127	0.0001	0.00002	0.20002	45197.1	4.999	50
∞				0.20000		5.000	∞

TABLE E-20
CAPITAL RECOVERY FACTORS FOR INTEREST RATES FROM 25% TO 50%

n	25%	30%	35%	40%	45%	50%	n
1	1.25000	1.30000	1.35000	1.40000	1.45000	1.50000	1
2	0.69111	0.73178	0.77253	0.81337	0.85416	0.89490	2
3	0.51230	0.55933	0.58996	0.62936	0.66966	0.71033	3
4	0.42311	0.46163	0.50176	0.54157	0.58156	0.62208	4
5	0.37185	0.41035	0.45046	0.49106	0.53318	0.57583	5
6	0.33882	0.37539	0.41226	0.46126	0.50126	0.54182	6
7	0.31634	0.35057	0.39580	0.44192	0.48607	0.53108	7
8	0.30010	0.33192	0.37459	0.42297	0.47427	0.52030	8
9	0.28576	0.33124	0.37519	0.42031	0.46616	0.51335	9
10	0.28007	0.32346	0.36832	0.41132	0.46123	0.50882	10
11	0.27319	0.31773	0.36339	0.41013	0.45768	0.50585	11
12	0.26845	0.31315	0.35952	0.40718	0.45527	0.50388	12
13	0.26454	0.31024	0.35722	0.40510	0.45362	0.50258	13
14	0.26150	0.30782	0.35532	0.40363	0.45249	0.50172	14
15	0.25912	0.30598	0.35393	0.40259	0.45172	0.50114	15
16	0.25724	0.30478	0.35290	0.40185	0.45118	0.50076	16
17	0.25576	0.30351	0.35211	0.40132	0.45081	0.50051	17
18	0.25459	0.30299	0.35158	0.40091	0.45050	0.50031	18
19	0.25366	0.30267	0.35117	0.40067	0.45039	0.50023	19
20	0.25292	0.30159	0.35087	0.40048	0.45027	0.50015	20
21	0.25233	0.30122	0.35064	0.40034	0.45018	0.50010	21
22	0.25189	0.30091	0.35048	0.40024	0.45013	0.50007	22
23	0.25148	0.30072	0.35035	0.40017	0.45009	0.50004	23
24	0.25110	0.30055	0.35026	0.40012	0.45005	0.50003	24
25	0.25095	0.30043	0.35019	0.40009	0.45004	0.50002	25
26	0.25076	0.30033	0.35014	0.40006	0.45003	0.50001	26
27	0.25061	0.30025	0.35011	0.40005	0.45002	0.50001	27
28	0.25048	0.30019	0.35008	0.40003	0.45001	0.50001	28
29	0.25039	0.30015	0.35005	0.40002	0.45001	0.50000	29
30	0.25031	0.30011	0.35001	0.40002	0.45001	0.50000	30
31	0.25025	0.30009	0.35003	0.40001	0.45000	0.50000	31
32	0.25020	0.30007	0.35002	0.40001	0.45000	0.50000	32
33	0.25016	0.30005	0.35002	0.40001	0.45000	0.50000	33
34	0.25013	0.30004	0.35001	0.40000	0.45000	0.50000	34
35	0.25010	0.30003	0.35001	0.40000	0.45000	0.50000	35
∞	0.25000	0.30000	0.35000	0.40000	0.45000	0.50000	∞

TABLE E-21
SINGLE PAYMENT PRESENT WORTH FACTORS FOR INTEREST RATES FROM
25% TO 50%

n	25%	30%	35%	40%	45%	50%	n
1	0.8000	0.7692	0.7407	0.7143	0.6897	0.6667	1
2	0.6100	0.5917	0.5787	0.5702	0.4755	0.4411	2
3	0.5129	0.4852	0.4664	0.4514	0.3250	0.2983	3
4	0.4096	0.3701	0.3511	0.3363	0.2262	0.1975	4
5	0.3277	0.2923	0.2730	0.2589	0.1560	0.1317	5
6	0.2621	0.2372	0.2182	0.1928	0.1076	0.0878	6
7	0.2097	0.1891	0.1721	0.1499	0.0742	0.0585	7
8	0.1678	0.1496	0.1346	0.1158	0.0512	0.0390	8
9	0.1312	0.1153	0.1021	0.0851	0.0353	0.0260	9
10	0.1071	0.0925	0.0807	0.0646	0.0243	0.0173	10
11	0.0859	0.0738	0.0638	0.0527	0.0168	0.0116	11
12	0.0687	0.0589	0.0503	0.0416	0.0116	0.0077	12
13	0.0559	0.0476	0.0402	0.0326	0.0089	0.0061	13
14	0.0440	0.0371	0.0307	0.0240	0.0055	0.0034	14
15	0.0332	0.0273	0.0219	0.0164	0.0038	0.0023	15
16	0.0231	0.0180	0.0137	0.0096	0.0026	0.0015	16
17	0.0135	0.0100	0.0071	0.0043	0.0018	0.0010	17
18	0.0090	0.0065	0.0045	0.0023	0.0012	0.0007	18
19	0.0061	0.0043	0.0028	0.0017	0.0009	0.0005	19
20	0.0041	0.0028	0.0018	0.0012	0.0006	0.0003	20
21	0.0028	0.0019	0.0012	0.0008	0.0004	0.0002	21
22	0.0019	0.0013	0.0008	0.0005	0.0003	0.0001	22
23	0.0013	0.0009	0.0006	0.0004	0.0002	0.0001	23
24	0.0009	0.0006	0.0004	0.0003	0.0001	0.0001	24
25	0.0006	0.0004	0.0003	0.0002	0.0001	.....	25
26	0.0004	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	.....	26
27	0.0003	0.0002	0.0001	0.0001	.....	.....	27
28	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	.....	.....	28
29	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	.....	.....	29
30	0.0001	0.0001	0.0001	.....	.....	.....	30
31	0.0001	0.0001	0.0001	.....	.....	.....	31
32	0.0001	0.0001	0.0001	.....	.....	.....	32
33	0.0001	0.0001	0.0001	.....	.....	.....	33
34	0.0001	0.0001	.....	.....	.....	.....	34
35	0.0001	0.0001	.....	.....	.....	.....	35

TECNICAS GENERALES DE ESTIMACION DE COSTOS

ING. EDGAR FERNANDEZ GOMEZ.

I N T R O D U C C I O N

La limitación de los recursos económicos de nuestro País, frente a las exigencias planteadas por su actual desarrollo, obligan al profesionista mexicano a la aplicación correcta de las técnicas de estimaciones de costos para tratar de aprovechar con el máximo grado de eficiencia las inversiones en vías de realización. - Con el fin de hacer realidad este objetivo, es el propósito de este curso el de recopilar las técnicas de estimaciones desarrolladas por los expertos de la materia, para proporcionarlas a todos los interesados en este campo tan vasto que es la Ingeniería de Costos.

Hasta hace pocos años, se relegaba a los ingenieros únicamente a los aspectos técnicos de un proyecto, pero con el prodigioso desarrollo tecnológico de los últimos años, se ha visto la necesidad de contar con ingenieros especializados en los aspectos económicos de las empresas que proporcionen a la Gerencia, un panorama claro y preciso de las ventajas de un proyecto determinado.

Definiendo la Ingeniería de Costos, diremos que "Ingeniería de Costos es el campo de la Ingeniería, en el que se utilizan la experiencia y criterio del profesional en la aplicación de principios y técnicas científicas a los problemas de estimación de costos, control de costos y rentabilidad de inversiones".

Aries y Newton definen la Estimación de Costos como "El arte basado en las relaciones empíricas y metódicas de predecir el futuro económico de un proyecto", esto es relativamente nuevo, ya -- que los primeros análisis de costos de equipos, costos de capital, relaciones de capacidad entre las plantas, etc. comenzaron a ser publicados durante los años 1948 y 1949.

La Estimación de Costos comprende no solo los costos de ingeniería y construcción, sino también los de operación y mantenimiento de las obras e instalaciones, incluyendo la planeación, ya que el éxito o el fracaso de una inversión se decide en gran parte, en las etapas de estudio y proyecto.

La estimación de costos es el primer renglón a considerar y uno de los más importantes, es el estudio de factibilidad de un proyecto, los estudios de alternativas, las autorizaciones presupuestales, -- los programas financieros y prácticamente todas las decisiones de la gerencia de una empresa, las cuales se basan en suposiciones -- respecto a los costos de ingeniería, construcción y producción.

Las estimaciones en Proyectos, han causado durante mucho tiempo -- discrepancias en cuanto a seguir procedimientos uniformizados. Desde luego que es lógico que cada industria, empresa o entidad gubernamental establezca su propio procedimiento, pero también es lógico y correcto que se busque el camino apropiado para lograr la unificación y establecer un procedimiento para estimar cualquier tipo de proyecto.

Para el desarrollo de los estimados, se han analizado los diversos tipos de proyecto (Ver. Fig. 1): urbanos, infraestructura, industriales, nucleares y especiales, y se encontró que en todos ellos, los conceptos, elementos y actividades son comunes a cualquier tipo de los proyectos ya mencionados. También se observó que en algunos tipos predominan ciertas actividades, en otros no intervienen todas, pero se encontró que en proyectos industriales, intervienen todas las actividades, por esto se ha seleccionado uno de éstos para este trabajo como proyecto típico.

El objetivo que se persigue es el de establecer y definir un Estimado de Costo: sus etapas básicas, sus conceptos, elementos, actividades, información básica, las técnicas que se aplicarán en su elaboración, metodología, niveles de detalle y exactitud de los estimados.

Antes de continuar con el siguiente punto, se dará una secuencia en el desarrollo de un proyecto, definiendo los puntos principales:

PROYECTO

La realización o el estudio de una idea, desde su planteamiento -- hasta su ejecución, es decir, desde las fases de los estudios definitivos, desarrollo de ingeniería, etc.

ESTIMADO DE COSTO

Conjunto de conceptos, elementos, actividades y subactividades que valuados correctamente, indican el monto de un proyecto.

CONCEPTO

Conceptos de un estimado, se refieren a los costos que generalmente aparecen clasificados y agrupados como: Costos Directos e Indirectos, a su vez, éstos se desglosan en elementos que se identifican como:

Costos Directos

Elementos:

- Materiales,
- Equipos,
- Mano de Obra,
- Sub-contratos.

Costos Indirectos

Elementos:

- 1.- Estudios,
- 2.- Ingeniería básica,
- 3.- Ingeniería de detalle.

- 4.- Mantenimiento de equipo de construcción, etc.
- 5.- Costos de supervisión,
- 6.- Renta de equipo de construcción,
- 7.- Materiales de consumo,
- 8.- Vigilancia,
- 9.- Honorarios de contratistas,
- 10.- Contingencias.

El desglose anterior, sólo contiene los elementos más importantes.

ACTIVIDADES DE UN ESTIMADO

Las actividades de cualquier estimado, se desglosan como sigue:

Actividades

Civiles,
Mecánicas,
Eléctricas,
De instrumentación.

De esta forma, se puede seguir desglosando un Estimado de Costo, - siendo el siguiente paso, subdividir en subactividades y así sucesivamente.

En cuanto a la agrupación de elementos para integrar los costos - directos e indirectos, los criterios existentes son muchos; aquí se hace notar que el orden establecido al desglosar y agrupar los elementos, nos ayudan para estimaciones y para control de costos, - pero en todo caso, se pueden agrupar de la manera más útil para - quienes están acostumbrados a seguir otro ordenamiento.

ETAPAS BASICAS EN UN ESTIMADO DE COSTO PARA UN PROYECTO TIPICO.

Definido lo que se entiende por un Estimado, de costo, se puede decir, que para el desarrollo se deben seguir las siguientes etapas:

OBJETIVO DEL ESTIMADO

En esta etapa se requiere conocer, qué es lo que se pretende

hacer o producir; como ejemplo para esta etapa, se desea estimar el proyecto para la construcción de un ferrocarril para servicios de pasajeros o de carga, o se desea estimar el proyecto para la construcción de una unidad industrial para producir fertilizantes.

METODO O PROCESO A SEGUIR

Se deberá plantear cual es el método a seguir para desarrollar el proyecto, o qué proceso se deberá seguir.

CAPACIDAD O TAMAÑO

En esta tercera etapa, se requiere definir la capacidad o tamaño del proyecto en cuestión.

LOCALIZACION

En esta etapa, se debe definir cuál es el lugar para realizar el proyecto. Esta información será útil para precisar condiciones, poder cuantificar costos de transportes, mano de obra, etc.

INSPECCION FISICA DEL LUGAR

Conocido el sitio de localización, viene esta etapa que propiamente es el principio de recolección de la información más importante para el estimado de costo de un proyecto; se deberán determinar condiciones de terreno, tipos, facilidades para trabajar, disponibilidad de mano de obra, servicios, etc. El grado de precisión y recolección de información dependerá del tipo de estimado a desarrollar.

ANALISIS DE LA INFORMACION

La información obtenida de la etapa anterior, será útil para iniciar un análisis completo para la correcta elaboración del Estimado de costo de un proyecto dado. Además de la información anterior se deben analizar reportes, estudios, planos, listas de equipo y condiciones básicas con que se cuenten.

PLANEACION PRELIMINAR

Conocida la información disponible sobre el proyecto dado, se-

deberá planear todo lo relativo al Estimado, desde su propósito hasta el tiempo disponible, la exactitud esperada, - el tipo de estimado a desarrollar, personal necesario, la - forma de presentación, etc.

PROGRAMACION

Con la información disponible de las etapas anteriores, es importante definir una buena programación para elaborar un Estimado de Costo, la programación de ruta crítica, es una ayuda muy valiosa en la elaboración de un estimado.

EJECUCION

Desde luego que un buen Estimado de Costo, se obtiene mediante la utilización y la interpretación de criterios correctos obtenidos de las etapas anteriores, pero también es muy importante disponer de estimadores experimentados.

Los caminos para desarrollar un estimado de costo son variados; de hecho, cada grupo, compañía o cliente prefiere o solicita un estimado de costos de un proyecto a su conveniencia. De lo anterior, se puede decir, que el camino más recomendable es el de agrupar las actividades y subactividades en un orden lógico. Hablando de estimados de costo de proyecto, el orden lógico es el constructivo. Siguiendo el orden expuesto anteriormente, se puede disponer de un Estimado al cual se le puede dar la forma de presentación que se quiera.

PRESENTACION

En cuanto a la presentación de un Estimado de costo de un proyecto, existen muchas formas y como ya se dijo antes, cada empresa, grupo o estimador tiende a seguir un camino diferente.

CONCEPTOS, ELEMENTOS Y ACTIVIDADES

Ya en la introducción se han definido los conceptos, elementos y actividades de un estimado típico; ahora solamente se tratará de indicar que el valor de un estimado de obra está formado por un conjunto de Conceptos de Costos Directos e Indirectos. Estos Conceptos Directos e Indirectos son el resultado de sumar

elementos que se han agrupado de tal forma que la suma de todos ellos muestren los costos directos e indirectos de que se compone un Estimado.

Es necesario mencionar que, el ordenamiento o división, obedece solamente a cierta comodidad en el manejo de datos, también se debe aclarar que la lista de elementos que aparece en la introducción no es exhaustiva.

Siguiendo con el desglose de un estimado de costo después de los elementos se pueden mencionar actividades que son: civiles, mecánicas, eléctrica, de instrumentación.

ALCANCE DEL TRABAJO

En este punto, se listan los aspectos que normalmente se requieren conocer para desarrollar un Estimado de costo típico:

- a) Objeto del estimado.
- b) Requerimientos de producto, capacidad o tamaño.
- c) Especificaciones de servicios, necesidades de edificio o construcciones civiles. Necesidades de servicios, requerimiento de servicios auxiliares y generales. Necesidades manejo y almacenamiento de materia prima y producto terminado.

LOCALIZACION

- a) Sitio o lugar del proyecto o estimado típico.
- b) Descripción general del sitio.
- c) Topografía del sitio.
- d) Estudios diversos, hidrológico, mecánica de suelos, etc.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

Diagramas de flujo aproximado (proceso y servicio)
Diagramas de flujo detallado (proceso y servicio)

LISTA DE EQUIPO

Aquí se incluyen las siguientes actividades:

- a) Especificaciones preliminares de materiales y equipo.

- b) Especificaciones definitivas.
- c) Lista de recipientes y equipo.
- d) Distribución general
 - Preliminar
 - Detallado

EDIFICIOS Y ESTRUCTURAS

Tipos de construcción y dimensiones aproximados:
Cimentación,
Esquemas arquitectónicos y diseño estructural.
Arreglo general y elevaciones
Planos detallados.

REQUERIMIENTOS DE SERVICIOS

Cantidades aproximadas, (vapor, agua, electricidad, etc.)
Balance de calor preliminar
Diagramas de flujo preliminares
Balance de calor definitivos
Diagramas de flujo cuantitativos y/o definitivos
Planos detallados.

TUBERIA

Diagramas de flujo preliminares
Diagramas de flujo definitivos
Planos detallados
Lista de materiales

AISLAMIENTO

Especificaciones aproximadas.
Lista preliminar de equipo y tubería por aislar.
Especificaciones de aislamiento y lista de materiales.

INSTRUMENTACION

Diagrama preliminar
Lista preliminar de instrumentos.
Diagrama de flujo con instrumentación, definitivo.
Planos detallados.

ELECTRICO

Capacidad total instalada.
Tipo de instalación.
Diagrama de bloques, indicando cargas en cada una de las áreas del proyecto.
Voltaje de transformación.
Tamaño y tipo de motores.
Areas a iluminar y niveles de iluminación.
Diagrama unifilar preliminar indicando cargas y voltajes.
Especificaciones preliminares de subestaciones.
Lista preliminar de motores con sus tamaños.
Areas a iluminar y niveles de iluminación aproximada.
Especificaciones de fuerza y alumbrado.
Diagrama unifilar definitivo.
Diagrama de subestaciones secundarias completas con centro de distribución.
Especificaciones de subestaciones.
Lista de motores y equipos eléctricos con especificaciones completas.
Planos generales de alimentadores principales y secundarios, alumbrado de patios y sistema de tierras.
Planos de distribución de fuerza.
Planos de distribución de alumbrados.
Especificaciones de fuerza y alumbrado.
Planos detallados para construcción.

TIPOS DE ESTIMADO Y SUS CARACTERISTICAS

Prescindiendo de la magnitud de un proyecto, un estimado de costos puede variar desde una "rápida" conjetura realizada sin ninguna información, exceptuando la capacidad del proyecto propuesto, a un estimado detallado preparado a partir de especificaciones y dibujos finales. Obviamente el grado de aproximación de un estimado variará considerablemente dependiendo de cuanto se conozca acerca del proyecto y que tiempo y esfuerzo se emplee en la preparación del estimado.

Entre el estimado "rápido" y el detallado pueden distinguirse numerosos tipos, los cuales varían en aproximación dependiendo de la fase de desarrollo del proyecto. Los diversos tipos de estimados son

conocidos por varios nombres, pero son esencialmente muy similares.

De acuerdo con Edmunds, hay seis tipos básicos de estimados usados por los Arquitectos e Ingenieros relacionados con la construcción de edificios:

- 1.- Estimado "rápido".- Este tipo de estimado usualmente se da al cliente como un Orden de Magnitud, solamente al comenzar las pláticas sobre un proyecto.

Se basa generalmente en experiencias obtenidas en trabajos similares, considerando costos por M2, M3 o por sistemas completos. Frecuentemente se dá como información verbal.

- 2.- Estimado Original.- Este tipo de estimado es una extensión del "rápido", en el cual el estimador cuenta con el alcance del trabajo a desarrollar, pero basa su costo en su juicio y experiencia previas para determinar la probable extensión del trabajo.

El uso primordial es el de discutir el financiamiento preliminar y el de proveer una base para el presupuesto.

- 3.- Estimado Preliminar.- Para este tipo de estimado se dispone de información general. El alcance del trabajo generalmente ha sido delineado, el lugar seleccionado, se tiene las dimensiones y localización de los edificios con mucha aproximación, se han definido claramente los materiales básicos y el equipo principal, aunque los detalles finales y la selección exacta del equipo no se han completado.

- 4.- Estimado Oficial o de Presupuesto.- Para este tipo de estimado se dispone de la mayor parte de la información, planos y especificaciones. En esta fase se esperan solo cambios menores en el alcance o en el costo.

- 5.- Estimado Final o Definitivo.- Para este tipo de estimado se dispone de toda la información, planos y especificaciones, se dispone también de la oferta ya firmada o de las órdenes de compra, así como de las cotizaciones de los subcontratistas.

- 6.- Estimado Revisado.- En este tipo de estimado se hace una revisión de las alteraciones en el alcance del trabajo aprobado por

el cliente y se incluye una revisión a las sumas asignadas a las diferentes cuentas con los datos de costo de campo. Este tipo de estimado es muy frecuente en el contrato por administración y es particularmente importante para el cliente en la evaluación de las alteraciones propuestas al alcance del trabajo, así mismo nos dá una visión de los ahorros o sobrecostos comparando los precios presupuestados con los precios revisados.

La Asociación Americana de Ingenieros de Costos, ha propuesto la siguiente clasificación de los tipos de estimados:

- 1.- Estimado de Orden de Magnitud.- Este tipo de estimado se puede preparar con muy poca información y el porcentaje de desviación es de más del 30%

Información necesaria:

- a) Tipo, capacidad y calidad de lo que se quiera producir.
- b) Información general sobre el proyecto.
- c) Localización casi definida.

Propósito:

Se usa en decisiones ejecutivas sobre la factibilidad de un proyecto y antes de justificar un estudio más detallado.

- 2.- Estimado de Estudio.- Este tipo de estimado se prepara con una información mayor que el de Orden de Magnitud, básicamente es una comparación de posibles alternativas, el porcentaje de desviación es de \pm 30%.

Información necesaria:

- a) Tipo, capacidad y calidad de lo que se quiera producir.
- b) Información general sobre el proyecto.
- c) Dimensiones aproximadas de edificios, equipos, etc.
(En general de partidas mayores)
- d) Localización casi definida.

Propósito:

Se usa en decisiones ejecutivas sobre la factibilidad de un

proyecto y antes de justificar un estudio más detallado.

- 3.- Estimado Preliminar.- Este tipo de estimado generalmente es el paso posterior a un estimado de estudio, basado en una mayor cantidad de datos, su desviación es de $\pm 20\%$.

Información necesaria:

- a) Tipo, capacidad, calidad de lo que se quiera producir.
- b) Necesidades aproximadas de servicios, almacenamiento y manejo.
- c) Diagramas de flujo preliminares, distribución de áreas.
- d) Tipo, tamaño y materiales de construcción de edificios y equipos.
- e) Necesidades de espacio de edificios.
- f) Localización especificada y condiciones generales de--
finidas.

Propósito:

Se usa para ofertas de presupuesto, como primer estimado de un proyecto y para asignación de fondos en el presupuesto de un proyecto.

- 4.- Estimado Definitivo.- Este tipo de estimado se basa en datos e información casi completos, faltando únicamente por determinar algunos detalles de dibujos y especificaciones, su desviación es de $\pm 10\%$.

Información necesaria:

- a) Capacidades de producción definitivos.
- b) Necesidades definitivas de servicios, almacenamiento y manejo.
- c) Diagramas de flujo y distribución finales de cada área o sistema.
- d) Lista completa de equipo con especificaciones.
- e) Especificaciones de tuberías, estructuras, acabados, etc.
- f) Planos arquitectónicos preliminares para los proyectos de construcción con los accesorios especificados, calefacción, acondicionamiento de aire, etc.
- g) Localización definida de la planta; información local sobre facilidades.

Propósito:

Se usa para solicitud de presupuesto o para establecer el precio de un contrato.

Para establecer el formato para los reportes de costos-finales, para ayudar en la contabilidad, dar información sobre los costos reales, para utilizarse en estimados - futuros y para obtención de financiamiento del proyecto.

- 5.- Estimado Detallado.- Este tipo de estimado se basa en una Ingeniería completa con dibujos y especificaciones totalmente terminados, su desviación es de $\pm 5\%$.

Información necesaria:

- a) Ingeniería de detalle terminada.
- b) Programas de proyecto establecidos.
- c) Ofertas de subcontratistas.

Propósito:

Establecer un precio de contratación.

En la figura No. 2 se muestra el porcentaje de desviación de cada uno de los diferentes tipos de estimados, según la clasificación de la Asociación Americana de Ingenieros de Costos.

METODOLOGIA DE ESTIMACION DE COSTOS.

Habiendo clasificado los diferentes tipos de estimados y después de estudiar sus principales características, veremos ahora algunos de los diferentes métodos existentes para la elaboración de cada uno - de ellos, desde luego el método a aplicar depende de la información disponible, del tipo de estimado que se desee, de la precisión esperada, del tiempo disponible para su elaboración.

Método de los Seis Décimos.- Es uno de los métodos más conocidos, y se usa ampliamente para estimados de orden de magnitud, consiste básicamente en multiplicar el costo conocido de una planta de proceso por la relación de capacidades, elevada a un exponente que generalmente es de 0.6 la expresión matemática es la siguiente:

= 14 =

$$C_2 = C_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^n \quad \text{en donde:}$$

C_2 = Costo total de la planta en proyecto.

C_1 = Costo total de la planta de referencia, actualizado por índices de costo.

Q_2 = Capacidad de la planta propuesta.

Q_1 = Capacidad de la planta de referencia.

Estudiando este método más detenidamente, algunos autores han precisado un exponente específico para diferentes productos y procesos, según se muestra en la Fig. No. 4.

Método de los Factores de Capital en ton/año utilizado para órdenes de magnitud.

$$C_2 = Q_2 \frac{\text{ton}}{\text{año}} \times \$ \frac{\text{ton}}{\text{año}} \quad \text{en donde:}$$

C_2 = Costo total de la planta en proyecto.

Q_2 = Capacidad de la planta propuesta.

$\$ \frac{\text{ton}}{\text{año}}$ = Unidad de referencia.

En la Figura No. 5 se muestra una tabla con diferentes factores según el tipo de planta, hay que hacer las correcciones necesarias, ya que estos son datos para Estados Unidos, donde los -- costos son más bajos que en nuestro País.

Método de Coeficientes o Relaciones. - En general éstos métodos se aplican en la elaboración de estimados de Orden de Magnitud, los más usuales son los siguientes:

- a) Método gráfico capacidad-costo. - En este método se utiliza información obtenida de plantas similares, graficando capacidad contra costo, hay que hacer correcciones por circunstancias especiales, tales como la disponibilidad o ausencia de infraestructura, se pueden considerar estimacio-

nes promedio, así como niveles de estimación altos y bajos, el resultado será una familia de curvas o de rectas, cuando se utilice papel logarítmico. (Ver Figura No. 6).

- b) Costos por M2 ó M3 de construcción, por relación de costo de equipo contra mano de obra.- El primer método es muy usado en la estimación de edificios, en donde el costo por M2 o M3 es desde luego, por cada piso construido, hay que hacer correcciones por tipo de cimentación, acabados, etc. el segundo método se utiliza cuando se dispone de costos de equipo, en este último método la relación de equipo contra mano de obra varía de acuerdo con el tipo de equipo - de que se trate.

Hay que tener en consideración que la inversión de un proyecto no varía en forma directamente proporcional al tamaño del mismo, generalmente la inversión unitaria por tonelada disminuye a medida que aumenta la capacidad de la planta, éste concepto se conoce como (Economía de Escala". (Ver Figura No. 7).

Método del Factor de Lang.- Este método se basa en las co-relaciones de costo total del equipo de proceso investigadas por el Dr. -- Lang y consiste básicamente en la aplicación de un factor al costo total del equipo, el cual varía, según la naturaleza de la planta y el proceso de que se trate.

La expresión de este método es la siguiente:

$$C_t = f_L \{ E \quad \text{donde:}$$

C_t = Costo total

f_L = Factor de Lang

E = Costo del equipo.

Los factores de Lang para diferentes tipos de plantas, se -- muestran en la Figura No. 8.

Método de Detalle.- Con pequeñas variaciones se puede usar para -- estimados definitivos (+ 10%) o para estimados detallados (+ 5%)

Equipo:

- a) Obtener cotizaciones preliminares o en firme de los proveedores y/o de los subcontratistas.
- b) La Mano de Obra, se calcula en base a Horas-Hombre o tomando costos unitarios de instalación, para equipos similares obtenidos en otras plantas.

Materiales:

- c) Se obtienen cantidades aproximadas y se valúan, los precios unitarios base deben estar de acuerdo con especificaciones.
- d) La Mano de Obra se calcula igual que para equipo.

Para Edificios:

- e) Se obtiene las cantidades aproximadas de concreto, acero estructural, acabados, etc. y se valúan en base a precios unitarios.
- f) Se valúan detalladamente los accesorios.

Se aplican factores por localización y tiempo, si son necesarios.

Los costos indirectos deberán ser incluidos solo cuando el alcance esté completamente definido.

NOTA: Para estimados detallados, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- 1.- Las cotizaciones de equipo y materiales deben obtenerse en firme.
- 2.- Las listas de materiales deben obtenerse de planos y especificaciones definitivos.
- 3.- Los costos indirectos se calculan en detalle, para evitar omisiones se recomienda tener una lista que abarque todos los costos indirectos y aplicar los que correspondan al proyecto en estudio.

Método Modular.- Este método de estimación se basa en la agrupación de elementos de costo que tienen características similares relacionadas entre si. Cada módulo puede ser integrado o combinado con otros módulos y el nivel de costo de Material y Mano de Obra suministra datos que son consistentes en términos de costo. Esta es -

una de las últimas técnicas desarrolladas para evaluaciones económicas.

En la tabla No. 1, se muestra la aplicación del concepto del módulo, todos los elementos de costo mayor están agrupados en sus distintos módulos, cinco directos y uno indirecto, como se indica a continuación:

- 1.- Proceso Químico.
- 2.- Manejo de Sólidos.
- 3.- Preparación del sitio.
- 4.- Edificios.
- 5.- Servicios auxiliares.
- 6.- Indirectos del Proyecto.

Todos los módulos de procesos químicos son ensamblados de combinaciones de siete elementos de costos primarios:

- 1.- Costo de equipo L.A.B.
- 2.- Materiales directos.
- 3.- Mano de Obra directa.
- 4.- Costo directo de materiales y labor.
- 5.- Costos indirectos.
- 6.- Módulo de costo de barra.
- 7.- Módulo de costo total.

Está basado también 14 elementos de costo secundarios, divididos en Costo Directo de Materiales de Campo, Costo de Instalación e Indirectos:

a) Materiales de campo.

- 1.- Tubería.
- 2.- Concreto.
- 3.- Acero
- 4.- Instrumentos
- 5.- Eléctrico.
- 6.- Aislamiento.
- 7.- Pintura.

b) Costo de Instalación.

- 8.- Erección de materiales

9.- Erección de equipo.

c) Indirectos

- 10.- Fletes, seguros e impuestos.
- 11.- Administración de construcción.
- 12.- Ingeniería y procuración.
- 13.- Contingencias.
- 14.- Honorarios del contratista.

Los elementos primarios establecen las claves de las relaciones y la estructura del costo del estimado, los elementos secundarios absorben los detalles cuando es necesario, para el desarrollo del proyecto. En la Figura No. 9 se muestra un módulo de proceso químico, y en la Figura No. 10 se muestra un módulo para manejo de sólidos.

Los factores mostrados se obtuvieron del análisis de 42 proyectos de plantas de proceso.

Esta técnica se empieza a usar en nuestro País, pero aún no está muy desarrollada, para usarla con la suficiente confianza se requiere de cuidadosos análisis de plantas del mismo tipo.

Otros Métodos:

- a) Método de los porcentajes.- Es común usar este método para estimaciones preliminares, se basa en el análisis de numerosas plantas de proceso, en las cuales se consideró el tipo de flujo predominante: sólido, líquido o sólido y líquido.

Al usar este método hay que tener en cuenta si se trata de una planta nueva con localización diferente a las existentes, o si se trata de una ampliación a una planta existente.

Este método de estimación es muy confiable cuando se cuenta con información sobre una gran variedad de proyectos, y se basa en el costo total del equipo.

- b) Método de Miller.- Es un método relativamente nuevo, fué presentado en la IX Convención de Ingenieros de Costo en 1965, -

las fases de que consta este método se describen a continuación:

- 1.- Se determina la inversión en los límites de batería para las plantas de proceso.
- 2.- Se determina la inversión para servicios de almacenamiento y manejo, en función de la inversión en los límites de batería.
- 3.- Se determina la inversión de los servicios energéticos, en función de la inversión de los límites de batería.
- 4.- Los servicios generales se estiman en función de la suma de la inversión en límites de batería, almacenamiento, manejo y servicios.

El concepto principal en este método, es el llamado costo unitario promedio del equipo de proceso, el cual nos expresa la relación entre el costo total del equipo de proceso y el número de unidades de equipo. De acuerdo con esto si una planta aumenta en capacidad, el costo de equipo resultará mayor y en consecuencia el costo unitario promedio se incrementará.

Este método no es tan simple como parece en realidad, debe estudiarse con bastante cuidado para su correcta aplicación.

TIPOS DE PROYECTOS

	SERVICIOS	
(1) URBANOS	COMERCIALES	
	HABITACION	
		PUENTES
		CAMINOS
	COMUNICACIONES	AEROPUERTOS
		FERROCARRILES
		TELECOMUNICACIONES
(2) INFRAESTRUCTURA	OBRAS HIDRAULICAS	
	OBRAS MARITIMAS	
	ENERGIA ELECTRICA	GENERACION TRANSMISION DISTRIBUCION
	CONDUCCIONES	(Oleoductos, Gasoductos, etc.)
(3) INDUSTRIAL	MANUFACTURERA	
	PETROQUIMICA	
	PROCESO	METALURGICA .QUIMICA EXTRACCION.
(4) NUCLEARES		
(5) ESPECIALES		

METODO DE LOS SEIS DECIMOS

$$C_T = C r^{0.6} + ipc$$

C_T = Costo total

C = Costo conocido de una planta corregida por índice de costo

r = Relación de capacidades de las plantas

ipc = Intereses durante el período de construcción

FIGURA No. 3

EXPONENTES PARA PLANTAS QUIMICAS

<u>PRODUCTO</u>	<u>EXPONENTE</u>
Etileno	
Poli-etileno (baja presión)	0.58
Poli-etileno (alta presión)	0.67
Amoniaco (gas de síntesis)	0.90
Oxido de etileno	0.79
Estireno	0.68
Butadieno	0.59
Coquización (diferida)	0.58
Formaldehido	0.55
Benceno	0.61
Acido nítrico	0.56
Oxígeno	0.64
Metanol	0.83
Alcohol isopropílico	0.60
Urea	0.59

FIGURA No. 4

1967 Capital-Cost Data for Processing Plants

Compound	Source or Route	Typical Plant Size, Tons/Yr.	Investment Cost, \$	Investment, \$ per Annual Ton	Size Factor (Lang), ^a L	Remarks
Acetaldehyde.....	Ethylene	50,000	3,500,000	70	0.70	Metallic catalyst required
Acetylene.....	Natural gas	75,000	9,500,000	127	0.70	High purity
Alumina.....	Bauxite	100,000	9,000,000	90		
Aluminum sulfate.....		75,000	2,000,000	27		
Ammonia.....		500,000	16,000,000	32	0.70	
Ammonium phosphate.....		250,000	2,500,000	10	0.68	Fertilizer grade
Ammonium sulfate.....		140,000	1,200,000	9	0.68	
Carbon black.....		30,000	3,000,000	100		
Carbon dioxide.....		200,000	2,400,000	12		
Carbon tetrachloride.....		30,000	2,500,000	85		
Butadiene.....	Butane	100,000	50,000,000	500	0.70	
Butadiene.....	Butylenes	200,000	70,000,000	350	0.70	
Chlorine/caustic.....	Cl: NaOH:	70,000 78,000	13,000,000			
Cyclohexane.....		100,000	750,000	8	0.70	Does not include hydrogen plant
Diphenylamine.....		10,000	2,400,000	240		
Ethanolamine.....		25,000	1,750,000	70		
Ethyl alcohol.....	From ethylene by direct hydration or via ethyl sulfuric acid	75,000	3,750,000	50	0.72	Manufacturing costs are lower in the direct hydration process
Ethylbenzene } Paraxylene }		20,000 8,500	1,800,000 1,100,000			These chemicals are produced simultaneously
Ethyl chloride.....		15,000	3,000,000	200		
Ethyl ether.....		35,000	1,200,000	35		
Ethylene.....	Refinery gases or hydrocarbons	300,000	15,000,000	50	0.71	
Ethylene dichloride.....		25,000	3,200,000	127	0.71	
Ethylene oxide.....	Direct oxidation of ethylene	100,000	9,000,000	90	0.67	Cost also includes conversion to ethylene glycol as needed
37% Formaldehyde.....	Hydrocarbons	100,000	13,000,000	130		
Glycerin (synthetic).....		35,000	5,500,000	157	0.67	
Hydrofluoric acid.....		15,000	2,600,000	175		
Hydrogen.....		60,000	6,500,000	108	0.80	
Isopropyl alcohol.....		150,000	7,500,000	50		
Malic anhydride.....		50,000	18,000,000	360		
Methanol.....		70,000	11,500,000	164		
Methanol.....	Natural gases	210,000	9,000,000	43	0.71	
Methyl chloride.....	Methanol	10,000	500,000	50	0.72	
Methyl ethyl ketone.....		35,000	3,750,000	107		
Methyl isobutyl ketone } Methyl isobutyl carbonal }		25,000 10,000	1,250,000 750,000	50 75		
Nitric acid.....		50,000	5,000,000	100		
Oxygen plants.....		150,000	2,250,000	15	0.71	
Phenol.....		45,000	9,000,000	200		
Phosphoric acid (as P ₂ O ₅).....		100,000	2,400,000	24	0.66	Wet process—contains 30% P ₂ O ₅
Cis-polybutadiene.....		50,000	12,000,000	240	0.67	
Polyisoprene (includes manufacture of the monomer)		30,000	5,000,000	320	0.74	
Soda ash.....	Natural brine	400,000	34,000,000	85		No synthetics plants built since 1934
Sodium metal.....		20,000	7,000,000	350		
Styrene.....		20,000	8,500,000	425		
Sulfuric acid.....	Contact process	280,000	2,100,000	8	0.67	
Sulfur recovery.....	Refinery gases	15,000	1,500,000	100		
Toluene diisocyanate.....		12,500	7,500,000	600		
Urea.....		140,000	4,300,000	31		
Vinyl acetate.....		40,000	7,000,000	175		
Vinyl chloride monomer.....		100,000	2,000,000	20		
Refinery Products		(Bbl./Day)				
Alkylation units (H ₂ SO ₄ or HF)..		10,000	7,750,000	775		
BTX extraction.....	From reformer streams; e.g. Udex	10,000	3,400,000	340	0.70	
Cat. cracker (fluid).....	Cost based on fresh feed	35,000	14,000,000	400		Includes vapor recovery and CO boiler
Cat. reformer.....		23,000	7,500,000	375		
Crude distillation units.....		100,000	4,700,000	47		
Delayed coker.....		14,000	5,000,000	357		
Hydrocracker.....		28,000	21,000,000	750		
Wax plants.....		7,500	900,000	120		
Gas absorption and dehydration plants		50 MM cfd.	2,000,000			

^a Where no size factor appears, assume a value of 0.70. Use To obtain investment for a capacity other than the one shown, multiply

the stated investment cost by the ratio of the desired capacity to the stated capacity, raised to the power L.

CURVA COSTO-CAPACIDAD PARA POLIETILENO.
 DE ALTA PRESION COSTOS DE 1960

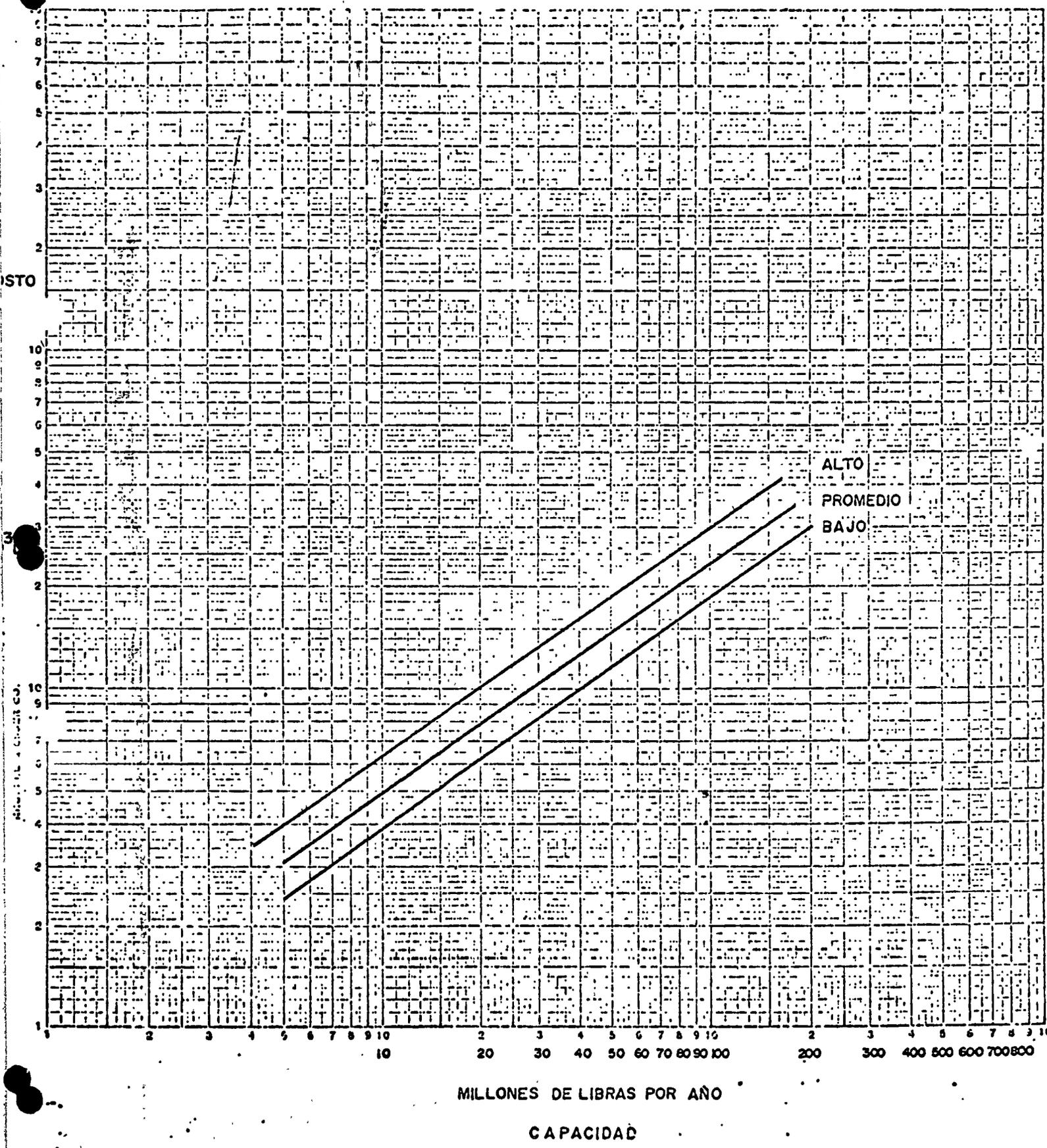


FIGURA No. 6

INVERSION UNITARIA EN PLANTAS DE AMONIACO

\$/v. anual

3,000

2,600

2,200

1,800

1,400

1,000

600

200

200

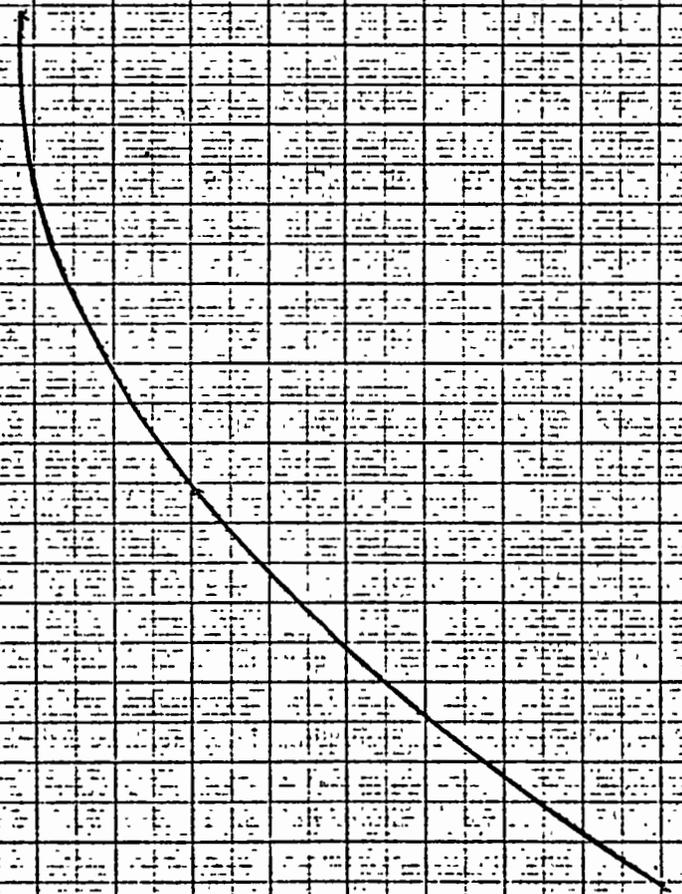
400

CAPACIDAD G/D

1000

1500

FIGURA No. 7

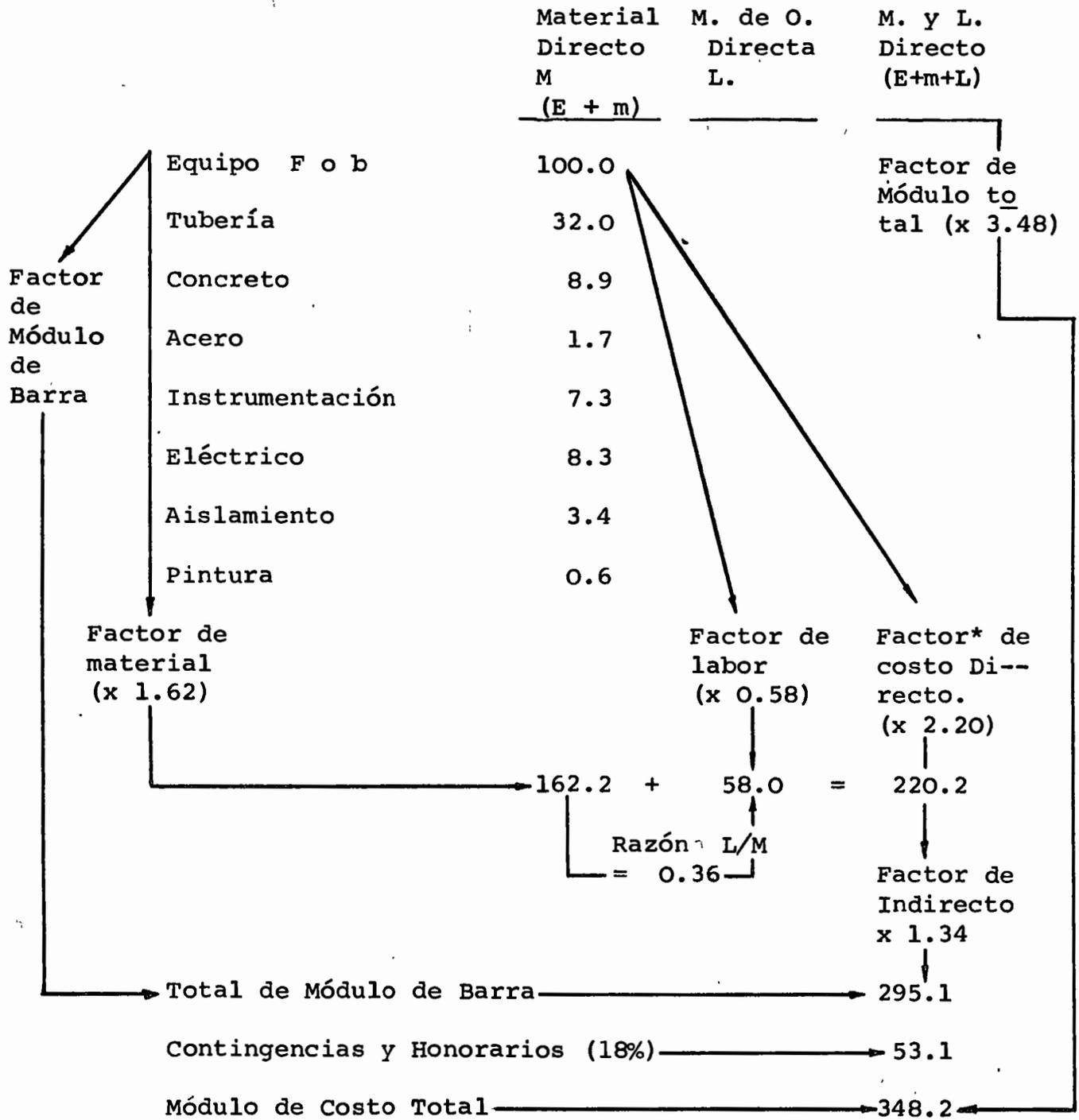


FACTORES DE LANG

	<u>FACTOR</u>
Procesamiento de sólidos	3.1
Procesamiento de sólidos y fluidos	3.63
Procesamiento de fluidos	4.74

FIGURA No. 8

MODULO DE PROCESO QUIMICO



* Instalaciones de campo (M&L)

MODULO PARA MANEJO DE SOLIDOS

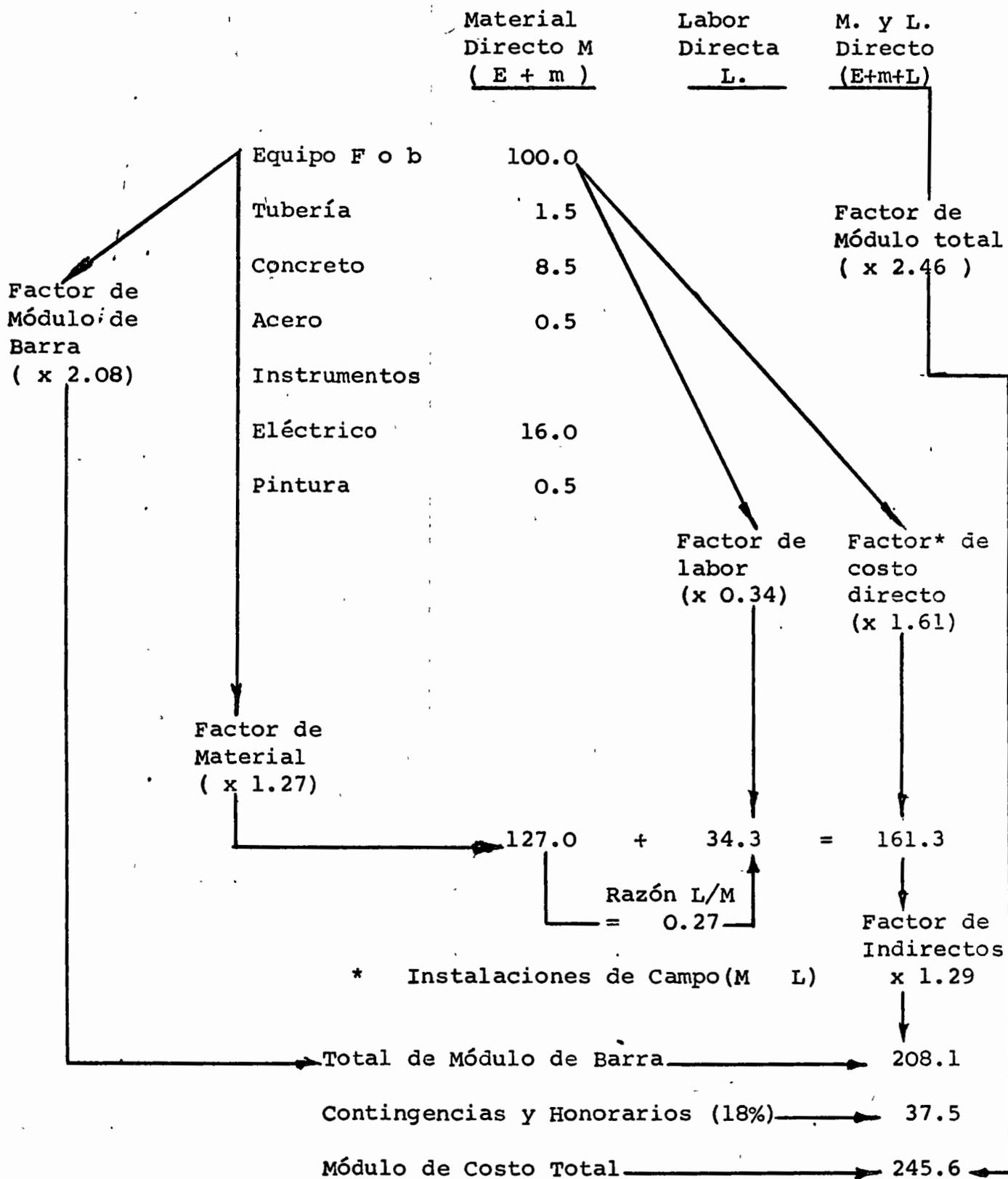


FIGURA No. 10

B I B L I O G R A F I A

1.- H. CARL BAUMAN.

Fundamentals of Cost Engineering in the Chemical Industry,
Reinhold Publishing Co.

2.- HANS J. LANG.

Engineering approach to Preliminary Cost Estimates, Cost
Engineering in the Process Industries, Mc Graw-Hill Book
Company, Inc.

3.- ARIES AND NEWTON.

Chemical Engineering Cost Estimation, Mc Graw-Hill Book
Company, Inc.

4.- ING. GUILLERMO LOPEZ MELLADO.

Revista No. 2 de la Sociedad Mexicana de Ingeniería de Costos.
Campos de Acción y algunas aplicaciones de la Ingeniería Eco-
nómica.

5.- KENNETH M. GUTHRIE.

Capital Cost Estimating, Chemical Engineering, March 24, 1969.

6.- JOHN E. HASELBARTH.

Updated Investment Costs for 60 types of Chemical Plants, -
C. E. Cost File No. 132.

7.- NEW RATIOS FOR ESTIMATING PLANT COSTS, C. E. Cost File.
Sept. 30, 1963.

8.- O. T. ZIMMERMAN.

Elements of Capital Cost Estimation, Cost Engineering.
October, 1968.

9.- ING. RUFINO GUZMAN RASGADO.

Los Costos en la Industria de la Construcción.
Cámara Nacional de la Industria de la Construcción.

10.- ING. FRANCISCO MONDRAGON M.
ING. ANUAR KARAM A.

Estimación de Costos de Plantas de Proceso.
Memoria del Primer Congreso Nacional de Ingeniería de Costos.

11.- HERBERT POPPER.

Modern Cost Engineering Techniques.
Mc Graw-Hill Book, Inc.

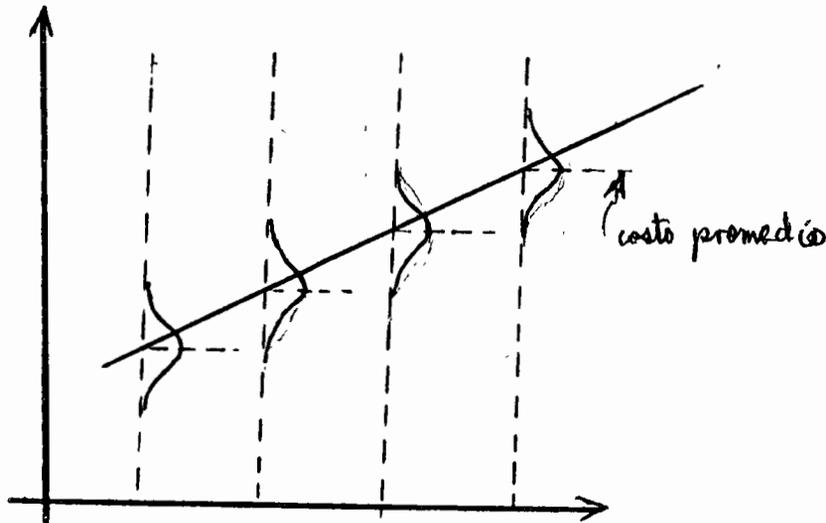
USO DE TECNICAS DE REGRESION Y CORRELACION EN
LA INGENIERIA DE COSTOS.

Las técnicas de regresión y correlación se refieren a el procedimiento para encontrar la relación matemática entre una variable dependiente y una o varias independientes a partir de juegos de datos experimentales o prácticos que tienen cierto error experimental o desviación. La regresión se refiere al caso en el cual las variables independientes se pueden fijar por lo tanto no hay error más que en la variable dependiente, mientras que en el caso de la correlación ninguna de las variables se puede controlar y simplemente --tratamos de hallar alguna relación entre ellas.

Desde el punto de vista de la ingeniería de costos nos interesa encontrar una relación entre los parámetros de diseño de un equipo o instalación y su costo.

Ya que el costo es una variable aleatoria, para cierto valor de los parámetros de diseño tendremos diferentes costos dependiendo de factores aleatorios tales como a quien se le pidió la cotización etc. : Sin embargo podemos considerar que los diferentes costos siguen cierta distribución probabilística.

Esta situación se puede ilustrar gráficamente si consideramos que la distribución que se sigue en un caso particular, es la distribución normal de Gauss y que la correlación es lineal:



Es decir, para cierto valor de la variable independiente, los costos probables están distribuidos normalmente con cierto promedio y cierta desviación estándar.

El problema de regresión correlación lo podemos dividir en tres etapas:

1. Encontrar la expresión matemática de la relación funcional.
2. Evitar la "bondad del ajuste matemático"
3. Encontrar los límites de confianza.

Vamos a ilustrar primeramente el procedimiento para el caso de un ajuste lineal de dos variables.

Supóngase que se tiene un conjunto de n observaciones.

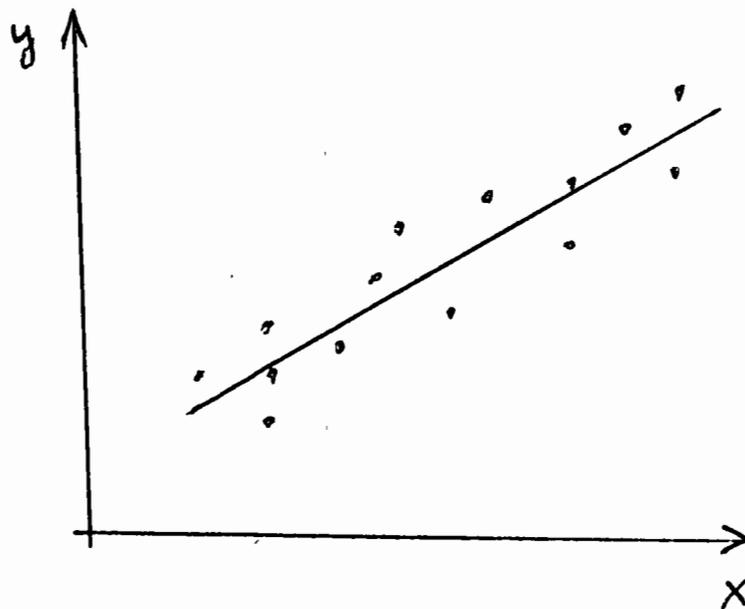
X_1	Y_1
X_2	Y_2
\vdots	\vdots
X_i	Y_i
\vdots	\vdots
X_n	Y_n

Asumimos que la variable "y" es aleatoria y para cada valor de X sigue una distribución normal.

Si asumimos que estos datos están correlacionados linealmente, tratamos de encontrar los coeficientes de la ecuación:

$$\hat{y} = a + bx$$

en donde " \hat{y} " significa el valor calculado de "y"



...

Nosotros no vamos a poder dar con precisión donde se encuentra la recta, sino que en cierto grado de confianza indicaremos donde es más probable que se encuentre.

El criterio más usado es el procedimiento conocido como "mínimos cuadrados" que básicamente consiste en acomodar una recta tal que minimice la suma de las desviaciones de cada punto a la recta, elevadas éstas al cuadrado para que todas sean positivas. La justificación que esto tiene, es que precisamente una de las propiedades que tiene el promedio de un grupo de observaciones es que es valor del que la suma de desviaciones al cuadrado de las observaciones individuales es un mínimo y por lo tanto habrá una línea recta formada por los promedios de las observaciones individuales de " y " para cada valor de " x " (por lo general nosotros sólo conocemos -- una sola observación de "y").

Matemáticamente tenemos que la suma de desviaciones al cuadrado es:

$$\sum d^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum (y_i - a - bx_i)^2$$

Esta suma la tenemos que minimizar con respecto a cada una de los parámetros de la ecuación, por lo que tomamos derivados parciales e igualamos a cero:

$$\frac{\partial (\sum d^2)}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)(-1) = 0$$

$$\frac{\partial (\sum d^2)}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)(-x_i) = 0$$

Simplificando se llega a las siguientes ecuaciones

$$\begin{aligned} an + b \sum x_i &= \sum y_i \\ a \sum x_i + b \sum x_i^2 &= \sum x_i y_i \end{aligned}$$

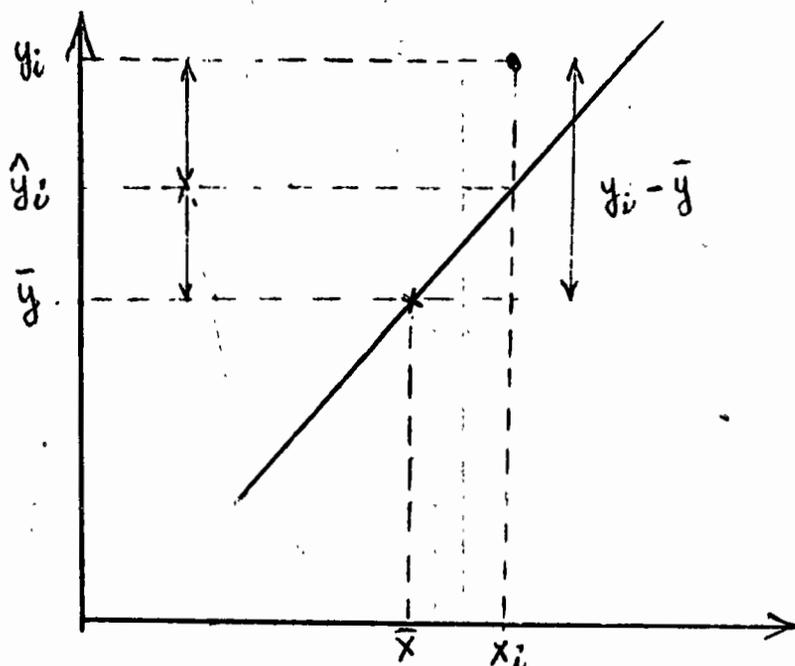
Resolviendo este sistema de ecuaciones se tiene:

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - b \frac{\sum x_i}{n} = \bar{y} - b\bar{x} \quad \dots \dots (1)$$

$$b = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i y_i}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} = \frac{\sum' x_i y_i}{\sum' x_i^2} \quad \dots \dots (2)$$

Como segunda etapa evaluamos que tan buena es la ecuación para explicar la variabilidad de los datos observados:

Con ayuda de la siguiente figura podremos hacer el planteamiento matemático considerando a un punto cualquiera de los observados:



en donde \bar{X} e \bar{Y} son los promedios de las observaciones

Tomando todos los puntos tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Variación total de las observaciones} &= \sum (y_i - \bar{y}) \\ \text{Variación explicada por la correlación} &= \sum (\hat{y}_i - \bar{y}) \\ \text{Variación no explicada} &= \sum (y_i - \hat{y}_i) \end{aligned}$$

O sea que:

$$\sum (y_i - \bar{y}) = \sum (\hat{y}_i - \bar{y}) + \sum (y_i - \hat{y}_i)$$

Elevando al cuadrado para tener todo positivo nos queda.

$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 + 2 \sum (\hat{y}_i - \bar{y}) \sum (y_i - \hat{y}_i)$$

Se demuestra matemáticamente que:

$$2 \sum (\hat{y}_i - \bar{y}) \sum (y_i - \hat{y}_i) = 0$$

Y por otro lado:

$$\begin{aligned} \sum (y_i - \bar{y})^2 &= \sum y_i^2 - 2\bar{y} \sum y_i + n\bar{y}^2 = \sum y_i^2 - 2 \left(\sum y_i^2 - \frac{2(\sum y_i)^2}{n} \right) + \frac{(\sum y_i)^2}{n} \\ &= \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} = \sum y_i'^2 \end{aligned}$$

Por otro lado usando ecuaciones (1) y (2) obtenemos:

$$\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = b^2 \sum (x_i - \bar{x})^2 = b^2 \left(\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right) = b^2 \sum' x_i^2$$

Podemos resumir en una tabla:

Origen de la variación	Calculo de la Variación	Grados de libertad	Variación	F
Explicada por la correlación no explicada	$b^2 \sum' x_i^2$	1	$S_C^2 = \frac{b^2 \sum' x_i^2}{1}$	$F = \frac{S_C^2}{S_E^2}$
NO EXPLICADA	Se calcula por diferencia	N-2	$S_E^2 = \frac{\text{Variac. no exp.}}{N-2}$	
Variación total	$\sum' y_i^2$	N-1		

Se hace un análisis estadístico para ver si S_C^2 es diferente a S_E^2 es decir, si la variancia explicada por la correlación es mucho mayor que la no explicada.

En las tablas estadísticas se encuentra tabulado el valor de F en función de la probabilidad y de los grados de libertad. Si el valor calculado por nosotros es mayor que el tabulado, concluimos -- que la correlación es buena.

Otra medida de la bondad de la correlación se define como:

$$= \frac{\text{Variación explicada}}{\text{Variación total}} = \frac{b^2 \sum' x_i^2}{\sum' y_i^2}$$

En dónde r se conoce como "coeficiente de correlación.

El valor de r se ha calculado en función de la probabilidad de que haya correlación y del número de puntos usados. En tablas estadísticas se lee el valor de r y se compra con el calculado, si este último es mayor, significa que la correlación es buena.

Finalmente nos queda ver que tan confiable es el valor de "y":

El problema básico está en predecir la dispersión de Y_i para cada valor de X_i . Se puede demostrar que:

$$S^2(\bar{y}_i) = S_E^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sum' x^2} \right]$$

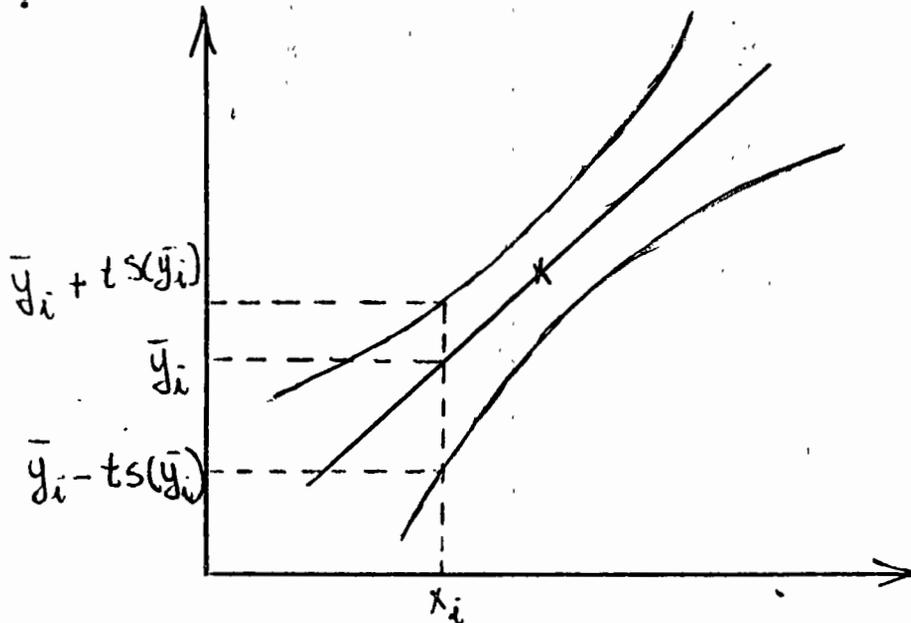
en donde \bar{y}_i es el promedio de las "Y's" para cierto valor de X_i y S_E^2 es la variancia no explicada.

Con este valor calculado se puede usar la prueba estadística de "t" para calcular los límites en que esta \bar{y}_i con cierta probabilidad fijada:

$$t = \frac{\bar{y}_i - \mu_x}{\pm S(\bar{y}_i)}$$

Por lo que $\mu_i = \bar{y}_i \pm t s(\bar{y}_i)$

Si calculamos estos límites para cada valor de X_i obtenemos para cierta probabilidad dada el rango en el cual varían las "y's":



Correlaciones no lineales

En ciertos tipos de funciones no lineales, se pueden reducir estos a una forma semejante a la discutida:

Por ejemplo:

$$Y = a X^b$$

Tomando logaritmos:

$$\ln y = \ln a + b \ln X$$

...

Que ya es una forma lineal, a la cual se le puede aplicar la misma técnica y posteriormente transformar a las variables originales.

Otros ejemplos son:

$$Y = ac^{bx}$$

$$\ln y = \ln a + bx$$

O bien

$$y = ab^x$$

Y transformado nos da:

$$\ln y = \ln a + X \ln b$$

Correlaciones con más de una variable independiente

El procedimiento es esencialmente el mismo, pongámos por ejemplo un polinomio de 2o orden.

Con dos variables independientes:

$$\hat{y} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_{11} x_1^2 + a_{22} x_2^2 + a_{12} x_1 x_2$$

$$\sum d^2 = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum (y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i} - a_{11} x_{1i}^2 - a_{22} x_{2i}^2 - a_{12} x_{1i} x_{2i})^2$$

Tomando derivadas parciales con respecto a cada uno de los parámetros de la ecuación e igualando a cero, nos resulta el siguiente sistema de ecuaciones simultáneas:

$$\begin{aligned}
a_0 n + a_1 \sum X_1 + a_2 \sum X_2 + a_{11} \sum X_1^2 + a_{22} \sum X_2^2 + a_{12} \sum X_1 X_2 &= \sum y \\
a_0 \sum X_1 + a_1 \sum X_1^2 + a_2 \sum X_1 X_2 + a_{11} \sum X_1^3 + a_{22} \sum X_1 X_2^2 + a_{12} \sum X_1^2 X_2 &= \sum X_1 y \\
a_0 \sum X_2 + a_1 \sum X_1 X_2 + a_2 \sum X_2^2 + a_{11} \sum X_1^2 X_2 + a_{22} \sum X_2^3 + a_{12} \sum X_1 X_2^2 &= \sum X_2 y \\
a_0 \sum X_1^2 + a_1 \sum X_1^3 + a_2 \sum X_1^2 X_2 + a_{11} \sum X_1^4 + a_{22} \sum X_1^2 X_2^2 + a_{12} \sum X_1^3 X_2 &= \sum X_1^2 y \\
a_0 \sum X_2^2 + a_1 \sum X_1 X_2^2 + a_2 \sum X_2^3 + a_{11} \sum X_1^2 X_2^2 + a_{22} \sum X_2^4 + a_{12} \sum X_1 X_2^3 &= \sum X_2^2 y \\
a_0 \sum X_1 X_2 + a_1 \sum X_1^2 X_2 + a_2 \sum X_1 X_2^2 + a_{11} \sum X_1^3 X_2 + a_{22} \sum X_1 X_2^3 + a_{12} \sum X_1^2 X_2^2 &= \sum X_1 X_2 y
\end{aligned}$$

La resolución simultánea de estas ecuaciones lineales nos permite conocer el valor de los parámetros.

Cuando la ecuación tiene constantes en tal forma que no es posible derivar en términos de los parámetros, el procedimiento es - el de aproximar a una serie de Taylor y aplicar el criterio de mínimos cuadrados tantas veces como exactitud se requiera.