



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

# **INTRODUCCIÓN AL PROCESO CONSTRUCTIVO.**

**ING. FEDERICO BORREGO BADILLO**

**ING. EFREN L. CABALLERO MONTOYA**

**ING. JORGE I. CHIRINO MORENO**

**ING. SERGIO J. MARTINEZ MERCADO**

**ING. MARIO R. OCAMPO FRANCO**

**ING. EDUARDO ORDOÑEZ MUNGUÍA**

16  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL  
TOPOGRAFICA Y GEODESICA



CAJA 42

Ej. 12  
G-600510

CONSTRUCCION I

G-600510

# INDICE

APUNTE  
42

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.



600510

G.- 600510

1.	Introducción al Proceso Constructivo .....	1
1.1	Los campos de la Ingeniería Civil .....	3
1.2	Objetivos .....	9
1.3	Decisiones .....	11
1.4	Oportunidad de las decisiones .....	17
1.5	Recursos .....	33
1.6	Proceso constructivo .....	35
1.7	Procesos de control .....	39
1.8	Factores de consistencia de costos y precios unitarios .....	41

**G-600510**

**E D I C E**

Estos apuntes fueron elaborados originalmente por el Ing. Jorge H. de Alba C. y modificados en 1973 como trabajo de uno de los capítulos de tesis profesional, de los pasantes:

FEDERICO BORREGO BADILLO

EFREN L. CABALLERO MONTOYA

JORGE I. CHIRINO MORENO

SERGIO J. MARTINEZ MERCADO

MARIO R. OCAMPO FRANCO

EDUARDO ORDOÑEZ MUNGUÍA

**1**

**G-600510**

**Introducción  
Al  
Proceso  
Constructivo**

1.1

## LOS CAMPOS DE LA INGENIERIA CIVIL

Debido a la gran diversidad de conocimientos así como de problemas que surgen en la práctica, la Ingeniería Civil se ha dividido en los siguientes campos: Investigación, Desarrollo, Planeación, Diseño, Construcción, Operación y -- Mantenimiento de obras o conjunto de obras de servicio público.

El campo de la Investigación tiene como meta principal la aportación de nuevos conocimientos científicos potencialmente aplicables a otros campos.

El investigador dedica gran parte de su tiempo a las siguientes actividades: asimilación de lo que otros han aprendido; formular teorías; concebir, planear y formular experimentos; registrar y analizar las observaciones hechas de fenómenos naturales; probar hipótesis y sacar conclusiones; procurar expresar los fenómenos naturales en términos matemáticos; generalizar lo que se ha aprendido y hacer deducciones; dar a conocer sus descubrimientos.

El campo del Desarrollo aprovecha todo ese cúmulo de conocimientos aportados por el campo de la Investigación, aplicándolos en la solución de problemas específicos de Ingeniería Civil, para la satisfacción de ciertas necesidades de la humanidad.

Por lo que toca al campo de la Planeación podemos decir, que es --

aquél en donde se llevan a cabo todos los estudios necesarios para realizar cualquier obra. Para ello será necesario conocer y clasificar las necesidades para satisfacerlas, trátase de una casa habitación, una fábrica, una presa, un camino.

Se pueden distinguir las siguientes etapas para la Planeación: estudios previos que comprenden la localización del lugar más adecuado para la construcción, beneficio esperado, economía, etc. Una vez hechos los estudios anteriores y habiéndose decidido realizar la construcción, es necesario hacer la planeación de la obra, estableciendo lo siguiente: tipos, cantidades y tiempo de empleo de los equipos: clasificación y número de obreros necesarios en los períodos de tiempo durante los cuales se necesitarán.

En el campo del Diseño, el ingeniero, mediante la información proporcionada por la Planeación, busca y estudia las soluciones posibles, para una vez que haya elegido la óptima, sea ésta llevada a los planos y especificaciones, es decir dimensionar lo imaginado. Existen diversas especialidades que se pueden desarrollar dentro del campo del Diseño y en general en todas y cada uno de los campos, especialidades tales como: Mecánica de Suelos, Hidráulica, Concreto, Vías Terrestres, Ingeniería Sanitaria, Estructuras, etc.

Una vez que se han completado los planos de diseño y que se han preparado las especificaciones, que son el lenguaje con el que se relaciona el campo del Diseño y el campo de la Construcción, siendo este último el que se encarga de la realización física, producto de los cuatro campos anteriores. Podemos encontrar dentro de este campo la siguiente división: construcción de carreteras, fe

rocarriles, ductos de tubería, obras municipales, marinas, montaje de estructuras, etc.

Habiéndose terminado la construcción de la obra, se hace necesario ponerla en operación para que satisfaga las necesidades para la cual ha sido creada. Es aquí donde entra en funciones el ingeniero que tiene como su principal campo de actividad la operación de un sistema o sistemas de obras, tal es el caso de una presa, un sistema de riego, o un sistema vial. Este campo constituye una fuente de trabajo para el Ingeniero Civil, por ejemplo, en el caso de una presa el ingeniero se puede dedicar al estudio de la precipitación a fin de poder regular el funcionamiento del vaso.

Toda construcción, sea ésta pequeña o de gran magnitud, requiere de un adecuado mantenimiento que permita tenerla en óptimas condiciones de funcionamiento y de servicio al público, y es el campo del Mantenimiento, el encargado de proporcionar este servicio a todo lo largo de la vida útil de la obra.

Para ilustrar la forma en que intervienen estos campos dentro de una obra ingenieril, citaremos el caso de la construcción de un dique (muro artificial-hecho para contener las aguas) que servirá para aprovechar una corriente para riego.

Como se puede ver, en la figura 1.1, todos éstos campos están interrelacionados puesto que tienen como objeto fundamental el adecuar el costo con la satisfacción de la necesidad. El ingeniero, consecuentemente debe ser capaz de tomar las decisiones correctas en cualesquiera de los campos mencionados ante



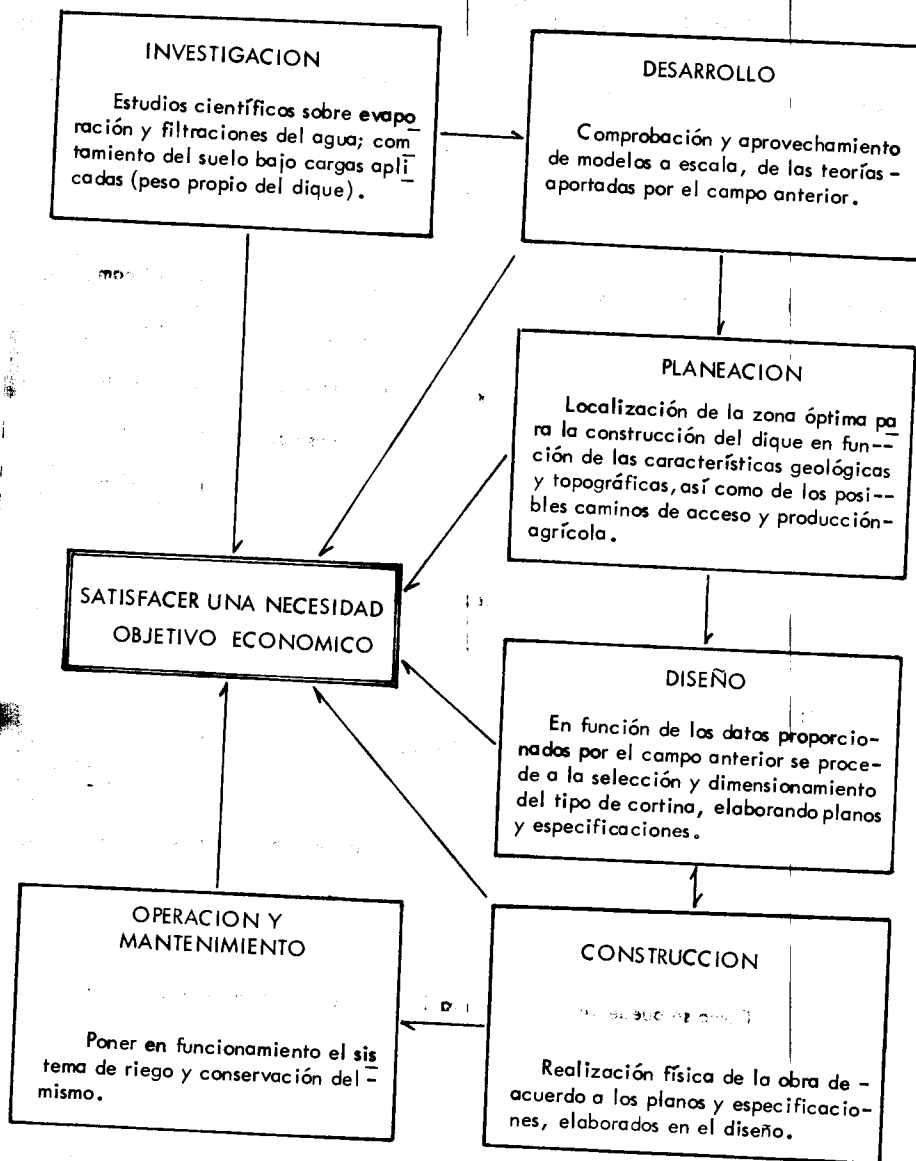


Figura 1.1 Interrelación de los campos.

riormente de tal manera, que se vaya encaminando hacia el objetivo fundamental, que es el económico.

Si el ingeniero se dedica a un campo específico, sus conocimientos — técnicos serán mayores congruentemente con el campo al que se dedica, pero si no tiene el adecuado nivel de conocimientos del resto de los campos, será difícil en la mayoría de los casos, que sus decisiones se orienten convenientemente al fin común. Por ejemplo, es virtualmente imposible que un ingeniero que se dedica a la construcción, sea simultáneamente competente en el proyecto de puentes, sin embargo, como complemento de su adecuado nivel de conocimientos en los procedimientos de construcción, deberá tener un buen nivel de conocimientos tecnológicos de cada una de las demás campos.

1.2

## OBJETIVOS

Los objetivos que el ingeniero persigue, para realizar una obra civil - varían de acuerdo a las características que esta presenta, pero se puede decir que el objetivo fundamental es el económico y en general se busca que el funcionamiento cumpla con la finalidad para la cual fué creada.

En la realización del dique mencionado, el ingeniero aplicará sus conocimientos técnicos para contestar una serie de preguntas, tales como:

¿Cuál es la localización adecuada?

¿Cuál es la altura óptima del bordo?

¿De qué material se va a construir?

¿Cuál será la recuperación de la inversión?

¿Cuales serán sus dimensiones geométricas?

Durante la búsqueda e investigación de las soluciones posibles, el ingeniero debe tener siempre presente el punto de vista técnico (¿es realmente factible?) y económico (¿puede hacerse a un costo razonable?). Si analizamos la primera de las interrogantes, esta pregunta nos conducirá a estudiar todas las localizaciones posibles para la construcción de la cortina, de acuerdo con la técnica-

adquirida por el ingeniero. Con la lista de las localizaciones posibles se definirá la óptima, tomando como base un criterio económico que es el generalmente usado tratando de relacionar la productividad que resulte de la obra con el costo de la misma, en una forma común a todas las alternativas. La que de mayores ventajas desde el punto de vista económico dará la solución a la localización.

Supongamos que otro objetivo en el ejemplo anterior sea el desarrollo de la zona, de tal manera que tiendan a disminuirse las sobreproducciones en la misma. En este caso el ingeniero tendrá dos objetivos que complicarán la decisión. Deberá analizar también las condiciones agrológicas de la zona de riego de las alternativas para definir los tipos de cultivo posible; también deberá analizar otra serie de factores, inclusive humanos, para poder tomar una decisión. Como se observa, existen otros objetivos aparte del económico, que suelen presentarse solos o combinados, con lo cual la decisión no será tan sencilla.

1.3

## DECISIONES

Por otro lado, analizaremos la forma en que el ingeniero toma su decisión de acuerdo con lo antes expuesto. Este proceso de decisión se puede expresar en las fases siguientes:

- a) Conocimiento profundo y completo de las necesidades manifiestas, que trae como consecuencia una solución más depurada de las posibles alternativas-solución.
- b) Tomar todas las alternativas posibles o cursos alternativos de acción.
- c) Análisis de todas las alternativas posibles.
- d) Comparar estos posibles cursos de acción.
- e) Tomar una decisión definitiva que vaya guiada al objetivo propuesto.

En todas y cada una de las fases anteriores, la definición y valuación del problema se hace tomando en cuenta el objetivo u objetivos y la preparación-técnica del ingeniero.

Tomemos ahora otra de las preguntas planteadas, por ejemplo, ¿de qué material se va a construir?. El proceso de decisión es el mismo e iguales las fases

Para nuestro caso particular el objetivo que se fija primero es el económico, como en el primer caso. En seguida se hace el diagnóstico del problema, es decir, se define el problema, se fijan especificaciones generales tales como factores de seguridad y datos topográficos. Inmediatamente después se fijan los cursos alternativos de acción, suponiendo por ejemplo, que la cortina podría ser de enrocamiento con corazón impermeable, sección de gravedad con mampostería, sección de gravedad con concreto, arco de concreto, etc. Es muy importante en este caso tomar en consideración la totalidad de las alternativas posibles, con objeto de que la decisión sea la más adecuada ya que si se olvida una, esta pudiera ser la más económica y la decisión que se tome al comparar las restantes no será la correcta. Una vez elegidas las alternativas posibles, el ingeniero podría compararlas elaborando antepresupuestos y posteriormente, teniendo el costo probable de las alternativas - tomando en consideración el tiempo de construcción, el mantenimiento y la operación de cada una de las soluciones, ya se podría tomar la decisión del tipo adecuado de cortina. Esta decisión cae dentro del campo de la Ingeniería Civil, denominado Diseño.

Supongamos que el diseñador elige la solución enrocamiento con corazón impermeable.

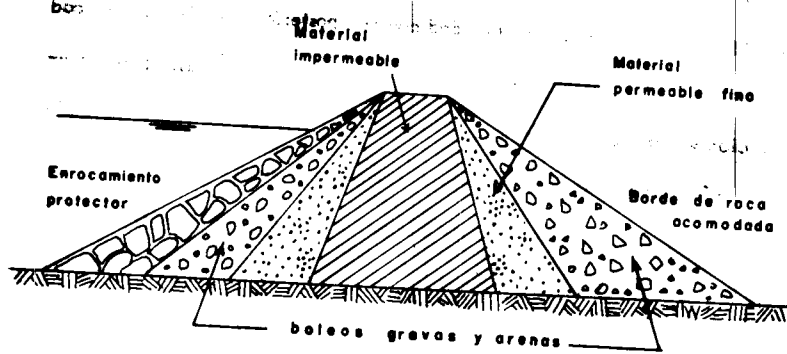


Figura 1.2 Sección transversal del dique.

Inmediatamente hace el diseño completo de la cortina, elaborando -- planos y especificaciones que definen la obra, tal y como él la imagina, en tal -- forma que la obra cumpla con el cometido y tenga un factor de seguridad razonable.

El paso siguiente sería la construcción de la obra. En el momento de la construcción el ingeniero se plantearía, entre otras, las siguientes preguntas:

¿De dónde tomar la roca?

¿Cómo explotarla?

¿Qué caminos de acceso es necesario construir?

¿Qué tipo de dinamita se debe usar?

¿Qué equipo de barrenación?

¿Qué equipo de carga?

¿Qué equipo de acarreo?

¿Cómo colocar la roca?

¿En qué tiempo?

Estas preguntas relacionadas únicamente con la zona de enrocamiento constituyen una serie de decisiones del ingeniero constructor que seguirán el mismo proceso indicado anteriormente. Sin embargo, vemos fácilmente que todas estas decisiones están encadenadas, es decir, no podríamos definir cual es el equipo de acarreo sin conocer la decisión en otros campos, por ejemplo, sin haber definido anteriormente el tipo de equipo de carga, el camino de acceso, el método de colocación de la roca, etc. Por otro lado no pueden definirse las cursos alternativos de acción en el caso de equipo de carga sin definir el equipo de acarreo. Vemos pues, que todas estas decisiones estan ligadas entre sí, por lo que sería muy difícil tomarlas independientemente, habrá que analizarlas al mismo tiempo definiéndose un procedimiento que nos permita tomar estas decisiones en conjunto, desde luego tomando en cuenta un objetivo que en este caso lo más probable es que sea el económico.

De las decisiones que se tomen resultará un costo del conjunto de alternativas que se hayan elegido, es decir, definido el procedimiento se tendría un --



costo afinado. Este costo deberá ser congruente con los costos que tomó tanto el diseñador como el planeador; en el caso del diseñador, al elegir el tipo de cortina y en el caso del planeador, al elegir el sitio en que debería ubicarse la obra. Si estos costos no coinciden razonablemente tendríamos dudas de las decisiones anteriores pues pudo haber ocurrido que no se contó con la información suficiente para tomar correctamente la solución.

Se ve por lo anterior, que todos estos campos están ligados, las decisiones que se van tomando en cada campo requieren de conocimientos que caen en otros campos. Si el diseñador no conoce los procedimientos de construcción y sus costos, es muy probable que equivoque sus decisiones por no poder comparar adecuadamente los cursos alternativos de acción.

Si tomamos el caso del constructor y sabiendo que las ideas del proyectista le son comunicadas mediante planos y especificaciones, debemos suponer que si no tiene idea del proyecto mal podrá tomar sus decisiones de manera que cumplan con los planos y especificaciones. Además, es fácil que en el curso de la construcción se encuentren condiciones no previstas por el proyectista. Si el constructor las ignora puede ocurrir que la obra al ser concluida no cumpla, entre otras cosas, con el factor de seguridad elegido. Será obligación del constructor, pues, dar aviso al proyectista cuando encuentre condiciones que alejen al proyecto de las ideas del ingeniero que lo elaboró, por ejemplo, puede encontrar condiciones de cimentación diferentes a las supuestas o material del banco que no cumpla con las especificaciones dadas. Esto no lo podrá hacer el constructor si no posee cono

cimientos suficientes en el campo del proyecto (ver Fig. 1.1).

Resumiendo: las decisiones que toma el ingeniero en los diferentes campos y aún dentro de un mismo campo están relacionadas entre sí, por lo que no es conveniente tomarlas independientemente.

Además de los conocimientos profundos en su propia especialidad, el ingeniero deberá tener ideas claras de los restantes campos de la Ingeniería, lo que le permitirá realizar sus funciones, ubicado en el campo de su actividad y conociendo la intención de los demás elementos que concurren al proceso de una obra, auxiliándose de ellas y auxiliándolos cuando se requiera.

Son tan claras las funciones y las relaciones de los campos de la Ingeniería, que no se concibe la realización de un proyecto sin la formación de un equipo en el que concurren técnicos representativos de todos los campos. Es evidente que, como resultado de esta actividad de conjunto se requiera de una ligazón de conocimientos, que en mayor a menor escala tendrá que existir a fin de permitir el logro común.

1.4

#### OPORTUNIDAD DE LAS DECISIONES

Toda decisión tomada por el ingeniero debe cumplir entre otras condiciones la de ser adecuada y oportuna.

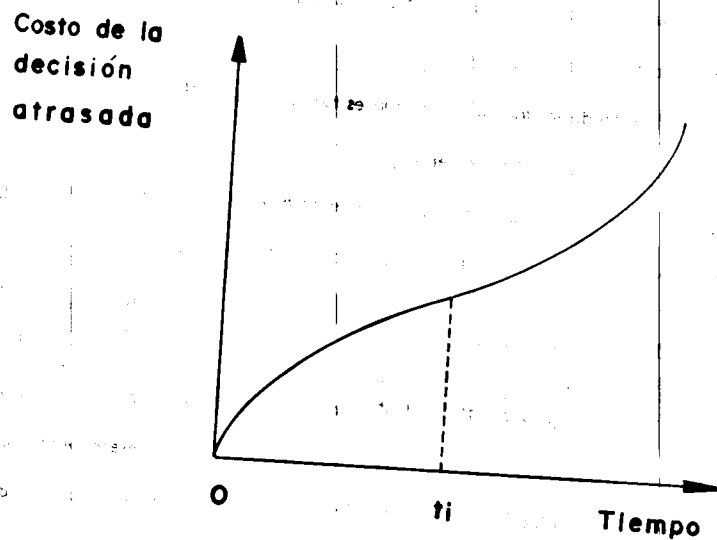
La primera característica se puede alcanzar usando la tecnología apropiada, es decir, teniendo en cuenta los conceptos de sistema para no perder de vista la trascendencia de una decisión sobre el sistema-obra o sobre los sub-sistemas que lo forman, utilizando los procedimientos analíticos y experimentales, aprovechando la potencialidad de las computadoras electrónicas como una herramienta de cálculo muy poderosa.

La segunda de las características mencionadas al principio del capítulo, la oportunidad en las decisiones, es tan importante como la primera. No basta que la decisión que se toma sea adecuada, es necesario que también sea oportuna para que ejerza la función para la cual se requiere.

Si la decisión es adecuada y oportuna, se logrará el resultado deseado. Si sólo se satisface una de las dos condiciones anteriores, no se obtendrán los resultados esperados.

Si se define el costo de la decisión atrasada como la diferencia entre el costo en el tiempo  $t$  menos el costo en el tiempo cero, considerando que el tiempo cero es aquél en que se debe tomar la decisión, se puede describir la forma teó-

rica general que el costo de la decisión atrasada tiene, independientemente del tiempo de decisión de que se trate, a través de la gráfica siguiente:



Si la decisión se toma en el momento justo (tiempo cero) el costo de la decisión atrasada será cero: a medida que pasa el tiempo el costo de la decisión atrasada aumenta con cierta rapidez de crecimiento hasta llegar a un tiempo  $t_i$ , después del cual esta rapidez se incrementa notablemente. Así, para toda decisión se pueden distinguir dos regiones: la primera de 0 a  $t_i$ , donde el costo de la decisión atrasada no es muy importante, y de  $t_i$  en adelante, donde el costo de la decisión atrasada puede resultar tan alto, que puede afectar seriamente la activi-

dad de que se trate; o tal vez el proyecto completo desde el punto de vista de -- control económico. Sin embargo, aunque se conoce la forma de la curva, es muy difícil definirla cuantitativamente para una decisión cualquiera. Las escalas, como es lógico suponer, son diferentes para cada caso, tanto en lo que se refiere a los costos como a los tiempos.

El costo de la decisión atrasada es tanto más difícil de cuantificar -- cuanto más complejo sea el sistema en el cual se hace la decisión, ya que un atraso en una decisión no suele afectar exclusivamente a una actividad, sino a un conjunto de actividades directa o indirectamente conectadas a ella.

### PROCESO DE DECISION

Todo Ingeniero Civil en el ejercicio de su profesión tiene la necesidad de tomar decisiones constantemente. Para cada problema el ingeniero debe elegir un criterio que, aplicado a la información previamente analizada y procesada con un método adecuado, le indique la acción más conveniente a seguir.

Todo proceso de decisión puede considerarse compuesto de tres etapas esenciales; la obtención de los datos, el análisis y procesamiento de estos datos y la toma de decisiones.

Se presenta aquí un método de análisis en el que se necesitan como datos los posibles ingresos o recuperaciones y egresos o salidas, expresados en pesos y centavos indicando, además, los tiempos en que estos movimientos de dinero se efectúan para las diferentes alternativas.

Existen dos tipos de métodos de análisis para decisiones económicas: - los deterministas y los probabilistas. Los primeros, suponen que a cada alternativa se pueden asociar un solo diagrama de egresos y recuperaciones conocido. El diagrama de egresos y recuperaciones (diagrama E-R) no es más que la representación gráfica del programa de egresos y recuperaciones a lo largo del tiempo; abscisa = tiempo; ordenadas = dinero; flechas verticales ascendentes, recuperaciones y verticales descendentes, egresos. Los métodos del segundo tipo llamados probabilistas, consideran para cada alternativa varios diagramas de posibles egresos y recuperaciones, con una probabilidad asociada a cada diagrama. Se ilustra el primer tipo de métodos, con un problema hipotético que pretende determinar -- cual es el tipo de camino económicamente más conveniente para un movimiento de tierras, en una obra foránea donde se conoce para cada alternativa (tipo de camino), un solo diagrama de gastos y una recuperación al final.

#### PRINCIPIOS GENERALES

Se establecen dos principios generales:

1. Solamente las diferencias esperadas entre alternativas son relevantes en su comparación.
2. Toda inversión debe ser analizada, viendo si puede ser recobrada con una recuperación adicional, que tome en cuenta el riesgo y las recuperaciones probables de la misma inversión, en otros posibles campos de actividad económica.

Respecto al primer principio, cabe indicar que las diferencias entre alternativas pueden ser cuantitativas o no. En ambos casos se tratarán de definir todas las diferencias lo más claramente posible, para que todas ellas sean tomadas en cuenta en la decisión final.

Todas las diferencias cuantitativas se deben tratar de expresar como parte de los diagramas E-R y las cualitativas pueden enumerarse en una lista para incluirlas en la decisión final como imponderables. Tal como lo expresa el primer principio general, los aspectos de las alternativas que se encuentran en igualdad de condiciones no tienen efecto en la decisión final, debiéndose eliminar del estudio. Conviene hacer notar que esta igualdad de condiciones representaría igualdad en los diagramas E-R correspondientes.

El segundo principio general se refleja en la elección de la tasa de interés adecuada para el estudio económico respectivo. A esta tasa de interés se le llama "tasa de interés mínima aceptable" y el criterio para determinarlo en diferentes situaciones a originado tratados completos.

Para nuestro caso y para problemas de ingeniería en general, parece ser adecuado el tomar el concepto "costo de capital" como la tasa de interés mínima aceptable. En este trabajo se usará el 1% mensual equivalente a 12% anual de interés nominal y 12.7% anual de interés efectivo.

El sistema monetario es una norma perfectamente definida para medir costos y beneficios, sin embargo su unidad tiene un valor que es función del tiempo, debido al costo de oportunidad que entraña. En efecto, si en este momento -

le entregaran \$ 10,000.00 en efectivo o en su defecto, le hicieran una promesa de pago por esa cantidad a depositar dentro de 10 años; casi sin pensarlo optaría por la primera alternativa, pues al aceptar la segunda, sacrificaría al menos los intereses normales de este capital durante 10 años, esto quiere decir que valen más ahora \$ 10,000.00 que una cantidad igual por erogar o percibir dentro de 10 años.

## MÉTODOS DE ANÁLISIS Y CRITERIOS DE DECISION

### Métodos Deterministas

Existen varios métodos deterministas de análisis económicos. Se menciona aquí cuatro métodos comunmente usados: el del valor actualizado, el costo por unidad de tiempo, la tasa de interés recuperable y el análisis de beneficios-costos. En todos estos métodos se toma el valor del dinero en el tiempo y las fórmulas que se aplican son de interés compuesto, teniendo también aplicación en los métodos probabilistas. Desarrollaremos a continuación la fórmula de interés compuesto que relaciona una cantidad hoy, con una cantidad de  $n$  unidades de tiempo a partir de hoy.

Si una cantidad  $C$  se invierte hoy a una tasa de interés  $i$  por unidad de tiempo, digamos 8% anual (0.08), los intereses ganados al final del primer intervalo de tiempo son  $iC$  (0.08C por año), que agregados al capital inicial nos da un capital de  $C + iC = C(1 + i)$  al final del primer intervalo (1.08C al final del primer año). El interés ganado en el segundo año es  $i(C + iC)$  de manera que el capital acumulado hasta el final del segundo intervalo es  $C(1 + i) +$



$i(C + iC) = C(1 + i)^2$ ;  $(1.08)^2 C$  al final del segundo año.

Generalizando para  $n$  intervalos de tiempo, por ejemplo 10 años, obtendremos que el capital acumulado al final del  $n$ ésimo intervalo es  $C(1 + i)^n$  (el capital final de 10 años  $1.08^{10} C = 2.159 C$ ). Si al capital acumulado al final de  $n$  intervalos de tiempo al futuro se representa por  $F$ , la relación entre  $F$  y  $C$  será:

$$F = C(1 + i)^n$$

donde  $i$  es la tasa de interés usada y  $n$  es el número de intervalos de tiempo que componen el período comprendido entre hoy (capital- $C$ ) y el futuro (capital- $F$ ). Al factor  $(1 + i)^n$  le llamaremos factor de valor futuro.

Despejando a  $C$

$$C = \frac{F}{(1 + i)^n}$$

que nos da el valor del capital actualizado  $C$  (pago simple), equivalente al capital  $F$  (pago simple) a  $n$  intervalos de tiempo a partir de hoy.

Al factor  $\frac{1}{(1 + i)^n}$  le llamaremos factor de valor actualizado.

En forma semejante se pueden obtener las fórmulas de equivalencia entre pagos simples y series de pagos o viceversa, para hoy y para  $n$  intervalos de tiempo al futuro.

A continuación, enumeraremos algunos de los métodos deterministas

más usados en análisis económicos, que naturalmente incluyen el uso de fórmulas de interés compuesto, obtenidas en forma semejante a la de valor del capital actualizado ilustrada anteriormente.

### 1. El Método del Valor Actualizado

En este método se calcula para cada una de las alternativas el valor actualizado equivalente a la serie, uniforme o no, de egresos y recuperaciones de toda la vida de la alternativa. Cuando se usan simultáneamente egresos y recuperaciones en una alternativa, se asocian a ellos signos contrarios; en general, se usa signo positivo para las recuperaciones y signo negativo para los egresos. El valor actualizado equivalente será egreso o recuperación actualizado si la suma algebraica resulta negativa o positiva, respectivamente.

El criterio de decisión comúnmente aceptado para elegir entre alternativas cuyo valor actualizado halla sido calculado, es el escoger aquella alternativa que tenga el egreso actualizado mínimo o la recuperación actualizada máxima.

### 2. El método del Costo por Intervalo de Tiempo.

En este método se calcula un gasto promedio por intervalo que constituye una serie uniforme de gastos a lo largo de todo el período de análisis.

Esta serie uniforme de gastos es equivalente a la serie irregular de gastos de la alternativa correspondiente y sería equivalente a un gasto actualizado (método 1). En aquellos problemas en que intervienen gastos, los métodos 1 y 2 son equivalentes y sólo dependen de la forma en que se prefieran presentar los re-

sultados de las alternativas. Se considera que en general es más fácil pensar en términos de Gasto por Intervalo de Tiempo que en Valores Actualizados. Como el intervalo de tiempo más usado es el año, a este segundo método lo llamaremos Gasto Anual, aunque se aplique a intervalos diferentes del año.

Obviamente el criterio de decisión es el de escoger la alternativa económicamente más conveniente o sea la que tenga un "Gasto Anual" menor.

### 3. El Método de la Tasa de Interés Recuperable.

Este método, al que llamaremos por brevedad el de la "Tasa Recuperable", calcula la tasa de interés recuperable de cada alternativa originada por las recuperaciones con respecto a los egresos correspondientes. La tasa recuperable es la tasa de interés a la cual el valor actualizado del diagrama E-R es igual a cero. Es interesante notar que en este método no es necesario conocer el Costo del Capital ya que los egresos y recuperaciones no son actualizados ni convertidos en serie uniforme.

El criterio de decisión indica para este caso que en igualdad de condiciones, la alternativa más atractiva es aquella con mayor tasa recuperable.

### 4. El Método de Análisis de Beneficios-Costos.

Este método determina el valor actualizado de los beneficios y el valor actualizado de los costos por separado, y calcula el cociente de los primeros entre los segundos. Aquellas alternativas que tengan este cociente B/C mayor o igual a uno son incluidas para un análisis posterior y aquellas que lo tienen menor

que uno son, rechazadas automáticamente. Entre aquellas alternativas que hayan pasado la prueba anterior, se hará una comparación sucesiva por pares prefiriendo la alternativa más costosa, siempre y cuando el cociente incremental del B/C sea mayor o igual a uno. Si no se usaran valores marginales o incrementales se elegiría aquella alternativa con mayor cociente B/C lo cual puede ser incorrecto.

La naturaleza del problema y la información con que se cuenta son los factores que más intervienen en la elección del método de análisis y del criterio de decisión. Cuando no es posible valorar los beneficios no será posible usar "Beneficio-Costo" ni "Tasa Recuperable" y los primeros dos métodos serán adecuados.

#### Ejemplo de Métodos Deterministas.

Para ilustrar la comparación económica de alternativas con un método determinista, se cita el siguiente ejemplo: una obra foránea en la que se requiere un trabajo importante de movimiento de tierra, se enfrenta a la tarea de decidir sobre el tipo de camino que se debe construir para hacer la transportación de materiales a la obra en la forma más económica. Se proponen para solución tres diferentes tipos de caminos; brecha, revestido y pavimentado. El volumen de material por transportar es de  $2,000,000 \text{ m}^3$  y la tasa de interés mínima aceptable es de 1% mensual. Los tres tipos de camino tiene diferentes características geométricas y económicas. Geométricas, pues difieren en longitud, curvatura y pendiente, y económicas, ya que tienen diferentes el costo inicial de construcción del camino,

los costos de operación y de transporte, la recuperación global al terminar el transporte y el tiempo total de transportación. No se considerará el costo de inversión inicial en equipo de transporte pues se supone que dicho equipo se va a rentar y este costo se incluye en el costo de transporte.

Todos los datos base para este análisis se dan a continuación:

#### DATOS COMUNES PARA LAS TRES ALTERNATIVAS

Volumen por mover	2'000,000 m <sup>3</sup>
Recuperación al finalizar el transporte	\$ 30'000,000.00
Tasa de interés mínima aceptable	1% mensual

#### ALTERNATIVA A- BRECHA

Costo	\$ 200,000.00
Mantenimiento mensual	\$ 48,000.00
Costo de transporte	\$ 2.60/m <sup>3</sup> -Km
Longitud del camino	4 Km
Tiempo de operación	24 meses

#### ALTERNATIVA B-REVESTIDO

Costo	\$ 800,000.00
Mantenimiento mensual	\$ 30,000.00
Costo de transporte	\$ 1.98/ m <sup>3</sup> - Km
Longitud del camino	4.9 Km
Tiempo de operación	19 meses



**VALOR TOTAL ACTUALIZADO**

Serie Uniforme = 21.243 (Ver Nota)

Factores de Actualización

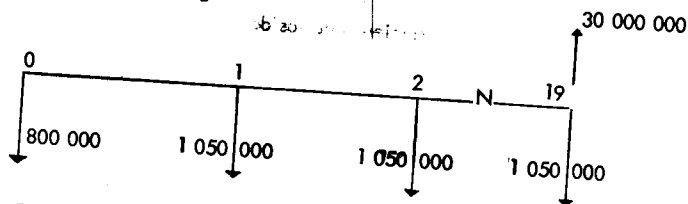
Pago Simple = 0.7876

$VTA = -200\ 000 - 915\ 000 (21.243) + 30\ 000\ 000 (0.7876)$

$VTA = -200\ 000 - 19\ 437\ 345 + 23\ 628\ 000 = 3\ 990\ 655$

VTA = 3 990 655

**ALTERNATIVA B**



Costo mensual del transporte  $\frac{2'000,000}{19} \times 1.98 \times 4.9 = 1\ 020\ 000$

Costo mensual del mantenimiento . . . . . = 30 000

Costo mensual total . . . . . = 1 050 000

**VALOR TOTAL ACTUALIZADO**

Serie Uniforme = 17.226

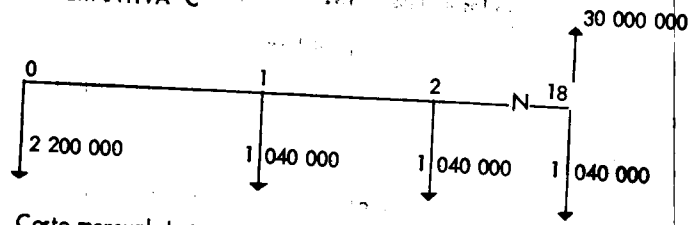
Factores de Actualización

Pago Simple = 0.8277

$VTA = -800\ 000 - 1\ 050\ 000 (17.226) + 30\ 000\ 000 (0.8277)$

VTA = 5 943 700

ALTERNATIVA C



Costo mensual de transporte  $\frac{2'000,000}{18} \times 1.98 \times 4.7 = 1\,035\,000$

Costo mensual de mantenimiento . . . . . = 5 000

Costo mensual total . . . . . = 1 040 000

VALOR TOTAL ACTUALIZADO

Serie Uniforme = 16.3998

Factores de Actualización

Pago Simple <sup>sup oae</sup> = 0.8360

VTA = - 2 200 000 - 1 040 000 ( 16.398 ) + 30 000 000 ( 0.8360 )

VTA = 5 826 080

NOTA: Los factores de actualización aquí utilizados se pueden encontrar en la tabla que se anexa en las columnas correspondientes al 1%.

Tanto los diagramas E-R como en el procesamiento de los datos mostrados en ella se hace la suposición de que los movimientos de dinero se realizan al final de cada mes ( en general, se supone en estudios económicos de comparación, que los movimientos de dinero se realizan al final de los intervalos de tiempos con



siderados). Esta suposición no origina errores importantes siempre que las diferentes alternativas se presenten bajo las mismas bases.

El criterio de decisión nos indica que debemos elegir aquella alternativa con la recuperación actualizada máxima o egreso actualizado mínimo. En nuestro ejemplo, debido a la fuerte recuperación final el valor actualizado resulta ser recuperación también, por lo cual, la alternativa B-Camino revestido, debe elegirse por su recuperación actualizada superior.

La decisión final no debe ser tomada aún; hay que considerar previamente los imponderables (llamados anteriormente cualitativos), los elementos que influyen en la decisión pero que no pueden ser cuantificados en términos monetarios.

En nuestro caso, por ejemplo, un factor imponderable sería el que el movimiento de tierras se tuviese que terminar en 18 meses porque la segunda creciente del río se espera dentro de ese tiempo (la primera creciente del río no afecta por estarse trabajando en los márgenes). En un caso como éste, la decisión por la alternativa B no sería la correcta y tendríamos que cambiar de decisión y elegir la C ya que esta alternativa tiene la duración adecuada, a pesar de que tenga un valor actualizado de recuperación, menor que la alternativa B.

TABLAS DE INTERES COMPUESTO  
FACTORES DE ACTUALIZACION

No.	1%		12%	
	Pago Simple	Serie Uniforme de pagos	Pago Simple	Serie Uniforme de pago
1	0.9901	0.990	0.8929	0.893
2	0.9803	1.970	0.7972	1.690
3	0.9706	2.941	0.7118	2.402
4	0.9610	3.902	0.6355	3.037
5	0.9515	4.853	0.5674	3.605
6	0.9420	5.795	0.5066	4.111
7	0.9327	6.728	0.4523	4.564
8	0.9235	7.652	0.4039	4.968
9	0.9143	8.566	0.3606	5.328
10	0.9053	9.471	0.3220	5.650
11	0.8963	10.368	0.2875	5.938
12	0.8874	11.255	0.2567	6.194
13	0.8787	13.004	0.2292	6.424
14	0.8613	13.865	0.2046	6.628
15	0.8700	13.004	0.1827	6.811
16	0.8528	14.718	0.1631	6.974
17	0.8444	15.562	0.1456	7.120
18	0.8360	16.398	0.1300	7.250
19	0.8277	17.226	0.1161	7.366
20	0.8195	18.046	0.1037	7.460
21	0.8114	18.857	0.0926	7.562
22	0.8034	19.660	0.0826	7.645
23	0.7954	20.456	0.0738	7.718
24	0.7876	21.243	0.0659	7.784
25	0.7798	22.023	0.0588	7.843
26	0.7720	22.795	0.0525	7.896
27	0.7644	23.560	0.0469	7.943
28	0.7568	24.316	0.0419	7.984
29	0.7493	25.066	0.0374	8.022
30	0.7419	25.808	0.0334	8.055
31	0.7346	26.542	0.0298	8.085
32	0.7273	27.270	0.0266	8.112
33	0.7201	27.990	0.0238	8.135
34	0.7201	27.703	0.0212	8.157
35	0.7050	29.409	0.0189	8.176
40	0.6717	32.835	0.0107	8.244
45	0.6391	36.095	0.0061	8.283
50	0.6080	39.196	0.0035	8.305
75	0.4741	52.587		
100	0.3697	63.029		

1.5

## RECURSOS

### Elementos del Costo.

Para llevar a cabo la realización de cualquier obra de Ingeniería Civil, se cuenta con varias alternativas, de las cuales es necesario obtener el costo total de cada una de ellas para poderlas comparar, siguiendo el criterio fundamental que es el económico.

Es conveniente hacer notar que no precisamente el costo más bajo nos da la alternativa adecuada. Si tomamos como ejemplo al diseñador que esta eligiendo el tipo de cortina deberá tomar en cuenta otros factores diferentes del costo en si, tales como: el tiempo de reposición de la obra, el costo futuro de mantenimiento y operación, etc. Pero de todas maneras es evidente que un factor importante en la mayoría de los casos, es el costo de la alternativa, sin el cual no podemos iniciar la comparación de los posibles cursos de acción.

Analizando ahora este costo, trataremos de definir de qué partes se compone. En el caso del dique deberemos obtener los materiales tales como: explosivos, brocas, acero de barrenación, etc. que formarán parte de nuestro costo total.

En la construcción utilizaremos la maquinaria para excavar, transpor-

tar y colocar la roca, así como para perforar. Esto constituye también un elemento del costo. Por último, tendremos el elemento humana que también forma parte del costo total de la obra.

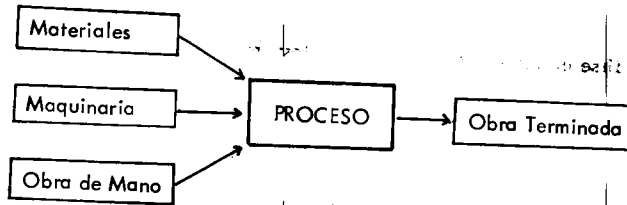
A estos elementos combinados en una forma u otra a través de un proceso que producirá la obra terminada los llamaremos recursos.

Si analizamos una obra cualquiera, se verá que siempre el costo puede subdividirse en estos tres grandes capítulos: materiales, maquinaria y obra de mano, en tal forma que analizando nuestro proceso desde el punto de vista económico (objetivo = costo más conveniente) lo podremos imaginar como la mejor forma de combinar los tres elementos del costo, tanto en cantidades relativas como en calidades. Esto es, se necesita definir un procedimiento constructivo cualquiera, no sólo el número de máquinas que deberá usarse, sino el tipo y tamaño de máquinas, comparando en distintas alternativas diferentes tipos y tamaños.

1.6

## PROCESO CONSTRUCTIVO

Se puede presentar la construcción como uno o varios procesos de transformación, con una entrada: los recursos para producir la obra terminada.



Esto es, la mejor forma en que combinemos los recursos, nos llevará a obtener la salida del proceso, por lo que es necesario analizar el proceso en conjunto. Esto indica que tendremos que estudiar el proceso previamente a la ejecución del trabajo, para poder definir el grupo de decisiones que permitirán el logro de nuestros objetivos o cuando menos para tener una estructura que nos sirva de guía para tomar las decisiones. Este trabajo previo constituye la Planeación del Proceso.

Para estudiar el proceso es necesario analizar las variables significativas (entendiéndose por significativas aquellas que si hacemos a un lado modificarán fundamentalmente nuestras decisiones en función del objetivo) que intervienen en él, encontrar las relaciones entre ellas y cómo una variación en cada una de -

ellas, influye en que el resultado final se acerque más o menos a nuestro objetivo. En realidad equivale a considerar la totalidad de cursos alternativos de acción en función del objetivo.

Como normalmente los cursos alternativos de acción son un número -- muy grande, sería imposible analizar alternativa por alternativa, y es por eso que será conveniente buscar una mejor forma de compararlas y por esto precisamente -- buscamos la manera de encontrar como cada valor de una variable influye en la salida del proceso.

Se tendrá, pues, que analizar en función de nuestro objetivo los siguientes incisos:

a) Variables Controlables. Son aquellas posibles de manejar, es decir, que pueden ser controladas en el proceso. Como ejemplo tenemos en la construcción del dique de tierra:

Tamaño del Equipo

Cantidad de Dinamita

Tiempo de ejecución de la obra.

Cantidad de Obra de Mano.

b) Variables no Controlables. No pueden ser manipuladas pero se pueden prever mediante un estudio, sin embargo, influyen evidentemente en que el resultado final se acerque o no al objetivo, por lo que habrá que considerarlas. Tomando el ejemplo anterior se tiene:

Costo de la Obra de Mano

Costo de los Materiales

Existen además variables no controlables que no se pueden prevenir tal es el caso de un sismo.

c) Limitaciones a las Variables. Por otro lado, normalmente las variables tienen limitaciones. Si consideramos, por ejemplo, el total de horas-máquina para ejecutar un trabajo dado, éstas no podrán ser menores que cero o mayores que el tiempo total disponible. Se puede tener limitaciones en:

Tiempo de ejecución de la obra

Sumas mensuales a gastar

Planos y Especificaciones

Estas limitaciones a las variables son muy importantes en general y muchas de ellas estarán contenidas en los mismos planos y especificaciones.

Puede verse que no será fácil encontrar todas las variables, separar las significativas de las no significativas (entendiéndose por no significativas aquellas que si hacemos a un lado no modificarán fundamentalmente nuestras decisiones en función del objetivo), encontrar las limitaciones y sobre todo definir las relaciones entre todas ellas, en tal forma que podamos tener una serie de decisiones o fijar la estructura en que se apoye la toma de decisión.

En el caso particular de la construcción, es usual que las condiciones varíen con el tiempo ya que es común encontrar en el campo, en el momento de construir, condiciones diferentes a las que tomó el diseñador, lo que origina evidentemente modificaciones en especificaciones, en dimensiones y algunas veces cambios substanciales en la obra, como modificación del sitio.

¿Cómo adaptar nuestra planeación a tales cambios? Parecería necesario si tales modificaciones existen, repetir nuestra planeación de proceso. Habrá que buscar desde luego, para facilitar estas modificaciones, el método para planear que más fácilmente pueda adoptarse a las modificaciones y evitar en lo posible tener que replanear principiando de nuevo.



1.7

## PROCESOS DE CONTROL

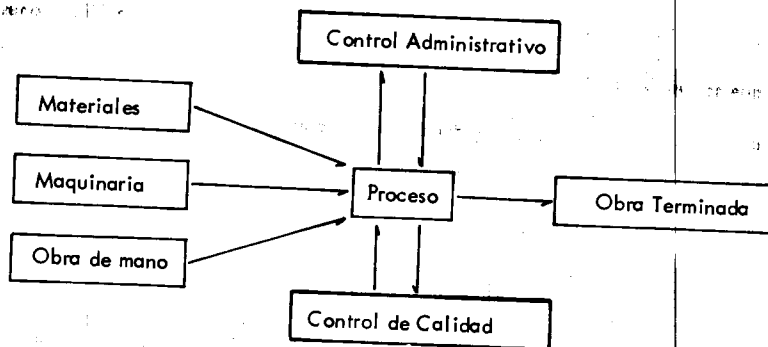
¿Cómo podremos estar seguros que nuestra planeación funciona y las decisiones que vamos tomando derivadas de esta planeación nos van encaminando al objetivo u objetivos? Si tenemos que manejar un gran conjunto de variables, estudiar sus relaciones, analizar sus limitaciones y además, hemos hecho a un lado las variables no significativas escogidas a base de criterio, es fácil comprender -- que no podemos esperar al término de la obra para saber si nuestro objetivo se cumplió o no. Será necesario revisar a lo largo del proceso si nuestro objetivo se va cumpliendo. Esto puede realizarse comparando a lo largo de la construcción lo realizado con lo planeado, en función del objetivo. En el caso de la cortina irá mos llevando costos y comparándolos con los planeados, analizando continuamente las diferencias, y cuando éstas sean significativas habrá que revisar la planeación y desde luego si lo planeado se está realmente llevando a cabo. No basta planear después de tomar las decisiones habrá que comunicarlas y tener una organización para llevarlas a cabo. Si algo falla, lo planeado no coincidirá con lo ejecutado y tendremos que corregir. Esta revisión y actuación para corregir el proceso en función de los costos se denomina en construcción, Control Administrativo.

Es un control constante.

También será necesario, como hemos expuesto ya, llevar a cabo la obra en tal forma que cumpla con su propósito y tenga el factor de seguridad adecuado.

Como en el caso anterior, no es posible esperar a terminar el trabajo para conocer si tiene el factor de seguridad dado por el proyectista y cumple con el cometido para el cual se diseñó. Habrá que estar revisando continuamente que la obra en ejecución se vaya construyendo, cumpliendo con este propósito. Esto se logra en forma similar a lo anterior, tomando muestras para compararlas con el estándar y si hay desviación significativa influyendo en el proceso, tendremos que corregir la desviación. A esto se le llama Control de Calidad.

En realidad estos dos controles constituyen un proceso en sí, cuyo también de ser planeado, y se conoce con el nombre de Control o Retro-alimentación. Este proceso actúa modificando el proceso principal. Gráficamente puede representarse el proceso constructivo de la siguiente forma:



## 1.8 FACTORES DE CONSISTENCIA DE COSTOS Y PRECIOS UNITARIOS.

Dentro de los múltiples problemas que se presentan en el ramo de la construcción, el establecimiento de los precios unitarios equitativos a que debe pagarse un trabajo, ha sido tradicionalmente un punto de divergencia de opiniones entre las empresas contratistas y los órganos oficiales a particulares encargados de la realización de obras, lo que ha constituido motivo de discusiones, pérdidas de tiempo y entorpecimiento del desarrollo de las obras.

Si con anticipación se establecen en forma perfectamente definida las especificaciones, normas y criterios generales que servirán de base para el cálculo de los precios unitarios, los puntos de divergencia se reducirían al mínima.

La elaboración de precios unitarios, na es más que una etapa dentro del proceso constructiva general, que se inicia con la investigación o estudio de la factibilidad de realizar una obra y que termina con la construcción de la misma.

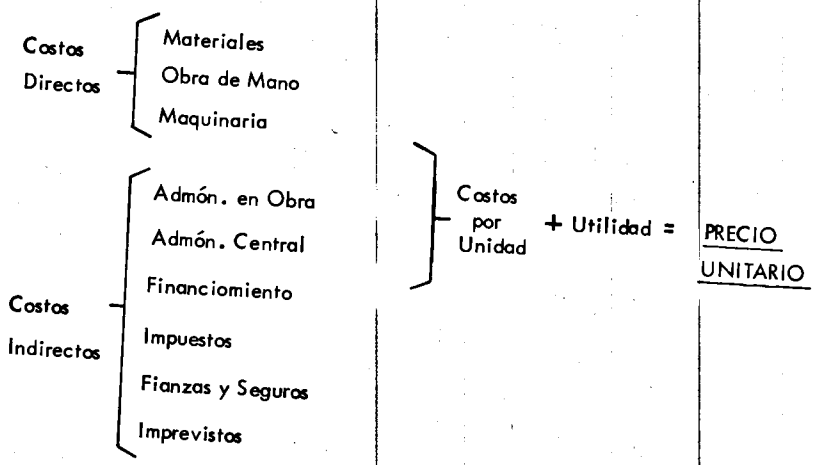
No es posible calcular precios unitarios sin apoyo en especificaciones ya que son éstas precisamente las que definen la obra que se requiere y la forma en que debe ejecutarse, lo que indudablemente constituye la base para determinar los precios unitarios de los conceptos de esa obra.

Previo a la elaboración de éstos precios unitarios, es absolutamente in

dispensable, conocer a fondo los recursos tanto de materiales, como humano y de-  
maquinaria, así como la disponibilidad de los mismos.

En términos generales los elementos que componen un precio unitario -

son :



Del cuadro anterior, se concluye que tanto los elementos que integran los costos directos, los costos indirectos y el elemento utilidad, son los que permiten valorizar el Precio Unitario, razón por la que en conjunto, constituyen los llamados "factores de consistencia" de los precios unitarios.

A lo largo de los siguientes capítulos se analizarán únicamente los elementos que constituyen el Costo Directo.

Estos apuntes se terminaron de imprimir el  
30 de Mayo de 1979, habiendo estado la  
edición al cuidado del Ing. Jorge Humberto  
De Alba Castañeda.

Edición de 1000 Ejemplares.