

# DÍA 2

# 4

---

## **C**OSTOS EN LA **C**ONSTRUCCIÓN

●

M. EN I. LUIS ANTONIO ROCHA CHIU  
ING. TARCISIO GAMA PONCE  
M. EN A. JUAN ANTONIO PRUNEDA



## INTRODUCCIÓN

Los proyectos de construcción se dividen típicamente en áreas especializadas, cada una con sus requerimientos, recursos y conocimientos propios. Una clasificación comúnmente aceptada es la siguiente:

- Construcción habitacional o residencial
- Edificación
- Construcción pesada
- Construcción urbana
- Construcción industrial

El primer tipo incluye la construcción de viviendas de distintos tipos, condominios y residencias, en la edificación se considera la construcción de edificios comerciales, de oficinas y para servicios. La construcción pesada está integrada por obras de infraestructura regional como las presas, puentes, puertos, ferrocarriles y carreteras; la construcción urbana se refiere a la infraestructura de las ciudades como sistemas de drenaje y de agua, plantas de tratamiento de aguas residuales, redes eléctricas, líneas telefónicas y estaciones de bombeo; y, la construcción industrial son obras que requiere el sector de la transformación como refinerías, plantas químicas, de plásticos y fábricas de distinto tipo.

Es común incluir dentro de la edificación a la construcción residencial y la de edificios para diferentes propósitos. La edificación ha adquirido especial importancia en México en los últimos años debido al constante crecimiento en la construcción de viviendas de distintas clases y de edificios comerciales y de oficinas.

En las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) la edificación, por el valor de la obra construida, es el concepto más importante del sector de la construcción. Hace seis años el valor de la edificación con respecto al total del sector era de menos de 40%, en marzo de 2007 representa ya 55%, esto significa que el valor de las obras de edificación es en la actualidad mayor que la inversión total en obras de construcción para agua, riego, saneamiento, electricidad, comunicaciones, transporte, petróleo y petroquímica.

Los proyectos de construcción para la edificación deben completarse coordinadamente de acuerdo a planos y especificaciones previas, respetando las otras restricciones impuestas en el proceso de construcción, que generalmente son exclusivas para cada proyecto. A pesar de la similitud entre proyectos, existen siempre elementos distintos que hacen a cada proyecto único, tales como el tipo de suelo, la inclemencia del tiempo, la disponibilidad de materiales y recursos, la calidad de la mano de obra, etc. En la manufactura, la materia prima es traída a una fábrica con un control importante del proceso de transformación del producto; en la construcción la “fábrica” esta puesta en el sitio de la obra y la producción se ve envuelta en un desarrollo incierto, es decir, que no se pueden controlar todas las variables tan cuidadosamente como en una fábrica.

**COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN**

A menudo es difícil controlar el desarrollo de los proyectos de construcción, es tarea del constructor predecir dentro de lo posible las diferentes situaciones que se pueden encontrar y desarrollar planes y estrategias para cada caso. Dentro de estas situaciones el control del tiempo, de la calidad y del costo para ejecutar la obra son los retos más importantes que se presentan en cualquier proyecto de construcción. En este trabajo se tratan los métodos aproximados de presupuestación de obras empleados en los distintos proyectos de construcción con énfasis en la aplicación para obras de edificación.

**CICLO DE VIDA DE LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

El ciclo de vida de cualquier proyecto de construcción involucra seis partes básicas: concepto y estudios de factibilidad, diseño e ingeniería, procuración, construcción, pruebas y arranque, y operación. En la fase conceptual se realizan a nivel global los planos y las especificaciones del proyecto con base en las necesidades generales de los futuros usuarios; también, se efectúan los estudios de factibilidad técnica y económica y de impacto ambiental. La viabilidad económica requiere la estimación gruesa de los costos del proyecto, los cuales se calculan por diferentes métodos dependiendo del tipo de proyecto y de la experiencia del arquitecto o ingeniero de costos.

La etapa de diseño e ingeniería del proyecto se divide fundamentalmente en dos partes: el diseño e ingeniería preliminar y el diseño e ingeniería detallada. Ambas partes son tradicionalmente dominadas por arquitectos e ingenieros especializados, dependiendo del tipo de construcción.

**Figura 1. Ciclo de vida de los proyectos de construcción**

Etapa	Período				
	1	2	3	4	n
Conceptual	█				
Diseño e Ingeniería		█			
Procuración			█		
Construcción				█	
Pruebas					█
Operación					█

La procuración es una etapa de los proyectos de construcción que cada vez adquiere más relevancia, con anterioridad se consideraba como parte de la fase de construcción. Se dis-

tingue por llevar a cabo todo el procedimiento de adquisición de equipos de instalación fija y de algunos materiales de vital importancia en la ejecución del proyecto.

La etapa de construcción es la actividad más conocida de cualquier proyecto y requiere más de las dos terceras partes del presupuesto global del proyecto. Es evidente que la mayoría de los recursos se consumen en esta etapa, especialmente los materiales, la mano de obra y el uso de equipo de construcción, así como gastos de administración en obra y de oficina central del constructor.

Las etapas de pruebas y arranque y de operación son actividades que dependen del tipo de proyecto a ejecutar, en las obras de tipo industrial o de construcción pesada por lo general las pruebas a los equipos son muy especializadas; mientras que la operación requiere de una planeación cuidadosa y la mayoría de la veces se realiza en forma intensiva; por ejemplo, en las plantas de generación eléctrica es necesario probar las turbinas a plena capacidad y su operación es permanentemente vigilada, mientras que en un edificio de oficinas se prueban al terminar la construcción: los equipos relacionados con las instalaciones hidráulica, sanitarias, de aire, eléctricas, de gas, de comunicación y de computo, durante su utilización sólo se requiere mantenimiento preventivo.

Por otra parte, existen varios componentes en el proceso de la construcción, todos con un importante papel para el logro exitoso del proyecto. El propietario, ya sea privado o público, es la parte que inicia la demanda del proyecto y quien paga por su realización. El papel del dueño en el proceso varía considerablemente; sin embargo, la principal función del dueño es la de diferenciar y establecer el alcance en el trabajo de las otras partes participantes. También, debe revisar la factibilidad del proyecto conforme a estimados de costos o presupuestos aproximados y vigilar permanentemente el desarrollo general del proyecto y su avance financiero.

El diseñador es el responsable del desarrollo adecuado de los planos y especificaciones de acuerdo con el reglamento de diseño y establece un vínculo entre el deseo del dueño y su realización como proyecto. El constructor principal es el encargado de manejar los recursos necesarios para ejecutar la obra de acuerdo al presupuesto y cumplir la calidad requerida en las especificaciones desde un principio. Son contratistas especializados quienes se coordinan con el contratista principal para dirigir una parte específica de la obra. El proveedor, es el vendedor, a quien se contrata para proveer los materiales requeridos por el proyecto de acuerdo a las especificaciones del mismo. El éxito de cualquier proyecto depende de la correcta coordinación y esfuerzo conjunto de todas estas partes.

## **COSTOS DE LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

Los dos aspectos más relevantes que con frecuencia inciden en la realización de las obras de construcción son la factibilidad técnica y el costo de ejecución, los factores técnicos se solucionan comúnmente al realizar los estudios preliminares y desarrollar los proyectos de arquitectura e ingeniería, que toman en cuenta las restricciones del lugar de la obra, como: tipo de suelo, condiciones topográficas y climatológicas o sismicidad.

Al principio del ciclo de vida de los proyectos, cuando sólo se tiene la información conceptual,

## COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

se elaboran antepresupuestos o costos preliminares de obra. Conforme se obtiene más información el proceso de presupuestación se va refinando, una vez que se cuenta con el proyecto ejecutivo se emplean métodos de estimación de costos detallados como: precios unitarios o precio alzado, para fines de concurso y contratación. El costo real de ejecución de la obra solo es conocido hasta que ésta termina.

Los métodos preliminares o aproximados de estimación de costos sirven para dar una idea muy cercana del costo final de la obra, dependiendo del método empleado y de la calidad de la información con la cual se calculen estos costos la diferencia entre el costo aproximado con el costo final de la obra pueden ser extremadamente grande o significativamente pequeña.

Existen numerosos métodos y niveles de precisión para preparar los estimados de costo para un proyecto de construcción. Cada método tiene sus propias aplicaciones y limitaciones, pero es importante reconocer y enfatizar que todas las estimaciones son aproximadas, basadas en el criterio y experiencia del arquitecto o ingeniero de costos, llamado comúnmente analista de costos. Incluso el reporte final de costos de un proyecto puede ser diferente en detalles de los costos verdaderos debido a la forma de clasificación de los costos y al sistema de contabilidad empleado.

Para obtener los costos el analista debe prácticamente construir el proyecto en papel, no sólo debe cuantificar los materiales que se indican en los planos, sino verificar su disponibilidad en el lugar de la obra o en las cercanías de ésta. Después, se deben hacer hipótesis de métodos alternativos que puedan usarse para construir las diferentes partes del proyecto, determinar la mano de obra, equipo y materiales que se requieran en cada parte, evaluar la productividad y seleccionar el método de construcción más conveniente procurando que sea el de menor costo.

Es importante hacer notar que diferentes tipos de estimación de costos son requeridas conforme el proyecto se desarrolla. En primer lugar se elaboran estimaciones conceptuales o preliminares preparadas inicialmente cuando se desarrolla el anteproyecto, posteriormente cuando el diseño está completo se realizan las estimaciones detalladas que pronostican el costo del proyecto dentro de los límites permisibles de acuerdo con la información de los planos completos y de las especificaciones. Al terminar la obra se obtiene el costo final. De lo anterior podemos observar que tenemos tres principales tipos de estimaciones: Estimación conceptual o preliminar, estimación detallada y estimación final.

### ESTIMACIÓN CONCEPTUAL O PRELIMINAR

Como su nombre lo indica son generalmente realizadas en las primeras fases de un proyecto, inicialmente contemplan el alcance del proyecto, así como si éste es económicamente factible. Hay muchos caminos para estimar preliminarmente los costos de un proyecto, casi siempre se toman en cuenta estimaciones gruesas basadas en la experiencia de proyectos pasados. Las técnicas que permiten mejor precisión incorporan información antecedente de mejor calidad.

Las estimaciones preliminares varían considerablemente de un tipo de construcción a otro.

Generalmente, los procedimientos más sofisticados y precisos son empleados por empresas constructoras especializadas en los grandes proyectos de construcción pesada e industrial. Sin embargo, los métodos más refinados se usan actualmente en construcción residencial y en edificación. La mayoría de los métodos de estimación preliminar del costo de los proyectos se encuentran dentro de las siguientes categorías:

- Costos índice.
- Costos paramétricos
- Factor capacidad-costo
- Relación de componentes

**Costos índice.** Los costos índice se emplean para actualizar los costos de las obras cuando los precios han perdido su valor debido a factores relacionados principalmente con la inflación, alguna vez estos índices también reflejan cambios en tecnología, métodos y productividad. La actualización de los costos en los proyectos de construcción en nuestro país se reconoce en obra pública mediante una cláusula de ajuste de costos que establece la Ley de Obras Públicas.

Los índices son publicados periódicamente por organismos oficiales o privados. En México, la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) y la Cámara Nacional de la Industria de Desarrollo y Promoción de la Vivienda (CANADEVI) publican mensualmente índices de costo para diferentes materiales de construcción y diversos tipos de obra. Con estos índices es posible calcular los costos actualizados de obras o partes de ellas. Cuando no disponemos de estos índices especializados, una alternativa para actualizar costos es emplear el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) que publica quincenalmente el Banco de México. Estos índices incluyen información desde el año de 1950.

**Tabla 1. Índice Nacional de Precios al Consumidor**

Índice Nacional de Precios al Consumidor (Base 2002 = 100)									
Mes / Año	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Enero	65.638	78.119	86.730	93.765	98.253	103.320	107.661	112.554	116.983
Febrero	66.787	79.169	87.499	93.703	98.190	103.607	108.305	112.929	117.162
Marzo	67.569	79.904	87.984	94.297	98.692	104.261	108.672	113.438	117.309
Abril	68.201	80.637	88.485	94.772	99.231	104.439	108.836	113.842	117.481
Mayo	68.745	81.122	88.816	94.990	99.432	104.102	108.563	113.556	116.958
Junio	69.557	81.655	89.342	95.215	99.917	104.188	108.737	113.447	117.059
Julio	70.228	82.195	89.690	94.967	100.204	104.339	109.022	113.891	117.380
Agosto	70.903	82.658	90.183	95.530	100.585	104.652	109.695	114.027	117.979
Septiembre	72.053	83.456	90.842	96.419	101.190	105.275	110.602	114.484	119.170
Octubre	73.085	83.985	91.467	96.855	101.636	105.661	111.368	114.765	119.691
Noviembre	74.380	84.732	92.249	97.220	102.458	106.538	112.318	115.591	120.319
Diciembre	76.195	85.581	93.248	97.354	102.904	106.996	112.550	116.301	121.015

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), <http://www.inegi.gob.mx>

En la Tabla 1, aparecen a manera de ejemplo los índices del INPC desde enero de 1998 a la

## COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

fecha, si se desea actualizar, por ejemplo, el valor de una vivienda de interés social que en febrero de 1998 tenía un valor de venta de \$180,000, el proceso para actualizar se realiza mediante la siguiente expresión:

$$C_2 = C_1 \times (I_2 / I_1)$$

Donde:

$C_2$  = es el costo estimado (actualizado)

$C_1$  = es el costo conocido (anterior)

$I_2$  = es el índice de precio actual

$I_1$  = es el índice de precio anterior

El resultado es:

$$C_2 = 180,000 \times (116.958 / 66.787) = \$315,218$$

Reconociendo un cierto nivel de discrepancia, se puede redondear el valor de la vivienda de interés social a 315 mil pesos a precios de mayo de 2006.

La actualización de costos se ha hecho para un proyecto completo, pero también se puede realizar con partes de un proyecto o con materiales de una obra. El INPC a largo plazo se comporta en forma muy aproximada a los índices especializados que utiliza el sector de la construcción. Sin embargo, en el corto plazo puede ser que los precios del sector de la construcción se comporten de manera diferente a los precios del índice nacional, como sucedió el año 2004 con los precios del acero. También, pueden hacerse diferencias de tipo regional, ya que los precios normalmente cambian de una región a otra, esta situación se presenta en la última parte de este artículo.

Antes de aplicar los costos índice es importante entender como son derivados, sus limitaciones y las diferencias con los métodos básicos. Existen problemas obvios cuando los datos de entrada no reflejan los recursos usados en el proyecto en cuestión, por ejemplo en la construcción de centros comerciales la colocación de escaleras mecánicas y elevadores se lleva entre 10% y 20% del presupuesto, pero estos elementos no se consideran en los índices generales de costos. Por estas razones los constructores deben aprovechar su experiencia personal antes de aplicar algún tipo de índice para propósitos de estimación conceptual.

**Costos paramétricos.** El método de estimación preliminar de costos basado en costos paramétricos es el más empleado en todos los tipos de obra, incluso muchos analistas de costos lo reconocen como el único método de estimación de costos conceptuales. Al igual que otros métodos, se basa en buenos registros históricos de costos de proyectos terminados.

Esencialmente, consiste en encontrar una variable que represente alguna característica cuantificable de un grupo de proyectos de construcción, por ejemplo: metros cuadrados de obra en casas, viviendas o edificios, kilómetros de carretera, de canales o de líneas de transmisión, número de habitaciones en un hotel, consultorios en clínicas, etc.

La aproximación del costo paramétrico relaciona todos los costos de una obra con solo pocas medidas físicas o “parámetros” que reflejan el tamaño o alcance del proyecto. Por ejemplo para una bodega, algunos de los costos unitarios están expresados en términos del área bruta de piso incluyendo las instalaciones, otros están relacionados a parámetros tales como los metros cuadrados de muro interior.

La estimación del costo paramétrico puede estar preparada mucho antes que los planos detallados estén completos. Con esta aproximación y la experiencia del analista de costos con acceso a buenos registros puede prepararse rápidamente una estimación preliminar del presupuesto que ayudará en el control de costos en las primeras fases de un proyecto.

En nuestro país, prácticamente todas las publicaciones de costos de obra incluyen un apartado con costos paramétricos. En edificación se publican costos por metro cuadrado de diferentes tipos de obra, como: viviendas de interés social, medio y residencial, hoteles, hospitales, almacenes, etc. Algunas publicaciones han refinado el método de costos paramétricos en edificación considerando costos por metro cuadrado para cada una de las partes de la obra, esto es: la cimentación, la estructura, la albañilería, los acabados, cada una de las instalaciones, las fachadas y la transportación vertical. Este refinamiento permite comparar costos preliminares de obras semejantes en las que se analizan diferentes tipos de cimentación o de estructura. En la Tabla 2 se reproducen costos paramétricos por metro cuadrado para diferentes tipos de obra de edificación:

**Tabla 2. Costos paramétricos de edificación**

<b>Tipo de construcción</b>	<b>Costo por m<sup>2</sup></b>
Vivienda popular (36 m <sup>2</sup> )	2,605.46
Vivienda económica (49 m <sup>2</sup> )	3,258.96
Vivienda media (230 m <sup>2</sup> )	4,994.26
Vivienda de lujo (500 m <sup>2</sup> )	8,282.56
Edificio mediano de apartamentos (3,780 m <sup>2</sup> )	4,702.10
Edificio grande de apartamentos (11,290 m <sup>2</sup> )	6,044.49
Edificio de oficinas tipo medio (4,800 m <sup>2</sup> )	4,672.02
Edificio de oficinas de lujo (4,800 m <sup>2</sup> )	5,834.38
Hotel 3 estrellas (4,800 m <sup>2</sup> )	5,201.28
Escuela 900 alumnos (4,400 m <sup>2</sup> )	4,669.94
Nave industrial de tipo medio (4,800 m <sup>2</sup> )	3,289.26
Nave industrial económica (4,800 m <sup>2</sup> )	2,412.90

Nota: Costos por m<sup>2</sup> a febrero de 2001

Fuente: Costos por metro cuadrado de construcción, BIMSA, Febrero de 2001.

La expresión para calcular el costo preliminar de las obras es la siguiente:

## COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

$$C_c = C_p \times P$$

Donde:

$C_c$  = Costo de construcción

$C_p$  = Costo paramétrico

$P$  = Parámetro (Área, número, etc.)

Por ejemplo, un edificio grande de apartamentos de 12,000 m<sup>2</sup> tendría un costo de:

$$C_c = 6,044.49 \times 12,000 = 72'533,880$$

Pero como los costos paramétricos están tabulados a febrero de 2001, es necesario actualizar el costo a mayo de 2006 empleando el método de los costos índice (Tabla 1. Índice Nacional de Precios al Consumidor) como sigue:

$$C_2 = C_1 \times (I_2 / I_1)$$

Donde:

$I_2$  = es el índice de precio actual (mayo de 2006)

$I_1$  = es el índice de precio anterior (febrero de 2001)

Entonces:

$$C_2 = 72'533,880 \times (116.958/93.703) = 90'535,175$$

El costo paramétrico para un edificio de apartamentos de 12 mil metros cuadrados de área actualizado a mayo de 2006 será de aproximadamente 90 millones y medio de pesos. En la Tabla 3 se reproducen los costos paramétricos publicados en forma periódica por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.

**Tabla 3. Costos paramétricos de edificación (CMIC)**

Tipo de edificación	Unidad	Julio-2007	Octubre-2007
<b>Vivienda multifamiliar</b>			
Interés Social	m <sup>2</sup>	3,656.96	3,618.56
Interés Medio	m <sup>2</sup>	5,024.00	4,866.56
Semilujo	m <sup>2</sup>	7,397.12	7,201.28
Lujo	m <sup>2</sup>	9,155.84	9,468.16
<b>Edificio de oficinas</b>			
Interés Medio	m <sup>2</sup>	5,072.64	5,024.00
Lujo	m <sup>2</sup>	9,570.56	9,592.32
Superlujo (Inteligente)	m <sup>2</sup>	11,101.44	11,626.24
<b>Hotel</b>			
3 Estrellas (***)	m <sup>2</sup>	5,914.88	5,786.88
4 Estrellas (****)	m <sup>2</sup>	7,198.72	7,175.68

5 Estrellas (*****)	m <sup>2</sup>	10,183.68	10,190.08
Gran Turismo	m <sup>2</sup>	12,002.56	12,025.60
<b>Educación y salud</b>			
Escuela Primaria (Pública)	m <sup>2</sup>	4,268.80	4,256.00
Clínicas	m <sup>2</sup>	4,925.44	4,960.00
Hospitales	m <sup>2</sup>	7,152.64	7,192.32
<b>Industrial</b>			
Nave Industrial	m <sup>2</sup>	2,104.32	2,090.24
Nave Industrial	m <sup>2</sup>	3,173.12	3,129.60
<b>Urbanización</b>			
Calles y Banquetas	m <sup>2</sup>	284.16	284.16
Jardines	m <sup>2</sup>	134.40	134.40

**Factor capacidad-costo.** Los costos índice están enfocados a cambios de costos a través del tiempo, los factores de capacidad de costo se aplican a cambios de tamaño, alcance o capacidad de proyectos de tipos similares. Ellos reflejan la no linealidad entre el incremento de costo con el tamaño, como resultado de economías de escala. Este método es un caso especial del método de costos paramétricos, ya que se considera que el costo de las obras deja de ser lineal conforme la obra es más grande.

En términos analíticos simples, el factor capacidad-costo es expresado por la siguiente ecuación exponencial:

$$C_2 = C_1 \times (Q_2 / Q_1)^x$$

Donde:

$C_2$  = costo estimado del nuevo proyecto de capacidad  $Q_2$

$C_1$  = costo conocido del proyecto actual de capacidad  $Q_1$

$X$  = es el factor capacidad-costo para un determinado tipo de trabajo.

Los exponentes representados por  $X$  son empíricamente derivados de registros históricos de diferentes tipos de proyectos. Las capacidades representadas por  $Q$  son algunos parámetros que razonablemente reflejan el tamaño de diferentes tipos de obras, como el máximo de barriles producidos por día por una refinería o las toneladas de acero fabricadas por un día por un alto horno operando a capacidad.

Los factores capacidad-costo han sido usados más ampliamente en el sector petroquímico de la industria de la construcción. Es típico usar  $X = 0.6$  para aplicarlo en forma general a muchos tipos de plantas. La Tabla 4 reproduce algunos factores típicos de capacidad-costo para diferentes tipos de plantas industriales.

**Tabla 4. Factores de capacidad-costo en plantas industriales**

## COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Tipo de proceso	Rango de producción	Unidad	Factor capacidad-costo
Aluminio	50 - 500	Ton/día	0.76
Amoniaco	100 - 300	Ton/día	0.72
Alcohol	10 - 800	Ton/día	0.55
Cloro	10 - 800	Ton/día	0.62
Hidrogeno	1 millón - 10 millones	Pies cúbicos/día	0.64
Oxígeno	1,000 - 1,500	Ton/día	0.72
Plantas de energía nuclear	100 - 1,000	Megawatts	0.88

Fuente: Barrie, D., Paulson, B., "Professional Construction Management", Mc Graw-Hill (1992)

No existen registros aplicables para los distintos tipos de obra de edificación, sin embargo, factores de capacidad-costo de  $X = 0.7$  suelen ser representativos de estos proyectos. Por ejemplo, un almacén con un área de 15,000 m<sup>2</sup> construido en cierta zona tuvo un costo de \$45 millones de pesos, ahora un nuevo almacén tendrá una estructura con un área de 20,000 m<sup>2</sup>. La estimación de la capacidad-costo para este proyecto se expresa de la siguiente manera:

$$C_2 = 45'000,000 \times (20,000 / 15,000)^{0.7} = \$55'038,885$$

El costo de la obra se puede redondear a 55 millones de pesos, que para una aproximación muy preliminar dará cuando menos al cliente una idea de la magnitud del posible costo del nuevo almacén. Si hubiésemos empleado el método de costos paramétricos el resultado es: el costo de 3 mil pesos por metro cuadrado por el área de 20 mil metros cuadrados, es decir 60 millones de pesos por el nuevo almacén.

Debe ser obvio que los costos índice y el factor capacidad-costo pueden ser combinados para precisar cambios tanto en tiempo como en capacidad. La fórmula analítica puede ser modificada de la siguiente manera:

$$C_2 = C_1 \times (I_2 / I_1) \times (Q_2 / Q_1)^x$$

El significado de cada una de las variables es el mismo que se ha definido en las expresiones anteriores.

**Relación de componentes.** Los costos de construcción en proyectos de tipo industrial tienen asociados costos de embarque, instalación, montaje, abastecimiento y ajuste que usualmente se comportan como una proporción o factor del costo de adquisición del equipo o de los equipos más importantes que forman parte del proyecto. Esta característica ha permitido desarrollar el método de relación de componentes para determinar de manera rápida el costo preliminar

de proyectos industriales.

El método se aplica en dos formas diferentes, la primera emplea un factor de instalación del equipo (Tabla 5) que representa un porcentaje del valor del equipo como costo de instalación, montaje, accesorios y pruebas de arranque. El costo total será la suma del valor de adquisición del equipo más el costo de instalación determinado con el factor de instalación. La segunda forma de cálculo se realiza mediante un factor del costo de componente (Tabla 6) en la que se incluye el propio valor del equipo con sus respectivos costos de instalación, montaje y pruebas.

Las tablas para aplicar el método de relación de componentes se construyen con una buena información histórica de muchos proyectos del mismo tipo de obra. Una vez que han sido definidos el tamaño y tipo de accesorios del equipo, el proyectista o el constructor están en posición de solicitar cotizaciones de las manufacturas de estos componentes y aplicar los factores para determinar los costos preliminares. Los tipos de equipos más representativos para manejar este método son: compresores, bombas, hornos, unidades de refrigeración, bandas transportadoras y generadores de turbina.

**Tabla 5. Factor de instalación de equipo**

Equipo	Costo de instalación ( % )
Centrifugadoras	5 – 6
Cristalizadores	30 – 50
Secadores	150 – 200
Colectores de polvo	220 – 450
Motores eléctricos	60 – 80
Filtros	25 – 45
Generadores de turbina	10 – 30

Fuente: Barrie, D., Paulson, B., “Professional Construction Management”, Mc Graw-Hill (1992)

Por ejemplo, una aplicación del **factor de instalación de equipo** en la instalación de un motor eléctrico de \$300,000 con un costo de instalación del 70% es como sigue:

$$C^i = C^a \times F^i$$

Donde:

$C^i$  = Costo de instalación

$C^a$  = Costo de adquisición del equipo

$F^i$  = Factor de instalación del equipo

El resultado es:

$$C^i = \$300,000 \times 70\% = \$210,000$$

El costo total por la colocación del motor eléctrico será el costo de adquisición del equipo

## COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

más el costo de instalación, que incluye la mano de obra, los materiales y accesorios para su correcto funcionamiento; esto es, 300 mil del equipo más 210 mil de instalación, el total es 510 mil pesos.

**Tabla 6. Factor de costo componente de equipo**

Factor de costo componente de equipo	
Plantas de proceso	Factor
Equipo de compresión	2.0
Horno (unidad)	2.0
Intercambiador de calor	4.8
Instrumentación	4.1
Motor eléctrico	1.7
Bomba centrífuga	3.0
Tanques de proceso	4.1

Fuente: Barrie, D., Paulson, B., "Professional Construction Management", Mc Graw-Hill (1992)

El empleo del **factor de costo componente de equipo** se ejemplifica para determinar el costo preliminar de una planta industrial que cuenta con varios equipos, la expresión es:

$$C_c = C_a \times F_{cc}$$

Donde:

$C_c$  = Costo de construcción e instalación

$C_a$  = Costo de adquisición del equipo

$F_{cc}$  = Factor de costo componente del equipo

El cálculo completo es el siguiente:

Componente	Costo	Factor	Costo de construcción
Compresor	40,000	2.0	80,000
Horno	100,000	2.0	200,000
Intercambiador de calor	80,000	4.8	384,000
Instrumentación	60,000	4.1	246,000
Motores eléctricos	75,000	1.7	127,500
Bombas	30,000	3.0	90,000
Tanques	150,000	4.1	615,000
Total			1,742,500

La aplicación de este método en sus dos variantes supone que se tienen buenos registros

históricos disponibles para desarrollar factores individuales para cada componente de equipo. Los resultados obtenidos dependen de la experiencia y buen de juicio del analista de costos, especialmente al utilizar los costos de fabricación de los equipos.

El método de relación de componentes es poco aplicado en obras de edificación, los especialistas en instalaciones para edificios lo aplican en forma sistematizada cuando elaboran presupuestos mediante precios unitarios, pero no se han dado a la tarea de construir tablas con información histórica que permitan calcular con buen nivel de precisión costos preliminares para este tipo de obras.

**Determinación de costos paramétricos regionales.** Los costos paramétricos están influenciados por la disponibilidad de los recursos (materiales, mano de obra y equipo) de cada región, las características del clima y del tipo de suelo, la productividad de la mano de obra y los costos de transporte de los recursos, entre otros factores.

Para ejemplificar la obtención de parámetros de costo de diferentes zonas se presenta el análisis elaborado en un proyecto de investigación del Área de Construcción del Departamento de Materiales de la UAM-Azcapotzalco en el cálculo de los costos por metro cuadrado para la construcción de Unidades de Medicina Familiar de 10 consultorios (Clínicas), ubicadas en todo el país.

El trabajo consideró la recopilación de las bases de concurso de las Clínicas que licita el Instituto Mexicano del Seguro Social en diferentes ciudades del país. Los requisitos legales para este tipo de concurso no representan problema alguno en el aspecto de costos, debido a su uniformidad y a que debe existir apego a la legislación vigente (Ley de Obras Públicas).

El análisis inicial estuvo centrado en la revisión de la información de tipo técnico, proyecto, especificaciones y catálogo de conceptos. Se hizo una homologación del catálogo de conceptos mediante la cuantificación en plano de los conceptos más representativos, se detectaron variaciones hasta del 100% en la volumetría de los conceptos analizados con respecto a los presentados en los catálogos de conceptos de concurso.

Para fines de comparación entre zonas económicas del país, se efectuó una regionalización geográfica con base en los principales factores de costo que homogeneizan cada zona, esto es, parecida disposición de recursos, costos de transporte, características climáticas, etc. De esta forma se determinaron cuatro zonas geográficas: Norte, Occidente, Centro y Sur.

A continuación se realizó el estudio de mercado en cada región de acuerdo con la explosión de insumos que incluyó más de ochocientos precios de diversos materiales. Se calcularon los factores de salario real y se hizo un estudio detallado de la productividad de la mano de obra. Con respecto al equipo se calcularon los valores de consumo y rendimiento por región de acuerdo con la eficiencia de los motores, debido a situaciones de altitud y del clima. Estos datos sirvieron de base para el cálculo de los precios unitarios de cada Clínica.

El estudio de los costos indirectos de oficina central consideró sueldos del personal, presta-

## COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

ciones, impuestos, rentas, gastos de oficina (papelería, comunicaciones, transporte, energía eléctrica, copias y gastos de concurso), capacitación, seguros y afiliaciones. En los indirectos de obra se analizaron sueldos, comunicaciones, fletes, obras provisionales, consumos en general y traslado de personal para las obras foráneas. En todos los casos se estimó el mismo factor de utilidad y financiamiento.

Las variaciones más importantes que se encontraron correspondieron a materiales, mano de obra, equipo, sueldos del personal y gastos de oficina. Un problema típico que sucede en la construcción de obras en provincia es la falta de proveedores de materiales especializados, de equipos de instalación permanente o la disposición de grandes volúmenes de materiales, esto origina la necesidad de traerlos de otras ciudades con el consecuente sobre costo de acarreo. Otro problema detectado fue la escasez de mano de obra calificada y la diferencia de productividad entre regiones, debido a factores climáticos y de capacitación.

Con el cálculo de los precios unitarios y las cantidades de obra revisadas y homogeneizadas se determinaron los importes totales de obra, el resultado numérico por región aparece en la Tabla 7. Los costos por metro cuadrado se comparan con respecto a la zona más económica, en este caso la zona Centro, la mayor diferencia fue con la zona de los estados del Norte.

**Tabla 7. Costo paramétrico por regiones para una clínica**

Zona geográfica	Importe total	Área Construida	Costo por m <sup>2</sup>	Diferencia %
Centro	43'582,851.10	3,976.34	11,043.87	-
Norte	49'375,805.69	3,976.34	12,511.80	13.29
Occidente	45'380,396.75	3,976.34	11,499.36	4.12
Sur	46'640,583.53	3,976.34	11,818.69	7.02

## CONCLUSIONES

El proceso de presupuestación considera la determinación de los costos de construcción de los proyectos en cada etapa de su ciclo de vida, al principio cuando se tiene poca información se calculan los costos preliminares o conceptuales, con el proyecto ejecutivo ya elaborado se determinan los presupuestos a precios unitarios o a precio alzado, al concluir la obra el control administrativo determina el costo final de la obra.

Los costos preliminares tienen como propósito fundamental proveer información para verificar la factibilidad económica de los proyectos de construcción, mientras que la finalidad del presupuesto a precios unitarios es dar el soporte indispensable en la fase de licitación y contratación de la obra. El costo final de las obras sirve para alimentar de información a nuevos proyectos

con el fin principal de mejorar el propio proceso de presupuestación.

En este contexto, los métodos para determinar los costos preliminares de las obras se nutren de esta valiosa información, cuando el ciclo presupuestal se realiza adecuadamente es posible calcular costos preliminares que se acercan mucho al costo final de los proyectos, muchas veces del orden del 5%, en caso contrario esta diferencia puede aumentar significativamente.

Los tipos de proyectos de construcción tiene características propias que trasladan hacia los métodos de estimación de costos, algunos tan especializados como el de relación de componentes que se aplica casi en forma exclusiva en la construcción industrial, aunque sería conveniente extenderlo a la edificación dadas las similitudes en la instalación de muchos equipos eléctricos, hidráulicos y sanitarios en este tipo de obras.

Finalmente, el análisis y la investigación pueden proveer de mejores herramientas al refinar algunos métodos de estimación de costos, como el presentado en la obtención de parámetros de costos para una Unidad de Medicina Familiar (Clínica) en distintas zonas del país o los métodos propuestos de costos paramétricos para cada una de las partes de la obra.

## REFERENCIAS

- Varela, L., *Ingeniería de Costos de Construcción*, Ed. BIMSA, 2000
- Barrie, D., Paulson, B., *“Professional Construction Management”*, Ed. Mc Graw-Hill, 1992
- Olvera, A., Olvera, C., *“Variación del costo de construcción de una Unidad Familiar de 10 consultorios debido a la ubicación en la República Mexicana, (Proyecto Terminal)*, Universidad Autónoma Metropolitana, 2005
- Página de internet del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), <http://www.inegi.gob.mx>

