

## **FACULTAD DE INGENIERIA UNCUYO – CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

### **EQUIPOS E INSTALACIONES INDUSTRIALES**

#### **ESTIMACIÓN DE COSTOS DE ADQUISICIÓN DE EQUIPOS INDUSTRIALES**

##### **1 – Costos de proyectos Industriales**

La estimación de costos es un aspecto crucial de la planificación de proyectos en industrias con un alto volumen de activos, como las industrias de procesos químicos (IPC). Los índices de costos de construcción son herramientas útiles para la estimación de costos y se utilizan para comparar los costos de construcción de plantas entre períodos. Comprenderlos puede mejorar la precisión de las estimaciones de costos, así como su eficacia.

La inversión de capital fijo es el costo total de diseño, construcción e instalación de una planta y las modificaciones asociadas necesarias para preparar el sitio de la planta.

La inversión de capital fijo se compone de:

1. La inversión en límites internos de la batería (ISBL): el costo de la planta en sí;
2. Las modificaciones y mejoras que deban realizarse en la infraestructura del sitio, conocidas como inversión offsite u OSBL (outside battery limits);
3. Costos de ingeniería y construcción;
4. Gastos de contingencia.

##### **1.1 Costos de la planta ISBL**

El costo de la planta ISBL incluye el costo de adquisición e instalación de todo el proceso equipos que conforman la nueva planta.

Los costos directos de campo incluyen

1. Todos los principales equipos de proceso, como recipientes, reactores, columnas, hornos, intercambiadores de calor, enfriadores, bombas, compresores, motores, ventiladores, turbinas, filtros, centrífugas, secadores, etc., incluida la fabricación en campo y las pruebas si es necesario;
2. Artículos a granel, como tuberías, válvulas, cableado, instrumentos, estructuras, aislamiento, pinturas, aceites lubricantes, disolventes, catalizadores, etc.;
3. Obras civiles como carreteras, cimientos, pilotes, edificios, alcantarillas, zanjas, terraplenes, etc.;
4. Mano de obra y supervisión de la instalación.

Además de los costos directos sobre el terreno, habrá costos indirectos sobre el terreno, entre los que se incluyen los siguientes:

1. Costos de construcción, como alquiler de equipos de construcción, construcción temporal (aparejos, remolques, etc.), agua y energía temporales, talleres de construcción, etc.;
2. Gastos y servicios de campo, como comedores de campo, gastos de especialistas, horas extraordinarias los costos de los salarios y los costos climáticos adversos;

3. Seguros de construcción;

4. Beneficios y cargas laborales (Seguro Social, compensación de trabajadores, etc.);

5. Gastos generales diversos, como honorarios de agentes, costos legales, derechos de importación, Costos especiales de flete, impuestos locales, tasas de patentes o regalías, gastos generales corporativos, etc.

En las primeras etapas de un proyecto, es importante definir cuidadosamente el alcance de ISBL, ya que otros costos del proyecto a menudo se estiman a partir del costo ISBL. La economía general del proyecto puede estar muy mal calculado si el alcance de ISBL está mal definido.

### **1.2 Costos fuera del sitio**

El costo externo o la inversión OSBL incluye los costos de las adiciones que se deben realizar a la infraestructura del sitio para acomodar la adición de una nueva planta o el aumento de la capacidad de una planta existente.

Las inversiones externas pueden incluir

- subestaciones eléctricas principales, transformadores y líneas eléctricas;
- plantas de generación de energía, motores de turbina, generadores de reserva;
- Calderas, tuberías de vapor, líneas de condensado, planta de tratamiento de agua de alimentación de calderas, suministro, bombas;
- Torres de enfriamiento, bombas de circulación, red de agua de refrigeración, agua de refrigeración tratamiento;
- Tuberías de agua, desmineralización de agua, planta de tratamiento de aguas residuales, drenaje del sitio, y alcantarillado;
- Plantas de separación de aire para proporcionar nitrógeno en el sitio para gas inerte, líneas de nitrógeno;
- Secadores y sopladores para aire de instrumentos, líneas de aire de instrumentos;
- Puentes de tuberías, tuberías de alimentación y productos
- Parques de tanques, instalaciones de carga, transportadores, muelles, almacenes, ferrocarriles, elevadores, grúas, etc
- Laboratorios, equipos analíticos, oficinas, comedores, vestuarios, salas de control;
- Talleres e instalaciones de mantenimiento; y servicios de emergencia, equipos de extinción de incendios, bocas de incendio, instalaciones médicas, etc.;
- Seguridad del sitio, cercas, garitas y paisajismo.

Las inversiones fuera del sitio a menudo implican interacciones con empresas de servicios públicos como proveedores de electricidad o agua. Pueden estar sujetos a un escrutinio igual o mayor que el Inversiones ISBL debido a su impacto en la comunidad local a través del impacto ambiental que estas causen.

Los costos externos se estiman típicamente como una proporción de los costos de ISBL en las primeras etapas de diseño. Los costos externos suelen oscilar entre el 10% y el 100% de los costes de ISBL, dependiendo del alcance del proyecto y su impacto en la infraestructura del sitio. Para los típicos proyectos de oil & gas, energéticos o petroquímicos, los costos fuera del sitio suelen estar entre el 20% y el 50% del costo ISBL, y el 40% suele utilizarse como estimación inicial si no se conocen detalles del yacimiento o locación. Para un sitio establecido con una infraestructura bien desarrollada, los costos fuera del sitio generalmente serán menores. Esto es particularmente cierto en los sitios que han sufrido contracción, donde algunas plantas han cerrado, dejando la infraestructura subutilizada (sitios "brownfield")

Por otro lado, si la infraestructura del sitio necesita reparación o actualización para cumplir con nuevas regulaciones, o si la planta se construye en un sitio completamente nuevo (un sitio "greenfield"), entonces los costos fuera del sitio serán más altos.

Una vez que se ha elegido un sitio para el proyecto, las modificaciones en el sitio la infraestructura que se necesita puede diseñarse en detalle de la misma manera que la Inversiones de ISBL. Las mejoras de infraestructura suelen ser la primera parte de un proyecto para se implementarán, ya que generalmente deben ponerse en marcha antes de que la planta pueda comenzar operación.

## 2 - Precisión y propósito de las estimaciones de costos de capital

La precisión de una estimación depende de la cantidad de detalles de diseño, la exactitud de los datos de costos y el tiempo disponible. En las primeras etapas de un proyecto, solo se requerirá una estimación aproximada, y justificado por la cantidad de información disponible. La Asociación para la Promoción de la Estimación de Costos Internacional (AACE) Association for the Advancement of Cost Estimating International clasifica las estimaciones de costos de capital en cinco tipos según su precisión y propósito:

ESTIMATE CLASS	Primary Characteristic	Secondary Characteristic			
	LEVEL OF PROJECT DEFINITION Expressed as % of complete definition	END USAGE Typical purpose of estimate	METHODOLOGY Typical estimating method	EXPECTED ACCURACY RANGE Typical +/- range relative to best index of 1 [a]	PREPARATION EFFORT Typical degree of effort relative to least cost index of 1 [b]
<b>Class 5</b>	0% to 2%	Screening or Feasibility	Stochastic or Judgment	4 to 20	1
<b>Class 4</b>	1% to 15%	Concept Study or Feasibility	Primarily Stochastic	3 to 12	2 to 4
<b>Class 3</b>	10% to 40%	Budget, Authorization, or Control	Mixed, but Primarily Stochastic	2 to 6	3 to 10
<b>Class 2</b>	30% to 70%	Control or Bid/Tender	Primarily Deterministic	1 to 3	5 to 20
<b>Class 1</b>	50% to 100%	Check Estimate or Bid/Tender	Deterministic	1	10 to 100

Notes: [a] If the range index value of "1" represents +10/-5%, then an index value of 10 represents +100/-50%.  
[b] If the cost index value of "1" represents 0.005% of project costs, then an index value of 100 represents 0.5%.

## 3 - Estimaciones paramétricas

Los métodos paramétricos para estimar costos de equipos industriales se utilizan desde las etapas iniciales de la definición del proyecto, especialmente cuando se busca una estimación rápida y general. La estimación paramétrica es útil en la fase de desarrollo de ingeniería y fabricación y en la fase conceptual del proyecto.

El método paramétrico se basa en la utilización de datos históricos de proyectos similares para construir modelos que relacionan parámetros clave con el costo. Permite predecir los costos a partir de características del proyecto, como tamaño, complejidad o tecnología. Se utiliza principalmente en fases tempranas del proyecto, como la fase de prefactibilidad, para obtener una estimación inicial de los costos.

### 3.1 - Datos históricos de costos

La forma más rápida de hacer una estimación de orden de magnitud del costo de la planta es escalarlo del costo conocido de una planta anterior que utilizaba la misma tecnología o de datos publicados. Esto no requiere ninguna información de diseño que no sea la tasa de producción. El costo de capital de una planta está relacionado con la capacidad por la ecuación

$$C_2 = C_1 \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^n$$

$C_2$  = ISBL capital cost of the plant with capacity  $S_2$ ;  
 $C_1$  = ISBL capital cost of the plant with capacity  $S_1$ .

El exponente  $n$  suele ser de 0,8 a 0,9 para procesos que utilizan mucho trabajo mecánico o compresión de gases (por ejemplo, metanol, pulpa de papel, plantas de manipulación de sólidos). Para los procesos petroquímicos típicos,  $n$  suele ser de aproximadamente 0,7. Para procesos de pequeña escala y altamente instrumentados,  $n$  está en el rango de 0,4 a 0,5. En promedio en toda la industria química,  $n$  es aproximadamente 0,6 y, por lo tanto, la ecuación se la conoce comúnmente como la "regla de los sesenta". Este valor se puede utilizar para obtener una estimación aproximada del costo de capital si no hay suficientes datos disponibles para calcular el índice para el proceso en particular.

Estrup (1972) hace una revisión crítica de esta regla y establece que es sólo una aproximación, y si se dispone de datos suficientes, la relación se representa mejor en un gráfico logarítmico-logarítmico. Garrett (1989) ha publicado curvas de costo de capital-capacidad de planta para más de 250 procesos.

## 4 - Estimaciones factoriales detalladas

### 4.1 Ecuación de factores de Lang – método del costo base

Lang desarrolló la ecuación de estimación preliminar una vez que se ha realizado el diagrama de flujo y se ha dimensionado el equipo principal de la planta

$$C = F \left( \sum C_e \right)$$

$C$  = total plant ISBL capital cost (including engineering costs);  
 $\sum C_e$  = total delivered cost of all the major equipment items: reactors, tanks, columns, heat exchangers, furnaces, etc.  
 $F$  = an installation factor, later widely known as a Lang factor.

$F = 3.1$  for solids processing plant;  
 $F = 4.74$  for fluids processing plant;  
 $F = 3.63$  for mixed fluids-solids processing plant.

Cuando el diseño es más detallado y existe información disponible, entonces el factor de instalación se puede estimar un poco más rigurosamente, considerando los factores de costo que se combinan en el factor Lang individualmente, lo que fue desarrollado por Hand.

Equipment Type	Installation Factor
Compressors	2.5
Distillation columns	4
Fired heaters	2
Heat exchangers	3.5
Instruments	4
Miscellaneous equipment	2.5
Pressure vessels	4
Pumps	4

#### 4.2 Estimación de Costos de Adquisición

Se pueden encontrar muchas correlaciones de costos en los libros de texto de ingeniería química; por ejemplo, Douglas (1988), Garrett (1989), Turton et al. (2003), Peters et al. (2003), y Ulrich y Vasudevan (2004). Las referencias para tales correlaciones deben ser ajustadas a sus bases. Cuando están debidamente referenciados, por lo general se encuentran basarse en los datos publicados por Guthrie (1969, 1974) y actualizarse utilizando cualquiera de los índices. Correlaciones de Guthrie eran razonablemente buenos cuando se publicaron, pero ha habido cambios sustanciales en las contribuciones relativas de los costos de material y fabricación de la mayoría de los equipos de proceso desde entonces. Por lo general, los autores académicos no tienen acceso a suficientes datos de costos para poder hacer correlaciones confiables, y la mayoría de las correlaciones predicen costos más bajos que los que se obtendrían con Aspen ICARUS u otros métodos de estimación detallados. Estas correlaciones son adecuadas para los propósitos de aproximación.

Por lo general, las estimaciones detalladas se realizan calculando el costo de los materiales y la mano de obra necesarios para cada elemento de la planta, haciendo un análisis completo de la estructura de desglose del trabajo (EDT) para llegar a una estimación precisa de la mano de obra. Este método debe seguirse siempre que los datos de costos o precios no están disponibles, por ejemplo, al hacer una estimación del costo de equipos especializados que no se encuentran en la literatura. Un reactor el diseño suele ser único para un proceso en particular, pero el diseño se puede desglosar en componentes estándar (recipientes, superficies de intercambio de calor, rociadores, agitadores, etc.), cuyo costo se puede encontrar en la bibliografía y se utiliza para elaborar una estimación de costos del reactor. Este método es descrito por Dysert (2007) y Woodward y Chen (2007) en secciones del manual de capacitación de AACE International (Amos, 2007). Averías de los materiales y componentes de mano de obra para muchos tipos de equipos de proceso son dadas por Page (1996). Pikulik y Díaz (1977) dan un método de cálculo de costos elementos de equipo de los datos de costos de los componentes básicos: carcasas, cabezales, boquillas y Accesorios internos. Purohit (1983) da un procedimiento detallado para estimar el costo de Intercambiadores de calor.

Los costos en línea suelen ser los precios de catálogo de los fabricantes publicados para pequeñas cantidades de pedidos. Los grandes pedidos (como los que realizan los contratistas) suelen tener un importante descuento. Los artículos que requieren una fabricación especial, por ejemplo, recipientes grandes o compresores, pueden experimentar descuentos o recargos en función del estado del stock del fabricante y el poder adquisitivo del cliente. La mejor fuente de los costos de los equipos comprados son los datos recientes sobre los precios reales pagados por equipos similares. Ingenieros que trabajan para Ingeniería, Adquisiciones y Construcción (EPC) (a menudo denominadas contratistas) tienen acceso a grandes cantidades de datos,

Aquellos ingenieros de diseño que están fuera del sector EPC y no cuentan con el soporte de un departamento de estimación de costos debe basarse en los datos de costos de la bibliografía abierta o utilizar software de estimación de costes. Hay una gran cantidad de datos sobre el costo de los equipos y las correlaciones de costos on line, pero gran parte de ella es genérica y no se ajusta a las realidades de cada región en particular. La relación entre el tamaño y el costo indicado en las ecuaciones 6.6 y 6.7 dan buen resultado dentro los rangos establecidos. Si el rango de tamaño abarca varios órdenes de magnitud, se utilizan gráficos log-log que suelen dar una mejor representación de la relación que las ecuaciones simples.

Algunas de las informaciones más fiables sobre los costos de los equipos se pueden encontrar en la Literatura profesional de ingeniería de costos. Las correlaciones basadas en datos recientes son ocasionalmente publicados en la revista Cost Engineering, de la Asociación para el Avance de la Ingeniería de Costos Internacional (AACE International). AACE, [www.aacei.org/resources](http://www.aacei.org/resources). El sitio web del Consejo Internacional de Ingeniería de Costos ([www.icoste.org](http://www.icoste.org)) proporciona enlaces a 46 sociedades internacionales de ingeniería de costos

### 4.3 – Método paramétrico

Para aquellos ingenieros de diseño que carecen de acceso a datos de costos confiables o estimaciones las correlaciones que figuran en el cuadro 6.6 pueden utilizarse para las estimaciones preliminares.

Las correlaciones de la Tabla 6.6 son de la forma

$$C_e = a + bS^n$$

**Table 6.6.** Purchased Equipment Cost for Common Plant Equipment

Equipment	Units for Size, $S$	$S_{\text{Lower}}$	$S_{\text{Upper}}$	$a$	$b$	$n$	Note
<i>Agitators &amp; mixers</i>							
Propeller	driver power, kW	5.0	75.0	4,300	1,920	0.8	
Spiral ribbon mixer	driver power, kW	5.0	35.0	11,000	420	1.5	
Static mixer	Liters/s	1.0	50.0	780	62	0.8	
<i>Boilers</i>							
Packaged, 15 to 40 bar	kg/h steam	5,000.0	200,000.0	4,600	62	0.8	
Field erected, 10 to 70 bar	kg/h steam	20,000.0	800,000.0	-90,000	93	0.8	
<i>Centrifuges</i>							
High-speed disk	diameter, m	0.26	0.49	63,000	260,000	0.8	
Atmospheric suspended basket	power, kW	2.0	20.0	37,000	1,200	1.2	
<i>Compressors</i>							
Blower	m <sup>3</sup> /h	200.0	5,000.0	4,200	27	0.8	
Centrifugal	driver power, kW	132.0	29,000.0	8,400	3,100	0.6	
Reciprocating	driver power, kW	100.0	16,000.0	240,000	1.33	1.5	
<i>Conveyors</i>							
Belt, 0.5 m wide	length, m	10.0	500.0	21,000	340	1.0	
Belt, 1.0 m wide	length, m	10.0	500.0	23,000	575	1.0	
Bucket elevator, 0.5 m bucket	height, m	10.0	35.0	14,000	1,450	1.0	
<i>Crushers</i>							
Reversible hammer mill	tonne/h	20.0	400.0	400	9,900	0.5	
Pulverizers	kg/h	200.0	4,000.0	3,000	390	0.5	
<i>Crystallizers</i>							
Scraped surface crystallizer	length, m	7.0	280.0	41,000	40,000	0.7	
<i>Distillation columns</i>							
See pressure vessels, packing, and trays							
<i>Dryers</i>							
Direct contact rotary	area, m <sup>2</sup>	11.0	180.0	-7,400	4,350	0.9	1
Pan	area, m <sup>2</sup>	1.5	15.0	-5,300	24,000	0.5	2
Spray dryer	evap rate kg/h	400.0	4,000.0	190,000	180	0.9	
<i>Evaporators</i>							
Vertical tube	area, m <sup>2</sup>	11.0	640.0	17,000	13,500	0.6	
Agitated falling film	area, m <sup>2</sup>	0.5	12.0	29,000	53,500	0.6	



Equipment	Units for Size, $S$	$S_{Lower}$	$S_{Upper}$	$a$	$b$	$n$	Note
<i>Exchangers</i>							
U-tube shell and tube	area, m <sup>2</sup>	10.0	1,000.0	10,000	88	1.0	
Floating head shell and tube	area, m <sup>2</sup>	10.0	1,000.0	11,000	115	1.0	
Double pipe	area, m <sup>2</sup>	1.0	80.0	500	1,100	1.0	
Thermosyphon reboiler	area, m <sup>2</sup>	10.0	500.0	13,000	95	1.0	
U-tube Kettle reboiler	area, m <sup>2</sup>	10.0	500.0	14,000	83	1.0	
Plate and frame	area, m <sup>2</sup>	1.0	180.0	1,100	850	0.4	3
<i>Filters</i>							
Plate and frame	capacity, m <sup>3</sup>	0.4	1.4	76,000	54,000	0.5	
Vacuum drum	area, m <sup>2</sup>	10.0	180.0	-45,000	56,000	0.3	
<i>Furnaces</i>							
Cylindrical	duty, MW	0.2	60.0	53,000	69,000	0.8	
Box	duty, MW	30.0	120.0	7,000	71,000	0.8	
<i>Packings</i>							
304 ss Raschig rings	m <sup>3</sup>			0	3,700	1.0	
Ceramic intalox saddles	m <sup>3</sup>			0	930	1.0	
304 ss Pall rings	m <sup>3</sup>			0	4,000	1.0	
PVC structured packing	m <sup>3</sup>			0	250	1.0	
304 ss structured packing	m <sup>3</sup>			0	3,200	1.0	4
<i>Pressure vessels</i>							
Vertical, cs	shell mass, kg	150.0	69,200.0	-400	230	0.6	5
Horizontal, cs	shell mass, kg	250.0	69,200.0	-2,500	200	0.6	
Vertical, 304 ss	shell mass, kg	90.0	124,200.0	-10,000	600	0.6	5
Horizontal, 304 ss	shell mass, kg	170.0	114,000.0	-15,000	560	0.6	
<i>Pumps and drivers</i>							
Single-stage centrifugal	flow Liters/s	0.2	500.0	3,300	48	1.2	
Explosion-proof motor	power, kW	1.0	2,500.0	920	600	0.7	
Condensing steam turbine	power, kW	100.0	20,000.0	-19,000	820	0.8	
<i>Reactors</i>							
Jacketed, agitated	volume, m <sup>3</sup>	0.5	100.0	14,000	15,400	0.7	
Jacketed, agitated, glass-lined	volume, m <sup>3</sup>	0.5	25.0	13,000	34,000	0.5	
<i>Tanks</i>							
Floating roof	capacity, m <sup>3</sup>	100.0	10,000.0	53,000	2,400	0.6	
Cone roof	capacity, m <sup>3</sup>	10.0	4,000.0	5,700	700	0.7	
<i>Trays</i>							
Sieve trays	diameter, m	0.5	5.0	100	120	2.0	6
Valve trays	diameter, m	0.5	5.0	130	146	2.0	6
Bubble cap trays	diameter, m	0.5	5.0	200	240	2.0	6
<i>Utilities</i>							
Cooling tower & pumps	flow liters/s	100.0	10,000.0	61,000	650	0.9	7
Packaged mechanical refrigerator	evaporator duty, kW	50.0	1,500.0	4,900	720	0.9	
Water ion exchange plant	flow m <sup>3</sup> /h	1.0	50.0	6,200	4,300	0.7	

$C_e$  = purchased equipment cost on a U.S. Gulf Coast basis, January 2006 (CE index = 478.6, NF refinery inflation index = 1961.6);

$a, b$  = cost constants in Table 6.6;

$S$  = size parameter, units given in Table 6.6;

$n$  = exponent for that type of equipment.

*Notes:*

1. Direct heated;
2. Gas fired;
3. Type 304 stainless steel;
4. With surface area  $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ;
5. Not including heads, ports, brackets, internals, etc. (see Chapter 13 for how to calculate wall thickness);
6. Cost per tray, based on a stack of 30 trays;
7. Field assembly;
8. All costs are U.S. Gulf Coast basis, January 2006 (CE index = 478.6, NF refinery inflation index = 1961.6).

Las partidas de costeo directo adicionales al costo del equipo, son

1. Montaje de equipos, incluidos cimientos y trabajos estructurales menores;
2. Tuberías, incluido el aislamiento y la pintura;
3. Energía eléctrica e iluminación;
4. Instrumentos y sistemas de control automático de procesos (APC);
5. Edificios y estructuras de proceso;
6. Edificios auxiliares, oficinas, edificios de laboratorios, talleres;
7. Almacenamiento de materias primas y producto terminado;
8. Utilidades (Servicios), suministro de instalaciones para vapor, agua, aire, servicios de extinción de incendios (si no se calculan por separado como fuera de las instalaciones);
9. Preparación del sitio.

La contribución de cada uno de estos elementos al costo total de capital se calcula aplicando un factor apropiado por tipo. La precisión y la fiabilidad de una estimación pueden mejorarse dividiendo el proceso en subunidades y utilizando factores que dependen de la función de las subunidades; ver Guthrie (1969).

El cálculo detallado de los costos sólo se justifica si los datos de costos disponibles son fiables y el diseño se ha llevado hasta el punto en que se pueden identificar e incluir todas las partidas.

**Table 6.4.** Typical Factors for Estimation of Project Fixed Capital Cost

Item	Fluids	Process Type Fluids–Solids	Solids
1. Major equipment, total purchase cost	$C_e$	$C_e$	$C_e$
$f_{er}$ Equipment erection	0.3	0.5	0.6
$f_p$ Piping	0.8	0.6	0.2
$f_i$ Instrumentation and control	0.3	0.3	0.2
$f_{el}$ Electrical	0.2	0.2	0.15
$f_c$ Civil	0.3	0.3	0.2
$f_s$ Structures and buildings	0.2	0.2	0.1
$f_l$ Lagging and paint	0.1	0.1	0.05
ISBL cost $C = \sum C_e \times$	3.3	3.2	2.5
Offsites (OS)	0.3	0.4	0.4
Design and Engineering (D&E)	0.3	0.25	0.2
Contingency (X)	0.1	0.1	0.1
Total fixed capital cost $C_{FC} = C(1 + OS)(1 + DE + X)$			
$= C \times$	1.82	1.89	1.82
$= \sum C_e \times$	6.00	6.05	4.55



En el cuadro 6.4 se indican los factores típicos de los componentes del costo de capital. Estos se pueden utilizar para hacer una estimación aproximada del costo de capital utilizando el costo del equipo datos publicados.

Los factores de instalación indicados en las Tablas 6.3 y 6.4 corresponden a las plantas construidas a partir de acero al carbono. Cuando se utilizan materiales exóticos, debe utilizarse un factor de materiales  $f_m$

$$f_m = \frac{\text{purchased cost of item in exotic material}}{\text{purchased cost of item in carbon steel}}$$

Tenga en cuenta que  $f_m$  no es igual a la relación de los precios de los metales, ya que el costo de compra del equipo también incluye los costos de mano de obra, los gastos generales, las ganancias del fabricante y otros costos que no escalan directamente con el precio del metal. La ecuación 6.11 se puede expandir para cada pieza de equipo para obtener

$$C = \sum_{i=1}^M C_{e,i,CS} [(1 + f_p) f_m + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l)] \quad (6.13)$$

or

$$C = \sum_{i=1}^M C_{e,i,A} [(1 + f_p) + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l) / f_m] \quad (6.14)$$

- $C_{e,i,CS}$  = purchased equipment cost of equipment  $i$  in carbon steel;
- $C_{e,i,A}$  = purchased equipment cost of equipment  $i$  in alloy;
- $M$  = total number of pieces of equipment;
- $f_p$  = installation factor for piping;
- $f_{er}$  = installation factor for equipment erection;
- $f_{el}$  = installation factor for electrical work;
- $f_i$  = installation factor for instrumentation and process control;
- $f_c$  = installation factor for civil engineering work;
- $f_s$  = installation factor for structures and buildings;
- $f_l$  = installation factor for lagging, insulation, or paint.

La falta de corrección adecuada de los factores de instalación de los materiales de construcción es una de las fuentes de error más comunes con el método factorial. Los valores típicos de la clase de factor de materiales para las aleaciones de ingeniería comunes se indica en la Tabla 6.5.

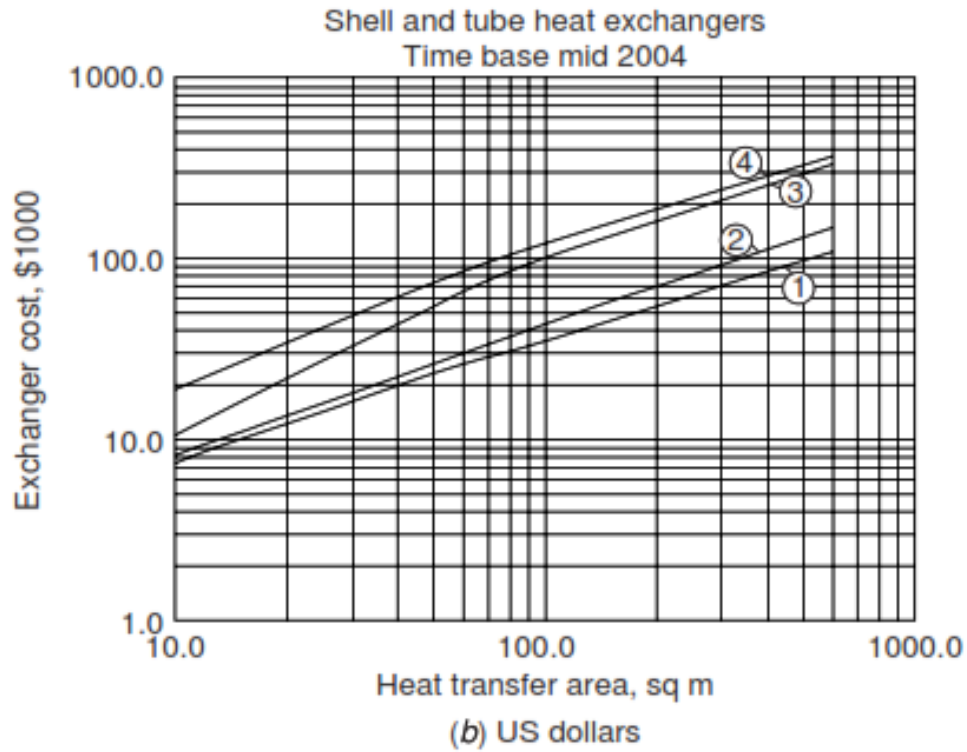
**Table 6.5.** Materials Cost Factors,  
 $f_m$  Relative to Plain Carbon Steel

Material	$f_m$
Carbon steel	1.0
Aluminum and bronze	1.07
Cast steel	1.1
304 stainless steel	1.3
316 stainless steel	1.3
321 stainless steel	1.5
Hastelloy C	1.55
Monel	1.65
Nickel and Inconel	1.7

#### 4.3 - Estimación por factores de ajuste

Coulson y Richardson publican gráficos logarítmicos de uso práctico, en los que utilizan factores de ajuste por tipo de tecnología y rango de operaciones.

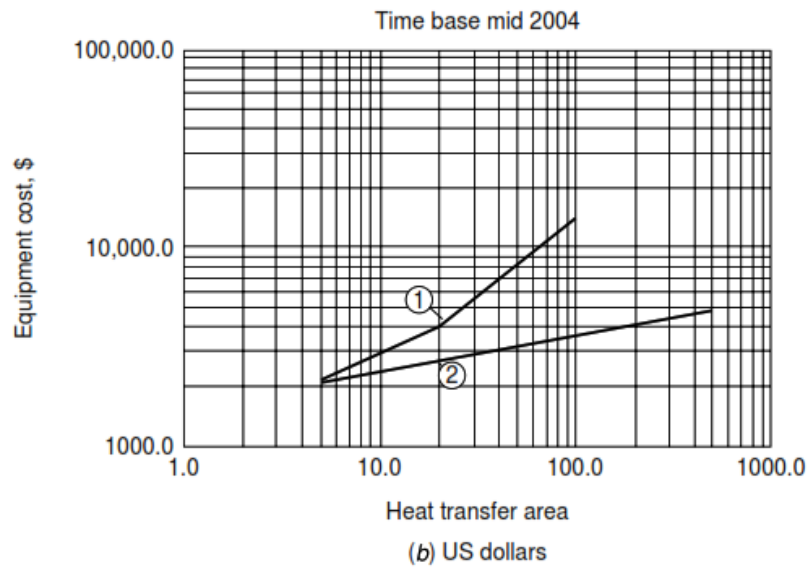
##### Estimación para intercambiadores de calor S&T



Materials		Pressure factors		Type factors	
Shell	Tubes				
① Carbon steel	Carbon steel	1–10 bar	× 1.0	Floating head	× 1.0
② C.S.	Brass	10–20	× 1.1	Fixed tube sheet	× 0.8
③ C.S.	Stainless steel	20–30	× 1.25	U tube	× 0.85
④ S.S.	S.S.	30–50	× 1.3	Kettle	× 1.3
		50–70	× 1.5		

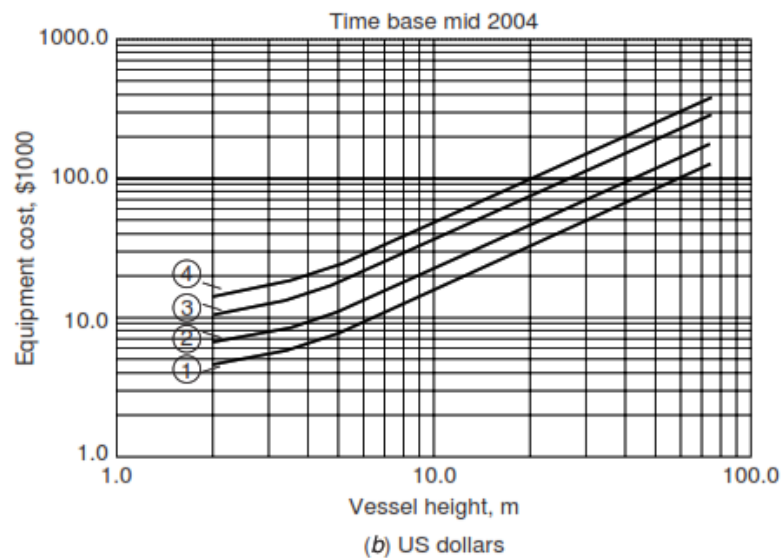
Figure 6.3a, b. Shell and tube heat exchangers. Time base mid-2004  
 Purchased cost = (bare cost from figure) × Type factor × Pressure factor

**Estimación para intercambiadores de calor Placa y Marco (gasketed plate and frame) y Doble Tubo**



Type	Area scale	Material
(1) Gasketed plate	m <sup>2</sup>	Stainless steel
(2) Double pipe	m <sup>2</sup> × 10	Carbon steel

**Estimación para Recipiente a presión VERTICAL**



Diameter, m		Material factors	Pressure factors
①—0.5	③—2.0	C.S. × 1.0	1–5 bar × 1.0
②—1.0	④—3.0	S.S. × 2.0	5–10 × 1.1
		Monel × 3.4	10–20 × 1.2
		S.S. clad × 1.5	20–30 × 1.4
		Monel clad × 2.1	30–40 × 1.6
			40–50 × 1.8
			50–60 × 2.2

Temperature up to 300°C

Figure 6.5a, b. Vertical pressure vessels. Time base mid-2004.  
 Purchased cost = (bare cost from figure) × Material factor × Pressure factor

### Estimación para Recipiente a presión HORIZONTAL

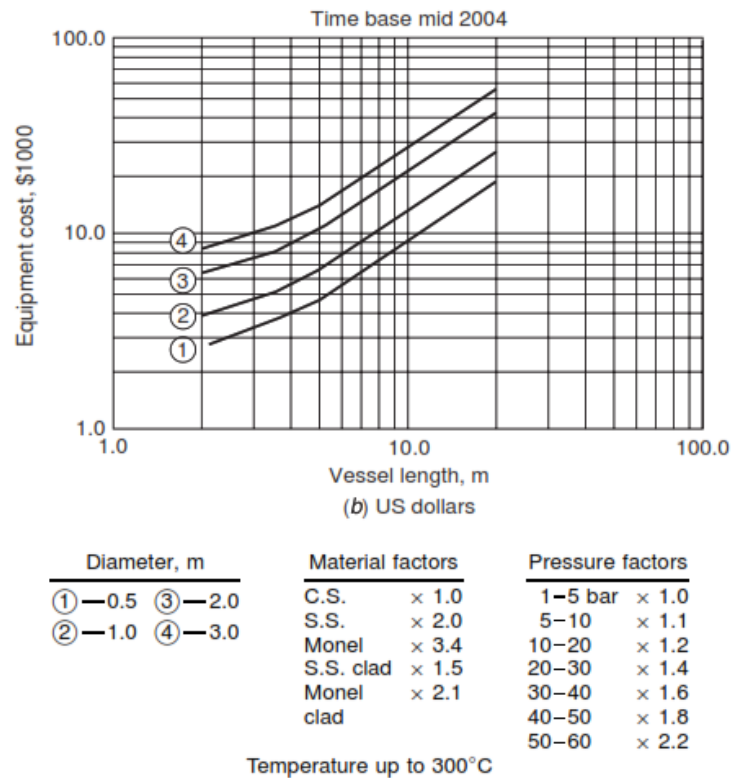


Figure 6.6a, b. Horizontal pressure vessels. Time base mid-2004.  
 Purchase cost = (bare cost from figure) × Material factor × Pressure factor

### Estimación para columna de destilación

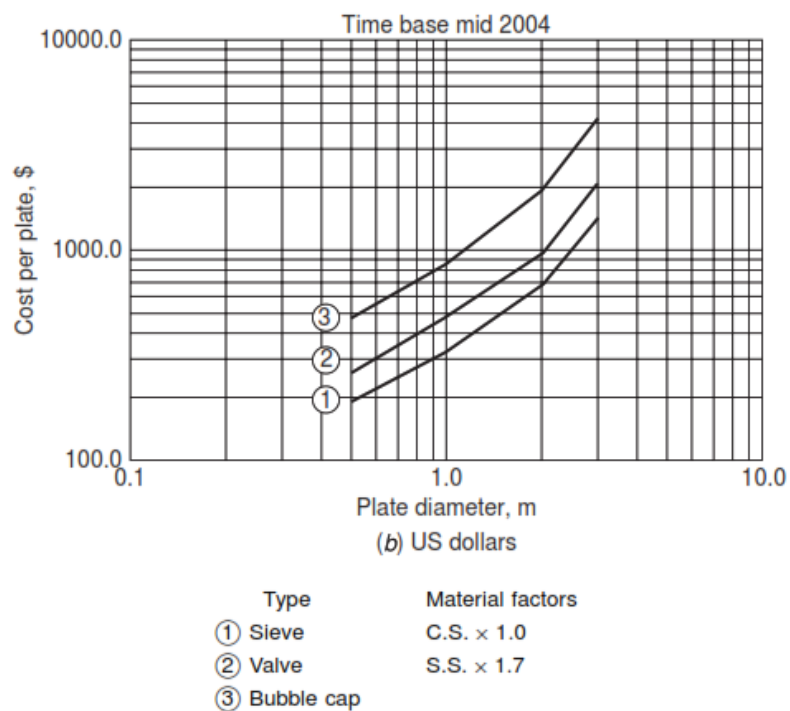


Figure 6.7a, b. Column plates. Time base mid-2004 (for column costs see Figure 6.4)  
 Installed cost = (cost from figure) × Material factor



Table 6.2. Purchase cost of miscellaneous equipment, cost factors for use in equation 6.7. Cost basis mid 2004

Equipment	Size unit, S	Size range	Constant C,£	C,\$	Index n	Comment
<b>Agitators</b>						
Propeller	driver	5–75	1200	1900	0.5	
Turbine	power, kW		1800	3000	0.5	
<b>Boilers</b>						
Packaged						oil or gas fired
up to 10 bar	kg/h steam	$(5-50) \times 10^3$	70	120	0.8	
10 to 60 bar			60	100	0.8	
<b>Centrifuges</b>						
Horizontal basket	dia., m	0.5–1.0	35,000	58,000	1.3	carbon steel
Vertical basket			35,000	58,000	1.0	× 1.7 for ss
<b>Compressors</b>						
Centrifugal	driver	20–500	1160	1920	0.8	electric,
	power, kW					max. press.
Reciprocating			1600	2700	0.8	50 bar
<b>Conveyors</b>						
Belt	length, m	2–40				
0.5 m wide			1200	1900	0.75	
1.0 m wide			1800	2900	0.75	
<b>Crushers</b>						
Cone	t/h	20–200	2300	3800	0.85	
Pulverisers	kg/h		2000	3400	0.35	
<b>Dryers</b>						
Rotary	area, m <sup>2</sup>	5–30	21,000	35,000	0.45	direct
Pan		2–10	4700	7700	0.35	gas fired
<b>Evaporators</b>						
Vertical tube	area, m <sup>2</sup>	10–100	12,000	20,000	0.53	carbon steel
Falling film			6500	10,000	0.52	
<b>Filters</b>						
Plate and frame	area, m <sup>2</sup>	5–50	5400	8800	0.6	cast iron
Vacuum drum		1–10	21,000	34,000	0.6	carbon steel
<b>Furnaces</b>						
Process						
Cylindrical	heat abs, kW	$10^3-10^4$	330	540	0.77	carbon steel
Box		$10^3-10^5$	340	560	0.77	× 2.0 ss
<b>Reactors</b>						
Jacketed,	capacity, m <sup>3</sup>	3–30	9300	15,000	0.40	carbon steel
agitated			18,500	31,000	0.45	glass lined
<b>Tanks</b>						
Process	capacity, m <sup>3</sup>					
vertical		1–50	1450	2400	0.6	atmos. press.
horizontal		10–100	1750	2900	0.6	carbon steel
Storage						
floating roof		50–8000	2500	4350	0.55	× 2 for
cone roof		50–8000	1400	2300	0.55	stainless

Table 6.3. Cost of column packing. Cost basis mid 2004

	Cost	£/m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )	
Size, mm	25	38	50
Saddles, stoneware	840 (1400)	620 (1020)	580 (960)
Pall rings, polypropylene	650 (1080)	400 (650)	250 (400)
Pall rings, stainless steel	1500 (2500)	1500 (2500)	830 (1360)

## 5 - Índice de ajuste inflacionario

Para ajuste inflacionario de los costos calculados, se recurre a un índice de actualización respecto a los costos bases denominado Índice de Costos de Ingeniería de Plantas Químicas de la revista Chemical Engineering (Chemical engineering Plant Cost Index), que es reconocido mundialmente como principal indicador.

CHEMICAL ENGINEERING PLANT COST INDEX® (CEPCI)				
(1957–59 = 100)	Apr. '24 Prelim.	Mar. '24 Final	Apr. '23 Final	Annual Index:
CEIndex	799.1	800.7	803.3	2016 = 541.7
Equipment	1,003.6	1,006.3	1,014.3	2017 = 567.5
Heat exchangers & tanks	805.0	810.6	832.8	2018 = 603.1
Process machinery	1,036.9	1,034.1	1,041.8	2019 = 607.5
Pipe, valves & fittings	1,340.1	1,342.5	1,397.5	2020 = 596.2
Process instruments	574.9	569.8	567.2	2021 = 708.8
Pumps & compressors	1,538.0	1,537.8	1,387.9	2022 = 816.0
Electrical equipment	822.6	822.8	796.5	2023 = 797.9
Structural supports & misc.	1,122.3	1,131.2	1,128.3	
Construction labor	375.6	374.6	362.9	
Buildings	809.5	812.6	808.5	
Engineering & supervision	316.8	315.5	313.8	

Starting in April 2007, several data series for labor and compressors were converted to accommodate series IDs discontinued by the U.S. Bureau of Labor Statistics (BLS). Starting in March 2018, the data series for chemical industry special machinery was replaced because the series was discontinued by BLS (see *Chem. Eng.*, April 2018, p. 76–77.)

El CEPCI es un índice compuesto y se construye a partir de cuatro subíndices:

- 1) Equipo
- 2) Mano de obra de construcción
- 3) Edificios
- 4) Ingeniería y supervisión.

El subíndice de Equipo se desglosa a su vez en siete índices componentes

- Intercambiadores de calor y tanques
- Maquinaria de proceso
- Tuberías, válvulas y accesorios
- Instrumentos de proceso
- Bombas y compresores
- Equipos eléctricos
- Soportes estructurales y varios

El CEPCI incluye los costos de diseño, compra e instalación de equipos de plantas químicas, y se pondera de la siguiente manera:

- 50,7% equipos, maquinarias y soportes
- 29% mano de obra de construcción
- 4,6% edificios
- 15,8% ingeniería y supervisión



Category for CECPI	%
Heat exchangers and tanks	17.1%
Process machinery	6.5%
Pipes, valves, fittings	9.6%
Process instruments	5.3%
Pumps and compressors	3.2%
Electrical equipment	3.5%
Structural supports and miscellaneous	5.3%
Construction labor	29.0%
Engineering and supervisión	15.8%
Buildings (materials and contractors)	4.6%

<https://www.chemengonline.com/pci-home>

Pueden utilizarse otros índices, los que tendrán tanta precisión como capacidad, experiencia y poder de análisis económico financiero el personal que calcula los costos.

Se calculará el costo del equipo por el método factorial aplicado a su año base y se ajustará al periodo en ejercicio.

Precio ajustado = Precio año base x factor de ajuste

Factor de ajuste = índice actual / índice año base.