Anexo I. Datos para la estimación de costes.

Costes de adquisición de equipos

Los costes de un equipo que opera a presión ambiental y construido con acero al carbono C_p^0 responden a la siguiente ecuación:

$$\log_{10}C_p^0 = K_1 + K_2\log_{10}(A) + K_3[\log_{10}(A)]^2$$

donde A es la capacidad o parametro del tamaño del equipo. Los parámetros K_i se obtienen de la tabla 1.

Factores de presión

Factores de presión para depósitos de proceso

Para el cálculo de este factor en depósitos horizontales y verticales utilícese la siguiente expresión:

$$F_{p,deposito} = \frac{\frac{(P+1)D}{2[850-0,6(P+1)]}+0,00315}{0,0063}$$

donde P es la presión de operación del depósito y D su diámetro.

Factores de presión para otros equipos

Este factor se calculará para el resto de los equipos siguiendo la siguiente expresión:

$$\log_{10}F_P = C_1 + C_2\log_{10}P + C_3(\log_{10}P)^2$$

donde P es la presión de operación del equipo y los parámetros C_i se obtienen en la tabla 1.

En ambos casos las unidades de presión son bares manométricos.

Coste final del equipo

A continuación se enumeran las fórmulas que se deben de emplear para computar el coste final de adquisición del equipo.

- Cambiadores de calor, Depósitos de proceso y bombas

  $C_{BM} = C_p^0F_{BM} = C_p^0(B_1 + B_2F_MF_P)$

  donde F_M es un factor que depende del material de construcción, F_P es el ya comentado factor de presión y B_i son parámetros que se obtienen de la Tabla 1.

- Compresores y soplantes sin motor

  $C_{BM} = C_p^0F_{BM}$

  siendo F_{BM} un factor que computa el efecto del material.

- Motores para soplantes y compresores

  $C_{BM} = C_p^0 F_{BM}$

  siendo F_{BM} un factor que computa el efecto del material.

- Evaporadores y vaporizadores

  $C_{BM} = C_p^0 F_{BM} F_P$

- Ventiladores con motores eléctricos

  $C_{BM} = C_p^0 F_{BM} F_P$

- Calderas y Hornos

  $C_{BM} = C_p^0 F_{BM} F_P F_T$

  donde F_T es una corrección para el sobrecalentamiento en calderas de vapor $F_T = 1 + 0,00184\Delta T - 0,00000335(\Delta T)^2$(en los otros equipos su valor es 1). ΔT es el sobrecalentamiento en °C .

- Turbinas

  $C_{BM} = C_p^0 F_{BM}$

- Platos de columnas y separadores de gotas

  $C_{BM} = C_p^0 N F_{BM} F_q$

  donde N es el número de platos y F_q es un factor para el caso de platos dado por: $\log_{10} F_q = 0,4771 + 0,08516\log_{10} N - 0,3473(\log_{10} N)^2$ si N<20 y $F_q = 1$ si N>20.

- Relleno de columnas

  $C_{BM} = C_p^0 F_{BM}$

Ejemplo. Coste de un cambiador de doble paso, carcasa y tubos de acero inoxidable, de área $7m^2$ y que trabaja a 50barg.

Coste básico (presión ambiental y acero al carbono)
$\log_{10} C_p^0 = 3,4444 + 0,2745\log_{10}(7) - 0,0472[\log_{10}(7)]^2 \Rightarrow C_p^0 = 3488,75\$$

Corrección de presión
$\log_{10} F_P = 0,6072 - 0,912\log_{10}50 + 0,03327[\log_{10}50]^2 = 0,01801 \Rightarrow F_P = 1,042$

Coste total de adquisición
$C_{BM} = 3488,75(1,74 + 1,55 \cdot 2,73 \cdot 1,042) = 21453,1\$$

Coste total instalado (tabla 2)
$C_{inst} = 21453,1 \cdot 1,9 = 40760,1\$$

Tabla 1. Parámetros para el cálculo de coste de adquisición de equipos.

Compressor Data (without electric motors)

Compressor Type	K_1	K_2	K_3	F_{BMCS}	F_{BMSS}	F_{BMNi}	W_{min}(kW)	W_{max}(kW)
Centrifugal	2,2891	1,3604	-0,1027	2,7	5,8	11,5	450	3000
Axial	2,2891	1,3604	-0,1027	3,8	8,0	15,9	450	3000
Rotary	5,0355	-1,8002	0,8253	2,4	5,0	9,9	18	950
Reciprocating	2,2891	1,3604	-0,1027	3,4	7,0	13,9	450	3000

Drive Data

Electric Drives	K_1	K_2	K_3	F_{BM}	W_{min}(kW)	W_{max}(kW)
Explosion Proof	2,4604	1,4191	-0,1798	1,5	75	2600
Totally Enclosed	1,956	1,7142	-0,2282	1,5	75	2600
Open/Drip Proof	2,9508	1,0688	-0,1315	1,5	75	2600

Non-Electric Drives	K_1	K_2	K_3	F_{BM}	W_{min}(kW)	W_{max}(kW)
Gas Turbine	-21,7702	13,2175	-1,5279	3,5	7500	23000
Steam Turbine	2,6259	1,4398	-0,1776	3,5	70	7500
Internal Combustion	2,7635	0,8574	-0,0098	2,0	10	10000

Fan Data (include electric motors)

Fan Type	K_1	K_2	K_3	F_{BMCS}	$F_{BMfiberglass}$	F_{BMSS}	F_{BMNi}	Threshold	C_1	C_2	C_3	$V_{min(m3/s)}$	$V_{max(m3/s)}$	$P_{max(barg)}$
Centrifugal Radial Fan	3,5391	-0,3533	0,4477	2,7	5,0	5,8	11,5	0,01	0,00	0,209	-0,033	1	100	0,16
Centrifugal Backward curv	3,3471	-0,0734	0,3090	2,7	5,0	5,8	11,5	0,01	0,00	0,209	-0,033	1	100	0,16
Axial Tube Fan	3,0414	-0,3375	0,4722	2,7	5,0	5,8	11,5	0,04	0,00	0,209	-0,033	1	100	0,16
Axial Vane Fan	3,1761	-0,1373	0,3414	2,7	5,0	5,8	11,5	0,04	0,00	0,209	-0,033	1	100	0,16

Fired Heater Data

										Bare Module Factor		
Reactive Heaters	K_1	K_2	K_3	Q_{min}(kW)	Q_{max}(kW)	P_{max}(barg)	C_1	C_2	C_3	CS	Alloy Steel	SS
Reformer Furnace	3,068	0,6597	0,0194	3000	100000	200	0,1405	-0,2698	0,1293	2,13	2,51	2,81
Pyrolysis Furnace	2,3859	0,9721	-0,0206	3000	100000	200	0,1017	-0,1957	0,09403	2,13	2,51	2,81

										Bare Module Factor		
Non-reactive Heaters	K_1	K_2	K_3	Q_{min}(kW)	Q_{max}(kW)	P_{max}(barg)	C_1	C_2	C_3	CS	Alloy Steel	SS
Process Heater	7,3488	-1,1666	0,2028	1000	100000	200	0,1347	-0,2368	0,1021	2,13	2,51	2,81

											Steam Supreheat Factor		
Thermal Fluid Heaters	K_1	K_2	K_3	Q_{min}(kW)	Q_{max}(kW)	P_{max}(barg)	C_1	C_2	C_3	Fbm	F_{T1}	F_{T2}	F_{T3}
Hot Water	2,0829	0,9074	-0,0243	650	10750	200	-0,0163	0,0569	-0,0088	2,17			
Molten Salt, Mineral Oil,	1,1979	1,4782	-0,0958	650	10750	200	-0,0163	0,0569	-0,0088	2,17			
Diphenyl Based Oils	2,2628	0,8581	0,0003	650	10750	200	-0,0163	0,0569	-0,0088	2,17			
Packaged Steam Boilers	6,9617	-1,48	0,3161	1200	9400	40	2,5941	-4,2348	1,7224	2,2	1,000	0,00184	3,35E-06

Heat Exchanger Data

Exchager Type	K_1	K_2	K_3	C_1	C_2	C_3	B_1	B_2	$A_{min(m2)}$	$A_{max(m2)}$	$P_{max(barg)}$
Double Pipe	3,3444	0,2745	-0,0472	13,1467	-12,6574	3,0705	1,74	1,55	1	10	300
40 barg < P < 100 barg				0,6072	-0,912	0,3327					
P < 40 barg				0	0	0					
Multiple Pipe	2,7652	0,7282	0,0783	13,1467	-12,6574	3,0705	1,74	1,55	10	100	300
40 barg < P < 100 barg				0,6072	-0,912	0,3327					
P < 40 barg				0	0	0					
Fixed tube, sheet, or U tul	4,3247	-0,303	0,1634	0,03881	-0,11272	0,08183	1,63	1,66	10,0	1000	140
tubes only > 5 barg				-0,00164	-0,00627	0,0123					
Floating Head	4,8306	-0,8509	0,3187	0,03881	-0,11272	0,08183	1,63	1,66	10,0	1000	140
tubes only > 5barg				-0,00164	-0,00627	0,0123					
Bayonet	4,2768	-0,0495	0,1431	0,03881	-0,11272	0,08183	1,63	1,66	10,0	1000	140
tubes only > 5 barg				-0,00164	-0,00627	0,0123					
Kettle Reboiler	4,4646	-0,5277	0,3955	0,03881	-0,11272	0,08183	1,63	1,66	10,0	100	140
tubes only > 5 barg				-0,00164	-0,00627	0,0123					
Scraped Wall	3,7803	0,8569	0,0349	13,1467	-12,6574	3,0705	1,74	1,55	2,0	20	300
40 barg < P < 100 barg				0,6072	-0,912	0,3327					
P < 40 barg				0	0	0					
Teflon Tube	3,8062	0,8924	-0,1671	0	0	0	1,63	1,66	1,0	10	15
Air Cooler	4,0336	0,2341	0,0497	-0,125	0,15361	-0,02861	0,96	1,21	10	10000	100
Spiral Tube - shell and tut	3,9912	0,0668	0,243	-0,4045	0,1859	0	1,74	1,55	1	100	400
tube only				-0,2115	0,09717	0					
Spiral Plate	4,6561	-0,2947	0,2207	0	0	0	0,96	1,21	1	100	19
Flat Plate	4,6656	-0,1557	0,1547	0	0	0	0,96	1,21	10	1000	19

Materail Factors, F_M

	Shell - CS	CS	Cu	CS	SS	CS	Ni	CS	Ti
Exchanger Type	Tube - CS	Cu	Cu	SS	SS	Ni	Ni	Ti	Ti
Double Pipe	1,00	1,35	1,69	1,81	2,73	2,68	3,73	4,63	11,38
Multiple Pipe	1,00	1,35	1,69	1,81	2,73	2,68	3,73	4,63	11,38
Fixed tube, sheet, or U tul	1,00	1,35	1,69	1,81	2,73	2,68	3,73	4,63	11,38
Floating Head	1,00	1,35	1,69	1,81	2,73	2,68	3,73	4,63	11,38
Bayonet	1,00	1,35	1,69	1,81	2,73	2,68	3,73	4,63	11,38
Kettle Reboiler	1,00	1,35	1,69	1,81	2,73	2,68	3,73	4,63	11,38
Scraped Wall	1,00	1,35	1,69	1,81	2,73	2,68	3,73	4,63	11,38
Spiral Tube	1,00	1,35	1,69	1,81	2,73	2,68	3,73	4,63	11,38

	Shell Materail				
Type of Exchanger	CS	Cu	SS	Ni	Ti
Teflon Tube Exchanger	1,00	1,20	1,30	1,40	3,30

	Material In Contact with Process Fluid				
Type of Exchanger	CS	Cu	SS	Ni	Ti
Spiral Plate	1,00	1,35	2,45	2,68	4,63
Flat Plate	1,00	1,35	2,45	2,68	4,63

	Tube Material		
Type of Exchanger	CS	Al	SS
Air Cooler	1,00	1,42	2,93

Tabla 1. (continuación)

Pump Data (including electric drives)

Pump Type	K_1	K_2	K_3	C_1	C_2	C_3	B_1	B_2	F_{mCI}	F_{mCS}	F_{mCu}	F_{mSS}	F_{mNi}	F_{mTi}	$P_{max(barg)}$	W_{min}(kW)	W_{max}(kW)
Centrifugal pump	3,3892	0,0536	0,1538	-0,3935	0,3957	-0,00226	1,89	1,35	1,0	1,6	NA	2,3	4,4	NA	100	1	300
Positive Displacement	3,4771	0,1350	0,14380	-0,24538	0,259016	-0,01363	1,89	1,35	1,0	1,4	1,3	2,7	4,7	10,7	100	1	100
Reciprocating pump	3,8696	0,3161	0,12200	-0,2454	0,2590	-0,0136	1,89	1,35	1,0	1,5	1,3	2,4	4,0	6,4	100	0,1	200

Tank Data

Tank Type	K_1	K_2	K_3	B_1	B_2	$V_{min(m3/s)}$	$V_{max(m3/s)}$
Fixed Roof	4,8509	-0,3973	0,1445	1,10	0	90	30000
Floating Roof	5,9567	-0,7585	0,1749	1,10	0,00	1000	40000

Turbine Data

Turbine Type	K_1	K_2	K_3	F_{BMCI}	F_{BMCS}	F_{BMCu}	F_{BMSS}	F_{BMNi}	F_{BMTi}	W_{min}(kW)	W_{max}(kW)
Axial	2,7051	1,4398	-0,1776	NA	3,5	NA	6,1	11,7	NA	100	4000
Radial	2,2476	1,4965	-0,1618	NA	3,5	NA	6,1	11,7	NA	100	1500

Vaporizer and Evaporator Data

Evaporator Types	K_1	K_2	K_3	$A_{min(m2)}$	$A_{max(m2)}$	$P_{max(barg)}$	C_1	C_2	C_3
Forced Circulation	5,0238	0,3475	0,0703	5	1000	150	0,1578	-0,2992	0,1413
Falling Film	3,9119	0,8627	-0,0088	50	500	150	0,1578	-0,2992	0,1413
Agitated (Scraped Wall)	5	0,149	-0,0134	0,5	5	150	0,1578	-0,2992	0,1413
Short Tube	5,2366	-0,6572	0,35	10	100	150	0,1578	-0,2992	0,1413
Long Tube	4,642	0,3698	0,0025	100	10000	150	0,1578	-0,2992	0,1413

Vaporizer Types	K_1	K_2	K_3	$V_{min(m3)}$	$V_{max(m3)}$	$P_{max(barg)}$	C_1	C_2	C_3
Jacketed Vessel	3,8751	0,3328	0,1901	1	100	320	0,1578	-0,2992	0,1413
Internal Coil	4,038	0,09142	0,2766	1	100	320	0,1578	-0,2992	0,1413
Jacketed Vessel w/ Coil	4,038	0,09142	0,2766	1	100	320	0,1578	-0,2992	0,1413

	Bare Module Factors, F_{BM}				
Evaporator Types	CS	Cu Alloy	SS	Ni Alloy	Ti
Forced Circulation	2,9	3,63	5,08	9,66	14,5
Falling Film	2,25	2,81	3,94	7,49	11,25
Agitated (Scraped Wall)	2,25	2,81	3,94	7,49	11,25
Short Tube	2,9	3,63	5,08	9,66	14,5
Long Tube	2,9	3,63	5,08	9,66	14,5

	Bare Module Factors, F_{BM}									
Vaporizer Types	CS	Cu	s Lined SS	s Lined Ni	SS	SS Clad	Ni Alloy	Ni Alloy Cla	Ti	Ti Clad
Jacketed Vessel	2,7	3,4	4,7	4,9	4,8	3,8	9,1	5,9	13,7	9,5
Internal Coil	3,0	3,8	5,2	5,5	5,2	4,1	10,1	6,6	15,2	10,6
Jacketed Vessel w/ Coil	3,0	3,8	5,2	5,5	5,2	4,1	10,1	6,6	15,2	10,6

Vessel Data (including data for distillation towers and packed columns)

Vertical Vessels					Horizontal Vessels					
K_1	K_2	K_3	V_{min}	V_{max}	K_1	K_2	K_3	V_{min}	V_{max}	$P_{max(barg)}$
3,4974	0,4485	0,1074	0,3	520	3,5565	0,3776	0,0905	0,1	628	400

Vessel B-Values

	B1	B2
Horizontal	1,49	1,52
Vertical	2,25	1,82

F_{BM}

MOC	Sieve	Valve	Demister
CS	1,0	1	
SS	1,8	1,83	1,0
Fluorocarbon			1,8
Ni-alloy	5,6	5,58	5,6

F_q

Tray Type	K_1	K_2	K_3	$A_{min}(m^2)$	$A_{max}(m^2)$
Sieve	2,9949	0,4465	0,3961	0,07	12,3
Valve	3,3322	0,4838	0,3434	0,7	10,5
Demister	3,2353	0,4838	0,3434	0,7	10,5

Materials of Construction

$F_{M\ CS}$	1,0
$F_{M\ SS\ clad}$	1,7
$F_{M\ SS}$	3,1
$F_{M\ Ni\ clad}$	3,6
$F_{M\ Ni}$	7,1
$F_{M\ Ti\ clad}$	4,7
$F_{M\ Ti}$	9,4

Tower Packing

Materials of Construction	K_1	K_2	K_3	$V_{min}(m^3)$	$V_{max}(m^3)$
Ceramic	3,0664	0,9744	0,0055	0,03	628
304 SS	3,2999	0,9744	0,0055	0,03	628
Plastic Saddle	2,4493	0,9744	0,0055	0,03	628

Nota: los valores máximo y mínimo indican el rango en el que es válida la correlación para cada equipo.

Costes de instalación de equipos

La siguiente tabla da el factor por el que se debe multiplicar el coste de adquisición del equipo para obtener el coste final del equipo instalado.

Tabla 2

Equipment	Multiplier
Agitators, carbon steel	1.3
stainless steel	1.2
Air heaters, all types	1.5
Beaters	1.4
Blenders	1.3
Blowers	1.4
Boilers	1.5
Centrifuges, carbon steel	1.3
stainless steel	1.2
Cyclones	1.4
Dryers, spray and air	1.6
other	1.4
Ejectors	1.7
Evaporators, calandria	1.5
thin film, carbon steel	2.5
thin film, stainless steel	1.9
Extruders, compounding	1.5
Fans	1.4
Filters, all types	1.4
Furnaces, direct fired	1.3
Gas holders	1.3
Granulators for plastic	1.5
Heat exchangers, air cooled, carbon steel	2.5
coil in shell, stainless steel	1.7
glass	2.2
graphite	2.0
plate, stainless steel	1.5
plate, carbon steel	1.7
shell and tube, stainless/stainless steel	1.9
shell and tube, carbon/stainless steel	2.1
Heat exchangers, shell and tube, carbon steel/aluminum	2.2
shell and tube, carbon steel/copper	2.0
shell and tube, carbon steel /Monel	1.8
shell and tube, Monel/Monel	1.6
shell and tube, carbon steel/Hastelloy	1.4
Instruments, all types	2.5
Miscellaneous, carbon steel	2.0
stainless steel	1.5
Chimneys and stacks	1.2
Columns, distillation, carbon steel	3.0
distillation, stainless steel	2.1
Compressors, motor driven	1.3
steam on gas driven	1.5
Conveyors and elevators	1.4
Cooling tower, concrete	1.2
Crushers, classifiers and mills	1.3
Crystallizers	1.9
Pumps, centrifugal, carbon steel	2.8
centrifugal, stainless steel	2.0
centrifugal, Hastelloy trim	1.4
centrifugal, nickel trim	1.7
centrifugal, Monel trim	1.7
centrifugal, titanium trim	1.4
all others, stainless steel	1.4
all others, carbon steel	1.6
Reactor kettles, carbon steel	1.9
kettles, glass lined	2.1
kettles, carbon steel	1.9
Reactors, multitubular, stainless steel	1.6
multitubular, copper	1.a
multitubular, carbon steel	2.2
Refrigeration plant	1.5
Steam drums	2.0
Sum of equipment costs, stainless steel	1.8
Sum of equipment costs, carbon steel	2.0
Tanks, process, stainless steel	1.8
Tanks, process, copper	1.9
process, aluminum	2.0
storage, stainless steel	1.5
storage, aluminum	1.7
storage, carbon steel	2.3
field erected, stainless steel	1.2
field erected, carbon steel	1.4
Turbines	1.5
Vessels, pressure, stainless steel	1.7
pressure, carbon steel	2.8

[a] [J. Gran, *Chem. Eng.*, (6 Apr. 1981)].
Installed Cost = (purchase price)(multiplier).

Materiales de construcción

Los materiales de construcción dependen de las especies químicas que participen en cada proceso y que estén en contacto con los diferentes equipos. Como guía para una selección preliminar del material de construcción que sirva para poder calcular el coste de los equipos se presenta la siguiente tabla.