

DISEÑO DE PLANTAS I BALANCES

Nomenclatura de equipos

- A.Instalaciones auxiliares
- B.Equipos de contacto gas-sólido
- C.Molinos, trituradores
- D.Recipientes de proceso (torres destilación, columnas absorción, etc)
- E.Intercambiadores de calor (enfriadores, condensadores, calentadores)
- F.Tanques de almacenamiento (tanques, tambores, silos)
- G.Transporte de gas (ventiladores, compresores, sopladores)
- H.Separadores (filtros, centrífugas, ciclones, sedimentadores, precipitadores)
- J. Transportadores (correas, neumáticos, de tornillo, elevador cubetas)
- K.Instrumentos (válvulas control, indicadores, registradores, analizadores)
- L. Bombas
- M.Agitadores, mezcladores
- N.Motores, turbinas
- P.Unidades tipo paquete
- Q.Hornos, calentadores de proceso
- R.Reactores
- V.Vaporizadores y evaporadores
- X.Misceláneos

DISEÑO DE PLANTAS I

BALANCES

Simbología de equipos



TRANSPORTADOR



MOLINO BOLAS



BOMBA
CENTRÍFUGA



TANQUE
CONICO



AGITADOR



SECADOR



TRITURADORA



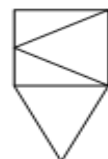
BOMBA
DOSIFICADORA



FILTRO PLACAS
Y MARCOS



CRISTALIZADOR



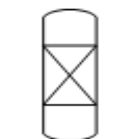
CICLON



INTERCAMBIADOR



COMPRESOR



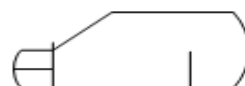
COLUMNA
EMPACADA



SEDIMENTADOR



FILTRO



REHERVIDOR



VENTILADOR



EVAPORADOR



FILTRO ROTATORIO



INTERC PLACAS



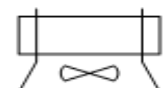
BOMBA
ROTATORIA



SECADOR POR
ROCIADO



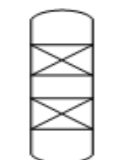
FILTRO



INTERC AIRE



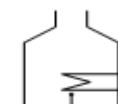
TURBINA



COLUMNA
DESTILACION



TORRE
ENFRIAMIENTO



HORNO



TANQUE
ENCHAQUETADO



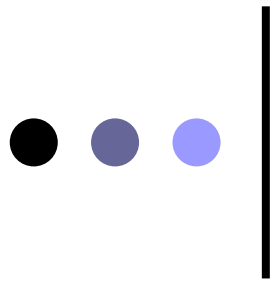
SECADOR
ROTATORIO



AUTOCLAVE



REACTOR



DISEÑO DE PLANTAS I

BALANCES

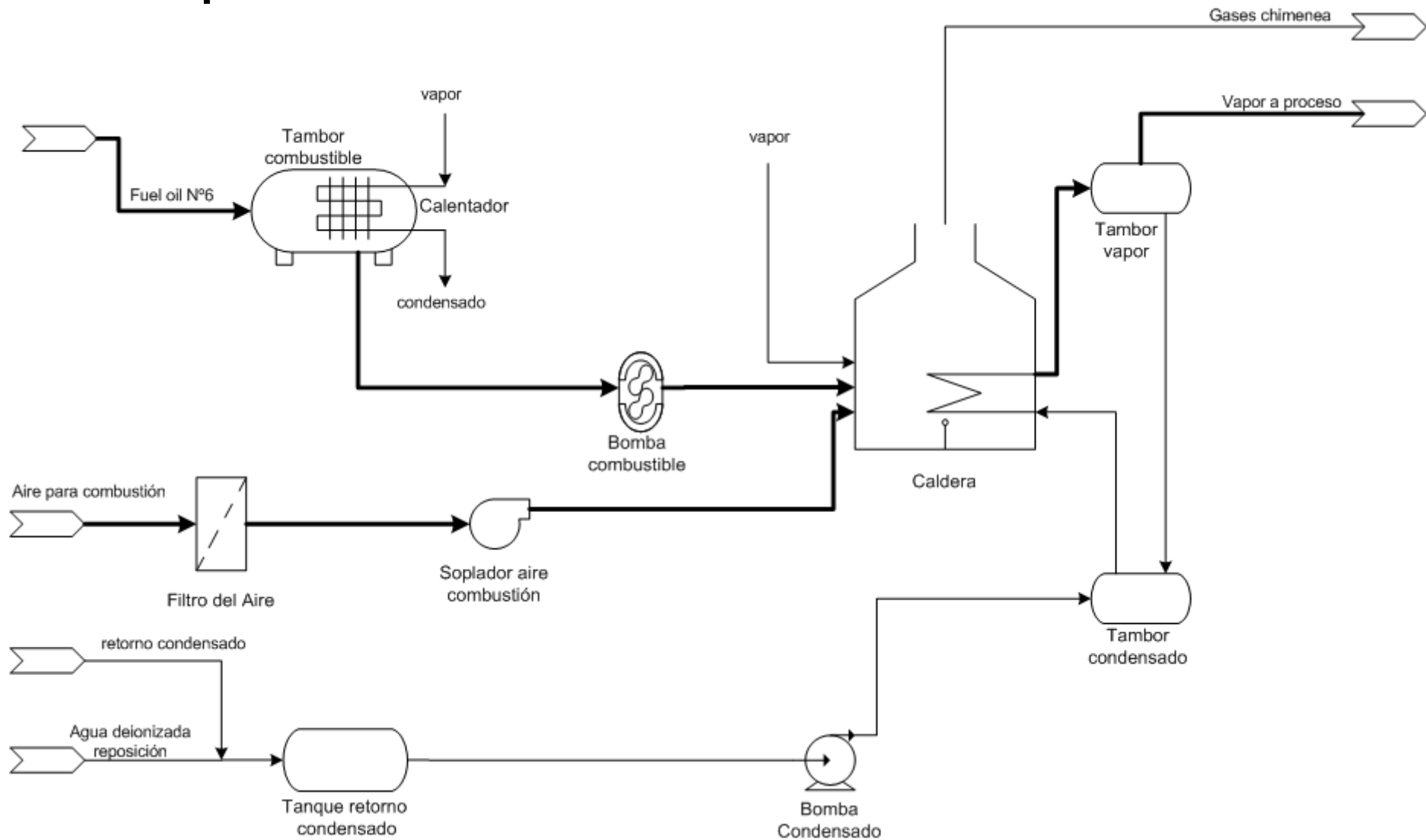
Ilustración

Como metodología para explicar un balance de materia y energía, se ha escogido un diagrama de flujo de un generador de vapor. La caldera será tipo paquete y debe producir 1,39 kg/s de vapor saturado a 20 barg. El 80% del vapor se retornará como condensado. El combustible a utilizar será Fuel oil N°6. El diagrama de flujo se muestra en la lámina siguiente



DISEÑO DE PLANTAS I

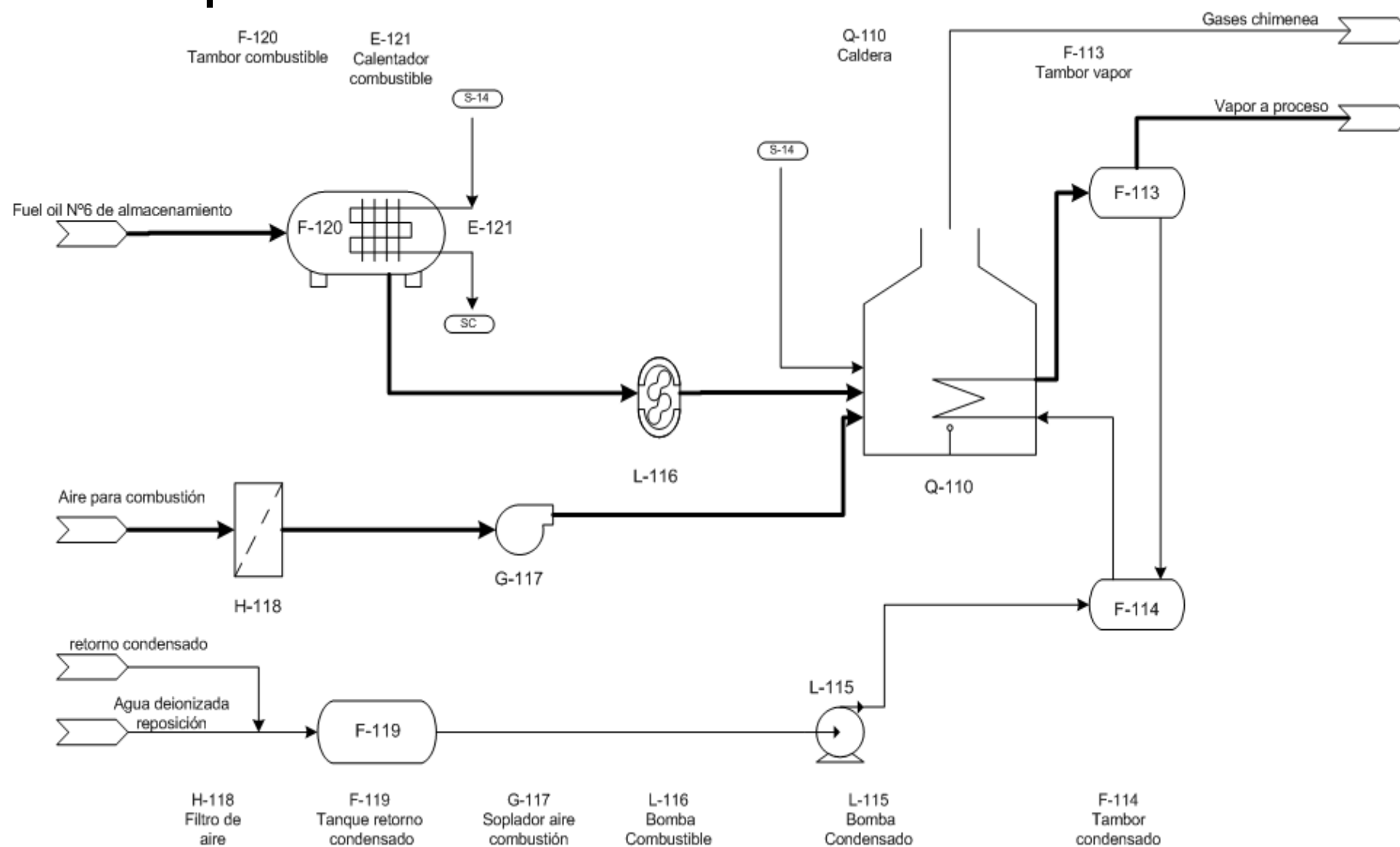
BALANCES





DISEÑO DE PLANTAS I

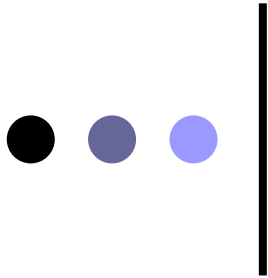
BALANCES



[illegible]

DISEÑO DE PLANTAS I

BALANCES

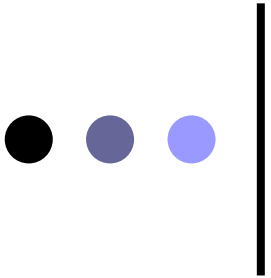


1) Especificación de los servicios industriales

- a) Vapor para calentar el combustible => 14 bar
- b) Vapor para atomización del combustible en la caldera => 14 bar

2) Presiones y Temperaturas de las corrientes

- a) La corriente 7, de los datos, 20 barg, vapor saturado a 213°C
- b) La temperatura de la alimentación de combustible: 95°C (Nelson). Como la presión en el tanque F-120 está normalmente a presión atmosférica (1 bar), la línea estará entre 2 y 5 barg
- c) El condensado de retorno y el agua deionizada se consideran a $T = 20^{\circ}\text{C}$ y presión entre 2 y 5 barg
- d) El aire entra a condiciones ambientales, 27°C y 60% de humedad relativa , 0,013kg aire/kg aire seco(práctica de diseño)



DISEÑO DE PLANTAS I BALANCES

e) La corriente 6 tendrá la misma T que la corriente 3. La presión será igual a la corriente 7 mas la carga de líquido y pérdidas (10 m o 1 barg), menos las pérdidas en la línea de reciclo (despreciables). Entonces $T=20^{\circ}\text{C}$ y $P=21$ barg

f) El combustible en 2 debe proveer una buena atomización, 100°C y 18 barg (Perry 27-10)

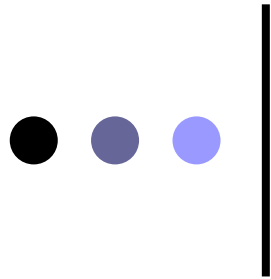
The kinematic viscosity of a typical No. 6 fuel oil declines from 5000 mm²/s (0.054 ft²/s) at 298 K (77°F) to about 700 mm²/s (0.0075 ft²/s) and 50 mm²/s (0.000538 ft²/s) on heating to 323 K (122°F) and 373 K (212°F), respectively. Viscosity of 1000 mm²/s or less is required for manageable pumping. Proper boiler atomization requires a viscosity between 15 and 65 mm²/s.

g) La presión interna del horno es 20 kPa + atm. Se pierden 40 kPa entre el soplador y el quemador → 60 kPa a la salida del soplador

h) La T en la cámara de combustión y a la entrada de chimenea → Balance de energía

DISEÑO DE PLANTAS I

BALANCES



3) Balance de Materia y Energía

a) La corriente 2 tiene suficiente información para empezar. El consumo de Fuel Oil está relacionado con la producción de vapor (1,39 kg/s). Este último fija la corriente 7. Se supone una eficiencia en la caldera de 79%.

Componente Fuel Oil #6	% P
Azufre	0,7
Hidrógeno	9,9
Carbón	87,0
Nitrógeno	0,6
Oxígeno	1,7
Cenizas	0,1

Fuel Oil #6	
G.E.	0,97
Valor Calorífico	-42,23 MJ/kg

DISEÑO DE PLANTAS I

BALANCES

La energía requerida para calentar agua de 20°C y generar vapor a 21 bara y 213°C es:
 $(1,39 \text{ kg/s})(2796 \text{ kJ/kg} - 84 \text{ kJ/kg}) = 3.770 \text{ kJ/s}$

El Fuel Oil requerido:

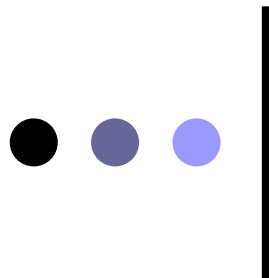
$$(3.770 \text{ kJ/s}) / (0,79)(42,23 \text{ kJ/g}) = 113 \text{ g/s}$$

Utilizando la densidad de 970 g/l, el caudal resulta en 0,116 l/s

TABLE 2-352 Saturated Water Substance—Temperature (°C)

Temp., K	Pressure, bar*	Volume, m ³ /kg		Enthalpy, kJ/kg	
		Condensed†	Vapor	Condensed†	Vapor
150	6.30.-11	1.073.-3	9.55.+9	-539.6	2273
160	7.72.-10	1.074.-3	9.62.+8	-525.7	2291
170	7.29.-9	1.076.-3	1.08.+8	-511.7	2310
180	5.38.-8	1.077.-3	1.55.+7	-497.8	2328
190	3.23.-7	1.078.-3	2.72.+6	-483.8	2347
200	1.62.-6	1.079.-3	5.69.+5	-467.5	2366
210	7.01.-6	1.081.-3	1.39.+5	-451.2	2384
220	2.65.-5	1.082.-3	3.83.+4	-435.0	2403
230	8.91.-5	1.084.-3	1.18.+4	-416.3	2421
240	3.72.-4	1.085.-3	4.07.+3	-400.1	2440
250	7.59.-4	1.087.-3	1.52.+3	-381.5	2459
255	1.23.-3	1.087.-3	956.4	-369.8	2468
260	1.96.-3	1.088.-3	612.2	-360.5	2477
265	3.06.-3	1.089.-3	400.4	-351.2	2486
270	4.69.-3	1.090.-3	255.4	-339.6	2496
273.15	6.11.-3	1.091.-3	206.3	-333.5	2502
273.15	0.00611	1.000.-3	206.3	0.0	2502
275	0.00697	1.000.-3	181.7	7.8	2506
280	0.00990	1.000.-3	130.4	28.8	2514
285	0.01387	1.000.-3	99.4	49.8	2523
290	0.01917	1.001.-3	69.7	70.7	2532
295	0.02617	1.002.-3	51.94	91.6	2541
300	0.03531	1.003.-3	39.13	112.5	2550

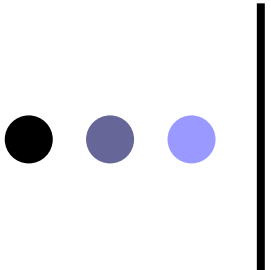
450	9.319	1.123.-3	0.308	749.2	2773
460	11.71	1.137.-3	0.167	793.5	2782
470	14.55	1.152.-3	0.136	838.2	2789
480	17.90	1.167.-3	0.111	883.4	2795
490	21.83	1.184.-3	0.0922	929.1	2799
500	26.40	1.203.-3	0.0766	975.6	2801
510	31.66	1.222.-3	0.0631	1023	2802
520	37.70	1.244.-3	0.0525	1071	2801
530	44.58	1.268.-3	0.0445	1119	2796
540	52.38	1.294.-3	0.0375	1170	2792
550	61.19	1.323.-3	0.0317	1220	2784
560	71.08	1.355.-3	0.0269	1273	2772
570	82.16	1.392.-3	0.0228	1328	2757
580	94.51	1.433.-3	0.0193	1384	2737
590	108.3	1.482.-3	0.0163	1443	2717
600	123.5	1.541.-3	0.0137	1506	2682
610	137.3	1.612.-3	0.0115	1573	2641



DISEÑO DE PLANTAS I BALANCES

4) Con la composición del Fuel Oil pueden completarse los datos de la corriente 2.

Componente (PM)		
	Fuel oil	Fuel oil
	2	2
	g	gmol
C (12)	98,3	8,19
H (1)	11,2	11,2
N2 (28)	0,7	0,03
O2 (32)	1,9	0,06
S (32.1)	0,8	0,02
CO2(44)		
NO(30)		
SO2(64.1)		
H2O(18)		
Ceniza	0,1	na
Total	113	19,5



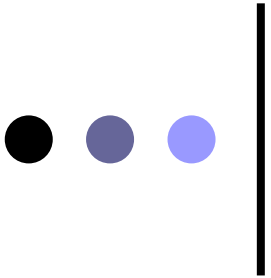
DISEÑO DE PLANTAS I BALANCES

5) La corriente 1 se supone que será intermitente, es decir se llenará el tanque en cada turno de trabajo (regla empírica), si es manual y si no, se realizará en forma automática con controles. Se estima que la operación debe realizarse en 15 min (regla empírica), entonces a una tasa continua de consumo de 0,116 l/s, la línea deberá tener una capacidad de 3,9 l/s.

6) Podemos ahora establecer otras corrientes. Para el vapor atomizado utilizado para ayudar a la combustión, se puede usar una realación de vapor de 0,1 kg de vapor por kg de combustible, 10% (Perry 27-34). Entonces la corriente 10 será 11 g/s. La corriente 6 tiene la misma masa que la 7 → 1,39 l/s en base volumétrica

Twin-Fluid Atomizers In a twin-fluid atomizer, the fuel stream is exposed to a stream of air or steam flowing at high velocity. In the internal-mixing configuration (Fig. 27-27), the liquid and gas mix inside the nozzle before discharging through the outlet orifice. In the external-mixing nozzle, the oil stream is impacted by the high-velocity gas stream outside the nozzle. The internal type requires lower flows of secondary fluid. In industrial combustion systems, steam is the preferred atomizing medium for these nozzles. In gas turbines, compressed air is more readily available. Maximum oil pressure is about 0.69 MPa (100 psia), with the steam or air pressure being maintained about 0.14 to 0.28 MPa (20 to 40 psia) in excess of the oil pressure. The mass flow of atomizing fluid varies from 5 to 30 percent of the fuel flow rate, and represents only a modest energy consumption. Turndown performance is better than for pressure atomizers and may be as high as 20:1.

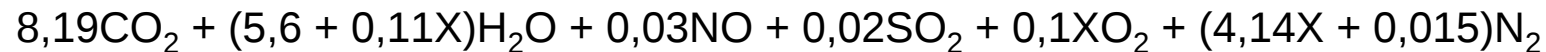
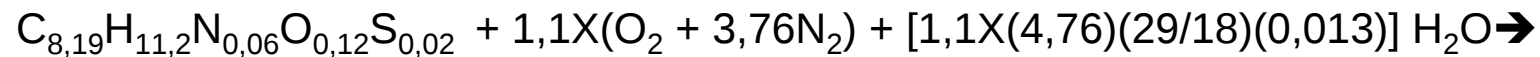
A well-designed atomizer will generate a cloud of droplets with a mean size of about 30 to 40 μm and a top size of about 100 μm for light oils such as No. 2 fuel oil. Mean and top sizes are somewhat larger than this for heavier fuel oils.



DISEÑO DE PLANTAS I BALANCES

7) Las corrientes 3 y 4 deben sumar igual a 7. Como se dijo en el enunciado 80% del vapor se recupera como condensado y se retorna a la caldera. Por lo tanto, el reciclo es $1390 \text{ g/s} \times 0,20 = 280 \text{ g/s}$ (corriente 4) y la corriente 3 será $1.390 - 280 = 1.110 \text{ g/s}$

8) Los cálculos del aire para la combustión requieren de la estequiometría de la combustión. Se supondrá 110% de exceso de aire.



X: moles de oxígeno añadidos para oxidar el carbono, el hidrógeno y el azufre en el combustible a CO_2 , H_2O y SO_2 respectivamente.

Realizando un balance en oxígeno:

$$0,12 + 2,2\text{X} + 0,11\text{X} = 16,38 + 5,6 + 0,11\text{X} + 0,03 + 0,04 + 0,2\text{X}$$

$$\text{X} = 10,97 \text{ gmol}$$

Se supone: 1) Cantidades muy pequeñas de CO y cenizas en el producto; 2) Los óxidos de nitrógeno producidos son principalmente NO y la mitad del nitrógeno en el Fuel Oil; 3) Aire estándar (79% N_2 , 21% O_2 y 0,013 kg H_2O /kg aire seco (humedad 90% a 20°C o 60% a 27°C))

DISEÑO DE PLANTAS I

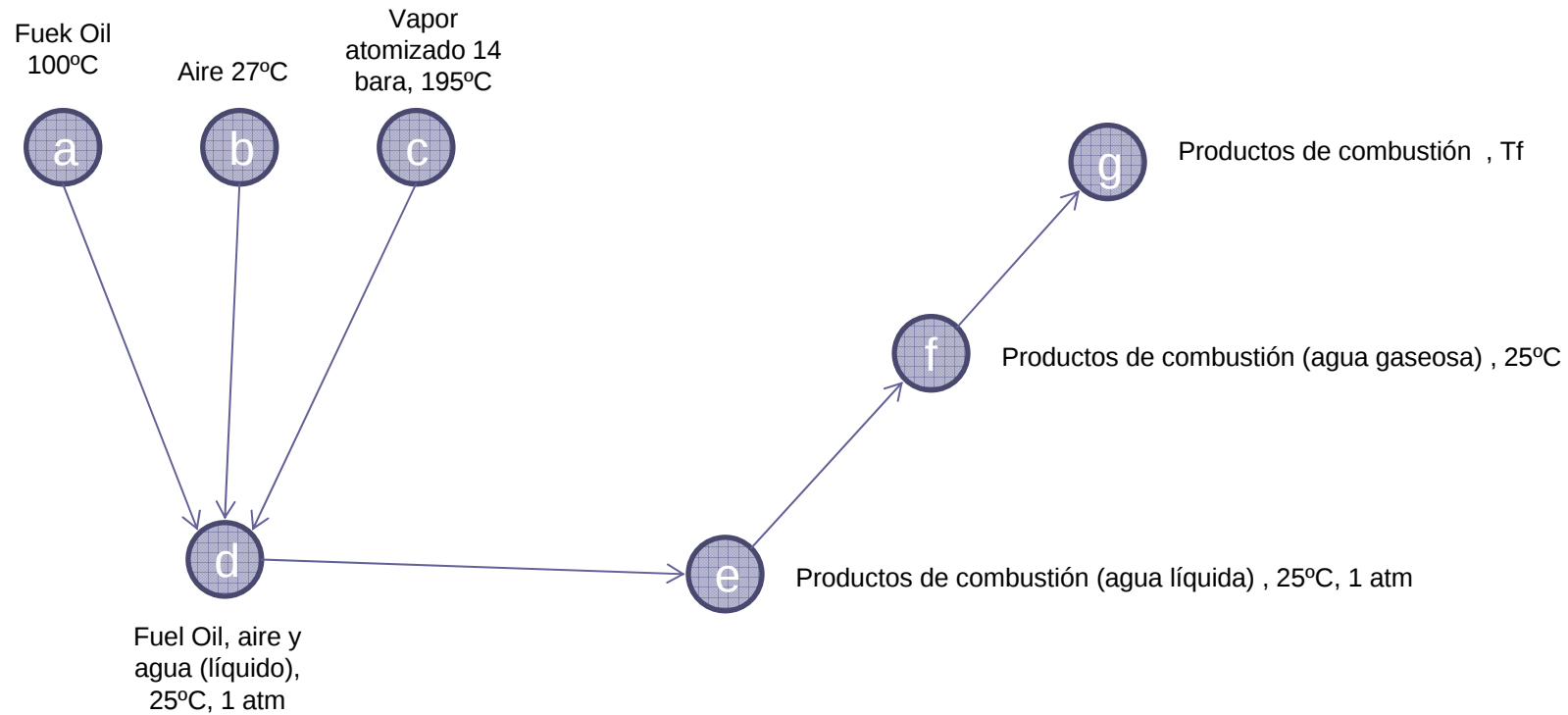
BALANCES

Componente (PM)	Balance de masa de la combustión							
	Fuel oil	Fuel oil	Aire	Aire	Vapor	Vapor	gas combustión	gas combustión
	2	2	5	5	10	10	8	8
	g	gmol	gmol	g	g	gmol	gmol	g
C (12)	98,3	8,19						
H (1)	11,2	11,2						
N2 (28)	0,7	0,03	$4,14X=45,4$	1271			$4,14X+0,015=45,4$	1272
O2 (32)	1,9	0,06	$1,10X=12,1$	386			$0,11X=1,1$	35
S (32.1)	0,8	0,02						
CO2(44)							8,19	360
NO(30)							0,03	0,9
SO2(64.1)							0,02	1,3
H2O(18)			$0,11X=1,2$	21,7	11	0,6	$5,6+1,2+0,6=7,4$	134
Ceniza	0,1	na					na	0,1
Total	113	19,5	$5,35X=58,7$	1679	11	0,6	62,1	1803

DISEÑO DE PLANTAS I

BALANCES

9) Las temperaturas en la cámara de combustión (8) y de los gases de combustión (9) deben calcularse mediante balance de energía





DISEÑO DE PLANTAS I BALANCES

Si no tenemos pérdidas, la entalpía de los productos de la llama, sin pérdidas de calor, es igual a la entalpía de los reactantes. Partiendo de la figura de la lámina anterior:

Reducción en
calor sensible
del Fuel Oil

$$\Delta \dot{H}_{a \rightarrow d} = \dot{m}_2 \int_{100}^{25} C_{p,2} dT$$

Reducción en
calor sensible
del Aire + calor
latente del agua

$$\Delta \dot{H}_{b \rightarrow d} = \dot{m}_5 \int_{27}^{25} C_{p,5} dT + masa_H_2O_en_aire * \lambda$$

Cambio de
entalpía para
atomizar el vapor

$$\Delta \dot{H}_{c \rightarrow d} = \dot{m}_{10} * (h_{l, 25^\circ C} - h_{v, 195^\circ C, 14bar})$$

Calor de
combustión

$$\Delta \dot{H}_{d \rightarrow e} = \dot{m}_2 * \Delta H_{comb}$$

Transformación
del agua líquida a
gas

$$\Delta \dot{H}_{e \rightarrow f} = \dot{m}_{H_2O} * \lambda$$

Calor sensible de
los productos de
combustión

$$\Delta \dot{H}_{f \rightarrow g} = \dot{m}_8 \int_{25}^{T_f} C_{p,8} dT$$

Cp,2: Cp Fuel Oil=1,7 J/g.°K

Cp,5: Cp aire = 1,0 J/g.°K

λ : Calor latente agua = 2.240J/g

hl: Entalpía líquido, 25°C=105 J/g

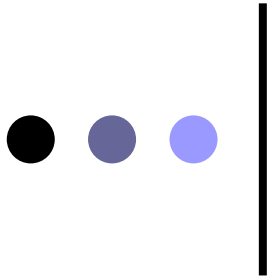
hv: Entalpía vapor, 195°C=2.790 J/g

ΔH_{comb} =-42,43 kJ/g

Tf: Temperatura de llama adiabática

Cp,8: Cp gases combustión

m_{H2O}: cantidad de agua producida en la
reacción + atomización vapor + la del aire



DISEÑO DE PLANTAS I BALANCES

$$\Delta \dot{H}_{abc \rightarrow g} = 0 = \Delta \dot{H}_{a \rightarrow d} + \Delta \dot{H}_{b \rightarrow d} + \Delta \dot{H}_{c \rightarrow d} + \Delta \dot{H}_{d \rightarrow e} + \Delta \dot{H}_{e \rightarrow f} + \Delta \dot{H}_{f \rightarrow g}$$

$$\Delta \dot{H}_{a \rightarrow d} = (113g / s)(1,7J / g^{\circ}K)(25 - 100)^{\circ}K = -14,4kJ / s$$

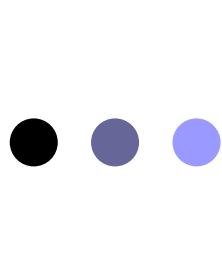
$$\Delta \dot{H}_{b \rightarrow d} = 1.679g / s(1,0J / g^{\circ}K)(25 - 27)^{\circ}K + (22g / s)(-2240J / g) = -57kJ / s$$

$$\Delta \dot{H}_{c \rightarrow d} = (11g / s)(105J / g - 2.790J / g) = -29,5kJ / s$$

$$\Delta \dot{H}_{d \rightarrow e} = (113g / s)(-42,5kJ / g) = -4803kJ / s$$

$$\Delta \dot{H}_{e \rightarrow f} = (134g / s)(2.240J / g) = 300kJ / s$$

$$\Delta \dot{H}_{f \rightarrow g} = \dot{m}_8 \int_{25}^{T_f} C_{p,8} dT = -14,4 - 57 - 29,5 - 4.803 + 300 = 4.604kJ / s$$



DISEÑO DE PLANTAS I BALANCES

Estimación de T_f . Resolviendo la integral para diferentes temperaturas.

$$\Delta \dot{H}_{f \rightarrow g} = \dot{m}_8 \int_{25}^{T_f} C_{p,8} dT = 4.604 \text{ kJ / s}$$

Componente (PM)	Tabulación de las entalpías en la corriente 8 para diferentes temperaturas						
	gas combustión		$\Delta H_{f \rightarrow g}$ (kJ/s) a diferentes temperaturas T_f				
	8	8	500 K	1000 k	1500 k	2000 k	2500 k
	gmol/s	g/s					
N2 (28)	45,4	1272	268	971	1738	2541	3364
O2 (32)	1,1	35	7	25	44	65	86
CO2(44)	8,19	360	68	273	504	747	996
NO(30)	0,03	0,9	–	1	1	2	3
SO2(64.1)	0,02	1,3	–	1	2	2	3
H2O(18)	7,4	134	51	192	356	538	733
Ceniza	na	0,1	–	–	–	1	1
Total	62,1	1803,3					
		Total entalpía	394	1463	2645	3896	5186

Para el N2 a 500 °K (45,4 g mol/s)(5,912 kJ/gmol) = 268 kJ/s

$$T_f = 2.274 \text{ °K} = 2.000 \text{ °C}$$

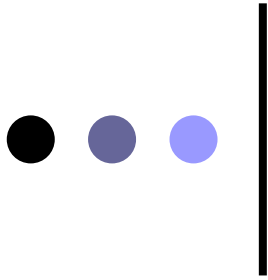
DISEÑO DE PLANTAS I

BALANCES

CRC Handbook of
Chemistry and
Physics , pag. 5-80

THERMODYNAMIC PROPERTIES AS A FUNCTION OF TEMPERATURE (continued)

T/K	J/K·mol			kJ/mol			Log E _f
	C _p ^o	S ^o	-(G ^o -H ^o (T _i))/T	H ^o -H ^o (T _i)	Δ _f H ^o	Δ _f G ^o	
64. POTASSIUM CHLORIDE KCl (cr, l)							
298.15	51.300	82.570	82.570	0.000	-436.490	-408.568	71.579
300	51.333	82.887	82.571	0.095	-436.481	-408.395	71.107
400	52.977	97.886	84.605	5.312	-438.463	-398.651	52.058
500	54.448	109.867	88.498	10.685	-437.990	-388.749	40.612
600	55.885	119.921	92.919	16.201	-437.332	-378.960	32.991
700	57.425	128.649	97.413	21.865	-436.502	-369.295	27.557
800	59.205	136.430	101.812	27.694	-435.505	-359.760	23.490
900	61.361	143.523	106.058	33.719	-434.337	-350.360	20.334
1000	64.032	150.121	110.138	39.983	-432.981	-341.100	17.817
1044	65.405	152.908	111.882	42.830	-485.450	-336.720	16.847
PHASE TRANSITION: Δ _{tr} H = 26.320 kJ/mol, Δ _{tr} S = 25.210 J/K·mol, cr-l							
1044	72.000	178.118	111.882	69.150	-485.450	-336.720	16.847
1100	72.000	181.880	115.351	73.182	-483.633	-328.790	15.613
1200	72.000	188.145	121.160	80.382	-480.393	-314.856	13.705
1300	72.000	193.908	126.537	87.582	-477.158	-301.192	12.102
1400	72.000	199.244	131.542	94.782	-473.928	-287.778	10.737
1500	72.000	204.211	136.223	101.982	-470.704	-274.594	9.562
65. POTASSIUM CHLORIDE KCl (g)							
298.15	36.505	239.091	239.091	0.000	-214.575	-233.320	40.876
300	36.518	239.317	239.092	0.068	-214.594	-233.436	40.644
400	37.066	249.904	240.532	3.749	-218.112	-239.107	31.224
500	37.384	258.212	243.267	7.473	-219.287	-244.219	25.513
600	37.597	265.048	246.344	11.222	-220.396	-249.100	21.686
700	37.769	270.857	249.441	14.991	-221.461	-253.799	18.938
800	37.907	275.910	252.441	18.775	-222.509	-258.347	16.868
900	38.041	280.382	255.302	22.572	-223.568	-262.764	15.250
1000	38.162	284.397	258.014	26.383	-224.667	-267.061	13.950
1100	38.279	288.039	260.581	30.205	-304.696	-266.627	12.661
1200	38.401	291.375	263.010	34.039	-304.821	-263.161	11.455
1300	38.518	294.454	265.312	37.885	-304.941	-259.684	10.434
1400	38.639	297.313	267.496	41.743	-305.053	-256.199	9.559
1500	38.761	299.983	269.574	45.613	-305.159	-252.706	8.800
66. DINITROGEN N₂ (g)							
298.15	29.124	191.608	191.608	0.000	0.000	0.000	0.000
300	29.125	191.788	191.608	0.054	0.000	0.000	0.000
400	29.249	200.180	192.752	2.971	0.000	0.000	0.000
500	29.580	206.738	194.916	5.911	0.000	0.000	0.000
600	30.109	212.175	197.352	8.894	0.000	0.000	0.000
700	30.754	216.864	199.812	11.936	0.000	0.000	0.000
800	31.433	221.015	202.208	15.046	0.000	0.000	0.000
900	32.090	224.756	204.509	18.225	0.000	0.000	0.000
1000	32.696	228.169	206.706	21.462	0.000	0.000	0.000



DISEÑO DE PLANTAS I BALANCES

10) Ahora si podemos estimar la temperatura de la corriente 9 mediante un balance en la caldera, el cual se puede simplificar a:

$$m_8 (h_8 - h_9) = m_6 (h_7 - h_6) + Q$$

Q: es el calor perdido por radiación y se estima como el 2% de ΔH d->e, es decir 96 kJ/s

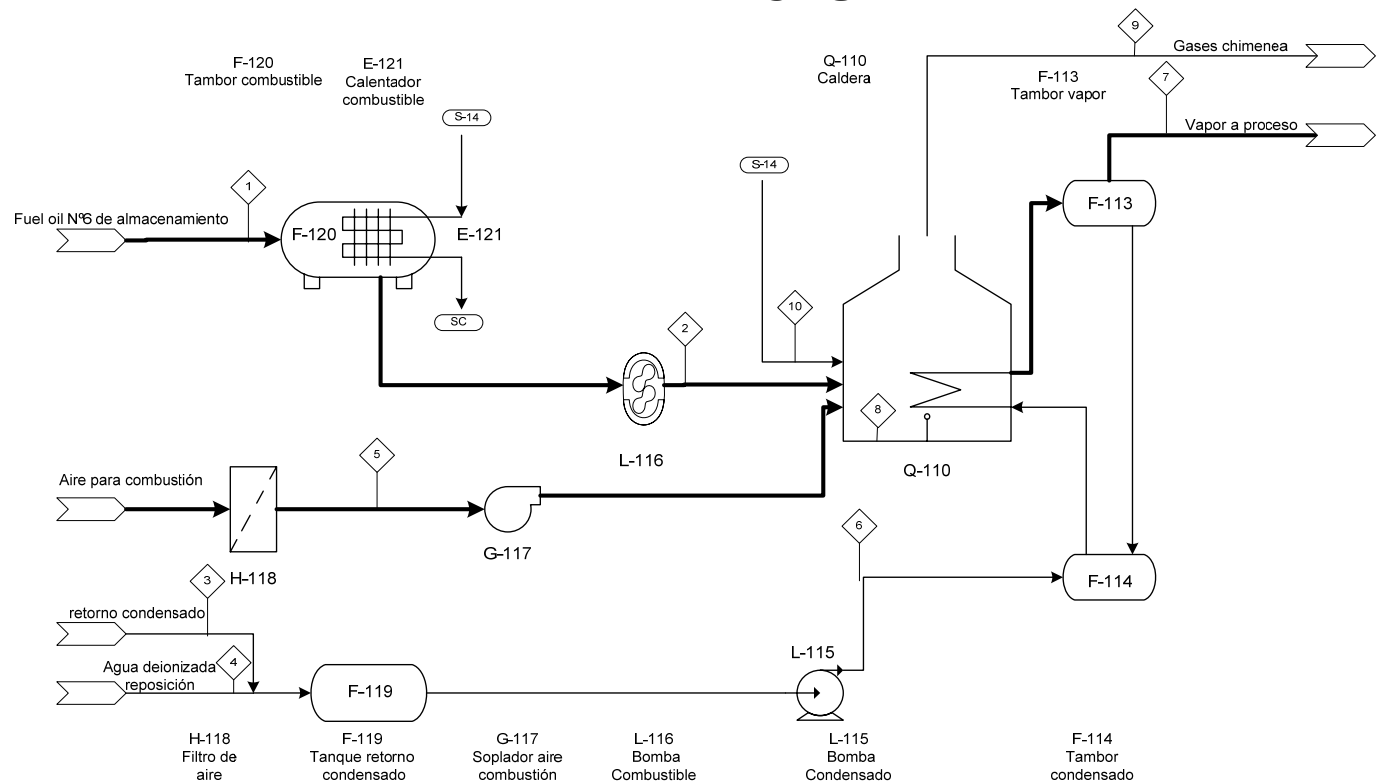
$$m_6 (h_7 - h_6) = 3.769 \text{ kJ/s}$$

$$m_8 h_8 = 4.604 \text{ kJ/s} \rightarrow m_8 h_9 = 739 \text{ kJ/s}$$

Utilizando los datos de la tabla donde se obtuvo T_f , $T_9 = 660^\circ\text{K} = 387^\circ\text{C}$

DISEÑO DE PLANTAS I

BALANCES



Componente (PM)	Balance de masa (g/s) y Energía									
	Fuel oil Almacen 1	Combust a caldera 2	Condens retorno 3	Agua reposición 4	Aire para comb 5	Agua alim cald 6	Vapor producto 7	Productos combustión 8	Gases chimenea 9	Vapor atomisad 10
C (12)		98,3								
H (1)		11,2								
N2 (28)		0,7			1271			1272	1272	
O2 (32)		1,9			386			35	35	
S (32.1)		0,8								
CO2(44)								360	360	
NO(30)								0,9	0,9	
SO2(64.1)								1,3	1,3	
H2O(18)			1110	280	22	1390	1390	134	134	11
Ceniza		0,1						0,1	0,1	
Total(g/s)	Por lote	113	1110	280	1679	1390	1390	1803	1803	11
Temp(°C)	95	100	20	20	27	20	213	2000	387	195
Pres(barg)	2	18	2	2	2	21	20	0,2	0,02	14
Entalpía(kJ/s)		3769				117	3886	4604		