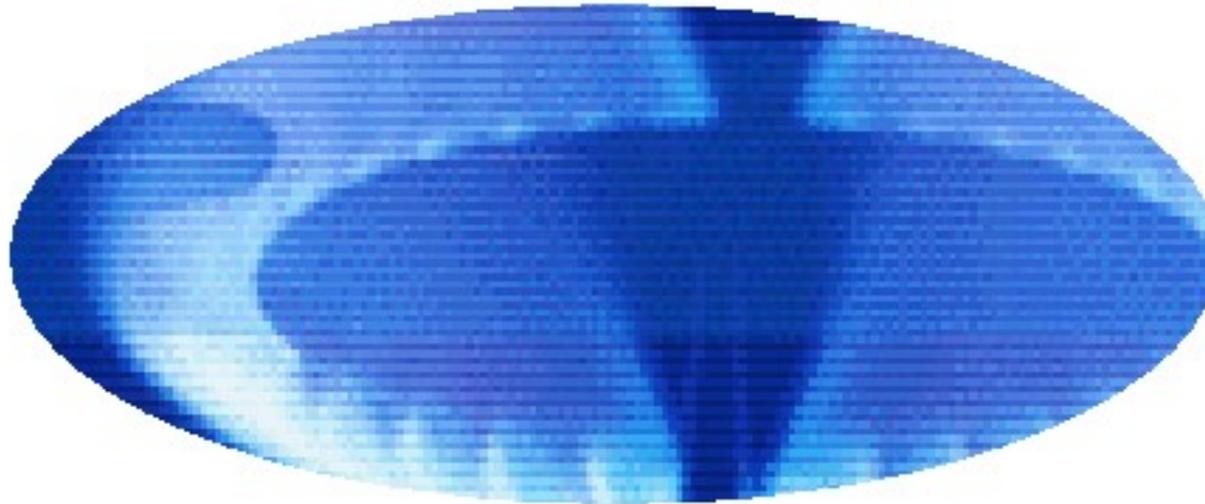


TIM 46 – Tecnólogos Mecánicos
Instalaciones Generales de Gases Combustibles

Propiedades Físico-Químicas



Ing. Marcos Tenconi Viguere
Curso 2024



Nomenclatura y simbología

C:	Caudal volumétrico de gas
G:	Densidad relativa al aire (gases) o al agua (líquidos)
GEA:	Contenido porcentual volumétrico de gas en aire
Hi:	Potencia térmica de un quemador
h_{fg}:	Calor latente de vaporización
LEL:	Límite inferior de explosividad
M:	Módulo de un gas combustible (coeficiente de aire primario)
PM_g:	Peso molecular de un gas
P_0:	Presión ambiente o de referencia
P_v:	Presión de vapor
Q_{PI}:	Poder calorífico inferior
Q_{PS}:	Poder calorífico superior
R:	Constante universal de los gases ideales [i]
R_g:	Constante específica de un gas ideal [ii]
T_0:	Temperatura ambiente o de referencia
T_a:	Temperatura absoluta de un gas
T_{ai}:	Temperatura de auto-ignición
T_{II}:	Temperatura adiabática de llama
UEL:	Límite superior de explosividad
V_0:	Volumen molar de los gases ideales [iii]
v_{ag}:	Relación volumétrica estequiométrica aire/gas
v_{lg}:	Volumen específico de vaporización
V_{II}:	Velocidad estequiométrica de propagación de llama
W_S:	Índice de Wobbe referido al Poder Calorífico Superior
ρ:	Densidad absoluta de un gas [iv]

Notas:

[i] $R = 8.314 \times 10^{-2} \text{ bara.m}^3 / \text{ kmol.K}$
 $= 1.986 \text{ kcal} / \text{ kmol.K}$

[ii] $R_g = R / PM_g$

[iii] $V_0 [T = 0 \text{ °C}] = 22.41 \text{ lt}$

$V_0 [T = 15 \text{ °C}] = 23.64 \text{ lt}$

[iv] $\rho = P / (T_a \times R_g)$



Propiedades básicas de algunos gases a presión y temperatura normal

Gas	G	LEL [% GEA]	UEL [% GEA]	T _{ai} [°C]	T _{ll} [°C]	V _{ll} [cm/s]	Q _{PI} [kJ/m ³] (kcal/m ³)	Q _{PS} [kJ/m ³] (kcal/m ³)	V _{ag} [m ³ _a / m ³ _g]	V _{lg} [m ³ _g / m ³]	R _g [bara.m ³ / kg.K] (x 10 ³)
Aire [*]	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.883
O ₂	1.105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.598
N ₂	0.967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.969
H ₂	0.069	4.0	75.0	571	2,318	190	10,200 (2,437)	12,077 (2,885)	2.4	-	41.570
CO	0.967	12.5	74.2	605	-	40	11,939 (2,852)	11,939 (2,852)	2.4	-	2.969
CH ₄	0.554	5.0	15.0	537	1,987	67	33,877 (8,093)	37,624 (8,988)	9.5	-	5.196
C ₂ H ₆	1.356	3.2	12.5	472	2,026	85	60,300 (14,405)	65,921 (15,748)	16.7	-	2.771
C ₃ H ₈	1.562	2.4	9.5	450	2,059	82	86,234 (20,601)	93,729 (22,391)	23.8	311	1.890
n-C ₄ H ₁₀	2.091	1.9	8.4	405	2,031	83	112,158 (26,794)	121,527 (29,032)	31.0	239	1.433
i-C ₄ H ₁₀	2.064	1.8	8.4	405	2,031	83	111,758 (26,698)	121,147 (28,941)	31.0	236	1.433

Notas:

T₀ = 15 °C ; P₀ = 1.01325 bara

[*] Densidad absoluta del aire seco, a T₀ y P₀:
ρ_o = 1.220 kg/m³

Composición volumétrica del aire atmosférico estándar:
[O₂] = 21 % [N₂] = 79 %

Peso molar del aire atmosférico estándar:
28.840 g/mol



Caracterización de los gases combustibles de uso común en Uruguay

Denominación	Familia	Composición Volumétrica Típica	G	W _s [kcal/m ³]	Q _{PS}	
					[kcal/m ³]	[kcal/kg] (Btu / lb)
Gas Manufacturado (gas de hulla, gas de coque, gas de alumbrado, gas de ciudad, gas de aire, gas de agua, gas de alto horno, gas de gasógeno, etc.)	1 ^a	[CO] = 20 ... 70 % [H ₂] = 5 ... 20 % [CO ₂] = 5 ... 25 % [N ₂] = 10 ... 60 % [CH ₄] = 0 ... 25 % [H ₂ O] = sat.	0.50 ... 1.05 (Nom.: 0.80)	5,400 ... 7,200 (Nom.: 5,422)	1,100 ... 6,900 (Nom.: 4,850)	-
Biogás (gas de digestor, gas de relleno sanitario, gas de los pantanos)	N/A	[CH ₄] = 50 ... 70 % [CO ₂] = 30 ... 45 % [H ₂] < 1 % [N ₂] < 1 % [O ₂] < 1 % [H ₂ O] = sat.	0.83 ... 1.02	4,400 ... 6,900	4,500 ... 6,300	-
Gas Natural (en condiciones normales de inyección a gasoducto)	2 ^a	[CH ₄] = 90 ... 96 % [C ₂ H ₆] = 2 ... 4 % [C ₃ H ₈] = < 2 % [N ₂] < 2 % [CO ₂] < 2 % [C ₄₊] < 1 %	0.57 ... 0.63 (Nom.: 0.60)	11,600 ... 12,100 (Nom.: 12,006)	8,900 ... 9,400 (Nom.: 9,300)	-
Aire Propanado (propano indiluido)	2 ^a	Nom.: [C ₃ H ₈] = 60 % [aire] = 40 %	Nom.: 1.38	Nom.: 12,063	Nom.: 14,160	-
Supergas	3 ^a	Nom.: [C ₃ H ₈] = 40 % [C ₄ H ₁₀] = 60 %	Nom.: 1.817 (v) Nom.: 0.540 (l)	Nom.: 19,527	Nom.: 26,321 (v)	Nom.: 11,805 (l) (21,249)
Propano Industrial (propano comercial, supergas granel)	3 ^a	Nom.: [C ₃ H ₈] = 80 % [C ₄ H ₁₀] = 20 %	Nom.: 1.623 (v) Nom.: 0.518 (l)	Nom.: 18,604	Nom.: 23,701 (v)	Nom.: 11,896 (l) (21,413)
Butano Desodorizado (butano comercial)	3 ^a	Nom.: [C ₃ H ₈] = 25 % [C ₄ H ₁₀] = 75 %	Nom.: 1.890 (v) Nom.: 0.548 (l)	Nom.: 19,860	Nom.: 27,303 (v)	Nom.: 11,771 (l) (21,188)



Presión de vapor de mezclas GLP



Denominación	T [°C]	P _v	
		[barg]	[psig]
SUPERGAS Propiedades a T ₀ y P ₀ : G = 0.540 (l) G = 1.817 (v) h _{fg} = 93 kcal/kg V _{ag-quím} = 28.095 m ³ _a /m ³ _g Q _{PI} = 45511 kJ/kg Q _{PS} = 49415 kJ/kg	0	1.81	26.2
	5	2.20	31.9
	10	2.66	38.5
	15	3.20	46.4
	20	4.03	58.4
	25	4.61	66.9
	30	5.38	78.0
	35	6.32	91.7
	40	7.21	106.0
	45	8.34	121.0
PROPANO INDUSTRIAL Propiedades a T ₀ y P ₀ : G = 0.518 (l) G = 1.623 (v) h _{fg} = 99 kcal/kg V _{ag-quím} = 25.238 m ³ _a /m ³ _g Q _{PI} = 45809 kJ/kg Q _{PS} = 49795 kJ/kg	0	5.46	80.7
	5	6.08	89.9
	10	6.70	99.1
	15	7.33	108.3
	20	7.95	117.5
	25	9.17	135.6
	30	10.55	155.9
	35	12.19	180.2
	40	13.83	204.5
	45	15.97	236.1
BUTANO COMERCIAL Propiedades a T ₀ y P ₀ : G = 0.548 (l) G = 1.890 (v) h _{fg} = 91 kcal/kg V _{ag-quím} = 29.167 m ³ _a /m ³ _g Q _{PI} = 45399 kJ/kg Q _{PS} = 49272 kJ/kg	0	1.15	17.0
	5	1.49	22.0
	10	1.83	27.0
	15	2.16	32.0
	20	2.50	37.0
	25	2.98	44.1
	30	3.53	52.2
	35	4.27	63.1
	40	5.00	74.0
	45	5.95	88.0



Familias de gases combustibles

Definición de Índice de Wobbe y Módulo de Gas

$$W_s = Q_{PS} / G^{0.5}$$

$$M = P_g^{0.5} / W_s$$

Nota: Todas las propiedades están referidas a presión y temperatura normal (T_0, P_0) salvo si se aclara lo contrario.



Primera Familia:

$$W_s = 22.5 \dots 30.0 \text{ MJ/m}^3 \text{ (5,400 } \dots \text{ 7,200 kcal/m}^3\text{)}$$

Ejemplo: gases manufacturados; $Q_{PS} = 19,000 \dots 29,000 \text{ kJ/m}^3$



Segunda Familia:

$$W_s = 39.1 \dots 54.7 \text{ MJ/m}^3 \text{ (9,300 } \dots \text{ 13,100 kcal/m}^3\text{)}$$

Ejemplo: Gases naturales; $Q_{PS} = 35,000 \dots 51,000 \text{ kJ/m}^3$



Grupo 2L: $W_s = 39.1 \dots 44.8 \text{ MJ/m}^3$

Grupo 2E: $W_s = 40.9 \dots 54.7 \text{ MJ/m}^3$

Grupo 2H: $W_s = 45.7 \dots 54.7 \text{ MJ/m}^3$

Tercera Familia:

$$W_s = 72.9 \dots 87.3 \text{ MJ/m}^3 \text{ (17,400 } \dots \text{ 20,900 kcal/m}^3\text{)}$$

Ejemplo: GLPs; $Q_{PS} = 94,000 \dots 122,000 \text{ kJ/m}^3$



Grupo 3B/P: $W_s = 72.9 \dots 87.3 \text{ MJ/m}^3$

Grupo 3P: $W_s = 72.9 \dots 76.8 \text{ MJ/m}^3$

Grupo 3B: $W_s = 81.8 \dots 87.3 \text{ MJ/m}^3$

Quemadores de gas

1_Quemadores atmosféricos o de baja presión

Son quemadores en los que el aire es arrastrado por la vena de gas en baja presión hacia la zona de pre-mezcla.

En general se verifica:

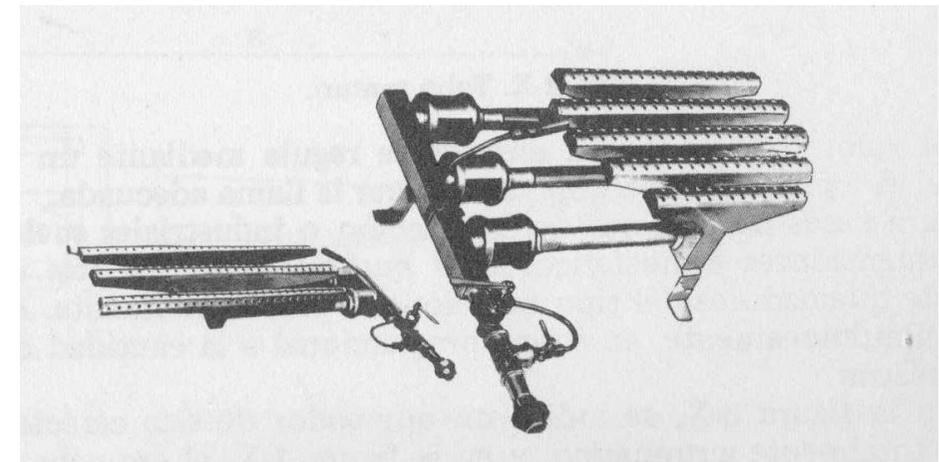
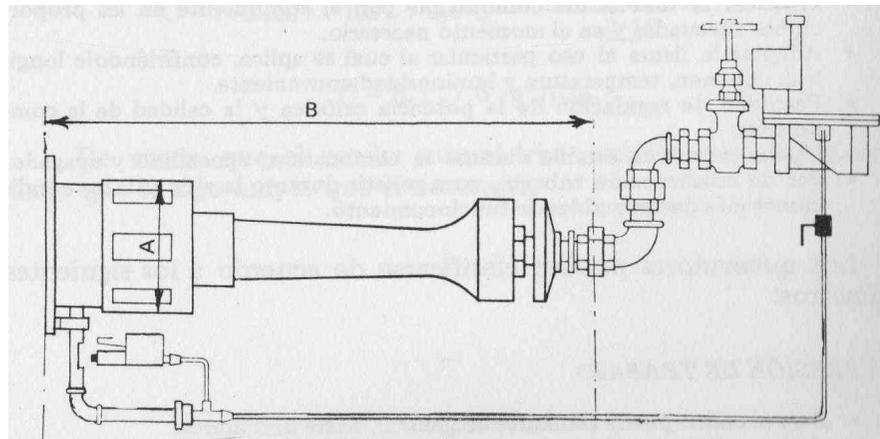
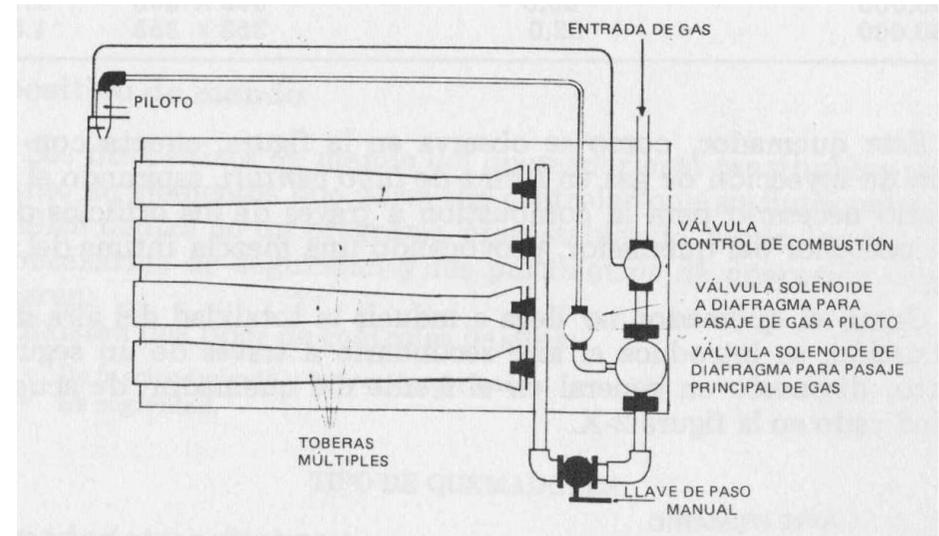
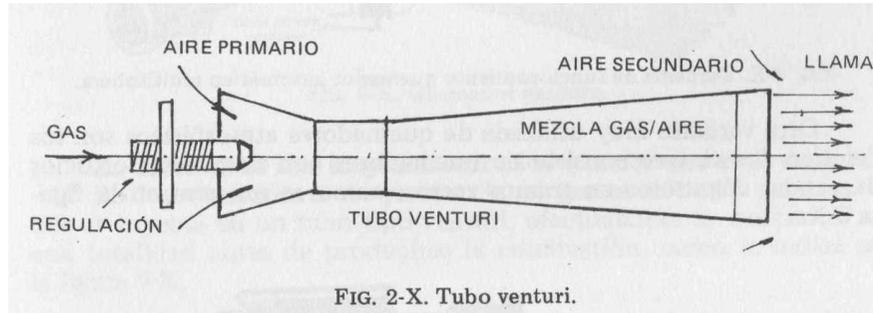
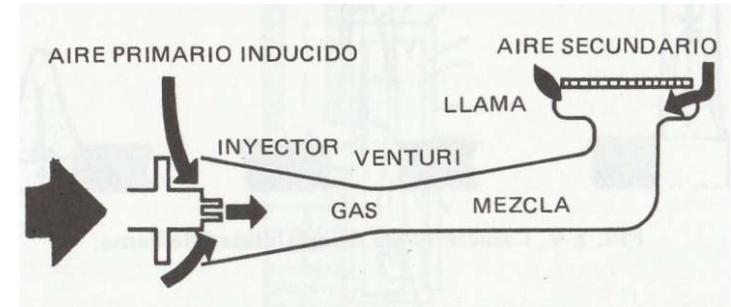
$$P_g \leq 35 \text{ mbarg}$$

$$P_a = P_{\text{atm}}$$



Quemadores de gas

1_ Quemadores atmosféricos o de baja presión (cont.)



Rendimiento en kcal/h	Consumo máximo en m ³ /h de gas natural	Medidas en mm	
		A	B
30.000	3,5	192 x 192	650
50.000	6,0	192 x 192	710
75.000	9,0	192 x 192	750
95.000	11,0	246 x 246	1.050
125.000	15,0	246 x 246	1.100
250.000	30,0	353 x 353	1.560
500.000	60,0	353 x 353	1.700
700.000	82,0	353 x 353	1.800



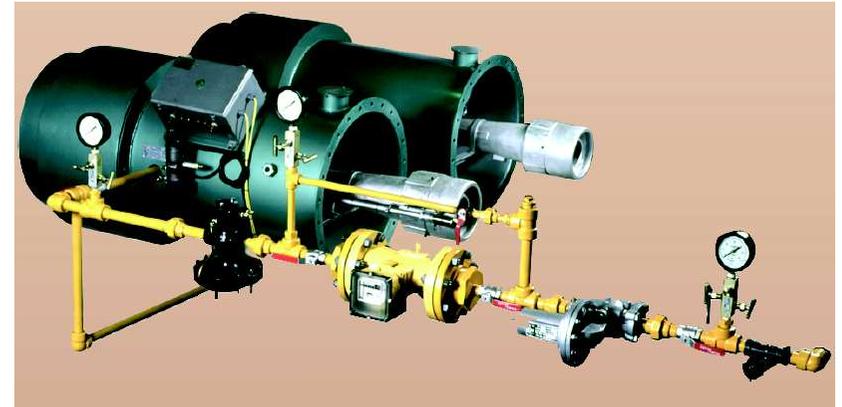
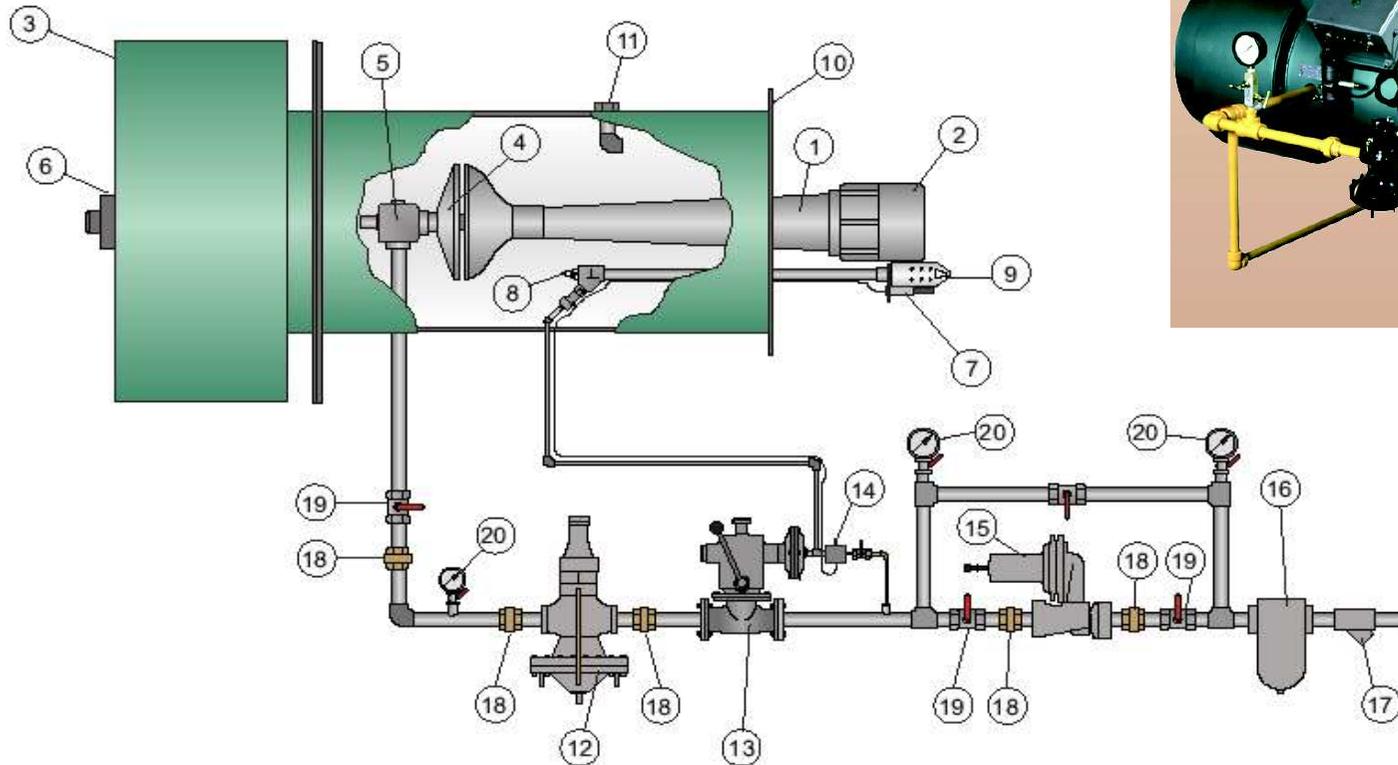
Quemadores de gas

1_ Quemadores atmosféricos o de baja presión (cont.)



Quemadores de gas

1_ Quemadores atmosféricos o de baja presión (cont.)



Posición	Descripción
1	Venturi
2	Cabeza de fuego del quemador
3	Protección contra vientos
4	Registro de aire primario
5	Válvula de regulación tipo aguja
6	Registro de aire secundario
7	Termocupla
8	Bujía de encendido
9	Piloto
10	Contrabrida de fijación

Posición	Descripción
11	Visor de llama con espejo
12	Válvula termoreguladora de temperatura
13	Válvula de bloqueo
14	Válvula de seguridad termomagnética
15	Válvula reguladora de presión
16	Separador de líquidos
17	Filtro tipo Y
18	Unión dobles
19	Válvulas esféricas
20	Manómetros



Quemadores de gas

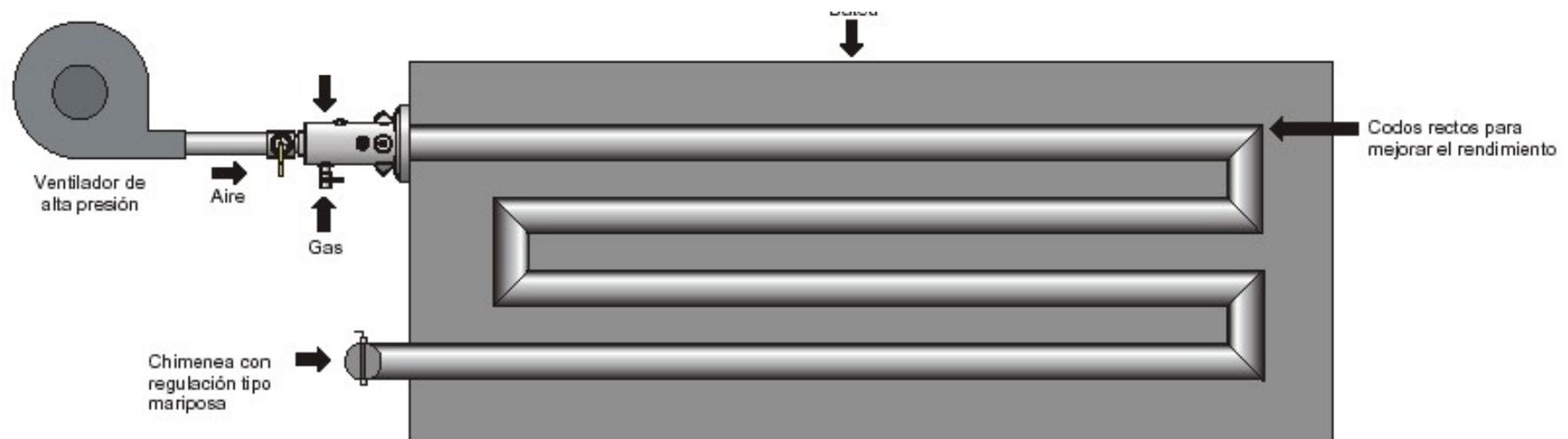
2_ Quemadores de aire presurizado y gas a baja presión

Son quemadores en los que el gas es arrastrado por la vena de aire presurizado hacia la zona de premezcla; normalmente, el aire es presurizado con un ventilador centrífugo.

En general, se verifica:

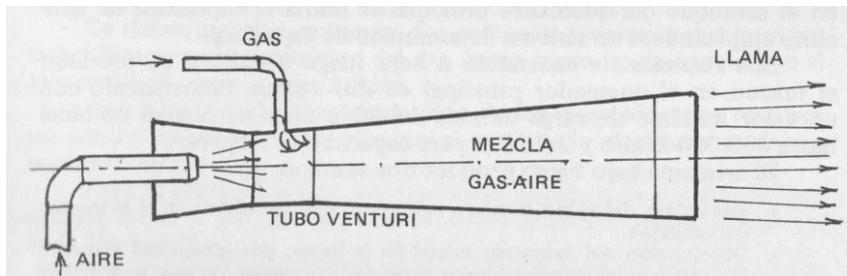
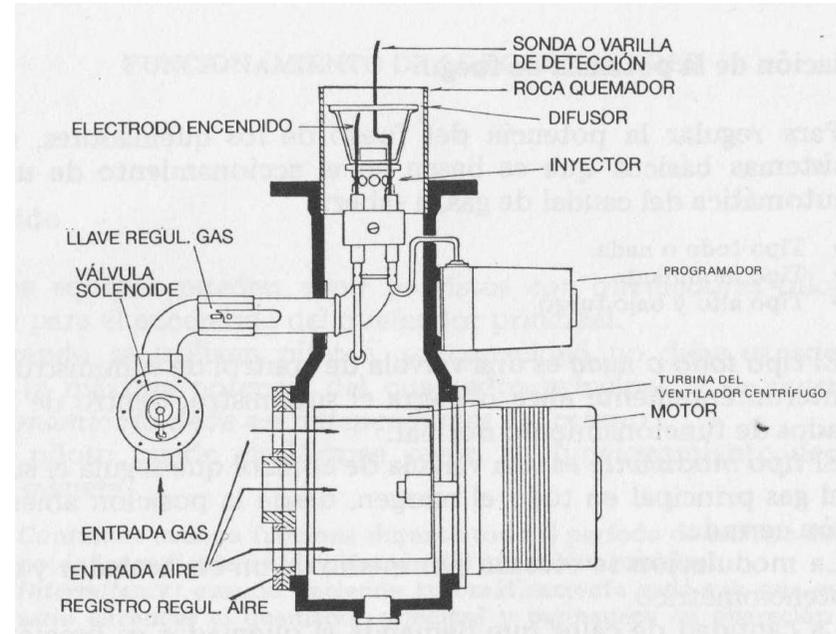
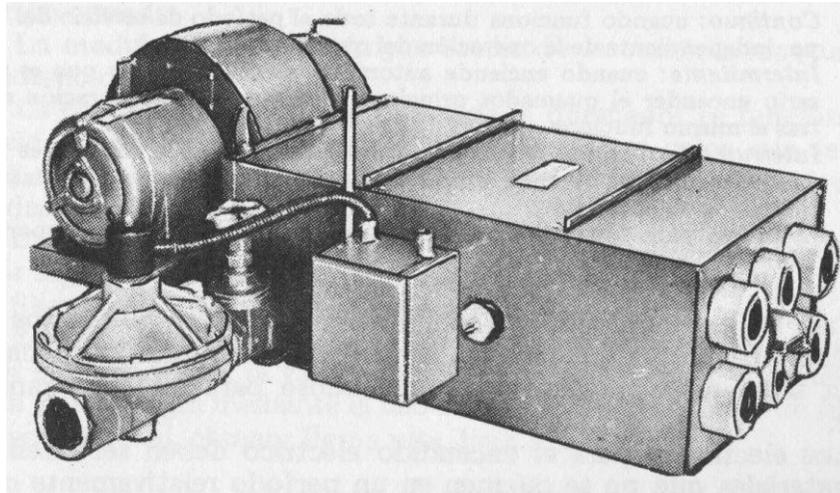
$$P_g \leq 35 \text{ mbarg}$$

$P_a > 300 \text{ mbarg}$: el gas es arrastrado por la corriente de aire



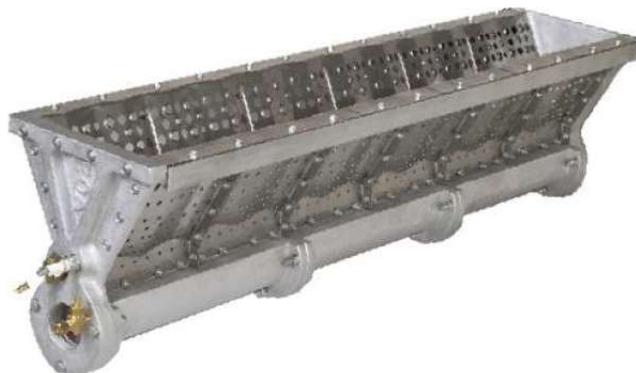
Quemadores de gas

2_ Quemadores de aire presurizado y gas a baja presión (cont.)



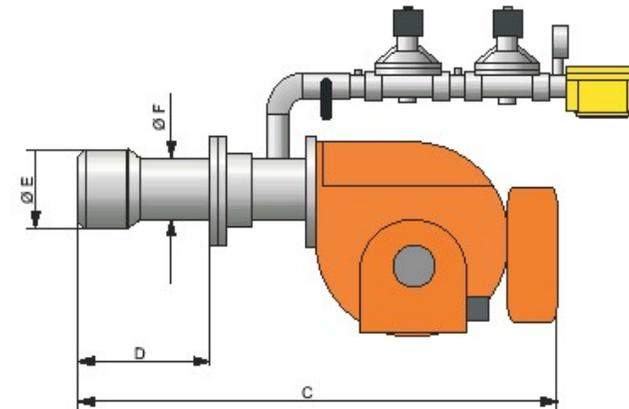
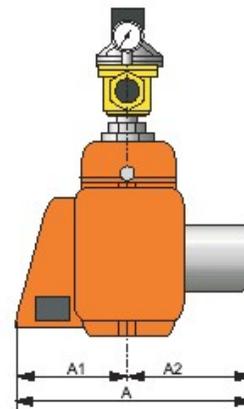
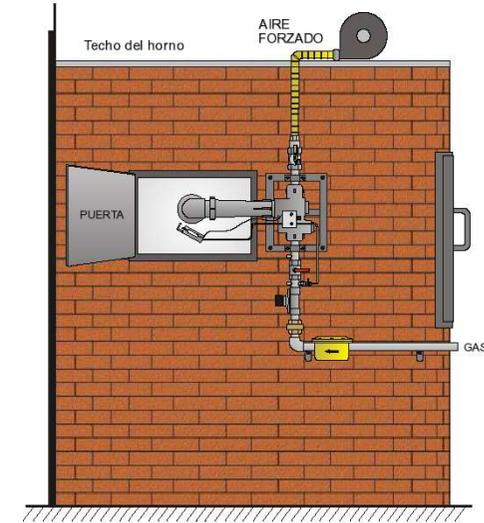
Quemadores de gas

2_Quemadores de aire presurizado y gas a baja presión (cont.)



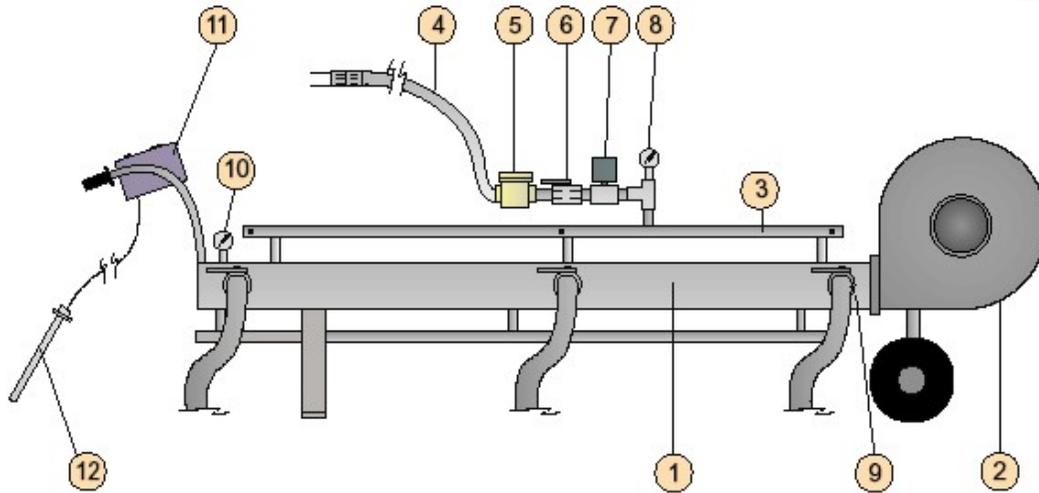
Quemadores de gas

2_ Quemadores de aire presurizado y gas a baja presión (cont.)

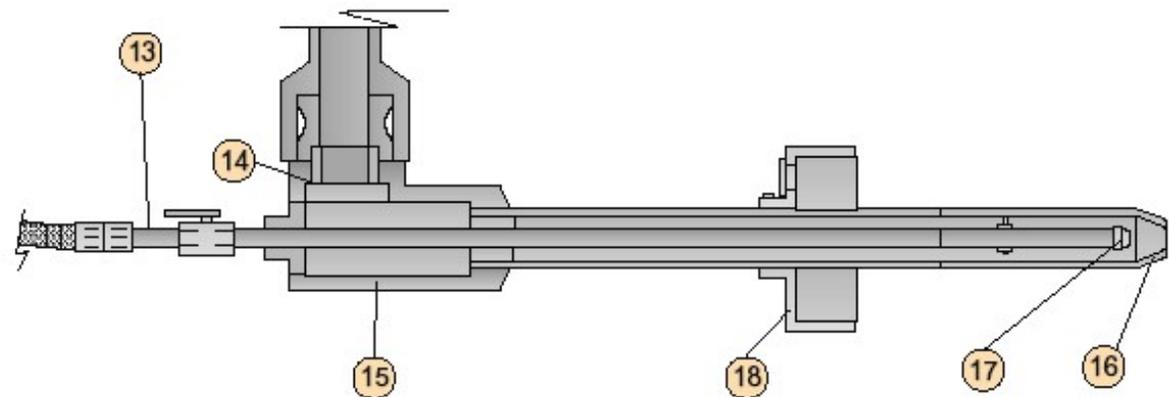


Quemadores de gas

3_ Quemadores de Alta Presión



- 1- Tubo distribuidor de aire
- 2- Ventilador centrifugo
- 3- Caño distribuidor de gas
- 4- Manguera de entrada de gas con acople
- 5- Filtro de gas (opcional)
- 6- Llave esférica para gas
- 7- Válvula solenoide para gas (opcional)
- 8- Manómetro de presión de gas
- 9- Salidas de aire con mariposa de regulación
- 10- Manómetro para aire (opcional)
- 11- Caja G.N. de control y funcionamiento (opcional)
- 12- Termocupla de control de temperatura (opcional)



- 13- Entrada de gas al quemador, con acople rápido y llave de gas
- 14- Entrada de aire al quemador
- 15- Cuerpo del quemador
- 16- Cono y caño de aire de acero inoxidable (AISI 310)
- 17- Inyector y caño de gas de acero inoxidable (AISI 310)
- 18- Placa de apoyo del quemador, con visor de llama



Quemadores de gas

4_Otros tipos de quemadores

4.1_Quemadores con Aspiración de Mezcla por Succión

En este tipo de quemadores la mezcla gas-aire es aspirada hacia la cámara de combustión mediante un elemento mecánico ubicada en su interior, o en el conducto de evacuación de humos: por ejemplo, un ventilador de tiro inducido.

4.2_Quemadores con Sistema de Doble Válvula

Son quemadores de baja presión en los que el pasaje de gas y aire se controla por medio de un juego de válvulas que pueden ser independientes o interbloqueadas.

4.3_Quemadores con Sistema Mecánico de Mezcla o “Regulador Cero”

Son quemadores en los que se incorpora una etapa de regulación y un mezclador central que permiten variar el caudal de la mezcla gas-aire manteniendo constante su dilución.

4.4_Quemadores de Llama Amarilla

Son quemadores en los que no se realiza pre-mezcla de gas y aire; su aplicación es muy limitada, ya que poseen rendimientos energéticos muy reducidos.

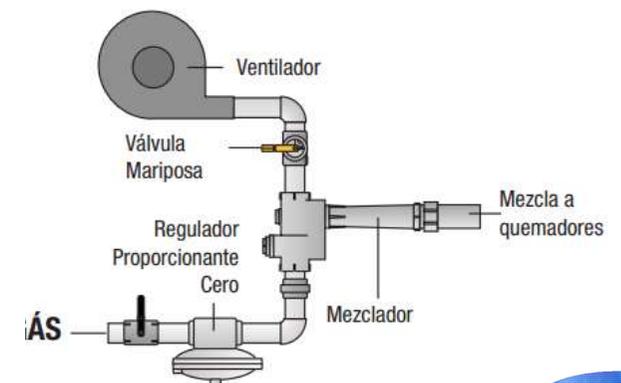
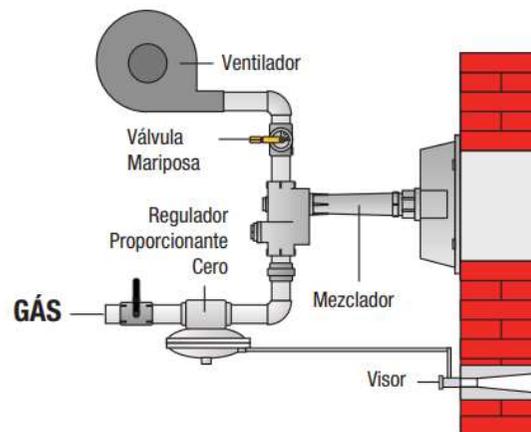
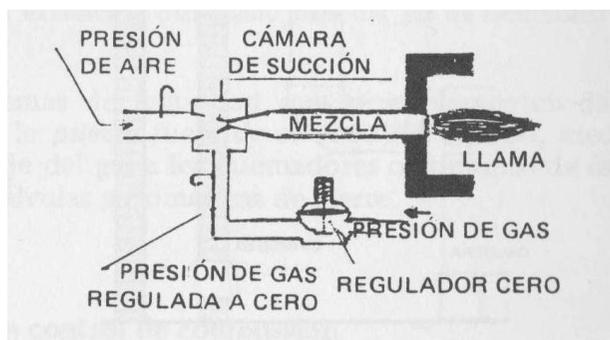
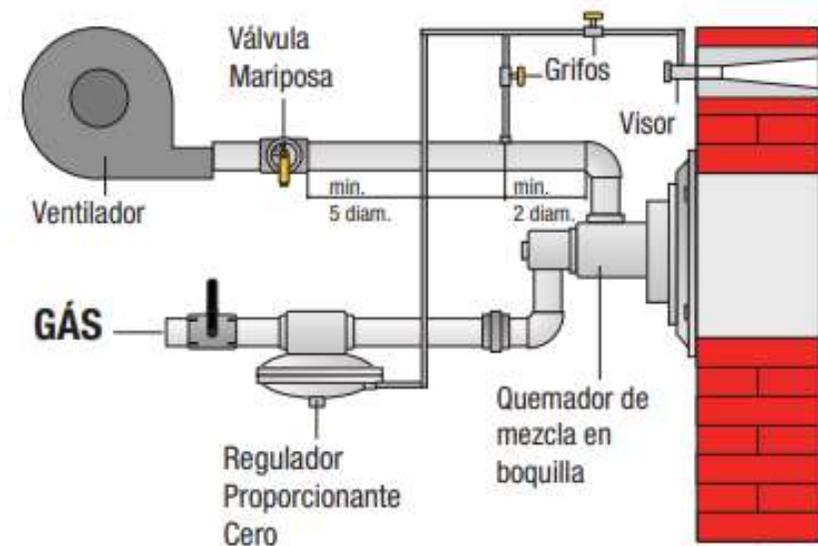
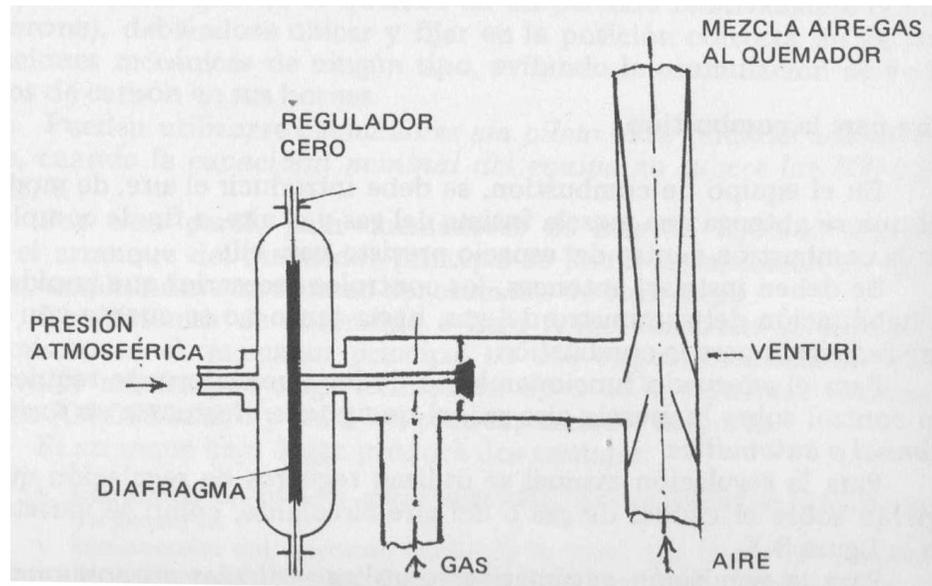


Quemadores de gas

4_Otros tipos de quemadores (cont.)

Quemador con Sistema de Doble Válvula

Quemadores con “regulador cero”



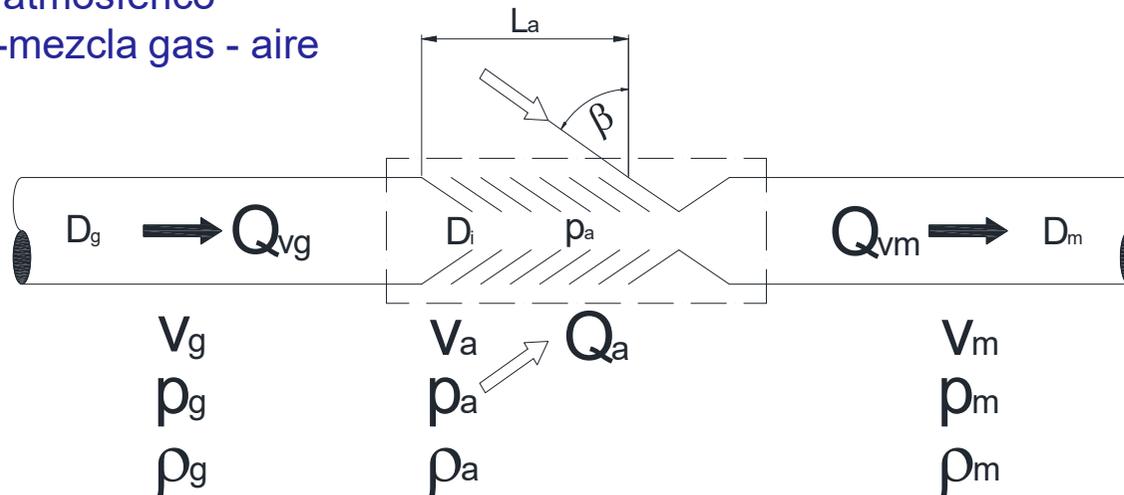
Conversión de quemadores atmosféricos

Esquema de principio de un quemador atmosférico de baja presión

g: gas combustible

a: aire atmosférico

m: pre-mezcla gas - aire



Conservación del Módulo de Gas

El Módulo de Gas relaciona la potencia liberada por un quemador atmosférico con la presión de gas necesaria para alcanzar un exceso de aire primario adecuado.

$$M = \frac{\sqrt{P_{man}}}{W_{ob}}$$

Aplicación: para mantener las mismas condiciones operativas al utilizar un mismo quemador atmosférico con dos gases alternativos (en particular, el porcentaje de dilución de aire primario y las condiciones básicas de estabilidad de llama) es condición necesaria **(pero no suficiente)** mantener el módulo del gas.



Conversión de quemadores atmosféricos (cont.)

$$\left. \begin{aligned} M_1 = M_2 &\Rightarrow \frac{\sqrt{P_{man-1}}}{W_{ob-1}} = \frac{\sqrt{P_{man-2}}}{W_{ob-2}} \\ W_{ob} &= \frac{Q_P^S}{\sqrt{G}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{P_{man-1}}{P_{man-2}} = \frac{G_2}{G_1} \left(\frac{Q_{P-1}^S}{Q_{P-2}^S} \right)^2$$

Ejemplo

Gas [1]: Propano Industrial ($G = 1.63$; $Q_{PS} = 23,600 \text{ kcal/m}^3$)

Gas [2]: Gas Natural ($G = 0.60$; $Q_{PS} = 9,300 \text{ kcal/m}^3$)

$$P_{man-PI} / P_{man-GN} = 2.37$$

Observación: La igualdad de módulos no implica la conservación de la potencia liberada en quemador, salvo para gases de la misma familia, es decir, con índices de Wobbe aproximadamente iguales.



Conversión de quemadores atmosféricos (cont.)

Conservación de la Potencia Térmica

La potencia térmica de un quemador se define como la cantidad de energía liberada en el quemador por unidad de tiempo, a través del caudal de gas aportado.

$$H_i = K_1 C Q_P^S$$

K_1 es una constante dimensional cuyo valor es $K_1 = 0.2778$,
si $[H_i] = \text{kW}$, $[Q_P^S] = \text{MJ/m}^3$ y $[C] = \text{m}^3/\text{hr}$

El caudal volumétrico de gas C puede determinarse a partir de la siguiente expresión:

$$C = K_2 C_d D_i^2 \sqrt{P_{man}/G}$$

C_d es el coeficiente adimensionado de descarga de la tobera u orificio de pasaje de gas (inyector u "oído")

K_2 es una constante dimensional cuyo valor es $K_2 = 0.036$,
si $[D_i] = \text{mm}$, $[P_{man}] = \text{mbarg}$.

Aplicación: para mantener la potencia consumida por unidad de tiempo en el quemador, utilizando un mismo quemador atmosférico con dos gases combustibles diferentes, si se asume la **constancia del coeficiente de descarga** (es decir, se mantiene la geometría y dimensiones relativas de las toberas u orificios de salida del gas) y la **conservación del módulo del gas** (a los efectos de asegurar un porcentaje de dilución primaria y estabilidad de llama adecuados), deberán verificarse las siguientes relaciones entre los parámetros básicos:



Conversión de quemadores atmosféricos (cont.)

$$\left. \begin{array}{l} H_{i-1} = H_{i-2} \\ M_1 = M_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_{man-1}}{P_{man-2}} = \frac{G_2}{G_1} \left(\frac{Q_{P-1}^S}{Q_{P-2}^S} \right)^2 \\ \frac{D_{int-1}}{D_{int-2}} = \frac{Q_{P-2}^S}{Q_{P-1}^S} \sqrt{\frac{G_1}{G_2}} \end{array} \right.$$

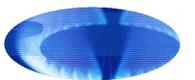
Ejemplo

Gas [1]: Propano Industrial ($G = 1.63$; $Q_{PS} = 23,600 \text{ kcal/m}^3$)

Gas [2]: Gas Natural ($G = 0.60$; $Q_{PS} = 9,300 \text{ kcal/m}^3$)

$$P_{man-PI} / P_{man-GN} = 2.37$$

$$D_{int-PI} / D_{int-GN} = 0.65$$



Conversión de quemadores atmosféricos (cont.)

Gases Intercambiables

Si los gases combustibles utilizados tienen el mismo índice de Wobbe, al aplicar las ecuaciones [V-a] y [V-b] se obtiene que el diámetro de la tobera u orificio y la presión de suministro de gas se mantendrán constantes, es decir:

$$\left. \begin{array}{l} H_{i-1} = H_{i-2} \\ M_1 = M_2 \\ W_1 = W_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} P_{man-1} = P_{man-2} \\ D_{int-1} = D_{int-2} \end{array} \right.$$

Observación: Los gases que poseen el mismo índice de Wobbe pueden utilizarse indistintamente en un quemador atmosférico de baja presión, sin necesidad de realizar modificaciones en el artefacto (es decir, variar el diámetro del inyector) ni cambiar la presión de suministro de gas, es decir, son intercambiables entre sí.

Ejemplo

Gas [1]: Propano Industrial ($G = 1.63$; $Q_{PS} = 23,600 \text{ kcal/m}^3$)

Gas [2]: Gas Natural ($G = 0.60$; $Q_{PS} = 9,300 \text{ kcal/m}^3$)

Determinar el porcentaje volumétrico de aire con que debería agregarse al propano industrial para obtener una mezcla intercambiable con el gas natural.

Mezcla PI-Aire: $[m] = \alpha[PI] + (1-\alpha)[\text{Aire}]$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{P-M}^S = \alpha Q_{P-PI}^S \\ G_M = \alpha G_{PI} + (1-\alpha) \\ W_M = W_{GN} \end{array} \right\} \Rightarrow \alpha = 59.68\%$$



Ejercicios de aplicación

5.1 Se considera la mezcla gaseosa de vapor de propano, hidrógeno molecular y aire atmosférico, con la siguiente composición volumétrica: $[C_3H_8] = 38 \%$, $[H_2] = 53 \%$, $[aire] = 9 \%$

Determinar los siguientes parámetros de la mezcla:

- a) Masa molecular y densidad relativa al aire.
- b) Poder calorífico superior, a presión y temperatura estándar ($T_0 = 15 \text{ °C} = 288 \text{ K}$ y $P_0 = 1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bara}$)
- c) Densidad y volumen específico a:
 - i. $P = P_0, T = T_0$
 - ii. $P = P_0, T = 150 \text{ °C}$
 - iii. $P = 4 \text{ barg}, T = T_0$
- d) ¿Es posible intercambiar la mezcla directamente con algún gas combustible de uso común en gasodomésticos? ¿Por qué?

Resp.: $20.38 \text{ g/mol}; 0.71$
 42018 kJ/m^3
 $0.862 \text{ kg/m}^3; 1.160 \text{ m}^3/\text{kg}$ $0.587 \text{ kg/m}^3; 1.703 \text{ m}^3/\text{kg}$ $3.404 \text{ kg/m}^3; 0.294 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $W_s = 49989 \text{ kJ/m}^3 \approx W_{s|GN}$



Ejercicios de aplicación (cont.)

5.2 Se requiere modificar un equipo diseñado originalmente para funcionar con gas manufacturado (poder calorífico superior $Q_{PS} = 4700 \text{ kcal/m}^3$ y densidad relativa al aire $G = 0.75$), de modo que pueda ser alimentado con gas natural ($Q_{PS} = 9300 \text{ kcal/m}^3$, $G = 0.60$), manteniendo un porcentaje de aireación primaria adecuado y conservando constante la potencia nominal del equipo.

Para ello, se decide sustituir el inyector del quemador, cuyo orificio original tiene diámetro de 2.2 mm. Calcular el diámetro del nuevo inyector.

Resp.: 1.0 mm

5.3 Se adaptará un equipo que funciona actualmente con supergas (SG) para ser alimentado con gas natural (GN). Las propiedades de los gases en cuestión son las siguientes:

$$\begin{array}{lll} \text{SG:} & Q_{PS} = 26300 \text{ kcal/m}^3 & G = 1.82 \\ \text{GN:} & Q_{PS} = 9300 \text{ kcal/m}^3 & G = 0.60 \end{array}$$

Si la presión actual de suministro de supergas al equipo es de 35 mbarg, indicar cuál debería ser la presión de suministro de gas natural en la conexión del equipo, para mantener un porcentaje de aireación primaria adecuado en el quemador del equipo cuando funcione con este nuevo gas.

Resp.: 13 mbarg



Ejercicios de aplicación (cont.)

5.4 Se decide convertir una instalación de baja presión que funciona actualmente con gas natural (GN) para que pase a trabajar temporalmente con propano industrial (PI) manteniendo la misma presión de suministro y sin modificar los equipos conectados. Los poderes caloríficos superiores y las densidades relativas al aire y de dichos gases son:

GN:	$Q_{PS} = 9300 \text{ kcal/m}^3$	$G = 0.60$
PI:	$Q_{PS} = 23700 \text{ kcal/m}^3$	$G = 1.62$

Para ello, se mezcla el PI con aire atmosférico, a fin de obtener un gas diluido que resulte intercambiable con el GN. Indicar cuál debería ser la densidad relativa al aire de dicha mezcla, su composición volumétrica y su poder calorífico superior.

Resp.: $1.367 [PI] / [aire] = 59.24 / 40.76 \text{ } 14039 \text{ kcal/m}^3$

