

CAPÍTULO 3

QUÍMICA

3.1. Introducción	171
3.2. Elementos y compuestos químicos presentes en los gases combustibles.....	171
3.2.1. Nitrógeno	171
3.2.2. Hidrógeno	171
3.2.3. Oxígeno.....	171
3.2.4. Compuestos de carbono (CO y CO ₂)	171
3.2.5. Hidrocarburos: metano, etano, propano, butano	171
3.3. El aire como mezcla	172
3.4. Gases combustibles comerciales. Clasificación y características.....	173
3.4.1. Gases combustibles comerciales: clasificación	173
3.4.2. Gases de la primera familia.....	173
3.4.3. Gases de la segunda familia.....	173
3.4.3.1. Gas natural.....	173
3.4.3.2. Aire propanado de alto poder calorífico	174
3.4.4. Gases de la tercera familia	174
3.4.4.1. Butano comercial.....	175
3.4.4.2. Propano comercial	175
3.4.4.3. GLP automoción	176
3.5. Combustión: Combustible.....	177
3.5.1. La combustión	177
3.5.2. Combustible y comburente.....	177
3.5.3. Reacciones de combustión. Combustión completa e incompleta	177
3.5.4. Aire primario y aire secundario.....	177
3.5.5. Llama blanca y azul.....	178
3.5.6. Límites de inflamabilidad	178
3.5.7. Temperatura de ignición	179
3.5.8. Temperatura de inflamación.....	179
3.5.9. Poder calorífico superior	180
3.6. Gases inertes. Inertización (sólo categorías B y A).....	180
3.6.1. Gases inertes	180
3.6.2. Inertización.....	180

3.1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo recoge los conocimientos básicos en Química necesarios para instaladores autorizados de gas de las categorías A, B y C.

3.2 . ELEMENTOS Y COMPUESTOS QUÍMICOS PRESENTES EN LOS GASES COMBUSTIBLES

3.2.1. Nitrógeno

El **nitrógeno** es un componente inerte que está presente en el gas natural (aunque en proporciones muy reducidas, del orden del 1%). También estaba presente en el gas de hulla (4%), gas de agua (6%, incluyendo óxidos de nitrógeno) y gas manufacturado por cracking de naftas o de gas natural (6%). También estaba presente en las mezclas aire-gas (aire propanado y aire butanado) utilizadas como sustitutivos de los gases de la primera y segunda familias.

3.2.2. Hidrógeno

El **hidrógeno** era un componente de los gases manufacturados, en proporciones variables normalmente entre el 50% y el 33%, según el tipo de gas. También se encontraba presente en las mezclas aire-gas.

Su poder calorífico es de 12,78 MJ/m³(n) y su densidad relativa es 0,07.

3.2.3. Oxígeno

El **oxígeno** era un componente minoritario del gas manufacturado obtenido por cracking de naftas ligeras, en proporciones del orden del 3%. También está presente en las mezclas aire-gas (aire propanado y aire butanado) utilizadas como sustitutivos de los gases de la primera y segunda familias.

3.2.4. Compuestos de carbono (CO y CO₂)

Compuestos de carbono tales como el **monóxido de carbono** (CO) y el **dióxido de carbono** (CO₂) entraban en la composición de gases manufacturados tales como el gas de hulla (10% de CO y 2% de CO₂), gas de agua (33% de CO y 5% de CO₂), y gas de cracking (15% de CO y 4% de CO₂).

El poder calorífico del monóxido de carbono es de 12,71 MJ/m³(n) y su densidad relativa es 0,97.

3.2.5. Hidrocarburos: metano, etano, propano, butano

Los principales componentes de los gases combustibles son los **hidrocarburos**. Son compuestos de carbono e hidrógeno que durante la combustión se convierten en dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O).

He aquí algunas de sus propiedades:

Nombre	Poder calorífico (MJ/m ³ (n)	Densidad relativa
Metano	39,83	0,55
Etano	51,92	1,05
Propano	50,24	1,56
Butano	49,66	2,09

Los hidrocarburos que aparecen más frecuentemente son los siguientes:

Nombre	Fórmula	Tipo de gas*
Metano	CH ₄	Gas natural (> 88%) Gas de hulla (30%) Gas ciudad (22%) Gas de agua (11%)
Etano**	C ₂ H ₆	Gas natural (9%) Propano comercial (2,5% máx.) Butano comercial (2% máx.) GLP Automoción (2,5% máx.)
Propano***	C ₃ H ₈	Propano comercial (80% mín.) Butano comercial (20% máx.) GLP Automoción (20% mín.)
Normal butano****	n C ₄ H ₁₀	Butano comercial (80% mín.) Propano comercial (20% máx.)
Iso butano***	i C ₄ H ₁₀	GLP Automoción (80% máx.)
Otros hidrocarburos más pesados	C _n H _m	Gas natural Butano comercial Propano comercial GLP Automoción Aire propanado Aire metanado

* Composición aproximada en volumen.

** Presente también en aire propanado, aire metanado, gas de hulla, gas de agua y gas de cracking.

*** Presente también en gas natural, aire propanado y aire metanado.

3.3. EL AIRE COMO MEZCLA

El aire es una mezcla homogénea cuyos principales componentes son el oxígeno y el nitrógeno, existiendo en pequeñas proporciones otros gases como helio, neón, argón, criptón, xenón, etc. A efectos prácticos, se considera una **composición en volumen del aire del 79% de nitrógeno y 21% de oxígeno**.

3.4. GASES COMBUSTIBLES COMERCIALES. CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS

3.4.1. Gases combustibles comerciales: Clasificación

Los gases combustibles se clasifican en familias. Todos los gases de una misma familia tienen características comunes, de manera que pueden intercambiarse generalmente sin necesidad de modificar ni la instalación, ni los aparatos de consumo.

Si se tiene que cambiar el gas por otro que no sea de la misma familia, es necesario realizar unas operaciones de adaptación de los aparatos de consumo, substituyendo alguno de sus componentes (Ver Capítulo 11)

Según la norma **UNE 60002**, los gases se agrupan en tres familias, en función del valor del índice de Wobbe superior, que es el cociente del Poder Calorífico Superior dividido por la raíz cuadrada de la densidad relativa del gas.¹

Primera familia: se encuentra constituida por gases manufacturados, obtenidos mediante proceso de fabricación a partir de distintos componentes. También se incluyen en esta familia el aire propanado con bajo índice de Wobbe, y el aire metanado, utilizados para suplementar o sustituir el gas manufacturado.

Segunda familia: está formada por los gases naturales y aire propanado con alto índice de Wobbe.

Tercera familia: Esta familia incluye los gases licuados del petróleo (propano y butano).

3.4.2. Gases de la primera familia

La primera familia comprende varios tipos de gas que han dejado de producirse y distribuirse en España: gas de hulla, gas de agua y el denominado gas ciudad, manufacturado a partir de naftas o de gas natural. Lo mismo ocurre con las mezclas aire-gas, principalmente el **aire propanado** (con un 21% en volumen de propano) y el **aire metanado** (con una proporción aproximada de gas natural del 42% en volumen).

3.4.3. Gases de la segunda familia

3.4.3.1. Gas natural

El gas natural se extrae directamente de yacimientos subterráneos donde puede encontrarse solo o mezclado con petróleo ("gas asociado").

El transporte desde el yacimiento a la zona de consumo se realiza en estado gaseoso mediante gasoducto o en buque metanero, en estado líquido.

La composición del gas es variable según los yacimientos, aunque el principal componente es el metano; y por ello varían también sus características.

La **composición de un gas natural** tipo que se distribuye en España es la siguiente:

	%
	Volumen
Metano (CH₄)	91,2
Etano (C₂H₆)	7,4
Otros hidrocarburos (C_nH_m)	0,9
Nitrógeno (N₂)	0,5
	<hr/>
	100,0

1. Para más detalles ver las definiciones del Capítulo 0, "Terminología".

Y sus características:

Densidad relativa	0,62
P.C.S	43,96 MJ/m ³ (n) [12,21 kWh/m ³ (n)]
Índice de Wobbe	55,74 MJ/m ³ (n) [15,50 kWh/m ³ (n)]
Humedad	Seco

3.4.3.2. Aire propanado de alto poder calorífico

La composición tipo y las características del aire propanado intercambiable con el gas natural son las siguientes:

	%	Volumen
Propano	60	
Aire	40	
	100	

Densidad relativa	1,38
P.C.S	60,7 MJ/m ³ (n) [16,86 kWh/m ³ (n)]
Índice de Wobbe	52,19 MJ/m ³ (n) [14,51 kWh/m ³ (n)]
Humedad	Seco

3.4.4. Gases de la tercera familia

Los gases licuados del petróleo (GLP) son mezclas comerciales de hidrocarburos en los que el butano o el propano son dominantes.

En su estado natural son gaseosos pero en recipientes a presión (del orden de 2 a 7 bar) y a temperatura ambiente una gran parte de los mismos están en fase líquida, ocupando un volumen unas 250 veces inferior al que ocuparían en estado vapor.

Los GLP se obtienen principalmente en las refinerías de petróleo durante el proceso de destilación del crudo.

También se pueden obtener de los procesos de licuación o regasificación del gas natural cuando los GLP se encuentran asociados al gas natural en sus yacimientos.

Los GLP se transportan en estado líquido, en recipientes a presión, desde los centros de producción hasta los centros de almacenamiento, desde donde se distribuyen envasados o a granel.

La distribución se realiza mediante:

- Envases (botellas): Son recipientes cilíndricos de acero con cargas útiles de:
 - 12,5 kg de butano comercial. Se utiliza en el mercado doméstico fundamentalmente.
 - 11 kg de propano comercial. Se utiliza en el mercado doméstico y en el mercado comercial de pequeño consumo.
 - 35 kg de propano comercial. Se utiliza principalmente en el mercado doméstico para grandes consumos (calefacción + agua caliente + cocina) y para usos comerciales e industriales.
- Vehículos cisterna y depósitos fijos: Estos últimos tienen distintos volúmenes en función de las necesidades y se recargan periódicamente mediante camiones cisterna con propano comercial. Se usan en el mercado doméstico (viviendas individuales y comunidades), mercado comercial e industrial y para automoción.

- Vehículos cisterna, depósitos fijos, y redes de distribución: A partir de un tanque fijo o un conjunto de ellos, donde se almacena en estado líquido, se realiza la distribución a cada usuario doméstico, comercial o industrial, mediante una red de canalizaciones de distribución a presión de hasta 2 bar, de características similares a las de gas natural.

La composición y características están regulados por disposiciones oficiales para butano y propano comerciales y GLP de automoción.

Las características más importantes se indican a continuación.

3.4.4.1. Butano comercial

Característica	Unidades	Límite	
		Máximo	Mínimo
Densidad líquido a 15° C	kg/m ³		560
Densidad relativa gas			2,04
Presión de vapor man. a 50° C	bar	7,5	
Poder calorífico inferior	kWh/kg		10,7
Poder calorífico superior	kWh/kg		11,8
Hidrocarburos C2 (etano)	% vol	2	
Hidrocarburos C3 (propano)	% vol	20	
Hidrocarburos C4 (butano)	% vol		80
Hidrocarburos C5 (pentano)	% vol	1,5	
Olefinas totales	% vol	20	

3.4.4.2. Propano comercial

Característica	Unidades	Límite	
		Máximo	Mínimo
Densidad líquido a 15° C	kg/m ³	535	502
Densidad relativa gas			1,6
Presión de vapor man. a 37,8° C	bar	16	10
Poder calorífico inferior	kWh/kg		10,7
Poder calorífico superior	kWh/kg		11,8
Hidrocarburos C2 (etano)	% vol	2,5	
Hidrocarburos C3 (propano)	% vol		80
Hidrocarburos C4 (butano)	% vol	20	
Hidrocarburos C5 (pentano)	% vol	1,5	
Olefinas totales	% vol	35	

Todos los valores expuestos son aproximados, para conocer los datos exactos de un gas debe consultarse a las empresas suministradoras.

3.4.4.3. GLP Automoción

Característica	Unidades	Límite	
		Máximo	Mínimo
Presión de vapor man. a 40° C	bar	15,8	
Ensayo R number		10	
Ensayo Oil number		33	
Índice octano motor (MON)			89
Hidrocarburos C2 (etano)	% vol	2,5	
Hidrocarburos C3 (propano)	% vol		20
Hidrocarburos C4 (butano)	% vol	80	
Hidrocarburos C5 (pentano)	% vol	1,5	
Olefinas totales	% vol	6	

3.5. COMBUSTIÓN. COMBUSTIBLE Y COMBURENTE

3.5.1. La combustión

La combustión es una reacción química que combina el oxígeno con un los elementos contenidos en el combustible. El resultado de la reacción es generalmente la formación de llamas con desprendimiento de calor.

Los productos de la combustión son básicamente gases. En el caso particular de la combustión completa de un combustible gaseoso los productos de la combustión están formados por dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O).

3.5.2. Combustible y comburente

Para que tenga lugar el fenómeno de la combustión es indispensable que exista un combustible y un comburente, normalmente el aire, que aporte el oxígeno necesario, y que se alcance la temperatura de inflamación. **Un material es combustible cuando es susceptible de quemarse bajo unas condiciones determinadas, es decir, tiene tendencia a combinarse con el oxígeno.**

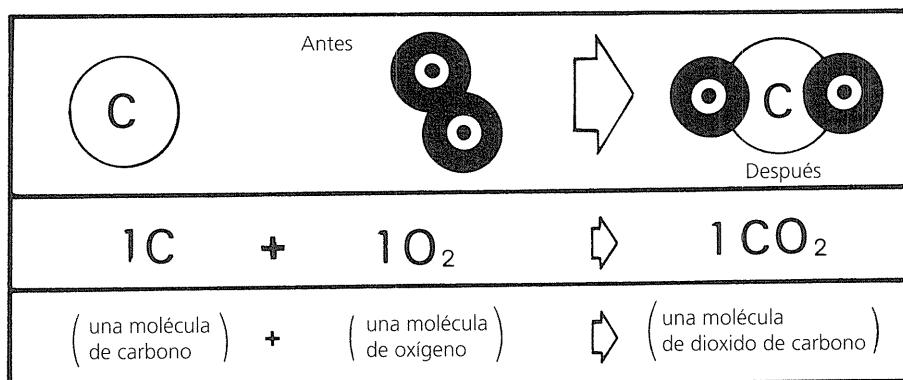
El otro elemento que necesitamos para la combustión es el oxígeno o un gas, como el aire, que contenga oxígeno mezclado, a este elemento le llamamos comburente. **El comburente es todo agente que hace posible que el gas arda en su presencia.**

3.5.3. Reacciones de combustión. Combustión completa e incompleta

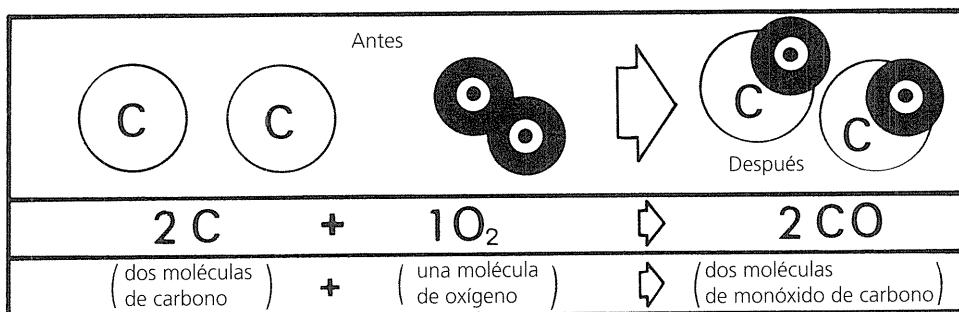
Una combustión es completa cuando todas las moléculas de combustible disponen del suficiente oxígeno de forma que los productos de la combustión estén formados exclusivamente por dióxido de carbono y vapor de agua.

Cuando no se dispone de suficiente oxígeno para quemar todo el combustible los productos de la combustión contendrán monóxido de carbono (CO) y partículas de carbono sin quemar, siendo los productos de la combustión visibles (humos).

Combustión completa del carbono

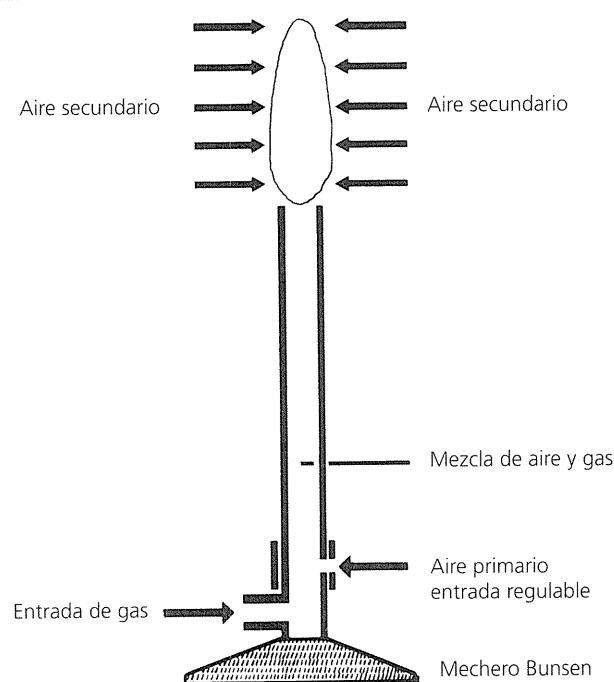


Combustión incompleta del carbono



3.5.4. Aire primario y aire secundario

En la siguiente figura podemos ver un mechero bunsen, que es un quemador que tiene en su cuello un dispositivo regulable, que permite la entrada de aire el cual se mezcla con el gas antes de su combustión.



El aire que se mezcla con el gas antes de su combustión se llama **aire primario** y el que toma la llama del ambiente que la rodea, **aire secundario**.

3.5.5. Llama blanca y azul

Si cerramos totalmente la entrada de aire primario, veremos que la llama adquiere un color rojo-blanco. Esto es debido a que la combustión es incompleta ya que el aire que toma del ambiente que la rodea no es suficiente para el volumen del gas que sale por el quemador. Esta llama se denomina **Llama blanca** debido a su color.

A medida que aumentamos la entrada de aire primario la llama se vuelve de color azul, lo cual nos indica que la combustión se vuelve más completa. Esta llama se denomina **Llama azul** debido a su color.

La llama azul tiene indudables ventajas frente a la llama blanca, pues en los quemadores de llama azul pueden consumirse, de forma óptima, grandes caudales de gas, y la temperatura que se alcanza es superior a la lograda en un quemador de llama blanca.

	Ventajas	Inconvenientes
Llama blanca	Gran longitud, a veces necesaria	Menor temperatura. Produce hollín al contacto con paredes frías.
Llama azul	Mayor temperatura. No produce hollín. Se puede concentrar la fuente de calor.	La entrada de aire secundario debe ser bastante precisa, para que no se produzca el desprendimiento o retroceso de la llama.

3.5.6. Límites de inflamabilidad

Para que un gas arda son necesarias dos condiciones:

- el gas debe encontrarse homogéneamente mezclado con el aire.
- que la proporción de la cantidad de gas respecto a la del aire debe encontrarse entre unos límites máximo y mínimo.

A estos límites se los denomina: **límite inferior de inflamabilidad y límite superior de inflamabilidad**. El siguiente cuadro nos da los límites inferiores y superiores de inflamabilidad de diferentes gases puros, en % de volumen de gas presente en la mezcla.

	Límite inferior	Límite superior
Metano	5,3	14
Etano	3,2	12,5
Propano	2,37	9,5
Normal butano	1,6	8,5
Iso butano	1,9	8,5
Monóxido de carbono	12,9	74
Hidrógeno	4,1	72,2
Etileno	2,75	28,6

Si la proporción de gas es inferior al límite inferior o superior al límite superior de inflamabilidad, el gas no arderá.

Los gases comerciales son una mezcla de gases puros, y los límites de inflamabilidad podemos conocerlos sabiendo cuál es su composición mediante la fórmula de Le Chatelier-Coward.

$$L = \frac{100}{\frac{P_1}{L_1} + \frac{P_2}{L_2} + \dots + \frac{P_n}{L_n}}$$

donde P_1, P_2, \dots, P_n son los porcentajes en volumen de cada uno de los gases puros que forman la mezcla, y L_1, L_2, \dots, L_n sus límites de inflamabilidad.

3.5.7. Temperatura de ignición

Se llama **temperatura de ignición** a la temperatura mínima en que una mezcla de aire y gas combustible dentro de los límites de inflamabilidad empieza a arder espontáneamente a una presión determinada, sin necesidad de chispa o llama que la encienda. También recibe el nombre de temperatura de auto-ignición.

También puede aplicarse a la temperatura de una superficie caliente que, en contacto con una mezcla de aire y gas combustible, produce su ignición.

Generalmente se determina mediante ensayos normalizados. A continuación se muestran las temperaturas de ignición de algunos gases.

Temperatura de ignición (°C)	
Metano	537
Etano	510
Propano	468
Normal butano	430
Iso butano	543
Monóxido de carbono	620
Hidrógeno	560
Etileno	450

3.5.8. Temperatura de inflamación

Para que se produzca la combustión es necesaria una temperatura adecuada para el inicio de la reacción, esta temperatura es una característica de cada gas y se le llama **temperatura de inflamación**.² Por debajo de ella el gas no arderá aunque exista un foco de ignición externo. Una vez iniciada la combustión el calor desprendido por la misma mantendrá la temperatura por encima de su temperatura de ignición y la reacción continuará hasta que se agote el combustible o el comburente.

2. También se llama "punto de inflamación" o "punto de destello". En inglés, "Flash Point".

Aunque la temperatura de inflamación es una propiedad que es más útil cuando se trata de combustibles sólidos o líquidos, damos a continuación las **temperaturas de inflamación de varios gases puros**:

Temperatura de inflamación (°C)	
Metano	-221
Etano	-130
Propano	-104
Normal butano	-60
Iso butano	-82

3.5.9. Poder calorífico superior

El Poder Calorífico Superior (P.C.S.) es la cantidad de calor producida por la combustión completa de una unidad de masa o volumen de gas a una presión constante e igual a 1013,25 mbar, tomando los componentes de la mezcla combustible en las condiciones de referencia y llevando los productos de la combustión a las mismas condiciones, suponiendo que se condensa el vapor de agua producido por la combustión.

3.6. GASES INERTES. INERTIZACIÓN (sólo categorías B y A)

3.6.1. Gases inertes

Se denominan **gases inertes** aquéllos que son químicamente inactivos, es decir que en condiciones habituales no se combinan con el oxígeno y por tanto no son susceptibles de producir ningún tipo de combustión. Los gases inertes habitualmente empleados en la industria son el **nitrógeno** (N_2) y el **dióxido de carbono** (CO_2).

3.6.2. Inertización

La inertización es el proceso de llenar una tubería o un depósito con gas inerte y se realiza para desplazar de su interior el aire o el gas combustible que pueda contener, con el fin de evitar una posible mezcla explosiva incontrolada de aire-gas.

A continuación se indican los casos y los pasos a seguir para la puesta en servicio o reparación de una conducción o depósito:

- Puesta en servicio de una conducción o depósito.
 - 1º inertizar la conducción o depósito al objeto de eliminar el aire que contenga.
 - 2º llenar de gas combustible de distribución la conducción o el depósito
- Reparación de una conducción o depósito
 - 1º despresurizar la conducción o depósito
 - 2º vaciar el gas combustible, arrastrándolo con un gas inerte
 - 3º efectuar la reparación que proceda
 - 4º inertizar para arrastrar el aire de su interior
 - 5º volver a llenar la conducción o depósito con el gas combustible de distribución.