


# COMBUSTION

Motores de Combustión Interna



Prof. Charles Delgado

## Reacciones de Combustión:

Las reacciones de combustión son reacciones rápidas que producen una llama.

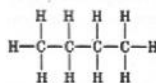
En la mayor parte de las reacciones de combustión que observamos, interviene  $O_2$  del aire como reactivo, denominado comburente.



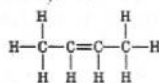
La ecuación siguiente y el ejemplo de aplicación muestran una clase general de reacciones que implican el quemado o combustión de hidrocarburos (compuestos que contienen sólo carbono e hidrógeno, como  $CH_4$  y  $C_2H_6$ ).

## Combustibles

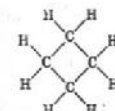
Familia	Formula	Estructura	Saturado
Parafina	$C_nH_{2n+2}$	Cadena	Si
Olefina	$C_nH_{2n}$	Cadena	No
Diolefina	$C_nH_{2n-2}$	Cadena	No
Nafteno	$C_nH_{2n}$	Anillo	Si
Aromáticos			
Benceno	$C_6H_{2n-6}$	Anillo	No
Naftaleno	$C_nH_{2n-12}$	Anillo	No



Estructura en cadena saturada



Estructura en cadena no saturada



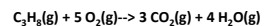
Estructura en anillo saturada

## Análisis volumétrico de varios combustibles gaseosos típicos

Componente	Varios Gases Naturales				Gas de hulla producido en retortas	Gas de agua	Gas de hornos de coque
	A	B.	C	D			
Metano	93.9	60.1	67.4	54.3	3.0	10.2	32.1
Etano	3.6	14.8	16.8	16.3			
Propano	1.2	13.4	15.8	16.2			
Butano.	1.3	4.2		7.4			
Eteno						6.1	3.5
Benceno						2.8	0.5
Hidrógeno					14.0	40.5	46.5
Nitrógeno		7.5		5.8	50.9	2.9	8.1
Oxígeno					0.6	0.5	0.8
Monóxido de carbono					27.0	34.0	6.3
Dióxido de carbono					4.5	3.0	2.2

Cuando quemamos hidrocarburos en aire, éstos reaccionan con  $O_2$  para formar  $CO_2$  y  $H_2O$ .

El número de moléculas de  $O_2$  que se requieren en la reacción y el número de moléculas de  $CO_2$  y  $H_2O$  que se forman dependen de la composición del hidrocarburo, que actúa como combustible en la reacción. Por ejemplo, la combustión del propano ( $C_3H_8$ ), un gas que se emplea para cocinar y para calefacción en los hogares, se describe con la ecuación siguiente:



El estado físico del agua,  $H_2O(g)$  o  $H_2O(l)$  depende de las condiciones de la reacción. A altas temperaturas y en recipientes abiertos, se forma  $H_2O(g)$ . La llama azul que se produce cuando el propano arde se muestra en la figura 1.

Figura 1: El propano,  $C_3H_8$ , arde en aire, produciendo una llama azul. El propano líquido se vaporiza y se mezcla con aire al escapar por la boquilla.



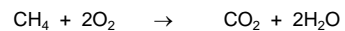
- La combustión de derivados de hidrocarburos que contienen oxígeno, como metanol ( $CH_3OH$ ), también produce  $CO_2$  y  $H_2O$ .
- La regla simple de que los hidrocarburos y compuestos afines forman  $CO_2$  y  $H_2O$  cuando arden en aire resume el comportamiento de unos tres millones de compuestos. (Si no hay suficiente  $O_2$  presente, la combustión se denomina incompleta y se produce monóxido de carbono (CO) además de  $CO_2$ .)
- Una restricción aún más severa del  $O_2$  causa la producción de las partículas finas de carbono que llamamos hollín.
- La combustión completa produce  $CO_2$ . A menos que se diga específicamente otra cosa, cuando hablemos de combustión nos referiremos a una combustión completa.)
- Muchos compuestos que nuestro organismo utiliza como fuentes de energía, como el azúcar glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ), reaccionan de forma análoga para formar  $CO_2$  y  $H_2O$ . Sin embargo, en el interior del organismo las reacciones se efectúan en una serie de pasos a la temperatura corporal. En un caso así, las reacciones se describen como reacciones de oxidación más que reacciones de combustión.

## Proceso de la combustión

Consideremos, primero, la reacción del carbono con el oxígeno.



Consideremos la combustión del metano como ejemplo:

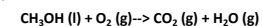


### Ejemplo de aplicación:

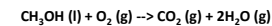
Escribir la ecuación química balanceada para la reacción que se da cuando se quema **metanol**,  $CH_3OH(l)$  en aire.

Explicación:

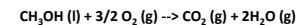
la ecuación sin balancear es:



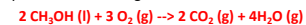
Balanceando el H, ya que el C está balanceado.



Se continúa con el O:



Aunque la ecuación ya está balanceada, **no está en su forma más convencional** porque contiene un coeficiente fraccionario. Si multiplicamos cada miembro de la ecuación por 2, eliminaremos la fracción y obtendremos la siguiente ecuación balanceada:

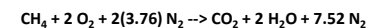


## El Aire

- En la mayoría de los procesos de combustión, **el oxígeno está presente como uno de los constituyentes del aire**, más bien que como oxígeno puro.
- La composición del aire en base molar, es aproximadamente **21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y 1% de argón**. El nitrógeno y el argón no sufren cambio alguno durante la reacción salen a la misma temperatura que los otros productos.
- En cálculos de combustión empleando aire, el argón se desprecia de ordinario y se considera el aire constituido simplemente por 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno en volumen: Al considerar las cosas de este modo, al nitrógeno se le dice "**nitrógeno atmosférico**".

## El Aire (2)

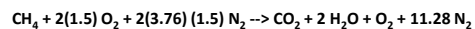
- Suponer que el aire es una mezcla de 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno en volumen, nos conduce a la conclusión de que por cada mol de oxígeno entran en la reacción **79/21 = 3.76** moles de nitrógeno.
- Por consiguiente, cuando el oxígeno para la combustión del metano se suministra del aire, la reacción puede escribirse así:



La cantidad mínima de aire capaz de proporcionar el oxígeno suficiente para la combustión completa del carbono, hidrógeno y cualesquiera otros elementos en el combustible susceptibles de ser oxidados, se denomina "**aire teórico**".

## Aire Teorico

- Cuando se obtiene la combustión completa con el aire teórico, no puede haber oxígeno entre los productos de la combustión.
- En la práctica, **no es posible** obtener una combustión absolutamente completa, salvo empleando aire en cantidad mayor que la teóricamente necesaria.
- La cantidad de aire efectivamente empleada en una combustión, se expresa en forma de Porcentaje con relación al aire teórico; así, **150% de aire teórico**, significa que el aire suministrado es 1.5 veces la cantidad del aire teórico necesario. La combustión del metano empleando 150% de aire teórico se escribe así:



## A/C o C/A

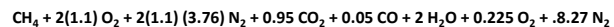
Dos parámetros importantes que se aplican en los procesos de combustión, son relación **aire-combustible** (que se expresa como AC) y su recíproco **combustible-aire** (que será CA).

La relación aire-combustible, se expresa generalmente en masa, aunque algunos la expresan también en base molar.

La razón teórica aire-combustible, es la relación entre la **masa o moles de aire teórico y la masa o moles del combustible**.

## % Aire Teorico(AT)

Así, la combustión del metano con 110% de aire teórico, puede ser como sigue:

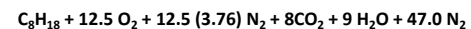


## Relación Teórica A/C

Ejemplo:

Calcular la relación teórica aire-combustible, para la combustión del **octano**  $\text{C}_8\text{H}_{18}$

La ecuación de la combustión es:



La relación aire-combustible en base molar es:

$$\text{AC}_{\text{T(mol)}} = \frac{12.5+47.0}{1} = 59.5 \text{ moles de aire/mol de combustible.}$$

La relación aire-combustible en masa, la obtenemos poniendo los pesos moleculares del aire y del combustible,

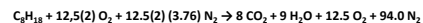
$$\text{AC}_{\text{T(masa)}} = \frac{59.5(28.95)}{114.2} = 15.0 \text{ kg de aire/kg de combustible.}$$

## Análisis Molar

Ejemplo:

Determinar el análisis molar de los productos de la combustión cuando el octano  $\text{C}_8\text{H}_{18}$  se quema con 200% de aire.

La ecuación de la combustión para el octano con 200% de aire teórico es:



El total de moles del producto es:  $8 + 9 + 12.5 + 94 = 123.5$

Análisis molar de los productos:

$\text{CO}_2$	=	$8/123.5$	=	6.47%
$\text{H}_2\text{O}$	=	$9/123.5$	=	7.29%
$\text{O}_2$	=	$12.5/123.5$	=	10.12%
$\text{N}_2$	=	$76.12/123.5$	=	76.12%

## Aire en Exceso

Ejemplo :

Se quema gas de hulla de retortas (ver tabla), con 20% de exceso de aire. Calcúlese la relación aire combustible, primero en volumen, y luego en masa.

Por consiguiente, la ecuación para la combustión completa de un mol del combustible es:

