



Formulas para el Cálculo de la relación aire combustible y sus ajustes para la altura

M.Sc. Ing. Edgar S. Peñaranda Muñoz
Jefe Lab. Térmicas Ing. Mecánica-Electromecánica, Docente Tutor SILC,
Magister en Ingeniería de Mantenimiento, Especialista Ingeniería de mantenimiento,
Diplomados: Tecnología del Gas Natural, TIC's y Educación Superior

Resumen

Este es un trabajo resultante de un proceso de recopilación, compatibilización y fusión de diferentes fuentes bibliográficas especializadas en la combustión, que dio como resultado la formulación ampliada y funcional de un grupo de fórmulas para el cálculo simplificado de la relación aire combustible y sus ajustes para la altura.

Introducción

La prácticamente absoluta dependencia de los combustibles fósiles como fuente de energía de todo el andamiaje de nuestra civilización postmoderna no quedará modificada por lo menos hasta la mitad de este siglo, por lo que el músculo energético de nuestras sociedades seguirá siendo la combustión.

La combustión es un evento substancialmente químico, cuyas aplicaciones abarcan, de una u otra forma, prácticamente todas las disciplinas tecnológicas. Esta diversidad exige en muchos casos recursos elaborados en las bases químicas de la combustión, pero que su aplicación evite el riesgo de profundizar y naufragar en un espacio ajeno, es para estos escenarios que en este trabajo se presenta fórmulas genéricas y extendidas de la combustión a partir de las cuales se plantean relaciones de aplicación directa para el cálculo de la relación aire combustible estequiométrica, teórica o ideal (rac) para combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

La combustión completa es el ideal de la combustión, donde el primer factor y más importante que garantiza su materialización es la alimentación de la cantidad específica de oxígeno, que en la mayoría de los sistemas de combustión industrial se lo hace a través del aire y su contenido de oxígeno. A partir de la puntualización precedente la relación simplificada y representativa de la combustión es:

$$\text{masa de combustible} + \text{masa de aire} \overset{Q}{\Rightarrow} \text{masa de productos de combustión}$$

Todo proyecto de combustión tiene como referente de cálculo, dimensionamiento y diseño a la combustión completa; el objetivo esencial de la ingeniería de la combustión es alcanzar la combustión completa y sobre esta idealización se desarrolla este trabajo.

Si bien el aire es una mezcla con más de diez componentes gaseosos, sus dos componentes absolutamente mayoritarios son el nitrógeno y el oxígeno, es por eso que para la mayoría de los cálculos de la combustión se toma como referencia suficiente la composición simplificada del aire: Nitrógeno y Oxígeno, cuyos balances volumétricos y másicos son:

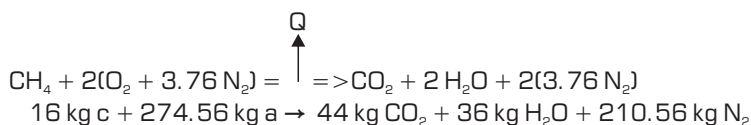
	% X	% Y
N2	79	76.7
O2	21	23.3

Tabla 1. Composición simplificada del aire en porcentajes: %X: volumétrico y %Y: másico

Relación Aire Combustible Estequiométrica, teórica o ideal (rac)

Cada combustible requiere una cantidad específica de aire que le proporcione el "oxígeno justo y necesario para su combustión completa (roc)", esta cantidad de aire se denomina la relación aire combustible estequiométrica, teórica o ideal: rac.

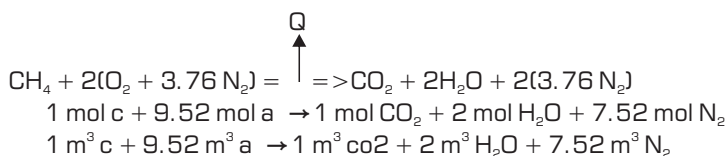
La base para este cálculo es la ecuación química igualada de la reacción de la combustión, tomando como ejemplo al CH₄ (gas natural idealizado) en balance másico será:



Por lo tanto la relación aire combustible estequiométrica, teórica o ideal para el CH₄:

$$\text{rac} = \frac{274.56 \text{ kga}}{16 \text{ kgc}} = 17.16 \frac{\text{kga}}{\text{kgc}}$$

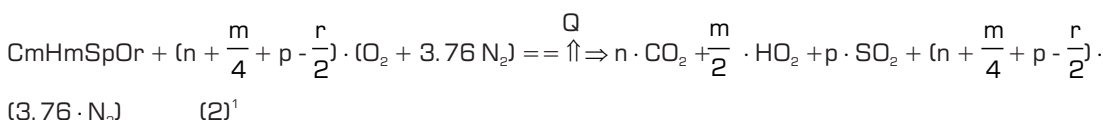
El balance molar de la ecuación de combustión del CH₄ sería:



Donde la relación aire combustible estequiométrica volumétrica para el CH₄:

$$\text{rac} = 9.52 \frac{\text{m}^3 \text{ a}}{\text{m}^3 \text{ c}}$$

Generalizando la naturaleza de los balances realizados en la ecuación de la combustión se obtiene la ecuación genérica de la reacción de la combustión completa estequiométrica:



Dónde: n = Número de carbonos, m = Número de Hidrógenos, r = Número de oxígenos del combustible, p = Número de azufres, si hay S normalmente: p = 1, si no hay S: p=0

1) Ampliación hecha en este trabajo a partir de ref.[1], Unidad II, pag. 31, rel. (2.21)

Relación aire combustible estequiométrica para combustibles líquidos y sólidos (rac)

El balance y análisis másico (gravimétrico) de la combustión para combustibles sólidos y líquidos es el adecuado para el cálculo de la rac, en "combustibles sólidos y líquidos la expresión natural de la rac es en términos másicos", ya que la composición de los combustibles sólidos y líquidos normalmente está expresada en términos gravimétricos o másicos. A partir de la generalización estequiométrica planteada en (2) la relación aire combustible estequiométrica, teórica o ideal (rac) para estos combustibles:

$$rac = \frac{1}{0.233} \left[\frac{8}{3} \cdot Y_C + 8 \cdot Y_H - Y_O + Y_S \right] \frac{\text{kg a}}{\text{kg c}} \quad (3)^2$$

Y_C = Fracción másica de carbono en el combustible

Y_H = Fracción másica de hidrógeno en el combustible

Y_O = Fracción másica de oxígeno en el combustible

Y_S = Fracción másica de azufre en el combustible.

La cuantificación másica es naturalmente compatible con las sustancias sólidas y líquidas, pero con las gaseosas a pesar de evaluar auténticamente su cantidad, en las aplicaciones tecnológicas la magnitud preferente asociadas con la cantidad de la sustancia gaseosa es el volumen; usando como partida la relación (3), sabiendo que un kilomol de sustancia gaseosa ocupa en condiciones normales un volumen de 22.41 m³ se tendrá:

$$rac'_N = \frac{22.41}{P_{\text{Maire}}} \cdot rac \left[\frac{\text{Nm}^3 \text{ a}}{\text{kg c}} \right] \quad (4)$$

rac'_N = Relación aire combustible volumétrica normal estequiométrica para combustibles sólidos y líquidos.

rac = Relación aire combustible másica estequiométrica para combustibles sólidos y líquidos, relación (3)

P_{Maire} = 28.97(kg/kmol)

Ajustes de la rac para combustibles sólidos y líquidos por efecto de la altura

La relación másica aire combustible estequiométrica (rac) de (3), al ser másica es un valor que es independiente de las condiciones atmosféricas del aire, tomando en cuenta que las proporciones en composición del aire son prácticamente constantes en toda la troposfera, la rac del CH₄ del ejemplo encarado al inicio, para condiciones de Oruro seguirá teniendo el mismo valor del calculado en este ejemplo: $rac = 17.16 \text{ (kg a/ kg c)}$

Es el valor de la relación aire combustible volumétrica normal estequiométrica para combustibles sólidos y líquidos lo que tendría que reajustarse, porque como puede verse el valor generado por la (4) es explícitamente un volumen en condiciones normales (Nm³).

Ya que se ha establecido asumir al aire como un gas ideal, la relación de ajuste del rac'_N será desarrollada a partir de la ecuación de estado de los gases ideales:

²⁾ Ampliación hecha en este trabajo a partir de ref.[2], Cap. 1, pag. 48, rel. (44)

$$\frac{p_N \cdot \text{rac}'_N}{T_N} = \frac{p \cdot \text{rac}'}{T}$$

La relación aire combustible volumétrica estequiométrica, teórica o ideal reajustada para combustibles sólidos y líquidos para cualquier presión y temperatura, asumiendo que normalmente en la mayoría de los sistemas de combustión el aire de alimentación para la combustión es el atmosférico, entonces se puede expresar el reajuste de la rac'_N para cualquier presión y temperatura atmosféricas del aire (p_0 y T_0):

$$\text{rac}' = \text{rac}'_N \cdot \frac{p_N}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T_N} \left[\frac{\text{m}^3 \text{a}}{\text{kgc}} \right] \quad (5)$$

rac' = Relación aire combustible volumétrica estequiométrica para combustibles sólidos y líquidos reajustada para cualquier presión y temperatura

rac'_N = Relación aire combustible volumétrica normal estequiométrica para combustibles sólidos y líquidos, relación (4)

p_N = Presión normal: $1.013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ó 1.013 bar

T_N = Temperatura normal: 273°K

Relación aire combustible estequiométrica para combustibles gaseosos (rac)

Para “combustibles gaseosos la expresión natural del rac es en términos molares o volumétricos”. Sobre el balance molar de la ecuación (2), se depura una expresión para evaluar directamente esta rac para cualquier combustible gaseoso:

$$\text{rac} = \frac{1}{0.21} \cdot \sum \left[\left(n_i + \frac{m_i}{4} + p_i - \frac{r_i}{2} \right) \cdot X_{i(\text{CnHmSpOr})} \right] \left(\frac{\text{m}^3 \text{a}}{\text{m}^3 \text{c}} \right) \text{ ó } \left(\frac{\text{mol}_\text{a}}{\text{mol}_\text{c}} \right) \quad (6)^3$$

$X_{i(\text{CnHmSpOr})}$ = Fracción molar o volumétrica de cada uno de los componentes del combustible gaseoso.

Ajustes de la rac para combustibles gaseosos por efecto de la altura

Las proporciones volumétricas de la rac con la relación (6), si bien podrían estar evaluadas para condiciones normales, asumiendo que en el momento de la combustión el aire y el combustible acaban reaccionando a las mismas condiciones de presión y temperatura, por lo tanto los resultados no tendrían que tener ningún reajuste, pues las proporciones volumétricas de la relación (6) se mantendrán mientras aire y combustible estén referidos a las mismas condiciones, sean estas cuales fueren.

La rac del CH_4 del ejemplo encarado al inicio, seguirá siendo válido si la combustión se materializa en las condiciones atmosféricas de Oruro, por lo tanto:

$$\text{rac} = 9.52 \frac{\text{m}^3_\text{a}}{\text{m}^3_\text{c}}$$

³ Ampliación hecha en este trabajo a partir de ref.[2], Cap. II, pag. 49, rel. (50)

Esto significa que se requieren 9.52 m^3 de aire en condiciones atmosféricas de Oruro para quemar de forma completa 1 m^3 de GN en condiciones atmosféricas de Oruro. Si el m^3 de combustible quemado está referenciado en otras condiciones, el ajuste del volumen del aire necesario para la combustión deberá ser reajustado con los mismos criterios que los empleados en la relación (5).

Conclusiones

La transversalidad tecnológica de la combustión plantea necesidades para funcionalizar sus aplicaciones en entornos no necesariamente de alta especialidad química: mecánica, electromecánica, eléctrica, industrial, etc. El grupo de las relaciones simplificadas presentadas en este trabajo apuntan a cubrir básicamente alguna de estas necesidades en un campo tan amplio como es el de la combustión técnica.

Bibliografía

- [1] Brizuela E., Romano S. D., Combustión, Departamento de Ingeniería Mecánica y Naval, UBA, España, 2003
- [2] Jovac M.S., Motores de automóvil, Editorial MIR, URSS, 1982
- [3] De Jong Wiebren, Fuel conversión, Introduction, fuels, combustión and energy supply, Sección Energy Technology, Delft University Technology, Delft, Netherland, 2005.