

ESTABILIDAD Y COMBUSTIÓN DE LAS EMULSIONES AGUA-COMBUSTIBLE

*Oscar Sotolongo . Yamir Moreno**

*Departamento de Física Teórica, Universidad de La Habana.

**Departamento de Física, I.S.P.J.A.E.

Resumen

Se elabora un modelo para calcular la sedimentación de agua en emulsiones agua-combustible. Se discute el proceso de fraccionamiento durante la combustión de las gotas de la emulsión mediante un enfoque fractal.

Abstract

A model for calculation of water sedimentation in water-oil emulsions is elaborated. The process of drop breaking during combustion is discussed applying a fractal viewpoint.

I- INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha generalizado el uso de las emulsiones de agua-combustible en muchos lugares del mundo. Las ventajas que tienen estas emulsiones se manifiestan en el aumento de la eficiencia de la combustión y la disminución de la contaminación ambiental [1]. Se han hecho numerosos estudios referentes a estas emulsiones [1-6], sin embargo, la dinámica de estas es poco conocida en forma general. En este trabajo se aborda el problema de su estabilidad y combustión.

II- ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES AGUA-COMBUSTIBLE.

Si se analiza la estabilidad sedimentacional de las emulsiones surge el problema de calcular la masa que se deposita en el fondo del recipiente que la contiene. En [7] se propone un modelo para las funciones de distribución de gotas y masa por radio a partir de consideraciones fenomenológicas, destacándose la energía de tensión superficial como principal causa de la formación de este sistema disperso. Estos resultados serán muy útiles en el presente trabajo. Sea H la altura de la columna de emulsión en el recipiente que la contiene y S el área de sección transversal de este. Suponiendo la precipitación

de las gotas debido a los efectos gravitatorios y a las fuerzas correspondientes a la presencia de dos fluidos con viscosidades diferentes y que ocurre sin desviarse de la trayectoria vertical y sin que se produzca coalescencia entre ellas. La intensidad I de la corriente de gotas a través de la sección transversal del recipiente es:

$$I(r) = \frac{dm}{dt} = V(r)\eta(r)S[\theta(t) - \theta(t - t_{dep})] \quad (1)$$

siendo en (1) t el tiempo para el cual se quiere calcular la masa depositada, θ la función de paso unitario, t_{dep} el tiempo que demoraría en precipitarse una gota que esté en la superficie y $V(r)$ y $\eta(r)$

$$V(r) = ar^2 \quad (2)$$

$$\eta(r) = C_1 \exp\left(-\frac{a}{r}\right) \quad (3)$$

la velocidad de caída de las gotas y la función de distribución de masa por radio; a , C_1 y α son constantes [8]. El tiempo de deposición es:

$$t_{dep} = \frac{H}{V(r)} \quad (4)$$

Integrando en el tiempo se obtiene:

$$M = S \int_{r_{min}}^l \eta(r) V(r) \left(1 - \theta\left(t - \frac{H}{V}\right)\right) dr - SH \int_{r_{min}}^l \eta(r) \theta\left(t - \frac{H}{V}\right) dr \quad (5)$$

siendo r_{min} el radio para el cual se incumplen las suposiciones hechas y l el tamaño de las gotas más grandes. Integrando en r (5) se obtiene:

$$M(T) = St \left[aC_1 l^3 E_4\left(\frac{a}{l}\right) - U(l) \theta\left(t - \frac{h}{al^2}\right) + U\left(\sqrt{\frac{H}{at}}\right) + U(r_{min}) \theta\left(t - \frac{h}{ar_{min}^2}\right) \right] \quad (6)$$

siendo $E_4(a/l)$ la función Gamma incompleta de orden 4 y $U(r)$

$$U(r) = -aC_1 r \exp\left(-\frac{a}{r}\right) \left(\frac{r^2}{3} - \frac{ar}{6} + a^2\right) + aC_1 a^3 \left[\ln\left(\frac{l}{r}\right) + \sum_{i=0}^{\infty} \left(-\frac{a}{r}\right)^i \frac{1}{i!} \right] + \frac{H}{t} \left\{ C_1 r \exp\left(-\frac{a}{r}\right) + aC_1 \left[\ln\left(\frac{l}{r}\right) + \sum_{i=0}^{\infty} \left(-\frac{a}{r}\right)^i \frac{1}{i!} \right] \right\} \quad (7)$$

La Fig.1 muestra el comportamiento de $M(t)$ en el tiempo. Como se puede apreciar en el mismo, al principio (valores pequeños de t) se va a sedimentar más masa y al final la masa depositada tiende a un valor límite correspondiente a la masa total de agua presente en la emulsión, cosa que era de esperarse.

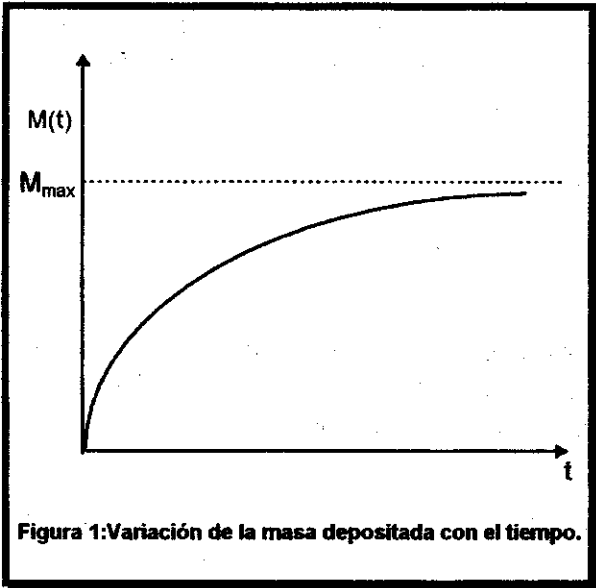


Figura 1: Variación de la masa depositada con el tiempo.

III- COMBUSTIÓN DE LAS EMULSIONES AGUA COMBUSTIBLE.

La importancia que tiene la tensión en la interfase agua-combustible en la dinámica de la combustión de emulsiones, y en particular, en las microexplosiones de gotas emulsionadas, quedó demostrada en [9] donde se plantea el surgimiento de burbujas de fase de vapor de combustible en dicha interfase y su posterior crecimiento como causa de la ruptura de la gota. Este fraccionamiento de la gota de combustible emulsionado es un proceso fundamental en la combustión y en general es poco conocido. El resultado de fraccionamiento de la gota es una colección de objetos similares (gotitas) de diferentes tamaños. El número de gotas con radio mayor que r (número cumulativo) sigue una ley del tipo:

$$N(r) \propto r^{-x} \quad (8)$$

donde x es un número que caracteriza la variación del número cumulativo. Suponiendo que en la ruptura una gota de radio unitario se fracciona en " p " partes iguales de radio:

$$r = \frac{1}{p^{1/3}} \quad (9)$$

(el cual está determinado por la conservación de la masa), en el n ésimo acto se tendrá:

$$r_n = \frac{1}{p^{n/3}} \quad (10)$$

Además si en el primer acto de fraccionamiento quedan " n " gotas que no continúan fraccionándose (pasan a quemarse directamente) y siguen el proceso de ruptura " $p-i$ " gotas repitiéndose el proceso n veces, tiene lugar la relación para el número cumulativo de gotas:

$$N(r) = i + i(p-i) + i(p-i)^2 + \dots + i(p-i)^{n-1} \propto (p-i)^n \quad (11)$$

combinando (8), (10) y (11) se obtiene:

$$x = 3 \frac{\ln(p-i)}{\ln p} \quad (12)$$

De (12) se ve que $x < 3$ repitiéndose el resultado obtenido en [11] para procesos de fractura. El modelo se puede complicar más al extenderlo a

cadenas de fraccionamiento con eslabón primario de longitud L , i. e., una ruptura en p_1 partes dejando i_1 y luego cada una de las $(p_1 - i_1)$ que siguen el proceso se dividen en p_2 partes dejando i_2 y así sucesivamente. Entonces para el exponente crítico x se tendrá:

$$x = 3 \frac{\ln[(p_1 - i_1)(p_2 - i_2) \dots (p_1 - i_1)]}{\ln(p_1 p_2 \dots p_1)} < 3 \quad (13)$$

Esto generaliza el modelo propuesto por Matsushita [1] a procesos de fractura con cadenas que contienen eslabones complejos en el proceso, nótese que siempre se obtiene $x < 3$ independientemente de la longitud de la cadena. Si el espacio considerado es de dimensión d se tendrá $x < d$. Se puede relacionar la condición de que la distribución de gotas por radio sea "autosemejante" (lo que frecuentemente se asocia con el término fractal) con x . La exigencia de completa autosemejanza, i.e., que la distribución de gotas observada sea igual a la observada a otra escala, es que el número cumulativo permanezca cumpliendo la misma ley de forma inalterable. Esto ocurre si $x=3$, o sea que la distribución sea fractal, pero ya se obtuvo que x siempre es menor que 3, lo cual se achaca en [11] a las limitaciones del modelo, sin embargo esto no es así. En efecto, si $N(r)$ es el número cumulativo, entonces el número de gotas con radio entre r y $r+dr$ será:

$$n(r) = -\frac{dN(r)}{dr} = \alpha x r^{-x-1} \quad (14)$$

siendo α la constante de normalización. El volumen de un objeto de dimensión fractal D es:

$$V = \omega r^D \quad (15)$$

siendo ω la constante de proporcionalidad. Entonces la distribución puede normalizarse con la condición:

$$\alpha x \int_0^R r^{-x-1-D} dr = R^D \quad (16)$$

De aquí se ve finalmente que para que la distribución sea normalizable, debe cumplirse que $x < D$ para así asegurar la convergencia de la integral (16). Esta condición obtenida para x es análoga a la hallada aquí ya que los fragmentos de la gota inicial son a su vez gotas con

dimensión $D=3$. Esto se comprobó en la práctica [12] lo que revela la existencia de criticalidad auto-organizada en la fragmentación de líquidos, de modo que las hipótesis de partida son correctas.

IV- CONCLUSIONES

Se obtuvo una fórmula explícita para el cálculo de la masa de agua en emulsiones agua-combustible, lo cual sirve como indicador de la estabilidad de la emulsión. Además se generalizó el modelo propuesto en [11] extendiéndolo a cadenas de fraccionamiento de longitud L . Por último parece ser que como en todo proceso de fractura, en el fraccionamiento de gotas el enfoque fractal parece ser el natural para estudiar este tipo de fenómeno.

V- Referencias

- M. Delgado y otros., "Primer Encuentro Nacional por la Eficiencia de la Combustión", La Habana (1990).
- P. Becher, "Emulsions: Theory and Practice", Reynold Corp. (1965)
- B. Shuckin y otros., "Química coloidal", Mir, Moscú (1990)
- C. Dyer et al., AMS REport 1271 (1976)
- R. Thompson and P. S. Katsulakos, Trans. I. Mar/E vol. 97, no.10 (1985)
- G. Ruckestein et al., J. Colloid Science (1991)
- O. Sotolongo y Y. Moreno, enviado a Rev. Cub. de Física.
- Y. Moreno, Trabajo de Diploma, Universidad de la Habana (1993)
- O. Sotolongo y Y. Moreno, enviado a Rev. Ing. Mecánica.
- L. Morale y E. Rizo, Trabajo de Diploma, Universidad de Matanzas (1992)
- M. Matsushita, J. Phys. Soc. Japan vol. 54, no. 3 (1985)
- O. Sotolongo y otros., Phys. Rev. E 49, 5(1994)