

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

# ANALES

DE LA

FACULTAD DE  
QUIMICA Y FARMACIA



VOL. 4

1 9 5 5

HERALDO J. BIANCHI  
Ingeniero Químico

# TEORIA SOBRE LA ACCION INHIBIDORA DE LA FORMACION DE ESPUMAS POR PARTICULAS SOLIDAS DISPERSAS EN MEDIO ACUOSO

G. E. VILLAR

Instituto de Tecnología y Química de la Facultad de Ingeniería

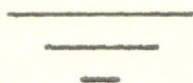
## RESUMEN

Luego de examinar los esfuerzos de tensión interfacial que entran en juego en el sistema ternario formado por el sólido, el líquido y el vapor, el autor llega a la conclusión de que la estabilidad de las espumas que se forman en los generadores de vapor es principalmente debida a la película formada por las partículas que se encuentran dispersas en el seno del líquido en ebullición.

Las características que poseen las aguas de alimentación de calderas, especialmente las aguas duras, que son las que dan lugar a la formación de espumas; así como las condiciones del medio en que se realiza la ebullición, permiten afirmar que las partículas sólidas que se encuentran en el seno del líquido están imperfectamente mojadas, de donde surge la tendencia de las partículas a unirse formando una película sobre la interface líquido-vapor que envuelve a las burbujas que constituyen la espuma.

Aparece por consiguiente la posibilidad de evitar la formación de espumas en los generadores de vapor agregando al agua de alimentación sustancias que posean propiedades humectantes, con el objeto de aumentar la mojabilidad de las partículas sólidas dispersas en el medio donde se forman las burbujas de vapor.

Una serie de experiencias realizadas por el autor, ha permitido verificar la acción eficaz de varias sustancias humectantes como el Nacconol NR, Duponol ME, Baosolene 1600, Soparzán TL y Empicol TA, utilizadas en la proporción de 0.002 % en peso y en presencia de trazas de alcohol amílico, las que anulan la tendencia a la formación de espumas de los agentes antiespumantes citados y no tienen acción sobre la tendencia a la formación de espumas de una suspensión de carbonato de calcio precipitado sometida a una ebullición violenta.



### Introducción.

La formación de espumas en los generadores de vapor es el resultado de la coexistencia de dos factores cuyas características pueden contribuir a que la espuma tenga mayor o menor estabilidad. Dichos factores son: a) la generación de burbujas de vapor: y b) la formación de una película que envuelve las burbujas dando estabilidad a la espuma.

La generación de las burbujas de vapor está estrechamente relacionada con las condiciones de presión y temperatura a que trabaja la caldera, así como también, con las características de la superficie de calefacción.

Así por ejemplo, las superficies rugosas dan origen a la formación de pequeñas burbujas, mientras que las superficies lisas favorecen el desarrollo de grandes burbujas (1). Como la estabilidad de la espuma disminuye a medida que aumenta el tamaño de las burbujas gaseosas, parecería aquí una causa de estabilidad de la espuma, a la que se uniría la posibilidad de que sustancias disueltas o en suspensión en el líquido, dieran origen a la formación de una película protectora que envolviendo a las burbujas gaseosas aumentaría aún más aquella estabilidad.

En los generadores de vapor, la película protectora está principalmente formada por partículas sólidas, generalmente carbonatos provenientes de la descomposición de los bicarbonatos alcalinotérreos contenidos en las aguas de alimentación, u originadas por la desintegración mecánica de las incrustaciones que se forman sobre las superficies interiores de las calderas.

Consideramos a continuación los distintos factores que pueden influir sobre la estabilidad de la espuma, cuando la película protectora está formada por partículas sólidas.

**Acciones superficiales que se ejercen entre las fases que intervienen en la formación de espumas con películas formadas por partículas sólidas.**— En el caso de espumas estabilizadas por películas de este tipo, interesa considerar los esfuerzos de tensión interfacial que entran en juego en el sistema ternario constituido por el sólido, el líquido y el vapor.

Dichos esfuerzos pueden representarse gráficamente en la forma que indica la fig. 1.

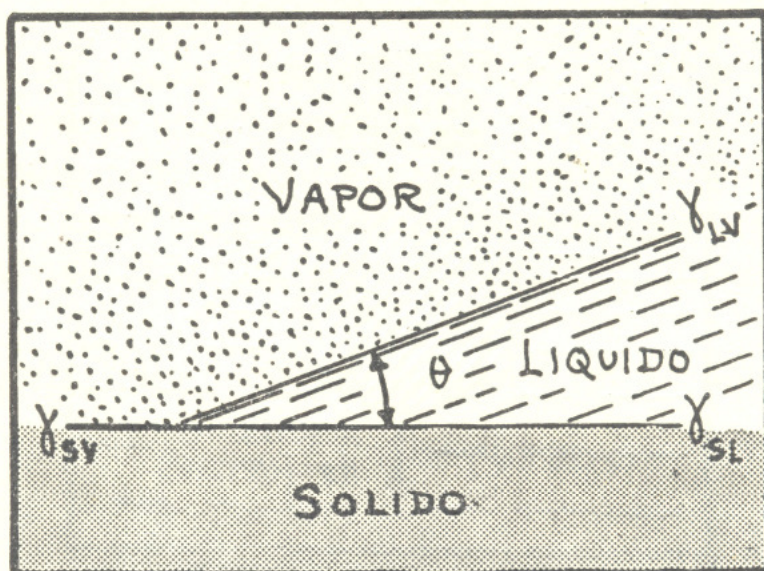


Fig. 1.— Diagrama de acciones interfaciales en un sistema ternario sólido-líquido-vapor.

Si se denomina  $\Theta$  al ángulo de contacto del líquido con el sólido, el equilibrio entre las acciones interfaciales puede expresarse mediante la siguiente expresión:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \Theta \quad (1)$$

Siendo:

$\gamma_{sv}$ , la tensión interfacial del sistema sólido-vapor.

$\gamma_{sl}$ , la tensión interfacial del sistema sólido-líquido.

$\gamma_{lv}$ , la tensión superficial líquido-vapor.

$\Theta$ , el ángulo de contacto entre el líquido y el sólido.

El ángulo  $\Theta$  corresponde al ángulo de contacto entre el líquido y el sólido. Cuando el líquido moja completamente al sólido  $\Theta$  es cero; mientras que si el líquido no mojase en absoluto al sólido, lo que rarisimamente ocurre,  $\Theta$  sería igual a  $180^\circ$  (2).

El ángulo  $\Theta$  varía por consiguiente dentro de los límites 0 y  $180^\circ$ , de acuerdo con el grado en que el líquido moje al sólido.

Si la partícula sólida es de densidad mayor que el líquido y es mojada por éste, tiende a sumergirse, como lo indica la fig. 2.

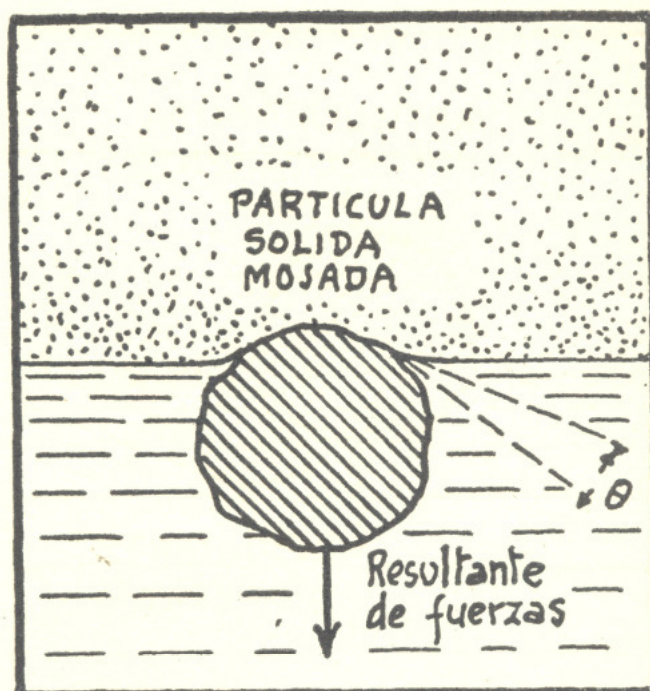


Fig. 2.— Partícula sólida en contacto con un líquido que la moja.

En este caso, el ángulo  $\Theta$  es pequeño y siempre menor de  $90^\circ$ .

En cambio, si la partícula sólida es imperfectamente mojada por el líquido, tiende a flotar en éste, formándose una ligera deformación sobre la superficie del líquido, cuyas dimensiones varían con el tamaño y peso de la partícula.

Si se denomina  $l$  al perímetro de la partícula a lo largo de la línea de contacto entre el sólido y la superficie del líquido; y si se denomina  $\alpha$  al ángulo que forma la superficie del líquido con el plano horizontal en la línea de contacto, se debera cumplir que:

$$P - p = \gamma_{lv} l \text{ sen } \alpha \quad (2)$$

Siendo  $P$  el peso de la partícula y  $p$  el peso del volumen de líquido desplazado por ella (3).

Todas las partículas de tamaño suficientemente pequeño y de sección transversal convexa tienden a flotar en el líquido, como lo indica la fig. 3.

Cuando la partícula flota en el líquido, el ángulo  $\Theta$  es siempre mayor de  $90^\circ$ ; y el ángulo  $\alpha$  es menor que  $90^\circ$ .

**Formación de la película de partículas sólidas sobre la superficie de las burbujas de vapor.**—La experiencia demuestra que la estabili-

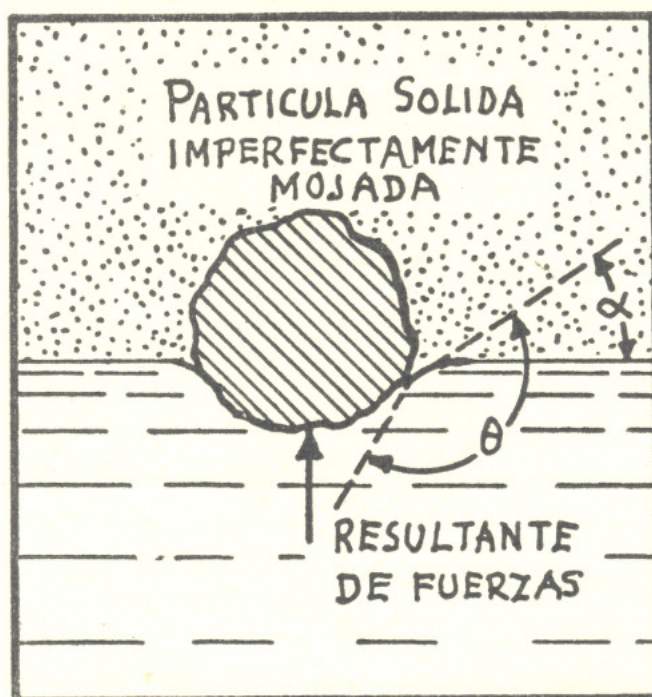


Fig. 3.— Partícula sólida en contacto con un líquido que la moja incompletamente.

dad de las espumas que se forman en los generadores de vapor es principalmente debida a la película formada por las partículas sólidas que se encuentran dispersas en el seno del líquido en ebullición .

Las características que poseen las aguas de alimentación de calderas, especialmente las aguas duras, que son las que dan lugar a la formación de espumas; así como las condiciones del medio en que se realiza la ebullición, permiten afirmar que las partículas sólidas que se encuentran dispersas en el seno del líquido están imperfectamente mojadas.

El grado de repulsión del sólido hacia el líquido depende en gran parte de la superficie de contacto entre las dos fases. Como las super-

ficies sólidas tienen gran tendencia a fijar por absorción a muchas de las impurezas existentes en el líquido con el cual se encuentran en contacto, la mojabilidad del sólido se reduce por ello considerablemente, cuando, como ocurre en las aguas de alimentación de calderas, el líquido no es una sustancia pura.

Si se examina la disposición de la película que envuelve a las burbujas de vapor, indicada esquemáticamente en la fig. 4, surge la idea de que la formación de dicha película resulte como consecuencia de las acciones superficiales que se ejercen sobre las tres fases que se encuentran presentes.

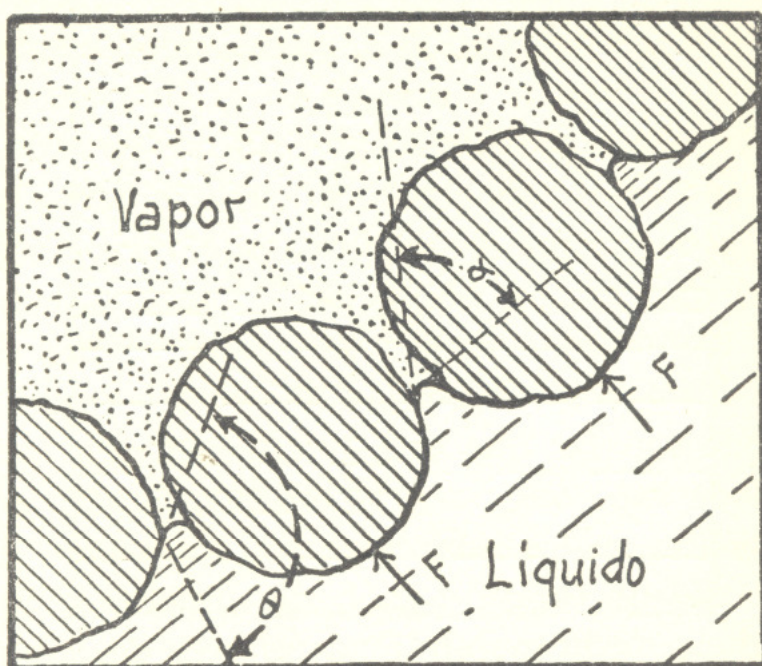


Fig. 4.— Acciones interfaciales que comunican estabilidad a la película que envuelve las burbujas de la espuma.

Los elevados valores de  $\alpha$  y de  $\theta$  dan en este caso una marcada estabilidad a la película.

Es lógico suponer que al ser la sustancia sólida imperfectamente mojada por el líquido, las partículas tienden a escapar del seno de éste, para depositarse sobre la interface líquido-vapor, o sea sobre la superficie de las burbujas de vapor formadas durante la ebullición, originándose así fuerzas  $F$  según el sentido de las flechas, que darían estabilidad a la película formada por las partículas.

**Acción de los inhibidores de la formación de espumas.**— Si se admite que la película protectora de la espuma es el resultado de las

acciones superficiales que se ejercen como consecuencia de la baja mojabilidad del líquido por el sólido, aparece la posibilidad de que la espuma pueda destruirse con la adición de cualquier sustancia que favorezca el mojado del sólido por el líquido.

De la fórmula (2) se deduce para  $\sin \alpha$  el siguiente valor:

$$\sin \alpha = \frac{P - p}{\gamma l_v}$$

Como los agentes humectantes tienen la propiedad de reducir la tensión superficial  $\gamma_{lv}$ , la adición de aquéllos traerá aparejado un aumento de  $\sin \alpha$  o sea del ángulo  $\alpha$ , cuyos valores aumentan a medida que la partícula sólida se sumerge en el líquido, o sea, a medida que disminuye la estabilidad de la película protectora de la espuma.

De acuerdo con estas conclusiones podría evitarse la formación de espumas en los generadores de vapor, agregando al agua de alimentación sustancias que posean propiedades humectantes, con el objeto de aumentar la mojabilidad de las partículas sólidas dispersas en el medio donde se forman las burbujas de vapor.

Es interesante señalar que esta teoría sobre la acción inhibidora de la formación de espumas, tendría muchos puntos de contacto con la teoría de flotación de los minerales por formación de espumas.

En este método de concentración de minerales, la separación se realiza sobre la base de la mojabilidad relativa de la superficie de las partículas de los diferentes minerales presentes, lo que se consigue mediante la adición de reactivos adecuados. Una vez que la superficie de las partículas se ha hecho repelente al agua se hace burbujear aire en el seno del líquido en el cual se encuentran dispersas, con lo cual las burbujas de aire se adhieren a las partículas arrastrándolas consigo hacia la parte superior de los separadores, de donde se retira la espuma que lleva consigo al material concentrado.

**Destrucción de espumas por adición de agentes humectantes.**— Con el objeto de verificar nuestra hipótesis sobre la acción inhibidora de la formación de espumas por partículas sólidas que deberían poseer los agentes humectantes, realizamos las experiencias que se describen a continuación.

Se mezclaron 100 c.c. de solución de cloruro de calcio al 10 % y 200 c.c. de bicarbonato de sodio al 7.5 % y se calentó a la ebullición.



El precipitado de carbonato de calcio así obtenido favorece notablemente la formación de espumas cuando se mantiene el líquido en una ebullición enérgica.

Agregando a la preparación pequeñas proporciones de agentes humectantes como el Nacconol NR, Duponol ME, Baosolene 1600, Soparzan TL y Empicol TA, pudo observarse que cambiaban notablemente las características de la espuma formada.

Como los agentes humectantes utilizados poseen también propiedades espumantes, se agregó en cada caso trazas de alcohol isoamílico, el que tiene la propiedad de impedir la formación de espumas en las soluciones acuosas de los agentes humectantes utilizados y no tiene acción bajo la forma de trazas sobre la actividad espumante de las suspensiones de carbonato de calcio precipitado en la forma que se indicó anteriormente.

En los ensayos realizados pudo verificarse que los agentes humectantes mencionados impedían la formación de espumas, en proporciones del 0.002 % en peso y en presencia de trazas de alcohol isoamílico.

### Referencias bibliográficas

- (1) **J. J. Bikerman**; Surface Chemistry for Industrial Research. Academic Press Inc., Pub., New York (1948).
- (2) **S. J. Gregg**; The Surface Chemistry of Solids. Chapman & Hall Ltd., London (1951).
- (3) **N. K. Adam**; The Physics and Chemistry of Surfaces. Oxford at the Clarendon Press (1938).