

Tensión superficial del esmalte fundido.

¿Qué es la tensión superficial?

La tensión superficial (σ) es una propiedad física de los líquidos, y por tanto también de los esmaltes fundidos, que hace que su superficie se comporte como una membrana elástica dotada de cierta tensión ⁽¹⁾. Las moléculas situadas en la superficie de un líquido, por ejemplo agua, están sometidas a las fuerzas de cohesión de las moléculas que las rodean parcialmente. La resultante de tales fuerzas está dirigida hacia el interior del líquido perpendicularmente a su superficie (figura 1). Por esta razón, las moléculas de la superficie poseen mayor energía que las del interior. Como consecuencia, la disminución de la superficie de un líquido lleva consigo un trabajo de las fuerzas de cohesión y, contrariamente, el aumento de esta superficie requiere una aportación de energía exterior. El aumento de la energía, ΔW , necesaria para la creación de una nueva superficie unitaria S , se denomina energía superficial específica o tensión superficial:

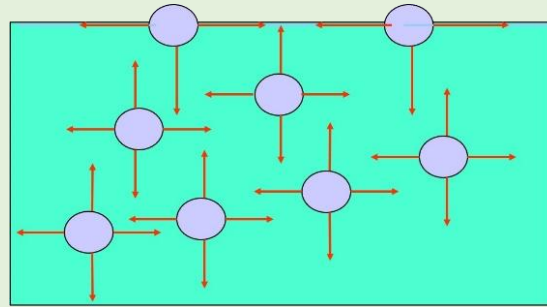


Figura 1. Tensión superficial.
Imagen: Rafa Galindo.

$$\sigma = \frac{\Delta W}{S}$$

La tensión superficial se expresa en Nm^{-1} , cuya equivalencia con las unidades cegesimales es $1 \text{ Nm}^{-1} = 103 \text{ dyn/cm} = 103 \text{ erg/cm}^2$.

A causa de la formación de una capa superficial dotada de una cierta tensión (tensión superficial), el volumen de líquido tiende a distribuirse en la menor extensión superficial posible. Por eso, para elevadas tensiones, las pequeñas porciones libres de líquido tienden a adoptar, si es posible, la forma de gotas esféricas, ya que, para un volumen dado, la esfera es la forma geométrica de menor superficie.

Los esmaltes ordinarios presentan en estado fundido una tensión superficial comprendida entre $0,2$ y $0,4 \text{ Nm}^{-1}$, que es considerablemente elevada en comparación con la de la mayoría de los líquidos, aunque más baja que la de los metales fundidos. Por ejemplo, el agua a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ tiene una tensión superficial de $0,0727 \text{ Nm}^{-1}$ y la acetona, a la misma temperatura de $0,0237 \text{ Nm}^{-1}$.

¿Qué influencia tiene la tensión superficial en el esmalte?

En general la tensión superficial influye en las siguientes características de los esmaltes:

- Hace que la superficie del esmalte se mantenga lisa y brillante.
- Una tensión superficial muy alta impide la formación de una capa intermedia entre el soporte y el esmalte, así como favorece la retención de burbujas de aire en la superficie del esmalte.
- Una tensión superficial adecuada (no muy elevada y siempre inferior a 300 dyn/cm), facilita que los cráteres que se forman al reventar las [burbujas](#) en la superficie, se cierren con facilidad.
- Valores bajos de tensión superficial significan una mayor reactividad del esmalte fundido. En general la viscosidad en fundido influye en las siguientes características de los esmaltes:

¿Qué influye en la tensión superficial del esmalte?

La tensión superficial de un esmalte depende de:

Temperatura.

La tensión superficial disminuye al aumentar la temperatura. Esta disminución, sin embargo, no es tan acusada como la de la viscosidad en fundido, solo del orden de un 1 a 2 % por cada 100 °C. En cambio, los esmaltes ricos en PbO o en B₂O₃ tienen un comportamiento anómalo y muestran un aumento de la tensión superficial con la temperatura ^{(2) (3) (4)}.

Composición del esmalte.

- **Al₂O₃**: La adición de alúmina produce un fuerte aumento de la tensión superficial del esmalte.
- **Alcalinos**: En general la tensión superficial aumenta al crecer la proporción de óxido de litio, permanece prácticamente invariable al aumentar el óxido de sodio y experimenta una disminución con la introducción de óxido de potasio.
- **Alcalinotérreos y otros divalentes**: Análogamente, en las series de vidriados con cationes divalentes la tensión superficial disminuye en el orden Mg²⁺ > Ca²⁺, > Sr²⁺ > Ba²⁺ > Zn²⁺ > Cd²⁺, es decir, a medida que aumenta la polarizabilidad del catión modificador. Esta es la razón por la que los vidriados con contenidos elevados de óxido de plomo figuran entre los de menor tensión superficial ^{(3) (4) (5)}.
- El **B₂O₃** disminuye extraordinariamente la tensión superficial.

Atmósfera del horno.

En general la atmósfera del horno ejerce una acusada influencia en la tensión superficial de los esmaltes, de manera que, a igualdad de composición y temperatura, una atmósfera reductora da una tensión superficial un 25 % mayor que una atmósfera oxidante ⁽³⁾.

¿Quieres saber más?

¿Cómo calcular la tensión superficial teórica de un esmalte a partir de su composición?

A partir de la composición de los esmaltes, es posible hacer una estimación aproximada de muchas de sus propiedades, válida a efectos comparativos, y eficaz como ayuda para la formulación, empleando la **ley de aditividad**, que considera que muchas de las propiedades de los vidrios son función lineal de los porcentajes de los óxidos presente en la composición, de manera que:

$$X = \sum_{i=1}^{i=n} a_i \cdot x_i$$

En la que:

- X: valor numérico de la propiedad que se desea evaluar.
- a_i: porcentaje (en pesos o en moles) del óxido i.
- x_i: factor del óxido i. Se encuentra en tablas.
- n : número de componentes (en óxidos) del esmalte.

Los valores de x_i se han determinado de manera experimental y vienen tabulados. Son coeficientes de cálculo que caracterizan el grado de influencia del óxido en cada propiedad que se desea evaluar.

Los valores calculados mediante esta ley no coinciden, en general, con los valores experimentales debido fundamentalmente a que la ley de aditividad supone un vidrio homogéneo (100 % de fase amorfa igual en todas las direcciones del espacio), lo cual no es cierto en todos los esmaltes, ya que estos contienen algunas fases cristalinas, y no considera las interacciones entre el soporte y el esmalte. Sin embargo, estos resultados tienen una utilidad considerable cuando se evalúa el efecto sobre una propiedad determinada de algún cambio en la composición, convirtiéndose así en un valioso instrumento en la formulación de esmaltes.

La ley de aditividad, adaptada al cálculo de la tensión superficial teórica de los esmaltes cerámicos queda como sigue:

$$\sigma = \frac{1}{100} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} a_i \cdot \sigma_i$$

Si se emplean los factores σ_i de Appen, dados en la tabla siguiente⁽⁶⁾, los porcentajes a_i deben expresarse en moles y si se emplean los factores x_i de Dietzel, entonces los porcentajes a_i se expresan en peso. En ambos casos el resultado viene dado en dyn/cm.

| Oxido | Dietzel (900 °C) | Appen (1300 °C) |
|--------------------------------|---------------------|--------------------|
| SiO ₂ | 3,40 | 2,90 |
| SnO ₂ | -- | 3,50 |
| TiO ₂ | 3,00 | 2,50 |
| ZrO ₂ | 4,10 | 3,50 |
| Al ₂ O ₃ | 6,20 | 5,80 |
| MgO | 6,60 | 5,20 |
| CaO | 4,80 | 5,10 |
| SrO | -- | 5,90 |
| BaO | 3,70 | 4,70 |
| ZnO | 4,70 | 4,50 |
| MnO | 4,50 | 3,90 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,50 | 4,90 |
| CoO | 4,50 | 4,30 |
| NiO | 4,50 | 4,00 |
| Li ₂ O | 4,60 | 4,50 |
| Na ₂ O | 1,50 | 2,95 |

PbO, B₂O₃ y K₂O, valores variables y muy pequeños.

Bibliografía

- (1) HEVIA, R. et al. (Editado, Alicia Durán). "Introducción a los esmaltes cerámicos". Pg. 150. Faenza Editrice. (sf).
- (2) AMORÓS ALBARO, J.L. et al. "Defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos". Pgs. 134 y 135. AICE-ITCE. Conselleria d'Industria de la Generalitat Valenciana. València, 1991.
- (3) FERNANDEZ NAVARRO, J. M. "El vidrio". Colección Textos Universitarios. Vol VI. 2ª Ed. Pgs 362-368 Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Madrid, 1991.
- (4) PARMELEE, C.W. "Ceramic glazes". Ed. Cahners Publishing Company, Inc. 3ª Ed. Pg 586. Massachusetts, 1973.
- (5) ENRIQUE NAVARRO, J.E.; NEGRE MEDALL, F. "Tecnología cerámica. Vol. 5. Esmaltes cerámicos". Pg. 934. Universidad de Valencia. València, 1985.
- (6) ENRIQUE NAVARRO, J.E. et al. "Tablas cerámicas". Instituto de Química Técnica (Tecnología cerámica). Universidad de Valencia. València, 1984.