

## Estabilidad de las emulsiones de Pickering utilizadas en la elaboraci3n de productos agroquímicos

Ibon Aranberri

**Resumen:** El presente artículo trata sobre emulsiones estabilizadas mediante nanop rticulas de silice cuya naturaleza superficial se puede modificar. Nanop rticulas con grupos silanol en la superficie principalmente estabilizan emulsiones de aceite en agua y aquellas nanop rticulas modificadas con grupos hidr3fobos estabilizan emulsiones de agua en aceite. Se ha observado por lo tanto que la naturaleza de la emulsi3n, agua en aceite o viceversa depende del tipo de partícula y además de la proporci3n fase acuosa-fase orgánica. El tipo de emulsi3n se ha determinado mediante medidas de conductividad y el método de la gota o dispersabilidad.

**Palabras clave:** Nanop rticulas, emulsiones de Pickering, mojabilidad, coloides.

**Abstract:** The present paper concerns emulsions stabilised by silica nanoparticles with modified surface. Nanoparticles with silanol groups at the surface may stabilise oil-in-water (o/w) emulsions whereas silica nanoparticles modified with hydrophobic groups stabilise water-in-oil (w/o) emulsions. It has been observed that the nature of the emulsion, o/w or w/o depend on the particle type as well as the oil or water content in the emulsion. The type of the emulsion has been determined by conductivity measurements and drop test.

**Keywords:** Nanoparticles, Pickering emulsions, wettability, colloids.

### Introducci3n

#### Emulsiones en los productos agroquímicos

Una emulsi3n es una mezcla de dos líquidos no miscibles o parcialmente inmiscibles donde una de las sustancias, la fase dispersa, es dispersada en la otra, la fase continua. Ejemplos t picos de las emulsiones son la leche (gotas de grasa en agua), la mantequilla (gotas de agua en aceite), la mahonesa (aceite en agua), la mayoría de las salsas, etc. Las emulsiones son de gran interés industrial en sectores tan diversos como cosméticos, alimentaci3n, pinturas, farmacéutico etc. Además, los productos agrícolas también se emplean en forma de emulsiones, como por ejemplo los insecticidas, herbicidas y funguicidas. Una de las formulaciones más t picas dentro de los insecticidas comprende los concentrados emulsionables de disolvente y de sustancias activas. El DDT (dicloro-difenil-tricloroetano, compuesto orgánico principal de los insecticidas) u otros compuestos similares de naturaleza orgánica se disuelven en un disolvente orgánico que a su vez se dispersa en emulsiones donde la fase continua es acuosa.

Las emulsiones, y también las micro-emulsiones (emulsiones con gotas dispersas de tamaño nanométrico) y las espumas (dispersiones de aire en líquido) generalmente suelen ser estabilizadas por moléculas de naturaleza anf lica (parte hidr3foba, parte hidr3fila) llamadas también agentes tensoactivos.<sup>[1, 2]</sup> Estas moléculas, con esta estructura característica tienden a ser adsorbidas en la interfase que se forma entre las gotas dispersas y la fase continua de las emulsiones.<sup>[3]</sup> Además, y tal como se explicar  a continuaci3n, las emulsiones también pueden ser estabilizadas por nanop rticulas con unas propiedades superficiales y dimensionales muy específicas.<sup>[4]</sup>



I. Aranberri

Grupo de Ingeniería Química, Instituto de Materiales Poliméricos, POLYMAT, Universidad del País Vasco, Donostia-San Sebastián.

C-e: [ibon.aranberri@ehu.es](mailto:ibon.aranberri@ehu.es)

Recibido: 30/06/2008. Aceptado: 30/10/2008.

#### Emulsiones estabilizadas por nanop rticulas

En el año 1900, Ramsden<sup>[5]</sup> y Pickering<sup>[6]</sup> observaron que las partículas s3lidas muy pequeñas podían adsorberse sobre una interfase aceite/agua y podían estabilizar emulsiones. Sin embargo, no fue hasta el trabajo de Finkle et al.<sup>[7]</sup> cuando se encontr3 una relaci3n entre el tipo de partícula s3lida y la naturaleza de la emulsi3n (aceite en agua, o/w o agua en aceite, w/o). Estos investigadores encontraron que en una emulsi3n que contenga dos líquidos inmiscibles, uno de los líquidos moja más la partícula que el otro líquido, siendo este último la fase dispersa. Este hecho es similar la regla de Bancroft que ocurre en el caso de los agentes tensoactivos.

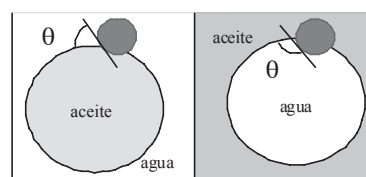


Figura 1. Esquema de partículas hidr3filas e hidr3fobas sobre la interfase aceite-agua en emulsiones estabilizadas por partículas s3lidas.

La mojabilidad de las partículas en la interfase agua-aceite se suele medir por el ángulo de contacto  $\theta$  que las partículas forman en la misma interfase. Si el ángulo  $\theta$  (medido a través de la fase acuosa) es menor que  $90^\circ$  las partículas se mojan preferentemente por el agua y estabilizan emulsiones o/w.

Si la partícula es mojada preferentemente por el aceite, el ángulo de contacto será mayor que  $90^\circ$  y la emulsi3n preferente será w/o. Sin embargo, si las partículas son demasiado hidr3filas (bajo  $\theta$  o demasiado hidr3fobas (alto  $\theta$ ), tienden a estar dispersas tanto en la fase acuosa como en la aceitosa respectivamente y dan lugar por lo tanto a emulsiones inestables. En la Figura 1 se muestra un esquema de c3mo se adsorben las partículas parcialmente hidr3filas y parcialmente hidr3fobas en la interfase agua-aceite.

Pero,  por qué tienden las partículas s3lidas a adsorberse sobre la interfase agua-aceite? Consideramos una partícula (p) adsorbida sobre una interfase aceite (o) – agua (w) con sus respectivas tensiones interfaciales  $\gamma_{ow}$  (tensi3n interfacial de la interfase w-o),  $\gamma_{op}$  (tensi3n interfacial de la superficie aceite-partícula) y  $\gamma_{pw}$  (tensi3n superficial de la superficie partícula-agua). La adsorci3n de una partícula desde la fase aceitosa

a la interfase resulta en la pérdida del área op pero también se ha creado una interfase equivalente al área pw. Sin embargo, el área de la interfase ow (generalmente de alta tensión superficial) también se pierde debido a la presencia de partículas, siendo esta la principal razón por la cual las partículas sólidas se adsorben sobre las superficies.

La energía de adhesión de la partícula a una interfase líquido-líquido está relacionada con el ángulo de contacto y la tensión superficial agua-aceite,  $\gamma_{ow}$ . Para una cierta partícula de radio R, suficientemente pequeña para despreciar el efecto de la gravedad, la energía que se necesita para trasladarla de la interfase es dada por la siguiente ecuación:<sup>[8]</sup>

$$E = \pi R^2 \gamma_{ow} (1 \pm \cos \theta)^2 \quad [1]$$

en la cual, el signo del paréntesis es negativo si es para trasladar la partícula desde la interfase a la fase continua y positiva en el caso de llevar la partícula a la interfase con el aire o el agua. Este cálculo es arbitrario y se toma así debido a que el ángulo de contacto se calcula a través del agua. La Figura 2 muestra la variación de la energía E en función de  $\theta$  siendo R constante (la partícula de sílice es 10 nm) y la tensión superficial tolueno-agua es  $\gamma_{ow} = 36 \times 10^{-3} \text{ N m}^{-1}$ . De dicha figura se puede concluir que la energía de adhesión mayor entre la partícula y la interfase se da cuando  $\theta = 90^\circ$ . A ambos lados del máximo situado a  $90^\circ$ , la energía de adhesión cae exponencialmente con un valor menor a 10 kT para ángulos de contacto entre 0 y  $20^\circ$  y 160 y  $180^\circ$ .

Una de las consecuencias de la alta energía de adhesión de las partículas sólidas en la interfase es que la adsorción ocurre de manera irreversible, totalmente contrario a lo que ocurre con los agentes tensoactivos que se adsorben y desadsorben de una manera dinámica en las interfaces agua-aceite.

Tal como se ha visto en la ecuación [1], E es proporcional a  $R^2$ , así que a mayor partícula, la energía de adhesión es también mayor.

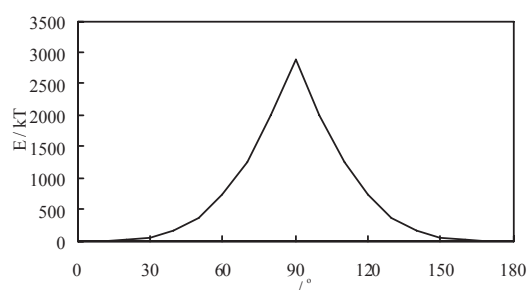


Figura 2. Variación de la energía de adhesión, E, en función del ángulo de contacto  $\theta$  para una partícula de radio  $R = 10 \text{ nm}$  en la interfase agua-tolueno. La escala de la energía se ha representado en unidades de energía kT (constante de Boltzmann x la temperatura en Kelvin).

La Figura 3 muestra la variación de la energía de adhesión para partículas esféricas de distinto radio siendo  $\theta = 90^\circ$  y  $\gamma_{ow} = 50 \text{ mN m}^{-1}$  (típico para la interfase alcano-agua). Claramente, para partículas pequeñas ( $R < 0,5 \text{ nm}$ ) la energía es similar al de los agentes tensoactivos (es decir,  $E \approx kT$ ) y la capacidad de adsorción es muy baja. El radio medio de las partículas de sílice que se han utilizado en este trabajo es 20 nm, y por lo tanto, la energía E toma valores de alrededor de  $3 \times 10^3 \text{ kT}$ , es decir,  $E \gg kT$  y la adsorción de la partículas es irreversible.

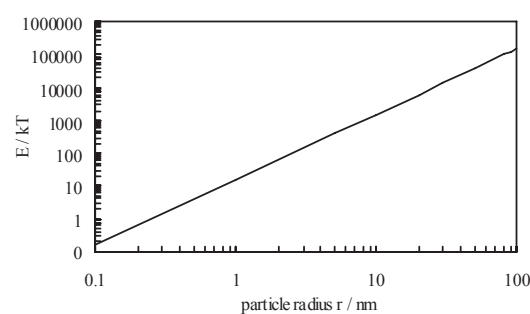
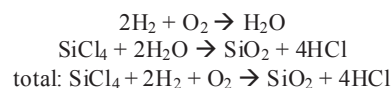


Figura 3. Variación de la energía necesaria para separar una partícula esférica de la interfase alcano-agua ( $\gamma_{ow} = 50 \text{ mN m}^{-1}$ ,  $\theta = 90^\circ$ ) en función del radio de la partícula.

### Síntesis de nanopartículas de sílice

Las partículas de sílice utilizadas para este estudio tienen un diámetro entre 5 y 30 nm pero pueden formar agregados de tamaño superior. Para la producción de estas partículas de sílice totalmente hidrófilas (100% grupos Si-OH en la superficie) se utiliza la técnica de hidrólisis bajo llama continua. Gracias a esta técnica, el tetracloruro de silicio se transforma en gas utilizando una llama de aire (enriquecido en oxígeno)/hidrógeno en medio acuoso. Tras la reacción se obtiene dióxido de silicio y ácido clorhídrico según las siguientes reacciones:



Bajo estas condiciones de reacción, se obtiene partículas primarias de  $\text{SiO}_2$  de 10 nm de diámetro. La sílice es hidrófila debido a los grupos silanol que se encuentran en su superficie (Si-OH). La superficie de la sílice también puede presentar puentes siloxano (Si-O-Si). Fuji et al.<sup>[9]</sup> definen que una partícula de sílice es hidrófila cuando los grupos hidrófobos (siloxanos) de la superficie presentan menos del 20%. Por lo tanto, debido a que todas las partículas de este proyecto han

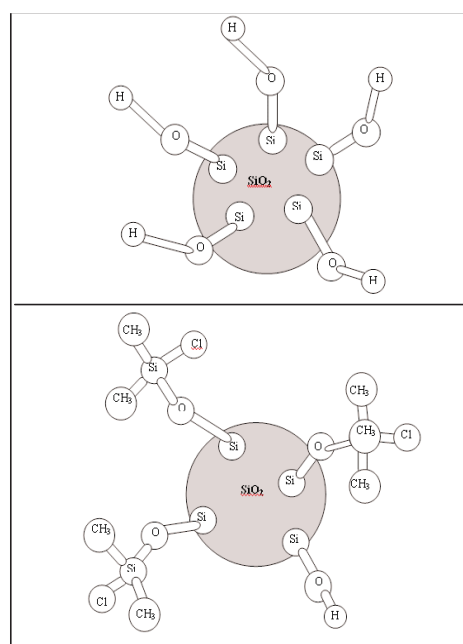
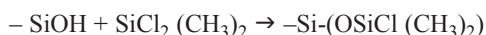


Figura 4. Esquema de una partícula hidrófoba (arriba) y una partícula hidrófila (abajo).

## Estabilidad de las emulsiones de Pickering utilizadas en la elaboraci3n de productos agroquímicos.

sido modificadas superficialmente, de aquí en adelante se referirán como partículas parcialmente hidr3fobas. En la Figura 4 se muestra una partícula de sílice hidr3fila y otra parcialmente hidr3foba modificada con grupos siloxano.

Las partículas hidr3fobas se preparan mediante la reacci3n de la sílice hidr3fila con dimetildiclorosilano en presencia de agua y secando a continuaci3n a 300 C durante 2 horas.<sup>[10]</sup>



Esta reacci3n produce enlaces covalentes de siloxano entre los átomo de silicio de la sílice y los átomo de silicio de la superficie. En las partículas hidr3filas, se encuentran 2 grupos de Si-OH por 1 nm<sup>2</sup>. Las partículas modificadas presentan concentraciones superficiales de grupos Si-OH sin reaccionar de entre 0,5 y 2 Si-OH por nm<sup>2</sup>.

En la Tabla 1 se muestra la lista de las nanopartículas utilizadas en este trabajo con el porcentaje de grupos Si-OH sin reaccionar que presenta cada nanopartícula en la superficie. En los extremos encontramos las nanopartículas más hidr3fobas (SLM 1469, 18% de grupos Si-OH sin reaccionar) y las más hidr3filas (SLM 160, 87% grupos silanol sin reaccionar).

Tabla 1. Resumen de las partículas de sílice con sus respectivos contenidos de grupos silanol.

Nanopartícula	% de grupos Si-OH sin reaccionar
SLM 1469	18
SLM 091	36
H30	47
SLM 957	57
SLM 1471	66
SLM 135	71
SLM 079	76
SLM 1466	80
SLM 160	87

## Experimental

### Elaboraci3n de emulsiones

Para las emulsiones se utilizaron unos volúmenes totales de 20 cm<sup>3</sup> que se elaboraron de la siguiente manera: Una cantidad conocida de disolvente apolar (desde 10% a 60% en volumen) se a adi3 a una dispersi3n acuosa de nanopartículas de sílice de concentraci3n 1, 2 y 4% en peso. La emulsificaci3n de las mezclas se llev3 a cabo gracias a un homogeneizador Ultra Turrax Janke and Kunkel de cabezal 18 mm a 11000 rpm durante un minuto a temperatura ambiente.

### Medidas de conductividad

Las medidas de conductividad de las emulsiones se tomaron utilizando un conductímetro digital Jenway 4310 a 20 C utilizando electrodos de Pt. Antes de cada medida el conductímetro se calibr3 con una disoluci3n 0,01 M KCl siendo  $\kappa = 1413 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Las mediciones se realizaron poco despu3 de la preparaci3n de las emulsiones.

### Prueba de la gota

Con el fin de determinar si una emulsi3n es aceite en agua (o/w) o agua en aceite (w/o) se suele llevar a cabo un simple test denominado prueba de la gota que se describe a conti-

nuaci3n. Un par de gotas de una emulsi3n se vierten sobre un tubo de ensayo que contiene agua y otro que contiene el aceite utilizado para realizar las emulsiones. Si las gotas de la emulsi3n se dispersan en la muestra de agua y no lo hacen en la del aceite, entonces la emulsi3n se caracteriza como o/w. De la misma manera, se trata de una emulsi3n w/o si las gotas de la emulsi3n se dispersan en el aceite y quedan intactas en el tubo que contiene la fase acuosa.

### Dispersi3n ultras3nica

La dispersi3n de las nanopartículas de sílice tanto en agua a pH = 6 como en una muestra de fase apolar se prepararon dispersando una cantidad conocida de polvo s3lido de las nanopartículas en un volumen conocido de fase continua mediante una equipo que contiene una c3lula de frecuencia ultras3nica (Sonics & Materials), siendo el diámetro de la aguja 3 mm, operando a 20 kHz y una potencia de 10 W durante 1 minuto. Durante la dispersi3n, la fase líquida se encuentra dentro de un baño de hielo.

## Resultados

### Emulsiones estabilizadas por nanopartículas

En la Figura 5 y 6 se muestran dos microfograf as de una emulsi3n de 20% en volumen de metilciclohexano en agua y estabilizado por 2% en peso de nanopartículas de tipo SLM 1466 y otra de una emulsi3n de 20% en volumen de heptano en agua estabilizado con una disoluci3n al 1% en peso de SLM1466. Ambas emulsiones son altamente estables, polidispersas y con diámetro medio de las gotas inferior a 20  $\mu\text{m}$ .

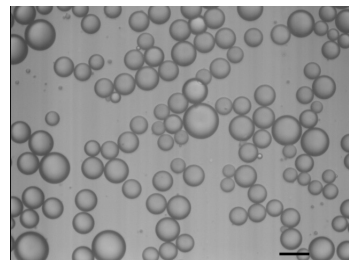


Figura 5. Emulsi3n de 20% en volumen de metilciclohexano en agua y estabilizado con una disoluci3n 2% en peso de SLM 1466. Longitud de la barra = 20 micras.

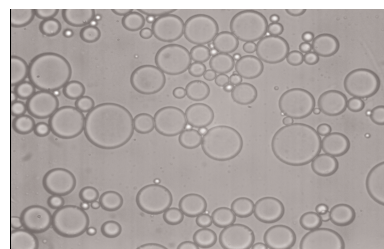


Figura 6. Emulsi3n de 20% en volumen de heptano en agua y estabilizado con una dispersi3n al 1% en peso de SLM 079.

En las tablas 2 y 3 se muestra el efecto que tienen la concentraci3n de nanopartículas y la fracci3n de volumen de la fase dispersa y apolar sobre el diámetro medio de la emulsi3n. En la primera tabla se observa que a medida que aumenta la concentraci3n del estabilizante, disminuye el diámetro medio de las gotas de la emulsi3n. La medida se realiz3 despu3 de preparar la emulsi3n y 24 horas más tarde. El tamaño de part -

cula permanece constante durante este periodo de tiempo lo que da lugar a la conclusi3n de que estas emulsiones son más estables que las mismas estabilizadas por agentes tensoactivos para el mismo aceite.

Tabla 2. Resumen de los diámetros medio de emulsiones de 10% en volumen de metilciclohexano en agua estabilizadas con SLM 079 en funci3n de la concentraci3n de éste para  $t=0$  y  $t=24$ h después de la preparaci3n.

[partícula] / % en peso	$d_{(t=0)}$ ( $\mu\text{m}$ )	$d_{(t=24\text{ h})}$ ( $\mu\text{m}$ )
1	35,5	35,5
2	16,5	16,5
4	14,2	14,8

Tabla 3. Resumen de los diámetros medio de emulsiones de metilciclohexano en agua estabilizados con una disoluci3n al 1% en peso de SLM 079 en funci3n de la fracci3n de volumen molar del aceite ( $\phi_0$ ) para  $t=0$  y  $t=24$ h después de la preparaci3n.

$\phi_0$	$d_{(t=0)}$ ( $\mu\text{m}$ )	$d_{(t=24\text{ h})}$ ( $\mu\text{m}$ )
0.1	35,5	35,5
0.4	59,6	43,6
0.6	100,3	87,3

### Estudio de la inversi3n de fase: Medidas de la conductividad

En funci3n de la relaci3n agua/aceite en una emulsi3n se puede conseguir un tipo de emulsi3n u otro. Este tipo de inversi3n es conocido por inversi3n catastr3fica y viene dado por cambios dramáticos en las propiedades físicas de las emulsiones incluyendo la viscosidad y tamaño de partícula. Según la bibliografía las emulsiones de tolueno-agua y estabilizadas por nanop rticulas hidr3filas de sílice invierten cuando la fracci3n de volumen acuosa es 0,7.<sup>[11]</sup> La Figura 7 muestra la conductividad de emulsiones de tolueno-agua estabilizadas por partículas de sílice con 47% de SiOH en funci3n de la fracci3n de volumen del agua. La concentraci3n de las partículas fue de 1% en peso en la emulsi3n (inicialmente 2%

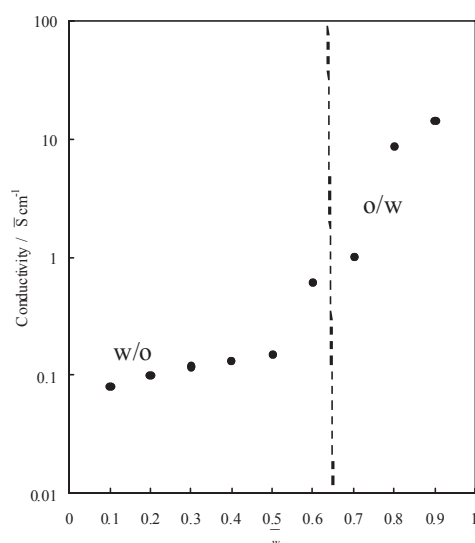


Figura 7. Conductividad de emulsiones de agua-tolueno estabilizados por 1% en peso de nanop rticulas con 76% SiOH en funci3n de la fracci3n de volumen de agua ( $w$ ). La línea discontinua representa la inversi3n de fase.

en peso disperso en tolueno) y se mantuvo constante. De acuerdo con el valor encontrado en la bibliografía,<sup>[11]</sup> la inversi3n catastr3fica se ha obtenido a una fracci3n de volumen acuosa de 0,65.

La Figura 8 muestra la conductividad de emulsiones agua-tolueno estabilizadas por partículas de sílice de diferente mojabilidad (hidrofobicidad) inicialmente dispersadas en tolueno. Para partículas hidr3fobas (aproximadamente hasta un 50% SiOH), la conductividad es muy baja, indicativo de emulsiones agua en aceite y crece drásticamente (t pico de emulsiones de aceite en agua) cuando los estabilizadores contienen alto contenido de grupos OH en la superficie (más hidr3filas). Aunque este tipo de ensayo suele ser útil para determinar si una emulsi3n es aceite en agua o viceversa, se realiz3 el ensayo de la gota en todas las emulsiones.

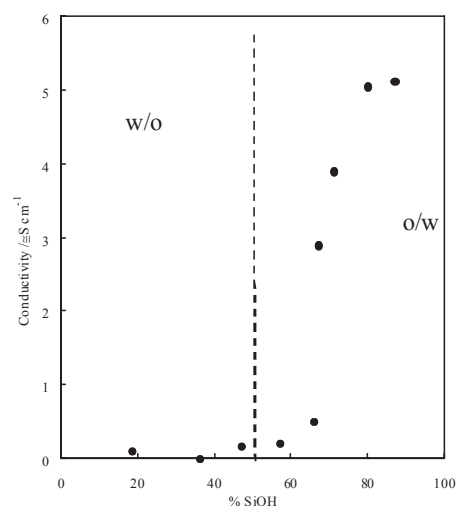


Figura 8. Conductividad de emulsiones de agua-tolueno al 50% en volumen estabilizados por 1% en peso de nanop rticulas en funci3n del % de grupos silanol en éstas. La línea discontinua representa la inversi3n de fase.

### Emulsiones monodispersas

Finalmente, también se prepararon emulsiones monodispersas. En la bibliografía, se han encontrado al menos dos maneras de realizar emulsiones monodispersas.<sup>[12,13]</sup> En este trabajo las emulsiones se han realizado siguiendo el protocolo que se explica en la referencia[12]. A partir de una emulsi3n al 10% en volumen de metilciclohexano en agua estabilizado con nanop rticulas hidr3filas, se a adi3 el aceite hasta conseguir 60% en volumen de aceite en 6 pasos. En cada paso se a adi3 un 10% en volumen de aceite y se rehomogeneiz3 la emulsi3n, hasta llegar a  $\Phi = 0,6$ . En la Figura 9 se muestra la imagen de una emulsi3n de 60% en volumen de metilciclohexano en agua estabilizado por 1% en peso de nanop rticulas realizado mediante este método.

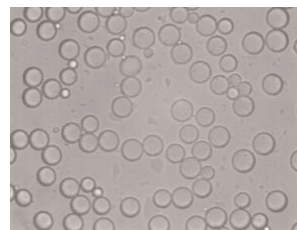


Figura 9. Imagen de una emulsi3n de 60% en volumen de metilciclohexano en agua estabilizado mediante nanop rticulas con 76% de grupos OH elaborado en 6 pasos.



## Estabilidad de las emulsiones de Pickering utilizadas en la elaboraci3n de productos agroquímicos.

Una manera de medir la polidispersidad de una distribuci3n de tamaño de gota en emulsiones es el cálculo y comparaci3n del grado de dispersi3n relativa o anchura de las distribuciones. Esta anchura se determina a partir de la siguiente f3rmula:<sup>[14]</sup>

$$\text{Dispersidad relativa} = \frac{d[v,0.5] - d[v,0.1]}{d[v,0.5]} \quad [2]$$

siendo  $d[v,0,5]$  y  $d[v,0,1]$  los percentiles en volumen, es decir, muestran los valores en micras para los cuales el 50% y 10% de la distribuci3n est n por debajo.

La Figura 10 muestra el diámetro medio de las gotas y el grado de dispersidad relativa de las distribuciones de una serie de emulsiones en funci3n de la fracci3n de volumen del aceite. El diámetro medio (puntos negros) crece gradualmente de 8,62 a 57  $\mu\text{m}$  con un decrecimiento asociado al grado de dispersidad relativa (puntos blancos) desde 2 a 0,6. A pesar de ser un m3todo reproducible, el mecanismo responsable de tal comportamiento aun se desconoce.

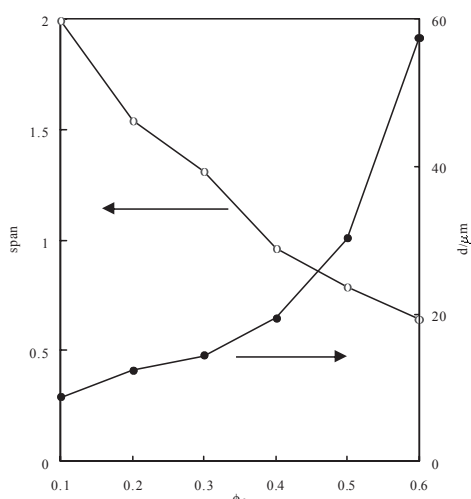


Figura 10. Diámetro medio de las gotas,  $d$  (círculos blancos), y el grado de dispersidad relativa (círculos negros) de emulsiones de metilciclohexano en agua estabilizados por 4% en peso de nanop rticulas de sílice (76% SiOH) donde la fracci3n de aceite ha sido incrementado paulatinamente.

## Agradecimientos

El autor desea expresar su agradecimiento a Dow AgroSciences por la financiaci3n de su tesis y a Wacker por el suministro de las nanop rticulas de sílice.

## Conclusiones

Las nanop rticulas s3lidas tienden a adsorberse sobre la interfase agua-aceite con el fin de minimizar la energía del sistema. En el presente artículo se ha mostrado que el tipo de emulsi3n viene dado por la naturaleza superficial de las nanop rticulas. Aquellas nanop rticulas que presentan una naturaleza mayoritariamente hidr3fila tienden a estabilizar emulsiones de aceite en agua y viceversa. Cuanto mayor es la concentraci3n de nanop rticula, menor es el tamaño de gota de la fase dispersa. Finalmente se ha demostrado que es posible pasar de un tipo de emulsi3n o/w a otra w/o, variando el tipo de partícula o variando el contenido de fase polar en la emulsi3n.

## Bibliografía

- [1] I. Aranberri, B. P. Binks, J. H. Clint, P. D. I. Fletcher, *Rev. Iber. Pol.* **2006**, *7*, 211–231.
- [2] *Modern Aspects of Emulsion Science*, B. P. Binks, RSC, London, **1999**.
- [3] J. H. Clint, *Surfactant Aggregation*, New York, Chapman and Hall, **1991**.
- [4] B. P. Binks, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.*, **2002**, *7*, 21–41.
- [5] W. Ramsden, *Proc R Soc*, **1903**, *72*, 156–164.
- [6] S. U. Pickering, *J. Chem Soc.*, **1907**, *91*, 2001–2021.
- [7] P. Finkle, H. D. Draper, J. H. Hildebrand, *J. Am. Chem. Soc.*, **1923**, *45*, 2780–2781.
- [8] S. Levine, B. D. Bowen, S. J. Partridge, *Colloid Surf.*, **1998**, *38*, 325–343.
- [9] M. Fuji, K. Machida, T. Takei, T. Watanabe, M. Chicazawa, *Langmuir*, **2000**, *16*, 3281–3287.
- [10] H. Balard, E. Papirer, A. Khalfi H. Barthel, *Composites Interfaces*, **1999**, *6*, 19–25.
- [11] B. P. Binks, S. O. Lumsdon, *Langmuir*, **2000**, *16*, 2539–2547.
- [12] J. Giermanska-Kahn, V. Schmitt, B. P. Binks, F. Leal-Calderon, *Langmuir*, **2002**, *18*, 2515–2518.
- [13] B. P. Binks, J. A. Rodrigues, *Langmuir*, **2003**, *12*, 4905–4912.
- [14] [www.Malvern.co.uk](http://www.Malvern.co.uk)

**How to Apply**

Applicants should send an application letter accompanied by their CV and academic credentials to [summerfellowship@icq.es](mailto:summerfellowship@icq.es). Only applications received before April 15, 2009 will be considered. A decision will be announced by the end of April, 2009. For further information about the Institute and the ICQ Summer Fellowships, please visit our web site: [www.icq.es](http://www.icq.es)

ICQ  
Institut Catal n  
d'Investigaci3n Química  
Av. Pedros Catalans 16  
43007 Tarragona (Spain)  
Phone: +34 977 920 200  
Fax: +34 977 920 226  
[www.icq.es](http://www.icq.es)

Sponsored by:

With the collaboration of:  
**SIGMA-ALDRICH**

ICIQ Fellowship Programs

**Summer FELLOWSHIPS 2009**

A three-month paid internship for undergraduate students in one of ICIQ's research groups

**JULY-SEPTEMBER TARRAGONA**

**About ICIQ**

The Institute of Chemical Research of Catalonia (ICQ) is a dynamic and innovative research institution located in Tarragona, 100 km. south of Barcelona, in one of the parts of Europe with the greatest accumulation of chemical industries (from petrochemical to Biotech). Our Institute follows a combined theoretical-experimental approach, with dynamic collaborations between groups for multidisciplinary approaches to relevant scientific/industrial problems. ICQ has consolidated its position as one of the top level institutions for chemical research in Europe. The Institute is a functional building with a built-up area of 12,800 square meters in the scientific campus of the Rovira i Virgili University (URV) and includes modern and functional laboratories with state-of-the-art scientific equipment.

**ICIQ Summer Fellowships**

Outstanding undergraduate students with a background in Chemistry or related studies are welcome to spend a three-month paid internship in one of ICQ's research groups during the months of July, August and September. Interested candidates should be in the two last years of their undergraduate studies (or having accomplished 180 credits) of their undergraduate studies. The number of ICQ Summer Fellowships for 2009 is up to 10 and each fellowship will have a total stipend of 2,000 euros. Selected candidates will have the opportunity to work in one of ICQ's labs on the areas of catalysis, supramolecular chemistry and renewable energies, with special focus on sustainability problems and nanotechnology. This is not only a great opportunity to have an insight on our activities and to enjoy our state-of-the-art facilities but it is also a chance to be in an optimal situation to apply for a future PhD position in our Institute.

Tarragona Summer 2009