

CUADERNO FIRP S747-D

MODULO DE ENSEÑANZA EN FENOMENOS INTERFACIALES

en español

Formulación, Composición y Fabricación de Emulsiones para

Obtener las Propiedades deseadas. Estado del Arte

Parte D

Fenómenos Dinámicos y de Memoria

Jean-Louis SALAGER

**LABORATORIO DE FORMULACION, INTERFASES
REOLOGIA Y PROCESOS**

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



Mérida-Venezuela
Versión # 1 (2002)

FORMULACION, COMPOSICION Y FABRICACION DE EMULSIONES PARA OBTENER LAS PROPIEDADES DESEADAS ESTADO DEL ARTE

PROLOGO

Los cuadernos FIRP N° 747A, B, C y D reunen en una forma que se quiere pedagógica, organizada y sinóptica un material de síntesis publicado en varios trabajos, que se pueden considerar como aproximaciones sucesivas, entre las cuales las más recientes son las siguientes:

SALAGER J.L., Guidelines to handle the formulation, composition and stirring to attain emulsion properties on design (type, drop size, viscosity and stability), Conferencia invitada, *10th International Symposium Surfactants in Solution*, Caracas, Venezuela, junio 1994. Publicado en *Surfactants in Solution*, A. Chattopadhyay & K. Mittal, Eds., Surfactant science series **64**, Chapter 16, pp. 261-295, Dekker. New York (1996).

SALAGER J.L., Emulsion Properties, Formulation, and Making, Continuous Education Seminar for Procter & Gamble, Cincinnati USA, October 1995.

SALAGER J.L., Quantifying the Concept of Physico-Chemical Formulation in Surfactant-Oil-Water Systems, Conferencia invitada *9th European Colloid Interface Society Conf. (IXth ECIS)*, Barcelona, España, sep.17-19, 1995. Publicado en forma breve en *Prog. Colloid & Polymer Science*, **100**, 137-142 (1996)

SALAGER J.L., Concepto de formulación fisico-química en sistemas surfactante-agua-aceite al equilibrio: Teoría y determinación experimental, Conferencia plenaria invitada, *IV Simposio Latinoamericano sobre Propiedades de Fluidos y Equilibrio de fases para el diseño de procesos químicos EQUIFASES 95*, Caracas, Venezuela, dic. 1995. Memoria pp CP2.1-9

SALAGER J.L., PEREZ-SANCHEZ M., RAMIREZ-GOUVEIA M., ANDEREZ J.M., BRICEÑO-RIVAS M.I., Stirring-formulation coupling in emulsification, IXth European Congress on Mixing, Paris, Francia 23-26/03/1997, publicado en *Récents Progrès en Génie des Procédés*, vol. **11**, N° 52: Multiphase Systems, pp 123-130 (1997)

SALAGER J.L., PEREZ M., RAMIREZ M., BRICEÑO M. I., GARCIA Y., Combining formulation, composition and stirring to attain a required emulsion drop size. State of the Art, 2nd World Congress on Emulsion, Bordeaux, France, 23-26 de septiembre de 1997. Proceedings vol. **2**, paper 1-2-093-01/05.

SALAGER J. L., Emulsion properties and related know-how to attain them, Capítulo 3 de *Pharmaceutical Emulsions and Suspensions*, F. Nielloud & G. Marti-Mestres, Eds., M. Dekker, Nueva York (2000)

El propósito de este texto es juntar el conocimiento y el saber-hacer disponible para formular y preparar emulsiones que tengan las propiedades deseables para la aplicación propuesta.

Antes de todo cabe recordar brevemente como se puede expresar el concepto de formulación fisico-química que permite dar cuenta del papel del surfactante (Parte A).

Luego se definen las propiedades de las emulsiones y se examina de que dependen, y como se miden o se estiman (Parte B).

En la tercera parte (C) se lleva a cabo a una revisión acerca de la influencia de la formulación, de la composición y de la agitación (o lo que sea el proceso de emulsión) sobre las propiedades de las emulsiones, a saber su tipo (O/W ó W/O), su tamaño de gota (eventualmente la distribución estadística de tamaños), su viscosidad, y su estabilidad. Al final se llega a lo que se puede considerar hoy en día como la fenomenología general de los sistemas emulsionados. Luego se examina el efecto de las otras variables sobre la variación cualitativa de los fenómenos observados, en particular los que tienen que ver con la inversión, el tamaño de gota, la viscosidad y la estabilidad.

Finalmente, en la parte D se presenta una introducción sobre los sistemas fuera de equilibrio, empezando por los fenómenos de inversión dinámica y su significado práctico. En particular se hace un recuento de lo que se sabe sobre los dos tipos de inversión (transicional y catastrófica) y como están afectadas por las otras características del sistema.

FORMULACION, COMPOSICION Y FABRICACION DE EMULSIONES PARA OBTENER LAS PROPIEDADES DESEADAS ESTADO DEL ARTE

Cuaderno FIRP N° 747

Cuaderno FIRP # 747 - Parte A

1. DEFINICIONES
2. INTRODUCTION
3. FORMULACION EN SISTEMAS SURFACTANTE-AGUA-ACEITE AL EQUILIBRIO. TEORIA Y DETERMINACION EXPERIMENTAL
 - 3.1. ¿QUE ES LA FORMULACION FISICO-QUIMICA?
 - 3.2. HLB, R y OTROS PARAMETROS DE FORMULACION
 - 3.3. CORRELACIONES EMPIRICAS
 - 3.4. FORMULACION GENERALIZADA SAD
 - 3.5. COEFICIENTE DE REPARTO ENTRE FASES EN EXCESO

Cuaderno FIRP # 747 - Parte B:

4. PROPIEDADES de las EMULSIONES

Cuaderno FIRP 747 # - Parte C:

5. RELACION entre la FORMULACION y las PROPIEDADES de las EMULSIONES
6. RELACION entre la FORMULACION, la COMPOSICION y las PROPIEDADES

Cuaderno FIRP # 747 - Parte D:

7. FENOMENOS DINAMICOS Y DE MEMORIA
 - 7.1. DEFINICIONES
 - 7.2. MODIFICANDO UNA EMULSION SIN INVERTIRLA
 - 7.3. LOS DOS TIPOS DE INVERSION DINAMICA - MEMORIA

FORMULACION, COMPOSICION Y FABRICACION DE EMULSIONES PARA OBTENER LAS PROPIEDADES DESEADAS ESTADO DEL ARTE

CUADERNO N° 747 parte D : FENOMENOS DINAMICOS Y DE MEMORIA

7. FENOMENOS DINAMICOS Y DE MEMORIA

7.1. DEFINICIONES

En la sección precedente, se preparaban las emulsiones por agitación de sistemas surfactante-agua-aceite preequilibrados, y las propiedades de las emulsiones se suponían suficientemente persistentes para no cambiar durante la escala de tiempo de la medición o de la aplicación. No es siempre el caso, y es a veces a propósito que se modifica la formulación de una emulsión o su composición cuando transcurre el tiempo, de acuerdo a cierto protocolo que puede involucrar la adición de sustancias, un cambio de temperatura, una variación de agitación o cualquier combinación por esotérica que parezca.

Tales cambios de formulación y/o de composición producen un cambio de la posición del punto representativo de la emulsión en el diagrama formulación-composición, y pueden por tanto (eventualmente) producir el cambio correspondiente de propiedad de acuerdo al mapa. Hay sin embargo un problema de escala de tiempo del cambio. La pregunta es saber hasta que punto los mapas siguen útiles para predecir los cambios a lo largo de una cierta trayectoria.

Parece conveniente dividir la respuesta de acuerdo a dos casos diferentes. El primero tiene que ver con los procesos en los cuales la trayectoria representativa del estado de la emulsión en el mapa no atraviesa la línea de inversión. En tales casos es a menudo posible realizar predicciones en lo que concierne la alteración de las propiedades. Al contrario no es en general posible hacer eso en el segundo caso, cuando la emulsión se invierte. En ciertas circunstancias el punto representativo de la emulsión alcanza y hasta sobrepasa ligeramente la línea de inversión mencionada en el párrafo anterior y la inversión no se produce allí, sino más adelante. Se puede decir que existe entonces un cierto retraso a la inversión, o que la trayectoria "empuje" la línea de inversión. En tales casos la frontera de inversión cambia, y las predicciones del primer caso son válidas siempre y cuando no transcurre la inversión. Si al contrario la inversión se produce, entonces se forma una nueva emulsión por un proceso a menudo caótico y no se sabe suficientemente lo que pasa para relacionar las propiedades de las emulsiones antes y después de la inversión. Sin embargo se ha utilizado los dos tipos conocidos de inversión para producir sistemas de interés como por ejemplo las miniemulsiones.

7.2. MODIFICANDO UNA EMULSION SIN INVERTIRLA

En esta sección se supone que la emulsión inicial se fabrica por agitación de un sistema surfactante-agua-aceite al equilibrio cuya formulación y composición representa el punto inicial del proceso en el mapa formulación-composición. La emulsión inicial tiene las propiedades previstas por los mapas correspondientes.

Se produce entonces un cambio de formulación o de composición (a menudo al mismo tiempo que se sigue agitando) y la nueva emulsión "desplazada" se encuentra en otro sitio del mapa,

el cual corresponde por supuesto a nuevas propiedades. Basta saber cuales son las propiedades que se mantienen (como en el estado inicial) y cuales no, para determinar los cambios de la emulsión.

En general se puede suponer que el cambio de formulación-composición es relativamente rápido, y por tanto que la emulsión no coalesce durante este tiempo, y que por tanto el tamaño de las gotas no varía sustancialmente. Sin embargo esta suposición puede ser inválida si el sistema se encuentra en la zona de muy baja estabilidad asociada con la proximidad de la formulación óptima.

Si se añade una cierta cantidad de fase interna, mientras se mantiene agitada la emulsión, a lo largo de la trayectoria (1) de la figura 1, la viscosidad de la emulsión tiende a aumentar por el incremento de contenido de fase interna, y tal aumento puede ser favorecido o inhibido por otros factores como la eficiencia de la agitación (que produce gotas grandes o pequeñas) o la producción de emulsiones bimodales (si las nuevas gotas son muy diferentes de las primeras formadas).

Si la formulación (o la temperatura) se cambia de tal forma que el punto representativo de la emulsión pase de una zona de alta estabilidad a una zona de baja estabilidad, como en el camino (2) de la figura 1, entonces la reducción de estabilidad se torna la característica principal de la nueva emulsión, arrastrando consigo un cambio de tamaño de gota y de viscosidad. El camino (2) es por tanto lo que se debe aplicar cuando se desea romper la emulsión. Este camino es por ejemplo el caso de la deshidratación del petróleo en la cual se añade un surfactante hidrofílico (desplazamiento hacia abajo en el mapa) a una emulsión W/O estabilizada por surfactantes "naturales" lipofílicos.

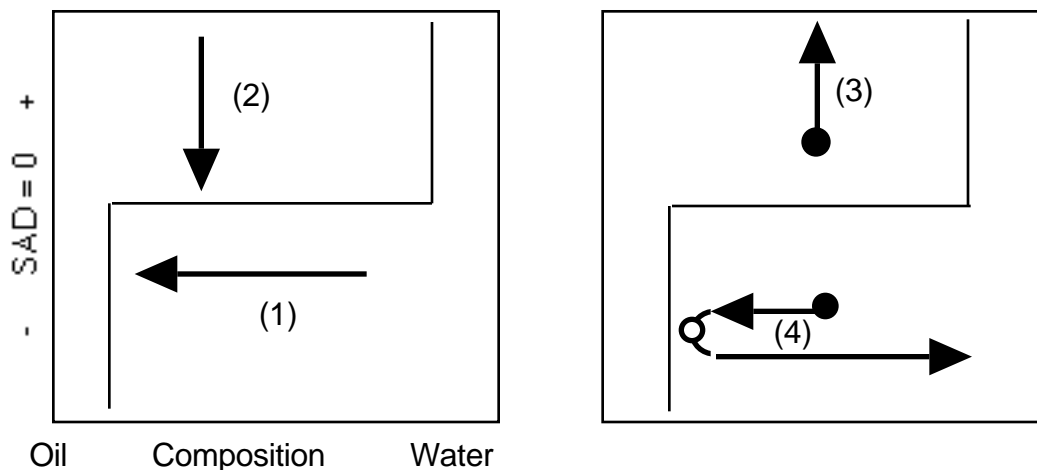


Figure 1: Cambios dinámicos que no atraviezan la línea de inversión estándar.

Se puede por supuesto utilizar el conocimiento que se tiene de las características del mapa formulación-composición para sacarle el mayor provecho y acumular las ventajas. Por ejemplo en el caso de la trayectoria (3) se forma la emulsión inicial a cierta distancia de la formulación óptima (círculo negro), donde se consigue el mejor compromiso entre una tensión interfacial baja (y por tanto una gran facilidad de ruptura) y una estabilidad no demasiada baja (por la proximidad a la formulación óptima) de tal forma que el tamaño de gotas sea el mínimo (ver anterior). La baja estabilidad en este punto es por supuesto defavorable porque afecta el proceso de ruptura-coalescencia de las gotas durante la emulsión, pero es aun mas molesta porque va a producir la degradación rápida de la emulsión. Es por tanto necesario desplazar la emulsión en una zona de alta estabilidad en forma inmediata después de la emulsión y sin esperar que se inicie la coalescencia. La trayectoria (3) puede producirse añadiendo un surfactante lipofílico, u aumentando la temperatura con un sistema no iónico, o disminuyendola con un sistema iónico. En la posición final se obtiene una emulsión estable con un tamaño de gota mucho mas pequeño que lo que se hubiese podido fabricar en esta misma posición final (ver mapa de tamaño de gota). Se puede

entonces hablar de temple de formulación. Este método ha sido sugerido por K. Shinoda y colaboradores algún tiempo atrás con el nombre de emulsificación por el método de la PIT cuando la variación de formulación se hace cambiando la temperatura. Nótese sin embargo que puede llevarse a cabo con cualquier variación de la formulación.

La trayectoria (4) ilustra una forma aun más sofisticada de producir una emulsión con gotas muy finas, pero con un contenido de fase interna relativamente bajo, por ejemplo 20%, como en el caso de una lecho demaquilladora. A tal bajo contenido de fase interna, la emulsión es por lo general bastante ineficiente y es bastante difícil producir una emulsión muy fina, aún con un molino de coloides. Se puede darle la vuelta a esta dificultad con el proceso siguiente. Primero se empieza a fabricar una emulsión inicial con 50 a 60% de fase interna (circulo negro) y se sigue emulsionando añadiendo fase interna hasta llegar a un alto contenido, por ejemplo 80%, pero sin excederse de la línea de inversión. Conviene por tanto arreglarse para que la línea de inversión esté lo más lejos posible a la izquierda, condición que se obtiene con una alta concentración de surfactante y mas que todo una baja agitación. En tales condiciones la emulsión es extremadamente eficaz y se produce un tamaño de gota muy pequeño aún a bajo cizallamiento, por lo que se mantiene la agitación durante un cierto tiempo a bajo cizallamiento (circulo blanco). Después de obtener la emulsión con el tamaño de gota apropiado, se diluye hasta un 20% de fase interna. Se puede adicionalmente promover la estabilización de la emulsión desplazando su formulación un poco más lejos de la formulación óptima.

Antes de discutir el segundo tipo de cambio se debe examinar la fenomenología de inversión de fase.

7.3. LOS DOS TIPOS DE INVERSION DINAMICA - MEMORIA

NOTA >>>> en esta versión del 747D no contempla la Inversion por aumento de agitacion

Cuando una emulsión se fabrica en un punto del mapa formulación-composición, y que luego la formulación y/o la composición se cambia, se dice que se trata de un proceso dinámico. El cambio puede efectuarse por calentamiento o por enfriamiento a composición constante, con o sin cambio de agitación. Así se obtiene una trayectoria vertical en el mapa. Un cambio esencialmente similar puede producirse al añadir surfactante en forma muy concentrada, tal que no haya variación sensible de los volúmenes de fase, mientras se cambia el balance hidrofílico-lipofílico del sistema. Se puede producir otro cambio al añadir aceite o agua a una emulsión, bajo agitación constante. Si los productos añadidos tienen una formulación constante, entonces el cambio produce una trayectoria horizontal en el mapa.

En lo que sigue, se produce bien sea un cambio de formulación o un cambio de composición, mientras la emulsión se mantiene bajo agitación (generalmente con una intensidad de agitación menor o al máximo igual a aquella que sirvió para fabricar la emulsión). Durante el proceso dinámico se mide la conductividad en continuo para detectar la inversión, que en este caso se llama inversión dinámica.

La figura 2 indica el aspecto de las líneas de inversión dinámica sobre el mapa formulación-composición. La figura comprende dos mapas, porque la posición de las ramas "verticales" de la línea de inversión depende de la dirección de cambio, la cual está indicada por las flechas.

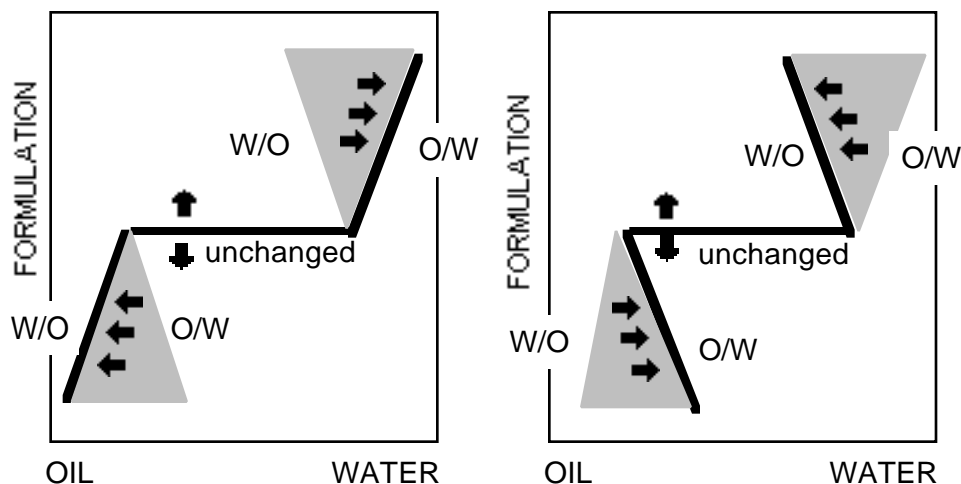


Figure 2: Líneas de inversión dinámica y zona de histéresis

Estos mapas indican dos cosas. Primero, la rama horizontal de la línea de inversión se mantiene siempre en la misma posición (que corresponde a la formulación óptima) cualquier sea la dirección de cambio. El cruce de la rama horizontal de la línea de inversión corresponde a la llamada inversión transicional, porque es perfectamente reversible. Realmente no se trata de una inversión de fase sino de un proceso de transición continua del comportamiento de fase en el cual la fase externa (que es una microemulsión) se inicia como la fase aceite, luego pasa a ser la fase intermedia de un sistema trifásico, y finalmente se torna la fase acuosa (o vice versa). Este proceso es de paso aquel durante el cual se pueden formar emulsiones estremadamente finas llamadas miniemulsiones, cuyo tamaño de gota no se puede alcanzar mediante agitación por violenta que sea.

Segundo, las figuras indican que la posición de las ramas "verticales" de la línea de inversión depende de la trayectoria. Pareciera que estas ramas se desplazarán en la dirección del cambio de composición como si se demorará la inversión. Por otra parte se nota que el desplazamiento aumenta cuando la formulación se aleja de la formulación óptima. Al comparar las dos figuras se ve que una emulsión ubicada en una de las zonas sombreadas puede corresponder a un tipo u otro de emulsión dependiendo de la trayectoria que llevó la emulsión a este sitio. Estas zonas sombreadas se han llamado zonas de hysteresis puesto que exhiben un fenómeno de memoria de la historia anterior de la emulsión, por analogía con los fenómenos magnéticos. Se ha logrado interpretar este fenómeno mediante la teoría de las catastrofes, razón por la cual se ha usado el adjetivo "catastrófico" para este tipo de inversión.

Desde el punto de vista práctico este fenómeno de memoria permite extender las regiones en que pueden existir los diferentes tipos de emulsiones, más allá de lo que preveía el mapa formulación-composición convencional, y con propiedades extrapoladas. Por ejemplo se puede preparar una emulsión de muy alto contenido de fase interma como la mayonesa por esta vía.

En el caso de la mayonesa se requiere un contenido de fase interna (aceite) considerable que no es alcanzable directamente (porque tal composición caería en la zona B⁻). Se debe en la práctica preparar una emulsión O/W donde la fase agua es la yema de huevo que contiene también el surfactante hidrofílico. Esta emulsión original está situada en la zona A⁻. Luego se añade poco a poco aceite para desplazar el punto representativo hacia la izquierda. Gracias al fenómeno de histeresis se puede alcanzar una emulsión O/W de muy alto contenido de fase interna (ver figura 3).

Otra forma de fabricar una mayonesa es usar el dispositivo indicado en la figura 3 (derecha) que es un agitador que comporta una copa encima de la turbina. Esta copa impide que se forme un movimiento de succión axial y por tanto cuando se inicia la agitación, se mezcla solo el volumen que se encuentra debajo de la copa y que contiene relativamente poco aceite. En la etapa siguiente se

levanta levemente el sistema de agitación para incorporar más aceite, y así sucesivamente. Este procedimiento es esencialmente equivalente al anterior ya que la relación aceite/agua mezclada va aumentando cuando transcurre el tiempo. Sin embargo se puede hablar mas bien de programación espacial, cuando en el primer caso se tataba de programación temporal.

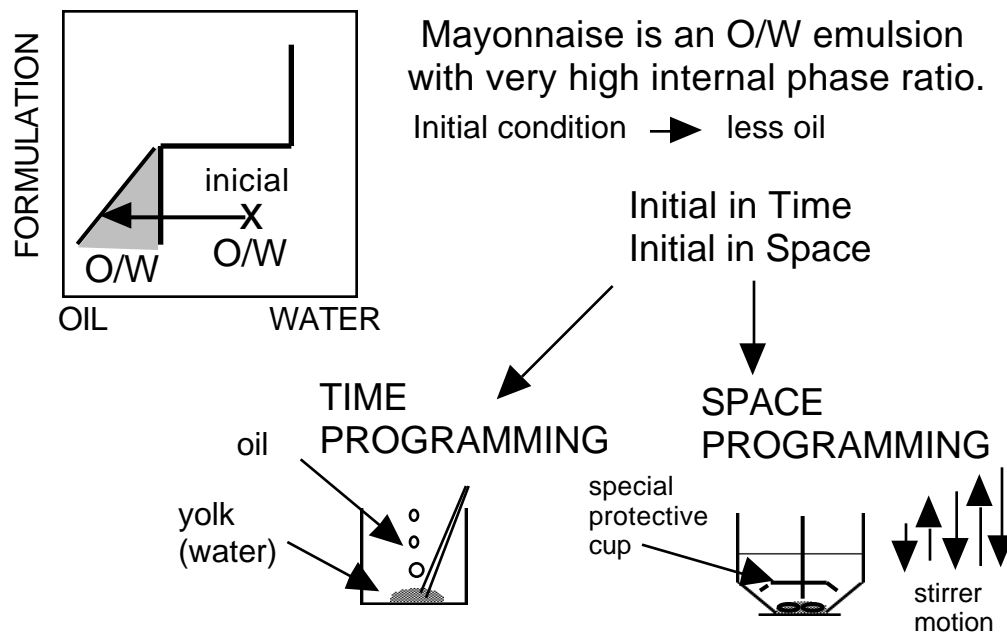


Figure 3: Programación temporal y espacial para fabricar mayonesa.

Desde el punto de vista práctico no se debe olvidar que la zona de histeresis es mayor a mayor distancia de la formulación óptima. Eso significa en el caso de la mayonesa que se debe trabajar a menor temperatura (surfactante noiónico) y con surfactante lo más hidrofílico posible (añadir mostaza a menudo produce tal efecto). Por otra parte la posición de las ramas verticales está afectada por otras variables como la concentración de surfactante, la viscosidad del aceite y la energía de agitación. Como consecuencia ocurre lo mismo para las zonas de histéresis.

Para aumentar la histeresis de la zona A^- en la dirección $B^- \rightarrow A^-$, se usará una concentración relativamente elevada, una agitación relativamente suave, y un aceite más viscoso (lo que "cuadra" con el uso de una temperatura baja).

El tipo de emulsión no es la única propiedad que se puede "memorizar". Se ha encontrado que se podía también "congelar" el tamaño de gota, lo que es de gran importancia puesto que de este depende otras propiedades como la viscosidad y la estabilidad. Por ejemplo supongamos que el problema práctico sea producir una emulsión O/W estable con gotas extremadamente finas con un agitador de bajo cizallamiento (porque el tanque mezclador es tan grande que no se puede agitar en forma turbulenta). El punto F en la figura 4 (izquierda) tiene una formulación y composición apropiada. Sin embargo al fabricar la emulsión en este sitio, se produce un tamaño de gota demasiado grande. El "truco" será entonces producir una emulsión fina en alguna parte del mapa (donde es más fácil hacerlo) y luego desplazar "rapidamente" dicha emulsión hacia el punto F antes de que el tamaño inicial de gota pueda cambiar. En el presente caso encontramos dos posiciones iniciales apropiadas indicadas como I_1 e I_2 .

I_1 está ubicado a la misma composición aceite/agua que F, pero es más cerca de la formulación óptima. En realidad se escoge I_1 tal que se encuentre exactamente en el punto donde se obtiene el mínimo tamaño de gota como compromiso entre tensión interfacial suficientemente baja y

coalescencia no demasiada rápida. Por tanto el proceso sería de fabricar la emulsión en I_1 y luego de desplazar la formulación rápidamente hasta F, por ejemplo enfriando la temperatura (si es un sistema no iónico) o inyectando una solución concentrada de surfactante hidrofílico bajo agitación.

La otra alternativa inicial I_2 está en la región A^- , cerca de la línea de inversión, donde se sabe que se produce una emulsión O/W muy viscosa. Se sabe también que en esta región la agitación es muy eficiente y que se puede fabricar una emulsión muy fina con un cizallamiento suave, que corresponde al aparato disponible. Después de fabricar esta emulsión fina de alto contenido de fase interna, se diluye añadiendo agua, a menudo en un mezclador estático, hasta alcanzar las condiciones del punto F.

Se puede combinar las dos alternativas anteriores (figura 4 derecha), iniciando en I_3 , que corresponde como I_1 a la formulación que da el menor diámetro de gota, pero con mayor contenido de fase interna para que sea más eficiente la agitación. Luego se desplazan a la vez la formulación y la composición como indicada en la figura 4. Al usar el fenómeno de memoria se alcanza una zona O/W de mayor contenido de fase interna que I_2 , y por tanto de mayor eficiencia de agitación. Es para eso que se debe aumentar la desviación a la formulación óptima. Finalmente se diluye la emulsión obtenida hasta la composición final F.

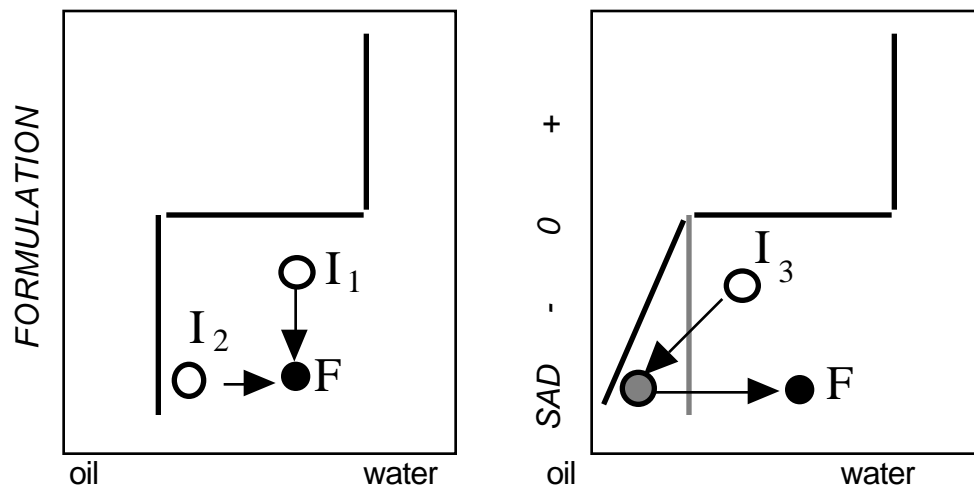


Figure 4: Utilización del fenómeno de memoria en la fabricación de emulsiones

CONCLUSIONES

El estado del arte corriente relativo a la influencia de la formulación, de la composición y de la agitación sobre el tipo y las propiedades de las emulsiones puede organizarse en una fenomenología generalizada que describe, por lo menos en forma cualitativa, las relaciones de causa a efecto.

Adicionalmente las propiedades de histéresis o de retraso a la inversión permiten extender esta fenomenología mas allá de lo que se puede al emulsionar sistemas surfactante-agua-aceite equilibrados.

REFERENCIAS recientes complementarias al Cuaderno FIRP N° 747 Parte D

Este cuaderno es solo una introducción a los fenómenos de inversión dinámica de una emulsión. Se encontrarán mas información en el siguiente capítulo de libro:

SALAGER J. L., Phase Transformation and Emulsion Inversion on the Basis of Catastrophe Theory, en *Encyclopedia of Emulsion Technology*, P. Becher Ed., vol. **3**, Cap. 2, 79-134, M. Dekker, New York (1988). *Capítulo de revisión*

y en las recientes publicaciones del lab. FIRP al respecto:

SALAGER J. L., MARQUEZ L., PEÑA A., RONDON M. J., SILVA F., TYRODE E., Current Phenomenological know-how and modeling of emulsion inversion, *Industrial Engineering Chemistry Research*, **39** (8), 2665-2676 (2000) *Artículo de revisión*

SILVA F., PEÑA A., MIÑANA-PEREZ M., SALAGER J. L., Dynamic inversion hysteresis of emulsions containing anionic surfactants, *Colloids & Surfaces A*: **132**, 221-227 (1998)

MIÑANA-PEREZ M., GUTRON C., ZUNDEL C., ANDEREZ J. M. SALAGER J. L., Miniemulsion formation by transitional inversion, *J. Dispersion Sci. Technology*, **20** (3) 893-905 (1999)

PEÑA A., SALAGER J. L., Effect of stirring energy upon the dynamic inversion hysteresis of emulsions, *Colloids & Surfaces A*: **181** (1-3), 319-323 (2001)

MARQUEZ L., ANTON R. E., GRACIAA A., LACHAISE J., RONDON-GONZALEZ M., SALAGER J. L., Morphology changes during phase inversion of micro and macroemulsions. Experimental results and modeling, *14th International Symposium "Surfactants in Solution"*, Barcelona-España, Junio 9-14, 2002

SALAGER J. L., FORGIARINI A., MARQUEZ L., PEÑA A., Emulsion inversion as a tool in industrial processes, Conferencia Plenaria, *3rd World Congress on Emulsion*, Lyon-Francia sept. 23-27, 2002 *Artículo de revisión*

ALLOUCHE J., TYRODE E., CHOPLIN L., SALAGER J. L., Evolution of emulsion properties along a transitional phase inversion process driven by temperature variation, Paper 094, *Proceedings 3rd World Congress on Emulsion*, Lyon-Francia, sept. 23-27, 2002

PEÑA A., ZAMBRANO N., MARQUEZ L., SALAGER J. L., Properties of emulsions on the onset of catastrophic phase inversion, Paper 185, *Proceedings 3rd World Congress on Emulsion*, Lyon-Francia, sept. 23-27, 2002

MARQUEZ L., GRACIAA A., LACHAISE J., SALAGER J. L., A third type of emulsion inversion attained by overlapping transitional and catastrophic regimes: The combined inversion process, Paper 180, *Proceedings 3rd World Congress on Emulsion*, Lyon-Francia, sept. 23-27, 2002

ZAMBRANO N., TYRODE E., MIRA I., MARQUEZ L., RODRIGUEZ M. P., SALAGER J. L. Emulsion Catastrophic Inversion from Abnormal to Normal Morphology. 1. Effect of Water-to-Oil Ratio Rate of Change on the Dynamic Inversion Frontier, *Industrial Engineering Chemistry Research*, **43**, (1) 50-56 (2003)

MIRA I., ZAMBRANO N., TYRODE E., MARQUEZ L., PENA A. A., PIZZINO A., SALAGER J. L., Emulsion Catastrophic Inversion from Abnormal to Normal Morphology. 2. Effect of Stirring Intensity on the Dynamic Inversion Frontier, *Industrial Engineering Chemistry Research*, **43** (1) 57-61 (2003)

ALLOUCHE J., TYRODE E., SATLER V., CHOPLIN L., SALAGER J.L., Emulsion morphology follow-up by simultaneous in situ conductivity and viscosity measurements during a dynamic temperature-induced transitional inversion, *3rd Int. Symposium on Food Rheology and Structure*, Conferencia Plenaria, Zurich-Suiza, Feb. 9-13, 2003.

Texto: Formulación, Composición y Fabricación de Emulsiones para obtener las Propiedades deseadas. Estado del Arte.

Parte D.

Fenómenos dinámicos y de memoria

Autor: Prof. Jean-Louis Salager

Referencia: Cuaderno FIRP 747 Parte D

Versión # 1 (15/01/2002)

Editado y publicado por:

Laboratorio FIRP

Escuela de INGENIERIA QUIMICA

UNIVERSIDAD de Los ANDES

Mérida 5101 VENEZUELA



Derechos reservados

Prohibida la reproducción sin autorización del autor
o del editor (Lab. FIRP, ULA)

Laboratorio FIRP, telef: (0274) 2402954 Fax: (0274) 2402957

e-mail: firp@ula.ve

Escuela de INGENIERIA QUIMICA,
UNIVERSIDAD de Los ANDES Mérida 5101 VENEZUELA

<http://www.firp.ula.ve>