

# PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DE TENSIOACTIVOS: APLICACION A LA FLOTACION DE MINERALES

---

José Morales Bruque

## INTRODUCCION

En las relaciones investigación-producción, nuestro país ha tenido que enfrentarse tradicionalmente a una relación escasa entre los sectores implicados, lo que ha conducido a un desarrollo tecnológico limitado e históricamente concentrado en los campos más fructíferos. Aunque en los últimos años han comenzado a ponerse en marcha iniciativas desde diversas instancias, entre las que se incluye el Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, destinado a la transferencia tecnológica, todavía sigue detectándose una falta de enlace entre el desarrollo de la investigación y la aplicación de las tecnologías.

Si esto es evidente en los sectores I+D enfocados a la gran producción, aún lo es más en el campo de la instrumentación. El desarrollo de tecnología punta necesita necesariamente unas herramientas adecuadas a los fines que se pretenden conseguir. Nuevamente se hace necesaria la mención a la escasa tradición de nuestros investigadores y técnicos, más acostumbrados y atraídos por la publicación científica de relevancia, en dónde la instrumentación no es más que un medio, que a la relación con el sector productivo.

Las causas de este divorcio investigación-industria son múltiples y complejas y se salen del marco de estas jornadas, por lo que voy a pasar a describir las líneas de investigación que sigo en el Departamento de Física de la Universidad que Extremadura y aunque en una primera aproximación pueden parecer inconexas arrancan de una misma raíz y giran entorno a la físico-química de interfases.

## FLOTACION POR ESPUMAS

El procedimiento de separación o enriquecimiento de minerales denominado "flotación por espumas" o simplemente "flotación", es una operación básica en la minería actual consistente en separar, después de haberlos liberado mediante una adecuada molienda, los distintos componentes de una mezcla heterogénea de especies minerales.

Durante muchos años, las investigaciones llevadas a cabo para una mejor comprensión de los procesos de flotación se habían realizado con mucho empirismo. Sin embargo, hoy es generalmente aceptado, que los procesos de flotación deben tratarse y de investigarse como procesos de heterocoagulación que se derivan del hecho de existir, durante el proceso de flotación, tres interfases (sólido/líquido, líquido/gas, y sólido/gas) en íntimo contacto, y únicamente una investigación orientada hacia una mejor comprensión de los procesos "elementales" que se ponen en juego en estas interfases, es el único camino que no conduce a interpretaciones fantasiosas y minimiza los costos en la investigación aplicada sobre un fenómeno tan importante desde el punto de vista económico.

La flotación es, en efecto, un proceso complejo que tiene lugar en un sistema disperso en el que coexisten partículas sólidas, líquido y burbujas de un gas (usualmente aire) en un régimen de relativa turbulencia hidrodinámica. En principio podría decirse que los fenómenos elementales que intervienen en un proceso de flotación se conocen relativamente bien, ya que han sido objeto de numerosos estudios, en especial durante los últimos veinticinco años (sobre todo a partir de los trabajos de Schulko y colaboradores, 1963). Sin embargo, lo que no es tan bien conocido es la forma y los mecanismos por los que estos distintos "fenómenos elementales (individuales)" interaccionan para producir unos determinados resultados globales. Pues bien, lo que ocurre es que no existe (hasta este momento) aún un modelo que explique satisfactoriamente lo que ocurre en el estadio "paso" fundamental en un proceso de flotación, que es la unión, desde la fase líquida, de una partícula sólida sobre una burbuja. Es decir, no se ha desarrollado un modelo que recoja de una forma unitaria todas las posibilidades de interacción que pueden intervenir en este proceso.

Es claro, por ello, que este es un tema aún abierto a la investigación, y en el que la física de interfases y la físico-química de dispersiones coloidales tienen aún mucho que aportar para el esclarecimiento de los mecanismos de interacción existentes en tales dispersiones de tres fases.

En el estado actual del tema, la tendencia es hacia el estudio de las mezclas de tensioactivos, en oposición a lo anteriormente realizado con reactivos puros, con lo que no se tenían en cuenta los efectos sinérgicos

derivados del hecho de que los colectores industriales son de hecho mezclas de tensioactivos homólogos.

## BIOTENSIOACTIVOS

Es un hecho conocido que el actual desarrollo de la Biología y en particular de la biología molecular y genética han abierto campos de utilización de los seres vivos que hasta la fecha parecían ciencia ficción. Muchas industrias cuyas actividades no contemplaban el empleo de sistemas biológicos han comprendido el potencial de los microorganismos vivos en multitud de procesos tales como, pretratamiento de materias primas, operaciones unitarias, tratamiento de residuos, etc.

De todas las aplicaciones técnicas citadas, aquellas que se basan en procesos en los que la tensión superficial es un factor primordial (detergencia, flotación de minerales, lucha contra mareas negras, etc.), han sido las primeras en que se emplearon sistemas vivientes para la producción de tensioactivos (BIOTENSIOACTIVOS). Entre los microorganismos productores de tensioactivos se encuentran bacterias, hongos y levaduras, pero todos ellos tienen en común su perfecto crecimiento en medios con alta proporción de hidrocarburos. Las aplicaciones técnicas basadas en la utilización de biotensioactivos presentan, por ahora, un gran desafío tecnológico con grandes posibilidades hacia campos de gran consumo en la sociedad industrializada. El futuro de los biotensioactivos y su competitividad, se basa en su posible utilización frente a otros de origen sintético con costos de mercado semejantes.

Históricamente fue la industria petrolífera la primera en emplear una solución de microorganismos para obtener una sustancia tensioactiva que liberara el petróleo ocluido en los poros (recuperación terciaria del petróleo "MEOR"), ampliándose posteriormente el campo de aplicación a la neutralización de accidentes derivados de mareas negras y escapes. En este campo concreto las ventajas están de parte de los biotensioactivos frente a los dispersantes químicos ya que los primeros actúan a la vez como dispersantes y emulsionantes con la ventaja añadida de su mayor biodegradabilidad.

En los últimos años se han encontrado nuevas áreas de aplicación para esta clase de productos, al mismo tiempo que se han aislado otros nuevos y aunque en la actualidad hay muy pocos biotensioactivos disponibles comercialmente, la investigación en este campo es intensa sobre todo por parte de la industria, dado el potencial volumen de negocio que se estima, para final de siglo, en 2.900 millones de dólares. Se puede decir que los esfuerzos investigadores, en el momento actual, se encuentran centrados en:

- abaratar el costo del cultivo.
- abaratar el proceso de producción.
- encontrar productos con propiedades específicas.

Otro problema distinto es aquel que está relacionado con los canales de información asequibles al investigador y al industrial y que hacen referencia a las características de algunos biotensioactivos. La realidad es que esta información es restringida y suele estar protegida por patentes.

Entre los nuevos campos de aplicación hemos de destacar el gran interés que ha despertado la reciente obtención por clonación de un biosurfactante que mejora sustancialmente el intercambio respiratorio en el caso de insuficiencia de surfactante pulmonar. Este trabajo es una muestra del potencial de la ingeniería genética en el campo de los surfactantes biológicos y es, concretamente, en el campo de la ingeniería genética donde, de acuerdo con nuestra última búsqueda bibliográfica, existe un menor esfuerzo investigador, ya que como se muestra en la bibliografía comentada el mayor esfuerzo se está realizando en los aspectos relacionados con la mejora de medios y condiciones de cultivo con objeto de aumentar la producción.

Estas nuevas perspectivas están basadas en el hecho de que los sistemas vivientes son los únicos que producen una gran variedad de productos de elevado interés, no sólo en la industria alimentaria o farmacéutica (donde su aplicación parece casi evidente) sino en campos tan insospechados como la recuperación terciaria del petróleo, la clarificación de aguas residuales, la minería o el control de emisiones de gases.

#### **INSTRUMENTACION: MEDIDA DE TENSIONES SUPERFICIALES E INTERFACIALES**

La tensión superficial de un fluido, tensión interfacial entre dos fluidos o el ángulo de contacto entre un fluido y un sólido son magnitudes cuya determinación es de gran importancia no sólo desde un punto de vista básico sino también desde un punto de vista aplicado, ya que en una gran cantidad de procesos de interés industrial (lubricación, detergencia, adhesión, flotación de minerales, etc.) estas magnitudes juegan un papel primordial.

Para la determinación de estas magnitudes se han desarrollado distintas técnicas. De todos los métodos, el de la gota sésil o el de la gota pendiente (sessile drop method y pendant drop method) han sido y son los de más amplia utilización. Sin embargo también son métodos que no han evolucionado tecnológicamente; básicamente se siguen empleando dispositivos experimentales que en muy poco se apartan del primer diseño de Zisman en 1950. En el plano teórico, sin embargo, y a partir del año

1983 se han comenzado a publicar una serie de artículos en los que se describen métodos analíticos para la determinación de las magnitudes citadas tomando como datos las dimensiones de las gotas, en unos casos medidas directamente con el goniómetro, en otros midiendo sobre una fotografía y en algún caso tratando digitalmente la imagen obtenida mediante una cámara adaptada al microscopio. Creo que no es necesario hacer hincapié en las ventajas de todo orden que posee la adquisición directa de una imagen digital frente a la observación directa e incluso a la digitalización de una foto.

#### **DISPOSITIVO DE MEDIDA (DISEÑO ACTUAL)**

El dispositivo de medida consta básicamente de un microscopio de pocos aumentos provisto de un ocular con goniómetro, una plataforma con posibilidad de movimiento horizontal y vertical mediante tornillos micrométricos con nonios y un sistema de iluminación con colimador y filtros antitérmico y de contraste. Como elementos auxiliares se incorporan una cámara para mantener la muestra a temperatura constante y una jeringuilla, con émbolo accionado mediante un tambor micrométrico, para formar las gotas. En el caso de la tensión interfacial esta jeringuilla se sitúa en un soporte solidario con la plataforma móvil. El montaje de estos elementos adopta la forma que se muestra en la documentación de Rame-Hart o la de Kruss y Erma.

De los instrumentos existentes en el mercado que yo conozca, el último modelo de la casa Kruss (introducido en el mercado a principios de 1990), es el único que incorpora la técnica de análisis de imagen a la determinación del ángulo de contacto permaneciendo sin automatizar el resto de las manipulaciones del método operativo. Por ello creemos que el dispositivo que pretendemos construir representaría una novedad en el mercado al no existir en el momento actual instrumento de prestaciones equivalentes a la del que se proyecta.

#### **INTERES EN ESTE TIPO DE INSTRUMENTACION**

Como ya hemos dicho en la introducción, las magnitudes que se determinarían, con el instrumento que nos proponemos diseñar, son de gran interés no sólo desde un punto de vista básico, sino también desde un punto de vista aplicado, al ser su valor determinante en el diseño de una gran cantidad de procesos industriales, por lo que su uso no está restringido al campo de la investigación pura sino que muchos laboratorios industriales de investigación y control hacen uso de este tipo de instrumentos, como lo demuestra la relación de usuarios adjuntada como propaganda por la casa RAME-HART.