



La tecnología de fluidos supercríticos, un proceso limpio para el sector industrial*

Ángela María Velásquez Valderrama¹

The technology of supercritical fluids, a clean process for the industrial sector

A tecnologia de fluidos supercríticos, um processo limpo para o setor industrial

RESUMEN

La tecnología de fluidos supercríticos ha tenido un notable interés industrial en las últimas tres décadas. Esto se ha debido a diversos factores tales como, desarrollo de procesos con un directo impacto tecnológico, una mayor divulgación, un mayor conocimiento de esta tecnología por parte de la industria y los investigadores, así como a una creciente tendencia al uso de tecnologías verdes.

El objetivo del presente artículo es proporcionarle al lector una panorámica de la llamada tecnología de los solventes verdes, la tecnología de los fluidos supercríticos.

Palabras clave: Extracción. Fluidos supercríticos.

* Investigación financiada con apoyo del Fondo para el Desarrollo de la Investigación de la Corporación Universitaria Lasallista. Línea de investigación: Tecnologías emergentes. Semillero INNOVA, Grupo de Investigación GRIAL

¹ Ingeniera Química, Magíster en Desarrollo. Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Ingenierías y Coordinadora de Laboratorios, Corporación Universitaria Lasallista. Investigadora del grupo GRIAL y del grupo GAMA

Correspondencia: Ángela María Velásquez Valderrama, email: anvelasquez@lasallista.edu.co

Fecha de recibo: 17/09/2008; fecha de aprobación: 24/11/2008

ABSTRACT

The technology of supercritical fluids has had a remarkable industrial interest in the last thirty years, due to several factors such as the development of processes with a direct technological impact, more communication, a better knowledge of the technology among industries and their researchers and a tendency to use green technologies.

The objective of this work is to provide a view of the technology called green solvents, the supercritical fluids technology.

Keywords: Extraction, Supercritical fluid.

RESUMO

A tecnologia de fluidos supercríticos experimentou um notável interesse industrial nas últimas três décadas. Isto se deve a diversos fatores tais como, desenvolvimento de processos com um direto impacto tecnológico, uma maior divulgação, um maior conhecimento desta tecnologia por parte da indústria e os pesquisadores, bem como uma crescente tendência ao uso de tecnologias verdes. O objetivo do presente artigo é proporcionar-lhe ao leitor uma panorâmica da chamada tecnologia dos solventes verdes, a tecnologia dos fluidos supercríticos.

Palavras chaves: Extração. Fluidos supercríticos.

INTRODUCCIÓN

Los métodos de extracción convencionales empleados tanto a nivel industrial como a nivel de laboratorio, utilizan costosos y tóxicos solventes orgánicos, nocivos tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Además se acompañan de altas temperaturas que aceleran la degradación de los productos de interés y la formación de impurezas.

Actualmente se ha promovido la investigación de nuevas tecnologías más respetuosas con el medio ambiente, que no representen ningún riesgo para la salud y garanticen una calidad superior de los productos. Entre ellas emerge la llamada *tecnología de fluidos supercríticos*, basada en la utilización de un fluido, precisamente supercrítico, como disolvente alternativo, siendo el más utilizado el dióxido de carbono, CO₂, supercrítico.

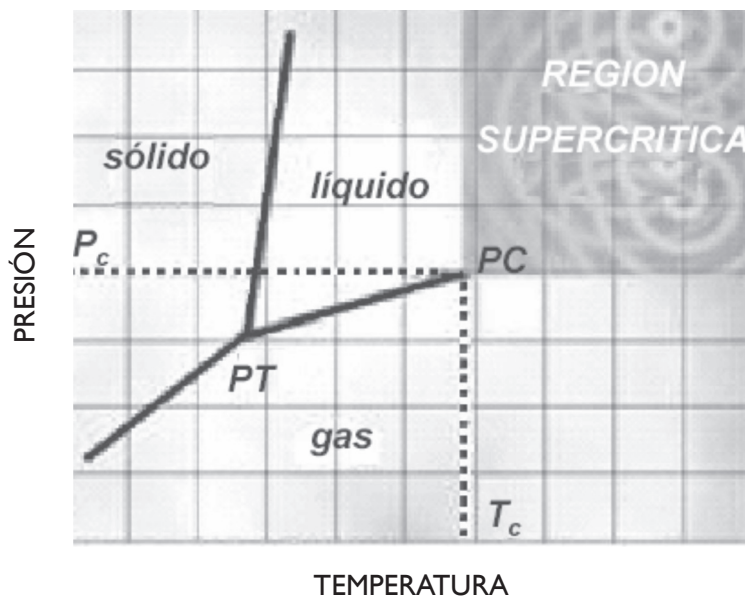
La extracción con fluidos presurizados es una tecnología que coincide con las exigencias actuales del mercado en el sentido de promover el uso de procesos de nulo impacto ambiental, cada vez más limpios en términos ecológicos, que cumplan la normativa en cuanto a las restricciones de utilización de solventes contaminantes y que respondan a la creciente demanda de productos naturales por parte del consumidor ¹.

Se pretende con este artículo proporcionarle al lector una panorámica de la llamada tecnología de los solventes verdes, la tecnología de los *fluidos supercríticos*.

FLUIDO SUPERCRÍTICO (FSC)

Al analizar el diagrama de fases de una sustancia pura (Figura 1), se observa que los tres estados de la materia están separados por líneas que representan los equilibrios sólido-líquido o de fusión, sólido-gas o de sublimación y líquido-gas o de vaporización. También aparecen dos puntos característicos: el *punto triple*, PT, donde coexisten los tres estados, y el *punto crítico*, PC, al final de la curva de vaporización. Se advierte, además, que la línea de vaporización, línea PT – PC, tiene la singularidad de desaparecer en el punto PC, el *punto crítico*, a unos valores termodinámicos de presión y temperatura que se denominan *presión crítica* (P_c) y *temperatura crítica* (T_c), respectivamente^{2,3}.

Figura 1. Diagrama de fases.
(PT: punto triple, PC: punto crítico, P_c : presión crítica, T_c : temperatura crítica)



Cuando una determinada sustancia se encuentra a valores superiores a los de su punto crítico se le conoce como *fluido supercrítico*. Bajo estas condiciones no se licua por más que se aumente la presión ni se vaporiza por más que la temperatura se eleve. Por consiguiente, la fase líquida es indistinguible de la fase vapor. En este punto la sustancia no puede considerarse ni como gas ni como líquido^{4,5}. Este comportamiento se ve reflejado en las características que poseen los FSC, ya que algunas de ellas son inherentes a los gases y otras a los líquidos.

Al observar la Tabla I se pueden comparar algunas propiedades físicas de los fluidos supercríticos con las de los gases y las de los líquidos. La densidad de un fluido supercrítico es similar a la de los líquidos, lo que le confiere la característica de poseer un gran poder solvatante, mientras que la viscosidad es similar a la de

los gases y la difusividad es superior a la de los líquidos, propiedades que favorecen la capacidad de penetración en matrices porosas y permitiendo con ello el agotamiento rápido y prácticamente total de los sólidos extraíbles⁶⁻⁸.

Tabla 1. Valores típicos de densidad, viscosidad y difusividad para gases, FSC y líquidos

PROPIEDAD	GAS	FSC	LÍQUIDO
Densidad, Kg/m ³	1	100 – 900	600 - 1600
Difusividad, mm ² /s	1 – 10	0,01 – 0,1	0,001
Viscosidad, cP	0,01	0,05 – 0,1	0,5 – 1,0

Los valores que toman las propiedades termodinámicas (T, P) en el estado supercrítico son propios de cada sustancia (Tabla 2)⁹.

Tabla 2. Parámetros críticos del agua, el monóxido de carbono y el metanol

FLUIDO	TEMPERATURA CRÍTICA, °C	PRESIÓN CRÍTICA, bar
Agua	374,2	220,5
Dióxido de carbono	31,1	73,8
Metanol	239,5	81,0

PROCESO DE EXTRACCIÓN MEDIANTE FSC

La extracción supercrítica es una operación unitaria de transferencia de masa que se efectúa por encima del punto supercrítico del solvente, similar a la extracción clásica con la particularidad de utilizar como agente extractor un FSC en lugar de un líquido^{4,5}.

El proceso de extracción con fluidos supercríticos básicamente consiste de cuatro etapas^{6,3}:

1. Etapa de presurización: se eleva la presión del gas a utilizar como solvente a un valor P_1 por encima de su presión crítica P_c ; esta operación se realiza por medio de un compresor o bomba.
2. Etapa de ajuste de temperatura: se remueve o adiciona energía térmica, ya sea con un intercambiador de calor, baños térmicos o resistencias eléctricas, para llevar el solvente comprimido a la temperatura de extracción requerida, estado que está por encima de su temperatura crítica.
3. Etapa de extracción: se conduce el FSC al extractor donde se encuentra la muestra o materia prima que contiene el soluto de interés.
4. Etapa de separación: el gas se descomprime a una presión P_2 inferior a la presión crítica, liberándose el soluto en un recipiente separador.

La mayor ventaja de la extracción mediante fluidos supercríticos es su menor impacto en el medio ambiente. Es una tecnología limpia porque, al usar sustancias como el CO_2 o el agua, los residuos que se producen no son tóxicos y se reciclan fácilmente⁵. La posibilidad de eliminar de forma rápida el exceso del fluido supercrítico por simple despresurización y recolección de los analitos concentrados es otra ventaja importante.

La alta inversión requerida para el montaje de un equipo de extracción con fluidos supercríticos, así como los pocos datos relativos a equilibrios de fases y de transferencia de materia en sistemas complejos, han impedido el empleo masivo de esta técnica de extracción, obligando al investigador a diseñar empíricamente las condiciones operativas ingenieriles y termodinámicas en la mayoría de los casos².

APLICACIONES DE LA EXTRACCIÓN CON FSC

El proceso de extracción con fluidos supercríticos es altamente efectivo para aplicaciones en *procesos químicos, farmacéuticos, alimentarios, de eliminación de residuos y en la industria del petróleo*¹⁰. Por ejemplo, en el caso del tratamiento de residuos, los fluidos supercríticos vienen a sustituir a la incineración, que debido a las altas temperaturas que requiere emite gran cantidad de sustancias tóxicas. Sin embargo, mediante el uso de fluidos supercríticos, se consiguen los mismos resultados y los residuos son tan sólo sustancias inorgánicas no contaminantes, como nitrógeno o dióxido de carbono.

El principal aspecto innovador de la tecnología de los FSC reside en su uso para extraer el crudo derramado en alta mar. Los fluidos supercríticos reducen la viscosidad de la mayor parte del crudo posibilitando su extracción hasta la superficie, donde es recogido^{5,9}.

La extracción de productos naturales -como la cafeína del café para obtener el descafeinado o producir alimentos sin colesterol-, la limpieza y protección de superficies contaminadas con pesticidas u otros tipos de sustancias y la obtención de compuestos más pequeños y más fácilmente asimilables por el cuerpo que los obtenidos por los métodos tradicionales, son algunos de los procesos en los que se emplea esta tecnología^{6,10}.

CONCLUSIÓN

Actualmente en el mercado mundial se ha promovido la investigación de nuevas tecnologías más respetuosas con el medio ambiente, que no representen ningún riesgo para la salud y garanticen una calidad superior de los productos. La extracción con fluidos presurizados es una tecnología que coincide con estas exigencias.

La tecnología en fluidos supercríticos ha recibido un notable interés industrial en las últimas tres décadas. Sin embargo, su desarrollo y aplicación en el país son aún incipientes. Es necesario profundizar en el dominio y conocimiento de la tecnología de FSC, pues muy probablemente la información que de esta tarea se derive permitirá que nuestros investigadores contextualicen los resultados bajo la óptica de nuestros recursos naturales, generando extracciones a nivel laboratorio con un muy seguro y exitoso escalamiento a nivel industrial.

REFERENCIAS

1. PASQUEL, Antonio; et al. Extracción del aceite de la cáscara de bactris gasipaes HBK usando dióxido de carbono presurizado. En: *Amazónica de Investigación Alimentaria*. Vol.2, No. 1 (2002); p. 1 - 14.
2. PRADA ALONSO, Fabián. Extracción con fluidos supercríticos: realidad o fantasía. En: *Química e Industria*. Vol. 22, No. 1 (Enero – junio de 2001); p. 20 - 23
3. 10. VALDERRAMA MENDEZ, José Omar. O et al. Procesos de separación mediante extracción supercrítica: modelado del equilibrio entre fases. En: *Ingeniería Química*. N° 394 (2002), p. 380 - 399
4. CASTAÑEDA, D. M.; GALLEGRO, L. C. y MORA VARGAS M. Diseño conceptual de un sistema de extracción supercrítica con CO₂. En: *Ingeniería Química*, N° 415 (2004); p. 165 – 169.
5. 9. VALVERDE GARCÍA, Antonio. Extracción con Fluidos Supercríticos: principios y aplicaciones al análisis de residuos de plaguicidas. México: Universidad de Rioja, 1995. [En línea]. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1977113> [Citado en noviembre de 2008].
6. ESQUIVEL F. Angélica y VARGAS, Pedro. Uso de aceites esenciales extraídos por medio de fluidos supercríticos para la elaboración de alimentos funcionales.: En: *Tecnología en Marcha* [En línea] Vol. 20 N°4, Octubre/Diciembre 2007. p. 41 - 50. http://www.itcr.ac.cr/publicaciones/tecnologia_marcha/pdf/tecnologia_marcha_24-4/20-4%2041-50.pdf [Citado en noviembre de 2008]
7. SOTELO SANCHO, José Luís y OVEJERO ESCUDERO, Gabriel. Procesos con fluidos supercríticos. Madrid: Universidad Complutense, 18 de abril de 2008. [En línea] http://dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=762320&orden=0 [Citado en noviembre de 2008].
8. 11. VELASCO, Reinaldo y VILLADA, Héctor S. Modelado de los fluidos supercríticos. En: Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad del Cauca [En línea]. Vol. 4, N° 1 Marzo de 2006, p. 135 – 143. <http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol4/15.pdf> [Citado en noviembre de 2008].
9. GARCÍA VERDUGO, Eduardo. Fluidos Supercríticos. [En línea]. http://www2.unia.es/nuevo_inf_academica/visualizar_file_Adjunto.asp?ID=1607 [Citado en noviembre de 2008].

10. 4. GALLEGO, L. C. y CARDONA, C.A. Aplicaciones industriales de los fluidos supercríticos. En: Ingeniería Química. N°. 413 (2004); p. 210 – 219.
11. CSEHÁTI, Tibor; et al. Separation and quantitation of colour pigments of chili powder (*Capsicum frutescens*) by high – performance liquid chromatography – diode array detection. En: Journal Chromatography. Vol. 896, N° 1-2 (2000); p. 69 - 73.