

# TERMO



# 2010

XII Encuentro Inter-Bienal  
del Grupo Especializado de  
Termodinámica  
(GET)

Las Palmas de Gran Canaria  
Del 5 al 8 de septiembre

## RESÚMENES DE LAS COMUNICACIONES

EDITORES

José Luis Trenzado Diepa  
Ylenia F. Rodríguez Delgado



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA



XII Encuentro Inter-Bienal del Grupo Especializado  
de Termodinámica de las Reales Sociedades  
Españolas de Física y Química

**LIBRO DE RESÚMENES**

5 a 8 de septiembre de 2010

Eurostars Las Canteras

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Las Palmas de Gran Canaria

**Edita** Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

© Servicio de Reprografía, Encuadernación y Autoedición

## Índice

---

<b>Comités y Organización Local.....</b>	<b>Pág. 1</b>
<b>Información General .....</b>	<b>Pág. 2</b>
<b>Presentación .....</b>	<b>Pág. 3</b>
<b>Programa Resumen .....</b>	<b>Pág. 5</b>
<b>Programa del Encuentro.....</b>	<b>Pág. 7</b>
<b>Conferencias Invitadas.....</b>	<b>Pág. 11</b>
<b>Comunicaciones Orales .....</b>	<b>Pág. 17</b>
<b>Pósters .....</b>	<b>Pág. 35</b>
<b>Índice de Autores .....</b>	<b>Pág. 87</b>

## **Comité Organizador**

---

Dr. José Luis Trenzado Diepa	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Dr. Salvador Galván Herrera	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Dr. Emilio González Alfonso	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
D. Luis Darías Acosta	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Dra. Esther Romano Mendoza	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Dra. M <sup>a</sup> Nieves Caro García-Quismondo	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

## **Comité Científico**

---

Dr. Jaime Amorós Arnau	Universidad de Cantabria
Dr. Carlos Casanova Roque	Universidad de Valladolid
Dr. José Ramón Solana Quirós	Universidad de Cantabria
Dra. M <sup>a</sup> Rosario Heras Celemín	CIEMAT
Dra. Josefa Fernández Pérez	Universidade de Santiago de Compostela
Dr. Salvador Galván Herrera	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Dr. Emilio González Alfonso	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Dr. José Santiago Matos López	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Dr. Luis Romaní Martínez	Universidade de Vigo
Dr. José Luis Trenzado Diepa	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

## **Organización Local**

---

**Grupo de Termofísica de Líquidos (TERMOLIQ)**  
**Departamento de Física. Edificio de Ciencias Básicas**  
**Campus de Tafira. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria**

## **Información General**

---

**Fecha del Congreso:** Domingo, 5 de septiembre a Miércoles, 8 de septiembre de 2010

**Recogida de Documentación:** Domingo 5 de septiembre de 18:00 a 21:00 h  
Lunes 6 de septiembre de 9:00 a 9:30 h

## **Presentación**

---

Queridos compañeros,

Ante todo, deseamos daros la bienvenida a esta duodécima edición del Encuentro Inter-Bienal del Grupo Especializado de Termodinámica (GET) de las Reales Sociedades Españolas de Física y Química.

Deseamos igualmente felicitaros por vuestra valiosa contribución al empeño, que todos compartimos, de desarrollar la Termodinámica, convencidos como estamos de que esta disciplina tiene una importante relevancia científica y tecnológica. En ese sentido, los Encuentros Inter-Bienales del GET contribuyen decisivamente a promover el intercambio de información entre investigadores del ámbito nacional; ayudando a conocer mejor cuáles son las necesidades y oportunidades reales de los nuevos temas de investigación en el ámbito de la Termodinámica.

En este volumen se recogen los 35 resúmenes de otras tantas comunicaciones enviadas a este XII Encuentro Inter-Bienal de GET – TERMO 2010, quedando finalmente estructurado el programa en 2 conferencias invitadas, 8 comunicaciones orales y 25 presentadas en forma de póster. Nos sentimos satisfechos por el nivel de participación alcanzado y también porque se ha conseguido que tomen parte en el Encuentro muchos jóvenes investigadores, que es uno de los objetivos importantes de nuestro Grupo.

Nos acoge Las Palmas de Gran Canaria, ciudad donde se combinan la tradición, la modernidad y la naturaleza con el mejor clima del mundo. Aquí convivimos con el Océano Atlántico a través de nuestras playas que, además de ser referentes del paisaje urbano, simbolizan una forma de entender la vida que hace que nuestras gentes sean cordiales y abiertas. El barrio de Vegueta, de alto valor histórico y estilo colonial, la playa de Las Canteras, una de las mejores de Europa, la Calle Mayor de Triana, núcleo comercial en un entorno de arquitectura modernista o el emblemático parque de Santa Catalina, lugar de ocio de imborrable carácter portuario, son algunas de las señas de identidad de nuestra ciudad.

Esperamos que disfrutéis de las actividades programadas y de vuestra estancia en esta ciudad acogedora y estimulante que es Las Palmas de Gran Canaria.

¡Bienvenidos!

***Comité Organizador***

## Programa Resumen

En el siguiente cuadro aparece el esquema preliminar del programa del XII Encuentro Interbiental del GET. Además de las dos conferencias invitadas se proponen dos Sesiones de Comunicaciones Orales cortas (10 minutos de exposición y 5 minutos de discusión) y una Sesión de Pósters.

<b>Hora</b>	<b>Domingo 5</b>	<b>Lunes 6</b>	<b>Martes 7</b>	<b>Miércoles 8</b>
9:00-9:30		<b>Recogida Documentación</b>	<b>EXCURSIÓN POR LA ISLA</b>	
9:30-10:00		<b>Palabras de Bienvenida</b>		
10:00-10:30		<b>Comunicaciones Orales O1-O5</b>		<b>Comunicaciones Orales O6-O8</b>
10:30-11:00				
11:00-11:30		<b>Pausa café</b>		<b>Pausa café</b>
11:30-12:00		<b>Conferencia Invitada Dra. M<sup>a</sup> Rosario Heras</b>		<b>Conferencia Invitada Dr. David Bessières</b>
12:00-12:30				
12:30-13:00				
13:00-13:30				
13:30-14:00		<b>Almuerzo</b>		<b>Almuerzo</b>
14:00-14:30				
14:30-15:00				
15:00-15:30				
15:30-16:00				
16:00-16:30		<b>Sesión de Pósters</b>		<b>Despedida</b>
16:30-17:00				
17:00-17:30				
17:30-18:00				
18:00-18:30		<b>Reunión GET</b>		
18:30-19:00				
19:00-19:30	<b>Recogida Documentación</b>			
19:30-20:00				
20:00-20:30				
20:30-21:00				

## Programa del Encuentro

### DOMINGO 5 DE SEPTIEMBRE DE 2010

18:00	Recogida de Documentación
-------	---------------------------

### LUNES 6 DE SEPTIEMBRE DE 2010

9:00	Recogida de Documentación
9:30	Palabras de Bienvenida

#### COMUNICACIONES ORALES – Sesión 1: O1-O5

10:00 O1	APORTACIONES DE LA MICROCALORIMETRÍA EN IDENTIFICACIÓN PRECOZ DEL CRECIMIENTO BACTERIANO. N. Lago, J.L. Legido, I. Arias, F. García (Universidade de Vigo)	Pág. 19
10:15 O2	DIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS DE MATADERO. EFECTO DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS. A. González-González, F. Cuadros, J. Amaya, A. García, A. Ruiz-Celma, M. Tapia, A. Vizcaino, F. López-Rodríguez (Universidad de Extremadura)	Pág. 21
10:30 O3	ESTADO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA Y PORTUGAL. PROYECTOS EN MARCHA. F. Cuadros, A. González-González, J. Amaya, A. García, A. Ruiz-Celma, M. Tapia, A. Vizcaino, F. López-Rodríguez (Universidad de Extremadura)	Pág. 23
10:45 O4	PROPIEDADES INTERFACIALES DE AGUA, METANO Y CO <sub>2</sub> : INTERFASES FLUIDAS Y CONFINAMIENTO J.M. Míguez, F.J. Blas, C. dos Ramos, D. González-Salgado, J.L. Legido, M.M. Piñeiro (Universidade de Vigo, Universidad de Huelva, Vanderbilt University)	Pág. 25
11:00 O5	SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE Co <sub>2</sub> B. ESTUDIO COMPUTACIONAL M. de Dios, A.B. Davila-Ibáñez, V. Salgueiriño, M.M. Piñeiro (Universidade de Vigo)	Pág. 27
11:30	Pausa café	
12:00	Conferencia Invitada Dra. M <sup>a</sup> del Rosario Heras Celemín (Directora del Programa de Investigación de Arquitectura Bioclimática del CIEMAT y Presidenta de la Real Sociedad Española de Física.). <i>"Los físicos y la I+D en las aplicaciones térmicas para la arquitectura sostenible"</i>	Pág. 13
13:30	Almuerzo	

#### SESIÓN DE PÓSTERS

16:00 P1	ESTUDIO COMPARATIVO DE DIVERSAS PARAMETRIZACIONES DE LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE FLUIDOS DE POZO CUADRADO DE RANGO VARIABLE. A. Díez, J. Largo, J.R. Solana (Universidad de Cantabria)	Pág. 37
-------------	--	------------

P2	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Y PERMITIVIDAD DE NANOFLUIDOS CON BASE AGUA MILLI-Q Y NANOPARTICULAS DE ALUMINA. R. Iglesias, M.A. Rivas, T.P. Iglesias (Universidade de Vigo)	Pág. 39
P3	PRIMEROS RESULTADOS DE LA CO-DIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS DE MATADERO CON RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DEL TOMATE. A. González-González, F. Cuadros, J. Amaya, A. García, A. Ruiz-Celma, M. Tapia, A. Vizcaíno, F. López-Rodríguez (Universidad de Extremadura)	Pág. 41
P4	INFLUENCIA DEL MÉTODO DE ELABORACIÓN DE SURIMI DE JUREL EN LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL INTERVALO VISCOELASTICO LINEAL DE SUS GELES DEFINITIVOS L. Iglesias, E. Carballo, C.A. Tovar (Universidade de Vigo)	Pág. 43
P5	EFFECTO DEL MÉTODO DE ELABORACIÓN DE SURIMI DE JUREL EN LA VISCOELASTICIDAD DE SUS GELES L. Iglesias, E. Carballo, C.A. Tovar (Universidade de Vigo)	Pág. 45
P6	COMPORTAMIENTO FRENTE A TEMPERATURA Y PRESIÓN DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA DE LÍQUIDOS IÓNICOS L. Romani, J. Troncoso, P. Navia (Universidade de Vigo)	Pág. 47
P7	SIMULACIÓN MOLECULAR DE FLUIDOS CONFINADOS, INFLUENCIA DEL POTENCIAL DE INTERACCIÓN CON EL SUSTRATO J.M. Míguez, G. Pérez-Sánchez, D. González-Salgado, J.L. Legido, M.M. Piñeiro (Universidade de Vigo)	Pág. 49
P8	PRUEBAS DE UN NUEVO EBULLÓMETRO PARA LA DETERMINACIÓN ELV A MEDIAS PRESIONES J.J. Rodríguez, R.J. Rios, A.J. Sosa, P. Susial (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria)	Pág. 51
P9	EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR DEL ACETATO DE METILO + METANOL A DIFERENTES PRESIONES. SISTEMAS BINARIOS R.J. Rios, J.J. Rodríguez, A.J. Sosa, P. Susial (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria)	Pág. 53
P10	DETERMINACIÓN DEL EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR EN MEZCLAS BINARIAS ESTER + N-ALKANOL A 700 KPA J.J. Rodríguez, R.J. Rios, A.J. Sosa, P. Susial (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria)	Pág. 55
P11	ESTUDIO DEL ELV EN MEZCLAS BINARIAS ESTER + N-ALKANOL A MODERADAS PRESIONES R.J. Rios, J.J. Rodríguez, A.J. Sosa, P. Susial (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria)	Pág. 57
P12	CARACTERIZACIÓN DE PELLETS DE RESIDUOS DE TOMATE INDUSTRIAL A.R. Celma, M.T. Delgado, A.M.V. Galán, F.C. Blázquez, A.G. González, F.L. Rodríguez (Universidad de Extremadura)	Pág. 59
P13	SÍNTESIS DE NANOPARTICULAS MAGNÉTICAS N. Fontaiña-Troitño, V. Salgueiriño, J.L. Legido (Universidade de Vigo)	Pág. 61
P14	DENSIDAD Y TENSIÓN SUPERFICIAL DE MEZCLAS BINARIAS DE LÍQUIDOS IÓNICOS EMIM-CnS + ETANOL A 25,0°C E. Rilo, L. Segade, S. García-Garabal, M. Domínguez-Pérez, J. Pico, O. Cabeza (Universidade da Coruña)	Pág. 63

P15	ENTALPIAS MOLARES DE EXCESO DE LOS SISTEMAS BINARIOS DIBUTIL ÉTER + ISÓMEROS DEL PENTANOL A 35°C M. Domínguez-Pérez, M. Cabanas, E. Rilo, S. García-Garabal, L. Segade, J. Pico, O. Cabeza (Universidade da Coruña)	Pág. 65
P16	SECADO CONVECTIVO EN CAPA FINA DE ALPECHÍN PROCEDENTE DE LA INDUSTRIA ALMAZARERA A.R. Celma, A.M.V. Galán, M.T. Delgado, F.C. Blázquez, F.L. Rodríguez, A.G. González (Universidad de Extremadura)	Pág. 67
P17	ANÁLISIS DEL CALOR ESPECÍFICO DE MEZCLAS DE CAOLÍN CON DISTINTAS AGUAS L.M. Casás, J.L. Legido, L. Mourelle, F. Plantier, D. Bessières (Université de Pau et des Pays de l'Adour, Universidade de Vigo)	Pág. 69
P18	PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE LA MEZCLA NH <sub>3</sub> /NaSCN S.K. Chaudhari, L.H. Martínez-Palmeth, E.B. Rua, D. Salavera, A. Coronas (Universidad Rovira i Virgili)	Pág. 71
P19	ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE CICLOS DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN CON NH <sub>3</sub> /NASCN L.H. Martínez-Palmeth, D. Salavera, J.C. Bruno, A. Coronas (Universidad Rovira i Virgili)	Pág. 73
P20	ESTUDIO DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA DE PELOIDES TERMALES C. Gómez, L.M. Mourelle, C. Medina, L.M. Casas, L. Romani, J.L. Legido (Universidade de Vigo)	Pág. 75
P21	BIO-FUNCIONALIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS CON APLICACIÓN EN PROCESOS DE HIPERtermia R. Marino-Fernandez, V. Salgueiriño, V.S. Martínez-Zorzano, F.J. Rodríguez-Berrocal, J.L. Legido (Universidade de Vigo)	Pág. 77
P22	APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN PC-SAFT A LAS MEZCLAS ALCOXIETANOL + n-ALCANO J. Vijande, L. Lugo, J.L. Legido, J. García (Universidade de Vigo)	Pág. 79
P23	ELV ISOTERMICO DEL SISTEMA BINARIO 1-BUTANOL + 1,8-CINEOL ENTRE 278,15 K Y 323,15 K B. Gimeno, A.M. Mainar, J.S. Urieta, P. Pérez (Universidad de Zaragoza)	Pág. 81
P24	SISTEMA LINALOOL + 1-PROPANOL: ESTUDIO EXPERIMENTAL Y TEÓRICO DEL COMPORTAMIENTO P-ρ-T DE 20 a 40 MPa S.M. García-Abarrio, M. Torcal, M.L. Haya, J.S. Urieta, A.M. Mainar (Universidad de Zaragoza)	Pág. 83
P25	EQUILIBRIO DE FASES DEL SISTEMA 1,8-CINEOL + ETANOL M. Torcal, S.M. García-Abarrio, L. Martín, J.I. Pardo, J.S. Urieta, A.M. Mainar (Universidad de Zaragoza)	Pág. 85
17:30	Reunión del Grupo Especializado de Termodinámica	

**MARTES 7 DE SEPTIEMBRE DE 2010**

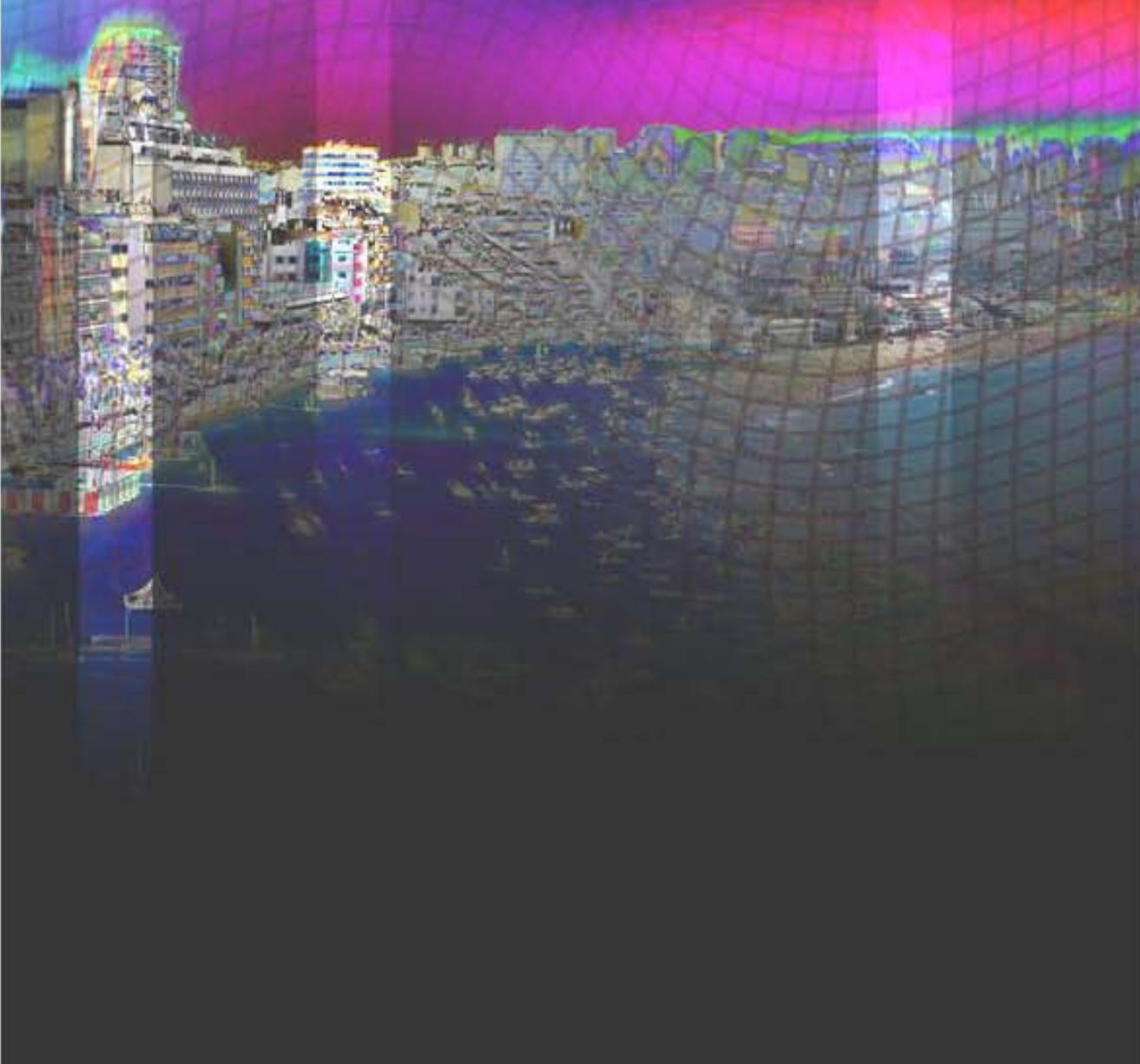
---	Excursión por la isla
-----	-----------------------

**MIÉRCOLES 8 DE SEPTIEMBRE DE 2010**

**COMUNICACIONES ORALES – Sesión 2: O6-O8**

10:00 O6	INFLUENCIA DEL ANIÓN, EL CATIÓN Y LA TEMPERATURA EN LA DENSIDAD Y VISCOSIDAD DE TFE + LI <u>J. Salgado</u> , T. Regueira, L. Lugo, J. Vijande, J. Fernández, J. García (Universidade de Santiago de Compostela, Universidade de Vigo)	Pág. 29
10:15 O7	EVOLUCIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN TERRENOS AGRÍCOLAS REFORESTADOS B. Sande-Eslava, C. Pérez-Cruzado, A. Merino, <u>J.Salgado</u> (Universidade de Santiago de Compostela)	Pág. 31
10:30 O8	ESTIMACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA EFECTIVA DE LA CAPA SUPERFICIAL DEL TERRENO. R. Hernando, R. Enríquez, N. Sánchez, R. Olmedo, M.J. Jiménez, M.R. Heras (CIEMAT)	Pág. 33
11:30	Pausa café	
12:00	Conferencia Invitada Dr. David Bessières ( <i>Maître de Conférences</i> ) “Segundas Derivadas de Potencial Termodinámico de Líquidos: Determinación Experimental y Modelización”	Pág. 15
13:30	Almuerzo	
16:00	Despedida	

# TERMO 2010



## LOS FÍSICOS Y LA I+D EN LAS APLICACIONES TÉRMICAS PARA LA ARQUITECTURA SOSTENIBLE

M<sup>a</sup>. R. Heras

*Presidenta de la Real Sociedad Española de Física (RSEF) y  
Jefa de la Unidad de I+D sobre Eficiencia Energética en Edificación, CIEMAT, Avda.  
Complutense, 22. 28040 MADRID, Tel: 91-3466305 Fax: 91-3466037.  
mrosario.heras@ciemat.es*

A lo largo de la charla se pretende dar una visión de los diferentes fenómenos físicos a tener en cuenta cuando se habla de Energía Solar en la Edificación o Arquitectura Bioclimática o Arquitectura Sostenible, para conseguir el uso racional de la energía en los edificios. Son diferentes nombres con pequeñas diferencias en su significado pero el objetivo de lo que se quiere con este tipo de actuaciones es conseguir la disminución del consumo de energía convencional en la climatización térmica de los edificios.

Para ello se expondrán los diferentes aspectos físicos que se producen cuando se quiere utilizar la energía solar de forma pasiva, así como el empleo de las aplicaciones térmicas de calentamiento de fluidos y de producción de electricidad usando sistemas solares térmicos activos y fotovoltaicos para la climatización de los edificios. Se hará énfasis en que estos sistemas deben estar integrados en los edificios desde los primeros pasos del diseño, pues está aceptado que el desarrollo y difusión de la energía solar en los países industrializados pasa por su integración en edificios.

Se relacionan los fenómenos físicos, y cómo se puede conocer el comportamiento energético de los edificios de una forma teórica o empírica, considerando la edificación propiamente dicha, a través del diseño de la envolvente y componentes que la forman considerando las condiciones climatológicas donde esta el edificio. Se expondrán las estrategias a considerar, tanto en obra nueva como en la rehabilitación de la existente, para reducir la demanda energética de la edificación, dejando a la libre elección del arquitecto el aspecto estético; a la vez se tendrán en cuenta los sistemas renovables utilizados para la climatización del edificio integrados en el mismo: captadores térmicos, para calefacción y refrigeración (“frio solar”), como fotovoltaicos (producción de energía eléctrica) y terminando con la evaluación energética del edificio en su conjunto, ya sea en fase de diseño, simulación, o en condiciones reales de uso, monitorización, exponiendo las edificaciones evaluadas por el CIEMAT, así como la exposición detallada de un caso concreto.

De todos los fenómenos físicos que intervienen en la edificación aún queda mucho por investigar tanto en el plano teórico (desarrollando algoritmos y ensayos experimentales con los análisis de sensibilidad oportunos) para encontrar los parámetros que son necesarios para evaluar el comportamiento térmico de los edificios, tanto de los elementos, como de los componentes o de los sistemas y el control de los mismos; así como el análisis de los datos experimentales, tanto por métodos estáticos como dinámicos, considerando los diferentes errores, hasta llegar a desarrollar metodologías de evaluación de la edificación en su conjunto. En todos estos campos de investigación los profesionales de Física tenemos una parte importante de trabajo que llevar a cabo dentro de física experimental o aplicada.

Como finalización se expondrán los proyectos de I+D, que en este área de conocimiento, tiene en marcha el CIEMAT desde hace 24 años con resultados apreciables e investigaciones que se realizan para intentar llegar a conclusiones en los aspectos punteros, pero que a la vez se utilizan en la edificación, sin conocer científicamente sus comportamiento, como son las fachadas ventiladas, los análisis dinámicos de datos experimentales, etc.

Concluyendo, que esta es una de las actividades y líneas de actuación que la RSEF quiere impulsar, además de continuar con todas las que ya lleva en marcha, como son la enseñanza, la investigación y, esta que es la integración plena en los aspectos tecnológicos, para que la innovación sea algo que se considere en las investigaciones dentro de la Física.

Todo esto es necesario llevarlo a cabo para llegar a conseguir el objetivo de que la RSEF sea el punto de encuentro de todos los físicos, o personas interesada por la física, que están desarrollando la actividad profesional en la enseñanza, la investigación y la empresa.

## SEGUNDAS DERIVADAS DE POTENCIAL TERMODINAMICO DE LIQUIDOS: DETERMINACION EXPERIMENTAL Y MODELIZACION

D. Bessieres<sup>a</sup>, M.M. Piñeiro<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Laboratoire de Thermodynamique et Énergétique des Fluides Complexes Université de Pau et des Pays de l'Adour, France, david.bessieres@univ-pau.fr*

<sup>b</sup> *Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidade de Vigo, E-36310, Vigo*

Las derivadas segundas de los potenciales termodinámicos de líquidos,  $C_p, \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p, \left(\frac{\partial v}{\partial P}\right)_p$  son sensibles a los cambios estructurales o conformacionales que ocurren a escala molecular. Esto quiere decir que el comportamiento de esas magnitudes con la temperatura y/o la presión puede ser considerado como un indicador de las interacciones microscópicas. Este efecto es muy notable en el caso de la capacidad calorífica, que como es bien sabido es una derivada de la entropía  $C_p = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_p$ . En esta comunicación, se presentan de forma sintética las técnicas

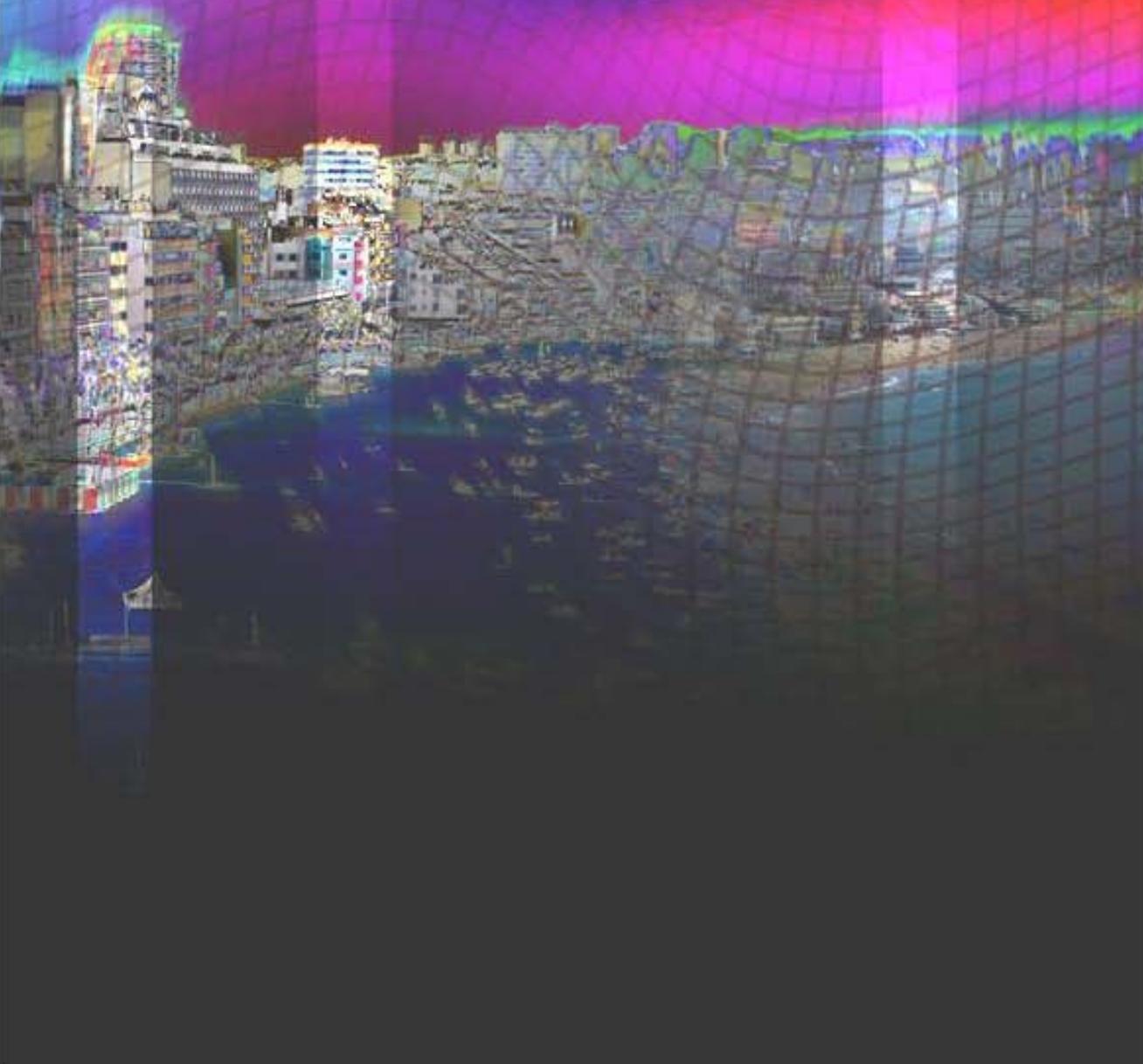
experimentales más adecuadas para la determinación de las magnitudes derivadas segundas, operando en rangos amplios de presión y de temperatura. Además, se presenta un enfoque especial sobre la determinación del comportamiento experimental de la capacidad calorífica y del coeficiente de expansividad térmica isobárico de líquidos por métodos calorimétricos.

En lo que respecta a la modelización, las ecuaciones de estado clásicas, de tipo cúbico o basadas en un desarrollo del Virial, no logran describir este conjunto de propiedades segundas pues han sido desarrolladas para la correlación y la predicción de equilibrios de fase de moléculas esféricas. De esta manera, no tienen en cuenta varias de las contribuciones microscópicas que dictan el comportamiento macroscópico de esas magnitudes termodinámicas. El modelo SAFT MIE [2, 3], desarrollado recientemente, basado en la teoría SAFT, ha demostrado su capacidad para capturar las singularidades del coeficiente de expansividad térmica isobárico y de la capacidad calorífica de líquidos asociados. Esos aspectos demuestran la consistencia y potencialidad de este tipo de modelización, que representa una alternativa novedosa frente a otros métodos utilizado tradicionalmente con el mismo fin.

### Referencias

- [1] Piñeiro MM, Cerdeiriña A, Medeiros M, J. Chem. Phys., 2008, 129, 014511
- [2] Lafitte Th, Bessières D, Piñeiro M.M., Daridon J-L, J. Chem. Phys., 2006, 124, 024509
- [3] Lafitte Th, Piñeiro M.M., Daridon J-L, Bessières D, J. Phys. Chem. B, 2007, 111, 3447

# TERMO 2010



## APORTACIONES DE LA MICROCALORIMETRÍA EN IDENTIFICACIÓN PRECOZ DEL CRECIMIENTO BACTERIANO

N. Lago<sup>a</sup>, J.L. Legido<sup>b</sup>, I. Arias<sup>a</sup>, F. García<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Servicio de Farmacia. Complejo Hospitalario Universitario de Vigo (Xeral-Cies). C/Pizarro nº 22, 36202, Vigo (Pontevedra). [natividad.lago.rivero@sergas.es](mailto:natividad.lago.rivero@sergas.es)

<sup>b</sup> Departamento de Física Aplicada. Facultad de Ciencias del Mar. Campus Universitario de Vigo (Lagoas Marcosende), 36310, Vigo (Pontevedra)

**Keywords:** Microcalorimetría, crecimiento bacteriano, metabolismo

### INTRODUCCIÓN

La microcalorimetría es una técnica experimental que permite determinar con alta sensibilidad la energía expuesta como consecuencia de cualquier proceso o transformación. Se trata de una técnica de medida del calor producido o consumido por reacciones químicas o cambios de estado, incluyendo el calor generado durante los complejos procesos biológicos [1].

Todos los organismos producen calor como consecuencia de su metabolismo. La tasa de calor es una medida adecuada de la actividad metabólica de los organismos y sus partes constituyentes, células y niveles subcelulares. El calor generado por una sola célula está en el rango de 1-80 pW. Células humanas de tejidos conectivos (fibroblastos, adipocitos...) han reportado tasas metabólicas de aproximadamente 25-80 pW por célula. En contraste, los microorganismos producen pequeñas cantidades de calor, del orden de 1-3 pW por célula. A pesar de la baja cantidad de calor de las bacterias, su exponencial replicación en medios de cultivo permite su detección por microcalorimetría [2,3,4].

### MATERIAL Y MÉTODOS

Para valorar la aportación de la microcalorimetría como método de identificación precoz del crecimiento bacteriano, a partir del calor generado como consecuencia de su metabolismo, hemos analizado el comportamiento térmico de diferentes bacterias de la Colección Española de Cultivos Tipos (CECT) y de la Colección Americana de Cultivos Tipo (ATCC). Para ello se ha utilizado un calorímetro de conducción calorífica tipo Calvet, el cual dispone de dos elementos microcalorimétricos idénticos, en las mismas condiciones de intercambio calorífico y dispuestos en oposición [5]. La temperatura del microcalorímetro se ha mantenido a 36,5°C.

Las muestras se han preparado, ajustando la concentración a la turbidez correspondiente a 0,5 de la escala Mcfarland utilizando un densímetro óptico, a partir de la cual se han hecho diluciones en suero fisiológico hasta obtener concentraciones finales de  $10^6$ ,  $10^5$ ,  $10^3$  y 10 UFC/ml. Como medio de cultivo se ha usado un medio líquido de Soja-caseína digerida.

En la célula testigo se introducen 7ml de medio de cultivo más 1ml de suero fisiológico, y en la experimental 7ml de medio de cultivo. Ambas células se introducen a través de dos orificios cilíndricos, paralelos entre sí, que van desde la parte superior del microcalorímetro hasta el recinto interno. El sistema se deja estabilizar durante aproximadamente dos horas,

momento en el que se introduce en la célula experimental 1ml de la concentración establecida. La experiencia también se ha realizado con una muestra sin bacterias (control).

Los datos son recogidos por el sistema de adquisición y tratamiento de datos, durante el tiempo que dura la experiencia.

## RESULTADOS

Representando la diferencia de potencia calorífica generada entre las células experimental y testigo frente al tiempo, obtenemos las gráficas de crecimiento de la bacteria, a diferentes concentraciones. En ellas se pueden identificar las diferentes fases de crecimiento bacteriano: latencia, exponencial, mantenimiento y muerte celular.

Estas curvas presentan una forma característica que se repite para cada bacteria a todas las concentraciones estudiadas. Además, se observa una relación inversamente proporcional entre el tamaño del inóculo y el tiempo hasta la detección de la señal.

En cualquier caso, incluso para concentraciones bajas (10 UFC/ml), antes de 10 horas podemos identificar crecimiento bacteriano en la muestra.

En el control no se detecta señal durante el tiempo que dura la experiencia.

## CONCLUSIÓN

La microcalorimetría permite medir el crecimiento bacteriano a partir de la energía desprendida por las bacterias consecuencia de su metabolismo, identificar si una muestra está contaminada en pocas horas y distinguir diferentes bacterias a partir de las curvas de crecimiento.

*Agradecimientos:* A M<sup>a</sup> Perfecta Salgado González y Sofía Baz Rodríguez por su colaboración en las medidas experimentales.

## Referencias:

- [1] Calvet, E.; Prat, H., *Microcalorimétrie: Applications physico-chimiques et biologiques*. Masson el C<sup>ie</sup> Editeurs, 1956, Paris
- [2] James AM. *Calorimetry. Past, Present and Future. In termal and energetic studies of cellular biological systems* Edited by: James AM. Bristol, UK: IOP Publishing Ltd; 1987.
- [3] Ma J., Qi W.T., Yang L.N., Yu W.T., Xie Y.B., Wang W., Ma X.J., Xu F., Sun L.X. *Microcalorimetric study on the growth and metabolism of microencapsulated microbial cell culture*. Journal fo Microbiological Methods 68, 172-177(2007).
- [4] Trampuz A., Salzmman S., Antheaaume J., Daniela A.U. *Microcalorymetry: a novel method for detedtion of microbial contamination inplatelet products*. Transfusión. 47, 1643-1650 (2007).
- [5] Calvet, E., *Experimental Thermochemistry: recent Progress in Microcalorimetry*, Vol II, Cap.17, Ed. H. A. Skinner, Interscience Publishers, 1962, New York

## **DIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS DE MATADERO. EFECTO DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS.**

A. González-González, F. Cuadros, J. Amaya, A. García, A. Ruiz-Celma, M. T. Delgado,  
A. M. V. Galán, F. López-Rodríguez

*Departamento de Física Aplicada. Universidad de Extremadura. Avenida de Elvas S/N  
06006. Badajoz. almudenagg@unex.es*

**Keywords:** Níquel, digestión anaerobia, residuos de matadero.

### **INTRODUCCIÓN**

Se ha probado experimentalmente que la presencia de metales pesados en los sustratos degradados mediante digestión anaerobia afecta a las etapas de acidogénesis y metanogénesis, siendo esta última la más afectada [1]. Si se tiene en cuenta el proceso de digestión en conjunto el potencial tóxico de cuatro metales pesados es en orden creciente Cr>Ni>Cu>Zn [2]. Consultada la bibliografía al respecto, se constata que de esos cuatro metales el que se encuentra presente en los residuos de un matadero de cerdo ibérico, en una concentración por encima de la recomendada para la realización de las experiencias de digestión anaerobia, es el níquel (la concentración de inhibición es de 10 mg/L y el límite de toxicidad es de 30mg/L [3]. Por otro lado, es necesario señalar que las mayores concentraciones de níquel en mamíferos se encuentran en el pulmón y en el hígado [4,5]. Por tanto, si estos órganos no se incluyen en la preparación del sustrato a degradar se reduce significativamente la concentración de níquel (desde 74,4 mg/L hasta 5,5 mg/L).

El presente trabajo muestra los resultados de varias experiencias de digestión anaerobia de los residuos de un matadero de cerdo ibérico, en el que se pone de manifiesto la influencia de la presencia de níquel en la producción de biogás y en el grado de degradación obtenido.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

En primer lugar, es necesario caracterizar el efluente generado por el matadero. Conociendo el número de reses sacrificadas al año se puede estimar la cantidad de despojos sólidos (vísceras, grasas, contenido de panzas, etc.) y líquidos (aguas de lavado, sangre) generados durante ese año. Posteriormente, se tritura homogéneamente la fracción sólida de tales residuos, y se mezcla con los efluentes líquidos en una proporción de 6 % de desechos sólidos, 93 % de agua de lavado y el 1 % de sangre.

Las experiencias se han realizado en un digestor experimental continuo de 6 L de capacidad, el contenido se agita mediante recirculación de parte del biogás producido, el cual se almacena en una campana. Mediante un autómata se controla la introducción de sustrato (alimento) en el reactor, así como la recirculación de biogás, manteniéndose constante la temperatura a unos 38°C.

### **RESULTADOS**

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Caudal sustrato ml/día	RESIDUO CON NÍQUEL		RESIDUO SIN NÍQUEL	
	ml biogás/ml alimento	% Degradación DQO	ml biogás/ml alimento	% Degradación DQO
100	22,46	55,92		
150	21,33	71,28	9,87	70,52
200	20,5	76,26	24	71,69
250			25	66,13
300	19,46	77,32		

Tabla 1. Resultados experimentales.

Si se alimenta con residuo de matadero con presencia de níquel (incluyendo el pulmón en los residuos sólidos), se observa una disminución gradual de la producción de biogás al alimentar por encima de 150 ml/día, debido a la acumulación de níquel en el reactor, que afectará al desarrollo de las bacterias metanogénicas, disminuyendo la productividad.

Si se elimina el pulmón de los residuos sólidos, se observan aumentos en la producción de biogás a medida que se incrementa el caudal de entrada, hasta llegar a un caudal óptimo de 250 ml/día con una producción de biogás de 25 ml/ml de sustrato alimentado.

Como puede observarse en la tabla, al alimentar con residuo de matadero con presencia de níquel (incluyendo el pulmón) es posible introducir un mayor caudal de residuo, hasta 300 ml sustrato/día, aunque el caudal óptimo (máxima degradación y máxima producción de biogás) a alimentar sería de 200 ml sustrato/día, menor que en el caso de residuo sin níquel. Por otro lado, se muestra que al alimentar con sustrato sin níquel se obtienen mayores producciones de biogás.

## CONCLUSIONES

Las experiencias realizadas muestran que sería conveniente eliminar de los residuos sólidos del matadero de cerdos los pulmones de los animales sacrificados, ya que las mayores concentraciones de níquel en el sustrato se deben a la presencia de este.

Los resultados muestran cuantitativamente los efectos adversos que la presencia de níquel tiene en la digestión anaerobia de tales residuos.

*Agradecimientos:* Los autores agradecen al Ministerio de Educación y Ciencia (Fondos FEDER) la ayuda recibida para la realización de este trabajo a través del proyecto PSE-060000-2009-6. A. González-González agradece al Ministerio de Educación y Ciencia la concesión de la beca FPU referencia AP2008-02546.

## Referencias

- [1] Chen, Y. Cheng, J., Creamer K. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*. 99, 4044-4064 (2008)
- [2] Wong, M.H., Cheung, Y.H. Gas production and digestion efficiency of sewage sludge containing elevated nickel. *Water Science and Technology*. 47, 11-18 (2002)
- [3] Wong, M.H., Cheung, Y.H. Nickel inhibition of anaerobic digestion of sewage sludge. *Water Science and Technology*. 47, 19-26 (2002)
- [4] Bennett, B.G. Exposure of man to environmental nickel – an exposure commitment assessment. *The Science of the Total Environment*. 22, 203-212 (1982)
- [5] Myron, D.R., Zimmerman, T.J., Shuler, T.R., Kleway, D.R., Nielsen, H. Intake of nickel and vanadium by humans, a survey of selected diets. *Am. J. Clin. Nutr.* 31, 527-531 (1978)

## **ESTADO ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA Y PORTUGAL. PROYECTOS EN MARCHA.**

F. Cuadros, A. González-González, J. Amaya, A. García, A. Ruiz-Celma, M. T. Delgado,  
A. M. V. Galán, F. López-Rodríguez.

*Departamento de Física Aplicada. Universidad de Extremadura. Avenida de Elvas S/N  
06006. Badajoz. almudenagg@unex.es*

**Keywords:** Energías renovables, España, Portugal.

### **RESUMEN**

En la actualidad, el sistema energético mundial es insostenible medioambientalmente, técnicamente y socioeconómicamente. Medioambientalmente porque las tecnologías de generación de electricidad requieren de grandes instalaciones, las cuales generan un gran impacto visual, ruidos, aumento de la temperatura en los alrededores de los sistemas de refrigeración, etc. También originan contaminación ambiental las centrales térmicas de generación eléctrica, que emiten a la atmósfera enormes cantidades de gases de efecto invernadero como son el dióxido de carbono, vapor de agua, óxidos de nitrógeno y azufre, humos (partículas sólidas), etc. Todo ello provoca el calentamiento global del planeta y la lluvia ácida. Se cree que más del 60% de los bosques centroeuropeos están afectados por este fenómeno [1]. Los residuos radiactivos de las centrales nucleares permanecen activos durante miles de años y hay que almacenarlos en sitios seguros y vigilar si hay escape radioactivo al medio ambiente.

Existen además problemas de sostenibilidad, ya que según diversas fuentes bibliográficas, el petróleo técnicamente al alcance se agotará en unos 60 ó 100 años, siempre que se continúe extrayendo al ritmo actual. El gas natural corre peor suerte al tener una previsión de agotamiento de entre 40 y 60 años. El carbón es el que sale mejor parado con hasta 200 años de existencia antes de que no sea rentable su extracción.

Socioeconómicamente, los problemas se centran en la repartición de las reservas de combustibles fósiles, los cuales desgraciadamente se encuentran concentrados en unos cuantos países, de los cuales, la gran mayoría son políticamente inestables. Además, la producción de energía eléctrica se hace en grandes centrales y luego se distribuye a grandes distancias para ser consumida. Ello provoca pérdidas considerables de la energía generada. La centralización de la producción eléctrica hace muy vulnerable el sistema energético debido a la posible interrupción del suministro (accidentes, ataques terroristas, catástrofes, etc.).

Si tenemos en cuenta el punto de vista tecnológico, el sistema energético actual también es insostenible. Estudiando todos los inputs energéticos, desde la extracción de la materia prima (carbón o petróleo), con costes energéticos cada vez más grandes, las transformaciones que sufre esa materia prima, el transporte hasta los puntos de consumo y la combustión final para la producción de electricidad o trabajo mecánico, tenemos un rendimiento global del sistema energético que no alcanza el 3% de eficiencia.

La industria energética mundial se nutre hoy día básicamente de los recursos energéticos procedentes de combustibles fósiles. En nuestros países (España y Portugal), más del 80% del consumo de energía primaria procede de combustibles fósiles. Como se ha dicho, estos recursos energéticos tienen un límite, y está relativamente cercano. Esto supone el fin de la energía "barata".

El problema se agrava con el imparable crecimiento de la demanda de energía que se está dando actualmente, y que continuará aumentando las próximas décadas. Alrededor del 60% de este crecimiento provendrá de países en desarrollo, especialmente de Asia, produciéndose desequilibrios en el consumo energético.

Para tratar de paliar estos problemas, la Unión Europea ha apostado decididamente por el uso de las energías renovables, y en su Libro Blanco publicado a finales de 1997 [2] indica las actuaciones que hay que llevar a cabo en los diferentes estados miembros para alcanzar el objetivo de que a finales de 2010, el 12% de la energía primaria consumida en la Unión Europea sea de origen renovable. Más recientemente, se ha ampliado este objetivo y se pretende que en el año 2020 el 20% del consumo total europeo de energía primaria sea a partir de fuentes de energía renovables.

Lo que pretende la Unión Europea es:

- Reducir la dependencia energética exterior, así como el uso de tecnologías de implantación “rápida” y relativamente sencillas.
- Aumentar la seguridad del suministro energético, ya que se trata de recursos energéticos que están distribuidos por todo el globo y se presentan como fuentes energéticas inagotables.
- Proteger el medioambiente.
- Diversificar las fuentes de energía primaria.
- Crear empleo.
- Incrementar la cooperación con países en vías de desarrollo (España y Portugal con Iberoamérica).

Este capítulo está dedicado a analizar el estado actual y las previsiones futuras de las fuentes de energía renovables en España y Portugal. También se describen dos actividades (proyecto PETER y construcción del CIEREE) que ponen de manifiesto la cooperación en esta materia entre las regiones del Alentejo y Extremadura, así como la estrecha colaboración en lo referente a la docencia (grados y posgrados) y a la investigación entre las Universidades de Évora y Extremadura. Ello no es fruto de la casualidad, sino que es debido al decidido esfuerzo de personas como el Prof. Dr. Rui Rosa de la Universidad de Évora que apostaron en su día por abrir la frontera (la raya) a la parte española (Universidad de Extremadura).

#### Referencias

- [1] Boyle, G. (Ed.). Renewable Energy. Power for a Sustainable Future. Oxford University Press. (1996)
- [2] White Paper. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. COM (97) 599 final (26/11/1997).
- APREN, Associação de Energias Renováveis. ([www.apren.pt](http://www.apren.pt)).
- Asociación Solar de la Industria Térmica. ASIT (<http://www.asit-solar.com/>).
- EurObserv'ER. ([www.eurobserv-er.org](http://www.eurobserv-er.org)).
- European Wind Energy Association. ([www.ewea.org](http://www.ewea.org)).
- Eurostat. ([http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Main\\_Page](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Main_Page))
- Innovation Observatory. ([www.innovationobservatory.com](http://www.innovationobservatory.com))
- International Energy Agency. ([www.iea.org](http://www.iea.org)).
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE. ([www.idae.es](http://www.idae.es))
- Rosa, R. and Cuadros F. (Eds.). Las energías renovables a ambos lados de la raya. Publicaciones IDEA. Available on-line at [www.idae.es](http://www.idae.es). (2008)
- Sociedade Portuguesa de Energia Solar SPEL. ([www.spel.pt](http://www.spel.pt)).
- World Energy Council. ([www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)).

## PROPIEDADES INTERFACIALES DE AGUA, METANO Y CO<sub>2</sub>: INTERFASES FLUIDAS Y CONFINAMIENTO

J. M. Míguez<sup>a</sup>, F. J. Blas<sup>b</sup>, C. dos Ramos<sup>c</sup>, D. González-Salgado<sup>a</sup>, J. L. Legido<sup>a</sup>,  
M. M. Piñeiro<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidade de Vigo, 36310  
Vigo, mmpineiro@uvigo.es

<sup>b</sup> Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de  
Huelva, 21071 Huelva

<sup>c</sup> Department of Chemical Engineering and Biomolecular Engineering, Vanderbilt  
University, USA

**Keywords:** Propiedades interfaciales, simulación molecular, SAFT-VR.

El objetivo de este trabajo es analizar mediante técnicas de simulación molecular (Monte Carlo) las propiedades interfaciales de agua, metano y CO<sub>2</sub>, tanto para los fluidos puros como para las mezclas entre ellos. En una primera fase se ha determinado el diagrama de fases global de las mezclas binarias y ternaria usando la ecuación de estado molecular SAFT-VR [1], con el fin de determinar los distintos tipos de equilibrio que presentan estas mezclas. Después se ha abordado el estudio de las propiedades interfaciales de cada uno de los fluidos puros, usando simulación por el método de Monte Carlo en caja bifásica tanto a volumen constante como en el conjunto isoterma-isobárico. El primer paso ha sido analizar la interfase líquido vapor de cada uno de los fluidos puros, donde se ha determinado la tensión interfacial de cada uno de los modelos analizados usando el método del Test-Area [2], comparando distintos métodos para evaluar las interacciones entre cargas puntuales de largo alcance [3]. A continuación se ha estudiado cada uno de los fluidos confinados en un poro de anchura variable formado por dos paredes plano paralelas, considerando los casos de pared interaccionante o no con el fluido. Posteriormente se ha estudiado el equilibrio entre cada par de fluidos en condiciones de baja miscibilidad, con el fin de estudiar los fenómenos de adsorción y mojado, comparando los resultados con los obtenidos mediante la Teoría del Gradiente combinada con la ecuación SAFT-VR Mie [4].

*Agradecimientos.* Los autores agradecen a la Consellería de Educación e Ordenación Universitaria (Xunta de Galicia) y al Ministerio de Ciencia e Innovación (Proy. Ref. FIS2009-07923) por la financiación de este trabajo.

### Referencias

- [1] Gil-Villegas, A.; Galindo, A.; Whitehead, P. J.; Mills, S. J.; Jackson, G. Burgess, A. N., *J. Chem. Phys.*, 106, 4168, (1997).
- [2] Gloor, G. J.; Jackson, G.; Blas, F. J.; de Miguel, E., *J. Chem. Phys.* 123, 134703 (2005).
- [3] Míguez, J. M., González-Salgado, D.; Legido, J. L.; Piñeiro, M. M., *J. Chem. Phys.* 132, 184102, (2010).
- [4] Lafitte, T.; Mendiboure, B.; Piñeiro, M. M.; Bessières, D.; Miqueu, C. *J. Phys. Chem. B* enviado, (2010)

## SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE Co<sub>2</sub>B. ESTUDIO COMPUTACIONAL

M. de Dios, A. B. Davila-Ibáñez, V. Salgueiriño, M. M. Piñeiro

*Departamento de Física Aplicada, Universidade de Vigo, 36310 Vig,  
mdedios@uvigo.es*

**Keywords:** Simulación de Monte Carlo, Ripening, Nanopartículas, Boruro de Cobalto

### INTRODUCCIÓN

Tanto desde el punto de vista tecnológico como científico, el desarrollo de nuevos materiales funcionales está centrando la atención de innumerables estudios en las últimas décadas. En este marco de investigación, la nanotecnología ofrece un amplio abanico de posibilidades debido a las propiedades características que muestran los materiales en esta particular escala de tamaños. Desde este punto de vista, las técnicas de simulación permiten el estudio teórico de la formación de nanopartículas en distintos medios de reacción, esclareciendo no sólo los mecanismos de síntesis implicados, sino también la estructura diversa que pueden adoptar estos nuevos materiales.[1, 2]

En este trabajo se presenta un nuevo algoritmo de simulación que pretende recrear el proceso de síntesis de nanopartículas de Co<sub>2</sub>B estabilizadas por la presencia de ácido cítrico en medio acuoso. La simulación tiene en cuenta el equilibrio de solubilidad de las partículas sintetizadas (que depende de la relación [ácido cítrico] / [Cobalto] utilizada), factor que determinará su tendencia al crecimiento mediante un proceso de ripening.

*Agradecimientos.* Los autores agradecen a la Consellería de Educación e Ordenación Universitaria (Xunta de Galicia)

### Referencias

- [1] de Dios, M.; Barroso, F.; Tojo, C.; Lopez-Quintela, M. A., Simulation of the kinetics of nanoparticle formation in microemulsions. *J. Colloid Interface Sci.* 2009, 333 (2), 741-748.
- [2] Tojo, C.; de Dios, M.; Lopez-Quintela, M. A., On the Structure of Bimetallic Nanoparticles Synthesized in Microemulsions. *J. Phys. Chem. C* 2009, 113 (44), 19145-19154.

## INFLUENCIA DEL ANIÓN, EL CATIÓN Y LA TEMPERATURA EN LA DENSIDAD Y VISCOSIDAD DE TFE + LI

J. Salgado<sup>a,b</sup>, T. Regueira<sup>b</sup>, L. Lugo<sup>c</sup>, J. Vijande<sup>c</sup>, J. Fernández<sup>b</sup>, J. García<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Departamento de Física Aplicada. Escola Politécnica Superior. Universidade de Santiago de Compostela. Campus de Lugo. 27002 Lugo.*

<sup>b</sup> *Lab. de Propiedades Termofísicas. Depto. de Física Aplicada. Facultad de Física. Universidade de Santiago de Compostela. 15782, Santiago de Compostela.*

<sup>c</sup> *Dpto. Física Aplicada, Edificio de Ciencias Experimentales, Universidad de Vigo, E-36310 Vigo.*

**Keywords:** Refrigeración por absorción, Propiedades Termofísicas, Líquidos Iónicos

### INTRODUCCIÓN

Entre las propiedades de los líquidos iónicos (LIs) cabe destacar su baja presión de vapor y su alta estabilidad térmica y química. Por ello, son buenos candidatos para ser utilizados como absorbentes en sistemas de refrigeración por absorción [1]. Para seleccionar un par refrigerante/absorbente es necesario realizar un estudio de sus propiedades termofísicas. En este trabajo se presentan la densidad y la viscosidad a varias temperaturas de pares en los que el refrigerante es el fluoroalcohol 2,2,2-Trifluoretanol (TFE) y cuatro LIs como posibles absorbentes: 1-butil-3-metilimidazolio tetrafluoroborato (bmim)[BF<sub>4</sub>], 1-butil-3-metilimidazolio hexafluorofosfato [bmim][PF<sub>6</sub>], 1-butil-3-metilimidazolio bis(trifluorometilsulfonil)imide [bmim][Tf<sub>2</sub>N] y 1-etil-3-metilimidazolio tetrafluoroborato [emim][BF<sub>4</sub>].

### MATERIALES Y MÉTODOS

Todos los líquidos utilizados son comerciales y fueron suministrados por Sigma Aldrich. La pureza de los LIs es mayor del 97%, mientras que la del TFE es superior al 99%. Los LIs se desgasificaron durante unas 48 horas midiendo, a continuación, su contenido en agua con un Karl Fischer Coulometer (DL31) de la casa Mettler Toledo, presentando valores menores a 200 ppm. La composición de las mezclas a diferentes concentraciones de LI desgasificado y TFE se determinó por pesada usando una balanza de precisión Sartorius MC210P con una incertidumbre de  $10^{-4}$  g. Las medidas de densidad y viscosidad se realizaron a presión atmosférica en el rango de temperatura 278.15 K a 373.15 K en un viscosímetro Anton Paar Stabinger SVM3000, siendo la precisión en las medidas de la viscosidad y de la densidad 0.35% y  $5 \times 10^{-4}$  g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

### RESULTADOS

La densidad disminuye con la temperatura, como es habitual, tanto en los LIs puros (figura 1a) como en las mezclas con TFE. Se observa también una disminución de esta propiedad a medida que aumenta la cantidad de TFE en las mezclas. Además, para el mismo catión, bmim<sup>+</sup>, el anión Tf<sub>2</sub>N<sup>-</sup> presenta la mayor densidad en sus mezclas mientras que las mezclas con LIs conteniendo el anión BF<sub>4</sub><sup>-</sup> presentan la menor. Por otra parte, para el mismo anión, BF<sub>4</sub><sup>-</sup> la mayor densidad corresponde a los LIs con el catión emim<sup>+</sup>. A partir de los datos de

densidad se ha calculado el coeficiente de expansión isobárico  $\alpha$ , que ha presentado en todos los casos una tendencia ascendente con la temperatura.

La viscosidad disminuye drásticamente con la temperatura, tanto en los LIs puros (fig 1b) como en las mezclas con TFE, tal y como es habitual. Para el mismo catión,  $\text{bmim}^+$  el anión que da lugar a una mayor viscosidad de mezcla es el  $\text{PF}_6^-$ , mientras que el  $\text{Tf}_2\text{N}^-$  da lugar a la más baja. Para el mismo anión,  $\text{BF}_4^-$ , los LIs con el catión  $\text{emim}^+$  y sus mezclas presentan las menores viscosidades.

Para cationes pequeños y asimétricos con baja masa molecular se recomienda la ecuación de Vogel-Fulcher-Tamman (ec. 1) para correlacionar la viscosidad con la temperatura [2].

$$\eta = A \exp\left(\frac{b}{T - T_0}\right) \quad (1)$$

siendo A, b y  $T_0$  parámetros ajustables. Se ha obtenido una desviación relativa entre los valores correlacionados y ajustados, menor del 2% en todos los casos.

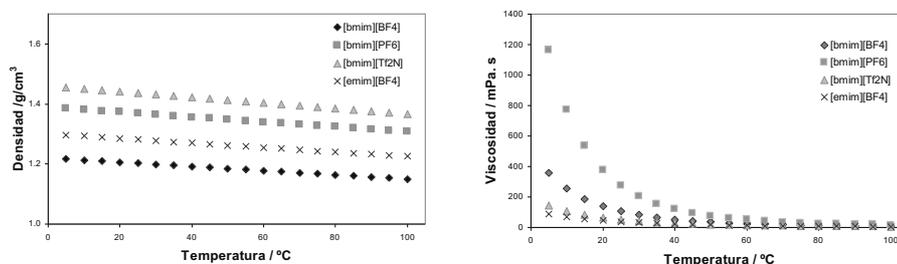


Figura 1: Densidad y viscosidad de los LIs puros frente a la temperatura

## CONCLUSIONES

El sistema más denso sería el más adecuado si se usa el principio hidrostático para mantener la diferencia de presión entre los componentes del sistema de refrigeración y obtener la menor altura posible del refrigerador. El sistema más denso también dará lugar a una mayor transferencia de calor, según la ecuación de Sieder-Tate. Sin embargo desde el punto de vista de la viscosidad, la solución debería tener la menor viscosidad posible para obtener unas buenas características de transferencia de masa y calor. En nuestro caso, el sistema más denso es el  $[\text{bmim}][\text{Tf}_2\text{N}]$  y el menos viscoso el  $[\text{emim}][\text{BF}_4]$ . Sin embargo, otras propiedades deberán ser tenidas en cuenta para seleccionar el LI más adecuado para el refrigerante TFE.

*Agradecimientos.* Este trabajo ha sido financiado por la Xunta de Galicia (PGIDIT07PPXIB314132PR) y la acción integrada Francia-España (HF2007-0053). T.R. agradece la financiación al Ministerio de Educación (programa FPU). L.L. agradece la financiación al Programa Ramón y Cajal del Ministerio de Ciencia e Innovación.

## Referencias

- [1] M. Sen, S. Paolucci, using carbon dioxide and ionic liquids for absorption refrigeration, 7th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Trondheim, Norway, May 28-31 (2006).  
 [2].K.R.Harris, L.A. Woolf, M. Kanakubo, J. Chem. Eng. Data 50, 1777-1782 (2005).

## EVOLUCIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN TERRENOS AGRÍCOLAS REFORESTADOS

B. Sande-Eslava<sup>a</sup>, C. Pérez-Cruzado<sup>b</sup>, A. Merino<sup>a</sup>, J. Salgado<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Depto de Edafología e Química Agrícola. EPS. Campus de Lugo. Universidade de Santiago de Compostela

<sup>b</sup>Depto de Producción Vexetal. EPS. Campus de Lugo. Universidade de Santiago de Compostela

<sup>c</sup>Depto de Física Aplicada. EPS. Campus de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela

**Keywords:** Materia Orgánica, DSC, estabilización, captura de C.

### INTRODUCCIÓN

La captura de carbono en el suelo es un tema de investigación de gran trascendencia en la última década, debido a su papel de sumideros de C [1]. En general, los suelos forestales son más ricos en C que los agrícolas y por lo tanto, la reforestación de suelos agrícolas puede suponer un incremento de la estabilidad de la materia orgánica y un secuestro neto de C [1]. Esto puede ser estimado a través del estudio de cronosecuencias, serie ordenada de parcelas repobladas que, idealmente, comparten la misma litología, clima, especie de arbórea, posición topográfica y el uso del suelo previo a la repoblación, siendo la única diferencia, la edad de la plantación.

Para la caracterización y análisis de la materia orgánica del suelo la calorimetría diferencial de barrido (DSC) se ha convertido en una herramienta fundamental en los últimos años [2, 3].

### MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se muestrearon veinte parcelas (0-5 cm de profundidad) repobladas con *Pinus radiata* en Galicia de diferentes edades (2 a 41 años) y las parcelas de cultivo correspondientes. Además, y a modo de patrón se muestreó otra parcela propiamente forestal, de similares características a las anteriores en cuanto a tipo de suelo y vegetación. Secadas y tamizadas (> 2 mm), las muestras de suelo se analizaron en un DSC Q100 de TA Instruments. El barrido se realizó desde 50 °C hasta 600 °C en atmósfera de aire seco, con cápsulas de aluminio abiertas y a una velocidad de barrido de 10 °C min<sup>-1</sup>. En las curvas DSC (figura 1) se observan tres picos bien diferenciados, el primero es endotérmico, tiene lugar por debajo de 100°C y es debido a la pérdida de agua. El segundo exotérmico, aparece entre 200°C y 500°C y es debido a la combustión de la materia orgánica del suelo. Este pico es superposición de dos picos exotérmicos correspondientes a la degradación térmica de las parte lábil (EXO1) y recalcitrante del suelo (EXO2) [2]. El último pico, endotérmico a 575°C es debido a cambios en la estructura cristalina del cuarzo [2]. Directamente de las curvas DSC se determinó el calor de combustión

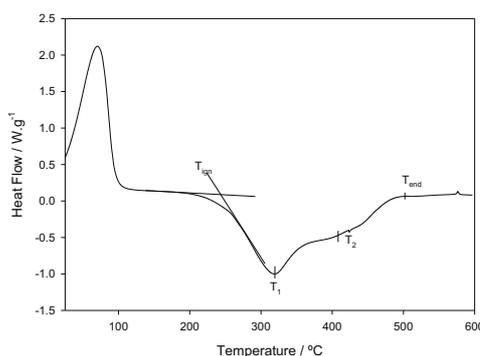


Figura 1. Curva DSC de una muestra de suelo

del suelo [3], la temperatura de ignición, y las temperaturas de máxima degradación ( $T_1$  y  $T_2$ ) como indica la figura 1.

## RESULTADOS

Los principales resultados de este trabajo han sido los siguientes:

1. Las parcelas agrícolas y reforestadas presentan el pico EXO1 mayor que el EXO2 en todos los casos, esto revela la existencia de más materia orgánica lábil que recalcitrante en estas parcelas, mientras que en la parcela forestal ocurre al contrario lo que indicaría que la materia orgánica de esta parcela es más termoestable que la de las anteriores.
2. El calor de combustión de la materia orgánica de las parcelas reforestadas presenta un descenso en los primeros años de la repoblación y un posterior incremento a partir de los 25 años.
3. Las parcelas repobladas presentan temperaturas de ignición más elevadas que las agrícolas en los primeros años, pero la diferencia entre ellas va en descenso a medida que pasa el tiempo hasta alcanzar, a partir de los 10 años temperaturas más bajas que las agrícolas. Esto indica una pérdida de materia orgánica lábil durante los primeros años [4], lo que está en concordancia con el punto anterior, y con el tiempo, los nuevos aportes de restos de vegetales incorporan al suelo nueva materia orgánica lábil, haciendo que esta propiedad tome valores más bajos.
- 4.- Se observa un aumento en la temperatura de máxima degradación del pico EXO1 ( $T_1$ ) junto a un descenso de la temperatura de máxima degradación del pico EXO2 ( $T_2$ ). Este hecho estaría asociado a la evolución de compuestos orgánicos más lábiles hacia compuestos más estables, produciendo un enriquecimiento del pico EXO2 por la parte o ramal de menor temperatura.

## CONCLUSIONES

La Calorimetría Diferencial de Barrido proporciona parámetros suficientemente sensibles para un análisis de la estabilidad térmica de la materia orgánica y se ha obtenido que esta estabilidad tiende a aumentar en las parcelas reforestadas con respecto a las agrícolas después de 25 años de la reforestación, pero en todos los casos estudiados es menor que la encontrada en parcelas forestales propiamente dichas.

*Agradecimientos.* Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (AGL2009-13400-C05-04 (subprograma FOR))

## Referencias

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 1997. Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Organisation for Economic Co-operation (OCED) and International Energy Agency.
- [2] Barros N., Salgado J., Feijó S. 2007. *Thermochim. Acta*.458: 11-17
- [3]. Salgado J., Mato M. M., Vázquez-Galiñanes A., Paz-Andrade M. I., Carballas T., 2004. *Thermochim. Acta*, 410, 1-2: 141-148.
- [4] Edwards N.T. Y Ross-Todd B.M., 1983. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 1014-1021.

## **ESTIMACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA EFECTIVA DE LA CAPA SUPERFICIAL DEL TERRENO.**

R. Hernando, R. Enríquez, N. Sánchez, R. Olmedo, M.J. Jiménez, M.R Heras

*CIEMAT. Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación Avda. Complutense 22 28040,  
Madrid, raul.hernando@ciemat.es*

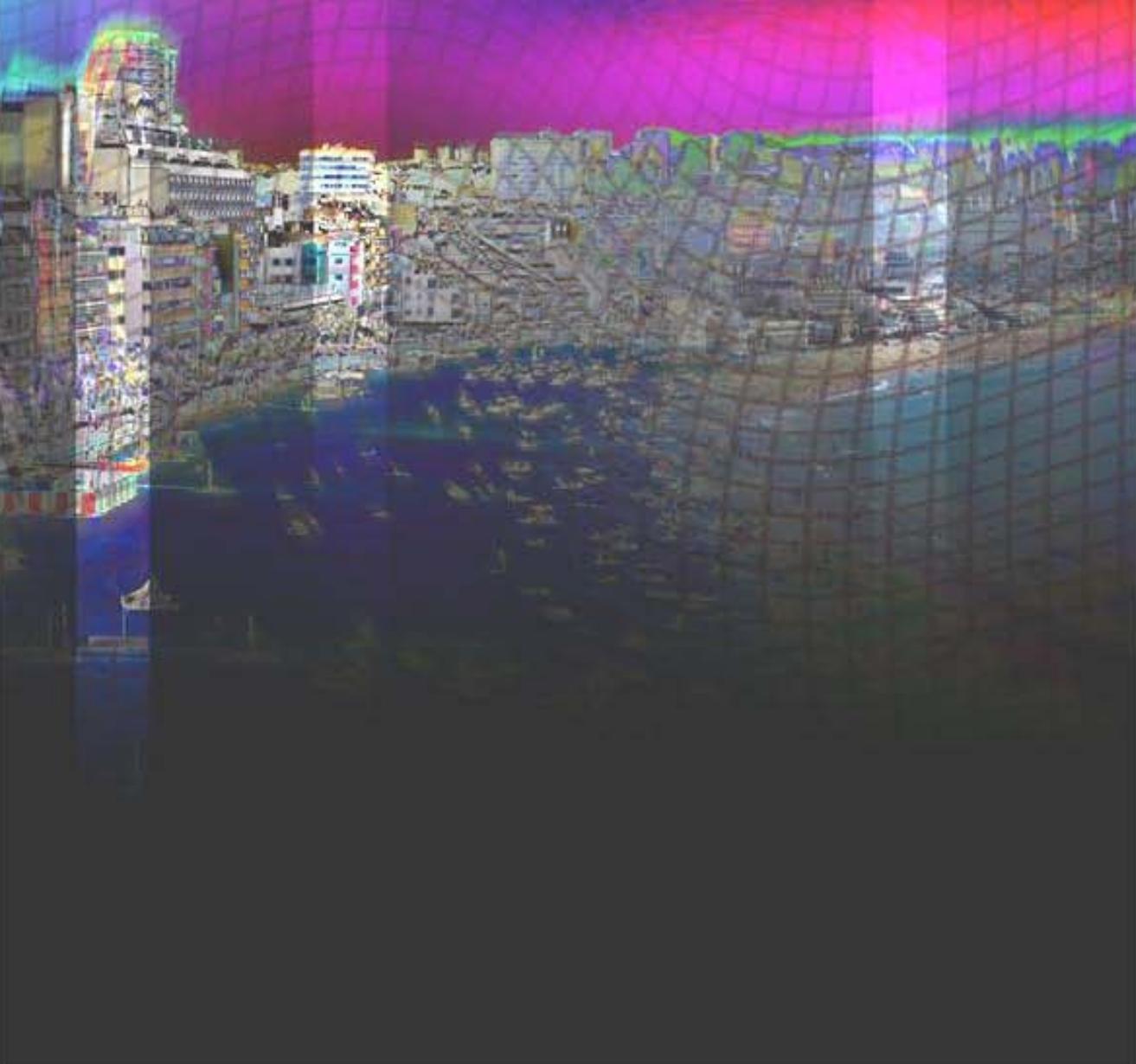
**Keywords:** Difusividad térmica del terreno, Eficiencia Energética en la Edificación.

### **RESUMEN**

El sector de la edificación es uno de los mayores consumidores de energía tanto en nuestro país como a nivel mundial. Es por ello que hay un creciente interés por caracterizar los fenómenos físicos implicados en su dinámica energética. Una de las técnicas que más auge han tomado en los últimos años es el intercambio de calor con el terreno, que se basa en emplear su elevada inercia térmica en beneficio de los procesos térmicos implicados en la edificación. Para ello se procede a enterrar un intercambiador (de geometría horizontal o vertical) que permita, a través de un caloportador (aire o agua habitualmente), depositar parte del excedente energético durante el periodo estival y recuperarlo durante el invernal. Algunos ejemplos de instalaciones de este tipo son los tubos enterrados para pretratamiento de aire de ventilación o las denominadas bombas de calor geotérmicas. Uno de los parámetros fundamentales para el correcto dimensionado de estas instalaciones es la difusividad térmica efectiva del terreno, de la que habitualmente no se dispone de datos. Su medida por especialistas suele implicar procesos intrusivos y habitualmente costosos.

En este trabajo se estima la difusividad térmica efectiva mediante la medida de temperaturas en el subsuelo. Para ello, se supone un modelo de sólido semiinfinito sometido a perturbación de temperatura periódica en su superficie. Con la expresión analítica obtenida se procede al ajuste de los datos experimentales y a la obtención de dicha difusividad. Asimismo, se identifican futuros estudios que puedan mejorar las estimaciones en el futuro.

# TERMO 2010



**ESTUDIO COMPARATIVO DE DIVERSAS PARAMETRIZACIONES  
DE LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE FLUIDOS DE POZO  
CUADRADO DE RANGO VARIABLE**

A. Díez<sup>a</sup>, J. Largo<sup>a</sup>, J. R. Solana<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Departamento de Física Aplicada. Universidad de Cantabria, Avda. de los Castros s/n,  
39005 Santander, ramon.solana@unican.es.*

**Keywords:** Ecuación de estado, energía de exceso, teoría de perturbaciones, simulación por Monte Carlo

**INTRODUCCIÓN**

El fluido de pozo cuadrado es uno de los de mayor utilización en el estudio de líquidos, debido a su considerable sencillez a la vez que su versatilidad para aproximar una gran variedad de interacciones en fluido reales. Para obtener las propiedades termodinámicas del fluido de pozo cuadrado, frecuentemente se utiliza la teoría de perturbaciones de Barker-Henderson [1]. Sin embargo, dicha teoría no es suficientemente precisa para bajas temperaturas, especialmente para rangos de potencial, además de que puede resultar poco práctica para determinadas aplicaciones por su relativa complejidad de cálculo, por lo que a menudo se recurre a parametrizaciones. Precisamente, el objetivo del presente análisis es la comparación de la precisión de diversas parametrizaciones propuestas en la bibliografía para las propiedades termodinámicas del fluido de pozo cuadrado con los datos de simulación de la energía de exceso y el factor de compresibilidad de fluidos de pozo cuadrado para valores de  $\lambda$  en el intervalo  $1.05 \leq \lambda \leq 3.0$ , temperaturas supercríticas y todo el rango de densidades de la fase fluida.

**PARAMETRIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE FLUIDOS CON POTENCIAL DE POZO CUADRADO DE RANGO VARIABLE**

El potencial que nos ocupa tiene la forma:

$$u(\mathbf{r}) = \begin{cases} \infty, & r < \sigma \\ -\varepsilon, & \sigma \leq r \leq \lambda\sigma \\ 0, & r > \lambda\sigma \end{cases} \quad (1)$$

En teoría de perturbaciones las propiedades termodinámicas pueden expresarse como desarrollos en serie de potencias del inverso de la temperatura reducida  $T^* = kT/\varepsilon$ . Por ejemplo, la energía libre  $F$ , la energía de exceso  $U^E$  y el factor de compresibilidad  $Z = pV/NkT$  se expresan:

$$\frac{F}{NkT} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{F_n}{NkT} \frac{1}{T^{*n}} \quad (2)$$

$$\frac{U^E}{N\varepsilon} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{U_n}{N\varepsilon} \frac{1}{T^{*n-1}} \quad (3)$$

$$Z = \sum_{n=0}^{\infty} Z_n \frac{1}{T^{*n}} \quad (4)$$

Se verifica:

$$\frac{U_n}{N\varepsilon} = n \frac{F_n}{NkT} \quad (5)$$

$$Z_n = \rho \left[ \frac{\partial (F_n/NkT)}{\partial \rho} \right]_T \quad (6)$$

De manera que a partir de los términos perturbativos de la energía libre se pueden obtener los de la energía de exceso y de la ecuación de estado. Para  $Z_0$  puede tomarse cualquier ecuación de estado apropiada para el fluido de referencia de esfera duras y a partir de ella se puede obtener  $F_0$ . Los primeros términos perturbativos de la energía libre pueden obtenerse mediante simulación en el sistema de referencia de esferas duras. Además, se han propuesto diversas parametrizaciones. Aquí se analizan la de Alder et al (AYM) [2], los desarrollos de rango corto (SR) [3], rango medio (MR) [4] y rango largo (LR) [5], las parametrizaciones de Gil-Villegas et al. (GRB) [6] y (GGWMJB) [7] y, por último, una reciente parametrización propuesta por Espindola-Heredia et al. (ERM) [8]. Los resultados de estas parametrizaciones se comparan con los datos de simulación e los términos perturbativos  $U_1$  y  $U_2$  obtenidos mediante simulación en el presente trabajo y con los datos de simulación de  $U^E$  y  $Z$  publicados en un trabajo anterior [9]. Se ha encontrado que la parametrización ERM proporciona globalmente los mejores resultados

*Agradecimientos.* Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) Proyecto No. FIS2009-09616.

#### Referencias

- [1] Barker, J. A. and Henderson, D. *J. Chem. Phys.* 47, 2856-2861 (1967)
- [2] Alder, B. J., Young, and M. A. Mark, M. A. *J. Chem. Phys.* 56, 3013-3029 (1972)
- [3] del Río, F. and Lira, L. *Mol. Phys.* 61, 275-292 (1987)
- [4] del Río, F. and Lira, L. *J. Chem. Phys.* 87, 7179-7183 (1987).
- [5] Benavides, A. L. and del Río, F. *Mol. Phys.* 68, 983-1000 (1989)
- [6] Gil-Villegas, A. L., del Río, F. and Benavides, A. L. *Fluid Phase Equilib.* 119, 97-112 (1996)
- [7] Gil-Villegas, A. L., Galindo, A., Whitehead, P. J., Mills, S. J., Jackson, G. and Burgess, A. N. *J. Chem. Phys.* 106, 4168-4186 (1997)
- [8] Espindola-Heredia, R., del Río, F. and Malijevsky, A. *J. Chem. Phys.* 130, 024509/1-13 (2009)
- [9] Largo, J. and Solana, J. R. *Phys. Rev. E* 67, 066112/1-5 (2003)

---

## CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Y PERMITIVIDAD DE NANOFLUIDOS CON BASE AGUA MILLI-Q Y NANOPARTICULAS DE ALUMINA

R. Iglesias, M.A. Rivas, T.P. Iglesias

*Dpto. de Física Aplicada, Facultad de Ciencias. Universidad de Vigo, 36200 Vigo,  
tpigles@uvigo.es*

Los nanofluidos son una nueva clase de compuestos sólido-líquido consistentes en partículas sólidas con un tamaño menor a 100 nm suspendidas en fluidos como el agua, el etilenglicol o el propilenglicol [1]. Los primeros experimentos con nanofluidos se llevaron a cabo en los años noventa. La presencia de nanopartículas parecía incrementar la conductividad térmica en varios órdenes de magnitud superior a lo predicho por la teoría de la conducción térmica conocida como la Teoría de Maxwell [2]. Ésta predecía la conductividad térmica de suspensiones homogéneas con partículas esféricas y demuestra que la conductividad térmica depende de la conductividad de la partícula, el fluido base y la fracción volúmica.

En los últimos años se han desarrollado diversas teorías para explicar esta conducta anómala. Entre ellas, la teoría de la "microconvección" que predice un asombroso incremento de varios órdenes de magnitud en la conductividad térmica del fluido a concentraciones muy bajas de nanopartículas. Aunque existe un gran número de trabajos que intentan abordar este comportamiento anómalo [3-10], experimentos realizados para nanofluidos con la misma base, tamaño y composición de las nanopartículas muestran resultados y comportamientos muy diferentes.

En nuestro caso, hemos estudiado la permitividad dieléctrica a bajas frecuencias de nanofluidos, presentando dicha magnitud un comportamiento semejante al de la conductividad térmica para este tipo de sistemas.

Para la preparación de nuestros nanofluidos se utilizaron nanopartículas de  $Al_2O_3$  de diferentes tamaños suministradas por distintas casas comerciales (MK-nano e IOLITEC) utilizando como fluido base agua milli-Q. Para obtener dispersiones uniformes y evitar la agregación de las partículas se sonicó la muestra.

La determinación experimental de las permitividades relativas a baja frecuencia se ha llevado a cabo mediante un equipo, totalmente automatizado y controlado mediante un ordenador. Este equipo consta entre sus dispositivos con un medidor LCR para la caracterización dieléctrica. Se realizaron las medidas termostatazando la celda donde se sitúa la muestra y así obtener un amplio rango de temperaturas. A partir de las medidas experimentales de permitividad y utilizando los valores de  $\epsilon''$  para cada temperatura se obtuvieron valores de conductividad eléctrica para estos sistemas.

Escasas referencias bibliográficas se encuentran relativas a la conductividad eléctrica de nanofluidos, destacando los trabajos realizados por Ganguly et al. (2009) [11] y por Cruz et al. (2005) [12]. En el primero se estudió la influencia de la temperatura y la fracción volúmica, constatando que la conductividad eléctrica del nanofluido era mayor que la de la base pura y, que a medida que se incrementaba la temperatura y la fracción volúmica se producía un

aumento lineal de su valor. El segundo describe los efectos de las cargas de los sólidos y la fuerza iónica en la conductividad eléctrica de nanofluidos de alúmina.

Los resultados muestran que la presencia de nanopartículas en los nanofluidos produce un incremento en los valores experimentales de permitividad y conductividad eléctrica en comparación con los fluidos puros.

Como conclusión a nuestro estudio cabe destacar que las medidas obtenidas siguen el comportamiento esperado, al aumentar la concentración de nanopartículas en los nanofluidos los valores de permitividad y de conductividad eléctrica se ven incrementados. Para el aumento de la temperatura los comportamientos que exhiben la permitividad y la conductividad eléctrica son opuestos, ya que mientras que la conductividad eléctrica se ve incrementada al aumentar este parámetro la permitividad disminuye. Se ha comprobado a su vez que la estabilidad de los nanofluidos depende del tamaño de la partícula, y se ha verificado la reproducibilidad de las medidas obtenidas para los distintos sistemas.

*Agradecimientos:* Los autores agradecen la ayuda financiera de la Xunta de Galicia para este proyecto de investigación (INCITE08PXIB312201PR)

#### Referencias:

- [1] S.U.S. Choi, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, in: D.A. Siginer, H.P. Wang (Eds), Developments Applications of Non-Newtonian Flows, FED-vol 231/MD-vol. 66, ASME, New York, 1995, pp. 99-105
- [2] J.C. Maxwell, a treatise on Electricity and Magnetism, Second ed. Clarendon Press, Oxford, UK, 1881
- [3] J. A. Eastman, S. U. S. Choi, S. Li, W. Yu, and L. J. Thompson, Appl. Phys. Lett. 78, 718 (2001).
- [4] J. A. Eastman, S. R. Phillpot, S. U. S. Choi, and P. Keblinski, Annu. Rev. Mater. Res. 34, 219 (2004) [CAS].
- [5] P. Keblinski, J. A. Eastman, and D. G. Cahill, Mater. Today 8, 36 (2005) [CAS].
- [6] S. K. Das, S. U. S. Choi, and H. E. Patel, Heat Transfer Eng. 27, 3 (2006) [CAS].
- [7] M. J. Assael, I. N. Metaxas, K. Kakosimos, and D. Constantinou, Int. J. Thermophys. 27, 999 (2006) [CAS].
- [8] S. Kabelac and J. F. Kuhnke, Annals of the Assembly for International Heat Transfer Conference 13, KN (2006).
- [9] X. Q. Wang and A. S. Mujumdar, Int. J. Therm. Sci. 46, 1 (2007).
- [10] V. Trisaksri and S. Wongwises, Renewable Sustainable Energy Rev. 11, 512 (2007) [CAS].
- [11] S. Ganguly, S. Sikdar and S. Basu, Powder Technol. 196, pp. 326–330 (2009)
- [12] R.C.D. Cruz, J.Reinshagen, R. Oberacker, A.M.Segadães, M.J.Hoffmann.J. of Colloid and Interface Science, 286, 579 (2005)

## **PRIMEROS RESULTADOS DE LA CO-DIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS DE MATADERO CON RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DEL TOMATE.**

A. González-González, F. Cuadros, J. Amaya, A. García, A. Ruiz-Celma, M. T. Delgado,  
A. M. V. Galán, F. López-Rodríguez.

*Departamento de Física Aplicada. Universidad de Extremadura. Avenida de Elvas S/N  
06006. Badajoz. almudenagg@unex.es*

**Keywords:** Digestión anaerobia, residuos de matadero, residuos de la industria del tomate.

### **RESUMEN**

El objetivo de las experiencias realizadas ha sido determinar la proporción óptima de ambos residuos (matadero y tomate) para lograr las mayores producciones de biogás y la mayor degradación de los mismos.

### **INTRODUCCIÓN**

La eliminación de los problemas de contaminación provocados por los residuos agroalimentarios no están totalmente resueltos, ya que la retirada de estos residuos por empresas especializadas que los neutralizan, son soluciones económicamente caras y además requieren grandes cantidades de energía y de agua para su eliminación.

Numerosos estudios científicos muestran que uno de los procedimientos más efectivos para la degradación y aprovechamiento energético de estos residuos es la digestión anaerobia [1,2].

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

En primer lugar es necesario caracterizar los efluentes generados por las industrias mencionadas.

Con respecto a los residuos de matadero, conociendo el número de reses sacrificadas al año, se puede estimar la cantidad de despojos sólidos (vísceras, grasas, contenido de panzas, etc.) y líquidos (aguas de lavado, sangre) generados durante ese año. Posteriormente, se tritura homogéneamente la fracción sólida de tales residuos, y se mezcla con los efluentes líquidos en una proporción de 6 % de desechos sólidos, 93 % de agua de lavado y el 1 % de sangre.

Los residuos generados por la industria del tomate están compuestos por pieles, semillas y fango. El ratio en que estos residuos se generan en el procesado del tomate es de 2,5 kg de pieles y semillas por cada kg de fango en términos generales y en una industria tipo. Para preparar el alimento a introducir en el reactor se ha respetado dicha proporción, añadiendo agua para la realización de la mezcla hasta alcanzar el 97%, siendo la cantidad de sólidos en peso seco del 3%.

Las experiencias se han realizado en un digestor experimental continuo de 6 L de capacidad, el contenido se agita mediante recirculación de parte del biogás producido, el cual se almacena en una campana. Mediante un autómata se controla la introducción de sustrato en el reactor, la recirculación de biogás y se mantiene la temperatura a 38°C.

Para la realización de las experiencias se ha partido de un inóculo adaptado a degradar residuos de matadero. Posteriormente, estos residuos de matadero se han mezclado con cantidades crecientes de residuos de tomate. Las experiencias realizadas tratan de determinar el caudal de alimentación óptimo de cada mezcla con el fin de alcanzar las máximas producciones de biogás y las mayores degradaciones.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

% matadero/ % tomate	Caudal sustrato ml/día	m <sup>3</sup> biogás/m <sup>3</sup> sustrato	% Degradación DQO
90%/10%	100	27,75	80,81
	120	23,13	72,97
	150	22,67	80,47
	170	20	84,23
	<b>200</b>	<b>25,80</b>	<b>74,79</b>
	250	22,20	77,94
80%/20%	200	24,13	80,05
	225	16,89	79,55
	<b>260</b>	<b>21,98</b>	<b>77,90</b>
60%/40%	200	20,50	71,11

Tabla 1. Resultados experimentales.

## CONCLUSIONES

Las experiencias realizadas hasta el momento muestran que a medida que se aumenta la proporción de tomate en el sustrato disminuyen las producciones de biogás, aumenta la degradación del residuo y se puede alimentar un mayor volumen de residuo mezcla.

*Agradecimientos:* Los autores agradecen al Ministerio de Educación y Ciencia (Fondos FEDER) la ayuda recibida para la realización de este trabajo a través del proyecto PSE-060000-2009-6. A. González-González agradece al Ministerio de Educación y Ciencia la concesión de la beca FPU referencia AP2008-02546.

## Referencias

- [1] Salminen, E. and Rintala, J.. Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste. *A review. Bioresource Technology*. 83, 13-26 (2002)
- [2] M. Seoánez. Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales de las industrias agroalimentarias. Ed. Mundi-Prensa. (2003).

---

## INFLUENCIA DEL MÉTODO DE ELABORACIÓN DE SURIMI DE JUREL EN LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL INTERVALO VISCOELÁSTICO LINEAL DE SUS GELES DEFINITIVOS

L. Iglesias, E. Carballo, C. A. Tovar

*Dpto Física Aplicada, Universidad de Vigo, Facultad de Ciencias, As Lagoas 32004 Ourense.  
tovar@uvigo.es*

**Keywords:** surimi, viscoelasticidad, intervalo viscoelástico lineal, fuerza de gel reología

### INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El surimi es un concentrado de proteína miofibrilar de músculo de pescado, con alta funcionalidad: capacidad de gelificación y de retención de agua [1]. El proceso tecnológico utilizado para obtener surimi a partir del pescado, posee gran importancia porque influye directamente en la funcionalidad de la proteína extraída.

El objetivo de este estudio es analizar la repercusión física, de tres procesos químicos de elaboración de surimi de jurel (*Trachurus trachurus*), en las propiedades viscoelásticas de sus respectivos hueses definitivos.

### MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras analizadas son de tres tipos de geles de surimi:

- *A* elaborado por el método de la solubilización ácida del músculo de jurel.
- *B* elaborado por el método de la solubilización alcalina del músculo de jurel.
- *C* elaborado por el método de la solubilización alcalina del músculo de jurel + 0.3% NaCl.

Para la medida de las propiedades reológicas se han utilizado dos reómetros: Bohlin CVO que controla el esfuerzo aplicado, y RS600 de Haake que controla además la deformación y la velocidad de cizalla.

A partir de ensayos en barrido de tensión y de carga y recuperación, se ha definido la amplitud de la región viscoelástica lineal para cada clase de gel, en términos de los valores límite de tensión, deformación y módulo complejo. (Campo-Deaño y Tovar, 2009) [2]. Las condiciones experimentales aplicadas en el ensayo en barrido de tensión son:  $\nu = 1$  Hz,  $\gamma_{\max} = 100\%$ ,  $\sigma_{\text{inicial}} = 10$  Pa,  $\sigma_{\text{final}} = 4000$  Pa,  $T = 10$  °C y  $n^{\circ}$  pasos = 350.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Ensayo oscilatorio en barrido de tensión

De los resultados que caracterizan la región viscoelástica lineal (Tabla 1) se deduce que el método de solubilización alcalina del músculo, origina un surimi cuyos geles son más rígidos y con elevada dureza estructural. Este hecho podría justificarse teniendo en cuenta que el método de solubilización alcalina, elimina mayor cantidad de lípidos con respecto al método de solubilización ácida [3].

Tabla 1: Valores máximos de amplitud de tensión, esfuerzo y módulo complejo, característicos del intervalo viscoelástico lineal en los tres geles

	A	B	C
$\gamma_{\max}$ (%)	$1.35 \pm 0.14$	$1.70 \pm 0.40$	$2.78 \pm 0.24$
$\sigma_{\max}$ (Pa)	$993 \pm 99$	$1910 \pm 191$	$1020 \pm 102$
$G^*_{\max}$ (kPa)	$73.6 \pm 6.8$	$117 \pm 22$	$40 \pm 3.6$

### Ensayo estático de carga y recuperación

Este test proporciona los valores de capacitancia  $J(t)$  en función del tiempo de carga y recuperación a 10°C, datos que sirven para corroborar los valores límite de tensión que caracterizan el intervalo viscoelástico lineal [4].

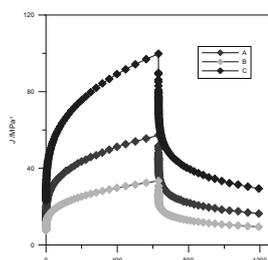


Figura 1. Valores de la capacitancia ( $J$ ) en función del tiempo.  $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Los valores relativos de capacitancia en el instante final de carga y recuperación del gel B (Figura 1), indican que posee una elasticidad más elevada, lo que manifiesta una mayor funcionalidad de su proteína miofibrilar.

*Agradecimientos:* Ministerio de Educación y Ciencia por la financiación del proyecto AGL2005-04347/ALI.

### Referencias

- [1] Park, J.W. *Surimi and Surimi Seafood*. Marcel Dekker, Inc. New York, 2005
- [2] Campo-Deaño, L. y Tovar, C. The effect of egg albumen on the viscoelasticity of crab sticks made from Alaska Pollock and Pacific whiting surimi. *Food Hydrocolloids*, 23, 1641–1646 (2009).
- [3] Chen, Y. y Jaczynski, J. Gelation of protein recovered from whole Antarctic Krill (*Euphasia superba*) by isoelectric solubilization/precipitation as affected by functional additives. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55, 1814–1822 (2007).
- [4] Mezger, T. *The Rheology Handbook*. Vicentz Network, (Coatins Compendia). Hannover, 2006

## EFECTO DEL MÉTODO DE ELABORACIÓN DE SURIMI DE JUREL EN LA VISCOELASTICIDAD DE SUS GELES

L. Iglesias, E. Carballo, C. A. Tovar

*Dpto Física Aplicada, Universidad de Vigo, Facultad de Ciencias, As Lagoas 32004 Ourense.  
tovar@uvigo.es*

**Keywords:** surimi, espectro mecánico, factor de calidad, energía de activación

### INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo es evaluar el efecto del proceso químico de elaboración de surimi de jurel, en las propiedades termo-reológicas de sus geles definitivos. Este análisis se basa en el estudio de las magnitudes viscoelásticas obtenidas de los espectros mecánicos y de los ensayos en barrido de temperatura dentro del intervalo lineal.

### MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras analizadas son de tres tipos de geles de surimi:

- *A*: elaborado por el método de la solubilización ácida del músculo de jurel.
- *B*: elaborado por el método de la solubilización alcalina del músculo de jurel.
- *C*: elaborado por el método de la solubilización alcalina del músculo de jurel + 0.3% NaCl.

Se han utilizado dos reómetros: un Bohlin CVO que controla el esfuerzo aplicado a la muestra y otro RS600 de Haake que controla además la deformación y la velocidad de cizalla aplicadas.

Para la determinación del espectro mecánico se ha aplicado una frecuencia variable bajo una amplitud de deformación constante a 10 °C. Este test posee gran importancia para la industria, ya que permite determinar el espectro mecánico, esto es, la evolución de las propiedades viscoelásticas a distintas escalas de tiempo. Las condiciones experimentales aplicadas en este ensayo han sido:  $v_{inicial} = 10$  Hz,  $v_{final} = 0.10$  Hz,  $\gamma_{max} = 0.5$  %.

Los resultados experimentales de  $G'$  y  $G''$  para cada valor de  $\omega$ , fueron ajustados a la ley de potencia según las ecuaciones:

$$G' = G_0' \omega^{n'} \quad (1)$$

$$G'' = G_0'' \omega^{n''} \quad (2)$$

A partir de este ensayo es posible obtener un parámetro adimensional denominado factor de calidad [1],  $Q$ . El factor  $Q$  se define como  $2\pi$  veces la relación entre la energía almacenada y el promedio de la energía perdida durante un periodo de oscilación. Si se identifica la energía almacenada con el valor de  $G'$ , obtenido por la ec. (1) y la energía disipada con el valor de  $G''$  mediante la ec. (2) durante un ciclo de oscilación, se obtiene la ecuación 3:

$$Q = 2\pi \frac{G_0'}{G_0''} \omega^{n'-n''} \quad (3)$$

Además, a partir del ensayo oscilatorio en barrido de temperatura, se ha determinado la energía de activación para cada uno de los geles. Las condiciones experimentales utilizadas en el barrido térmico fueron las siguientes:  $\nu = 0.1\text{Hz}$ ,  $T_{inicial} = 10\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{final} = 90\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_{max} = 0.5\%$ , velocidad de calentamiento =  $1\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Ensayo oscilatorio en barrido de frecuencia*

Comparando los espectros mecánicos de los tres geles, los valores menores de  $n'$  y  $n''$  junto con los más elevados del factor de calidad (Tabla 1), se concluye que la proteína recuperada mediante solubilización alcalina del músculo de jurel, posee una mejor funcionalidad, puesto que origina geles definitivos con mejores propiedades reológicas.

Tabla 1. Parámetros de ajuste de las ec. (1, 2) a  $T = 10\text{ }^\circ\text{C}$  y valores para el factor de calidad (ec. 3)

Muestra	$G_0' \pm \text{I.E.} (\text{kPa} \cdot \text{s}^n)$	$G_0'' \pm \text{I.E.} (\text{kPa} \cdot \text{s}^n)$	$n' \pm \text{I.E.}$	$n'' \pm \text{I.E.}$	Q
A	$72.91 \pm 7.29$	$16.82 \pm 1.51$	$0.140 \pm 0.001$	$0.144 \pm 0.002$	$27.01 \pm 0.14$
B	$116 \pm 12.07$	$24.21 \pm 2.18$	$0.123 \pm 0.002$	$0.125 \pm 0.007$	$29.93 \pm 0.43$
C	$38.43 \pm 1.92$	$8.17 \pm 0.57$	$0.132 \pm 0.001$	$0.140 \pm 0.002$	$29.10 \pm 0.14$

### *Ensayo oscilatorio en barrido de temperatura*

La mayor energía de activación del gel B ( $12.84 \pm 0.32\text{ kJ/mol}$ ) con respecto a las de los geles A ( $10.11 \pm 0.36\text{ kJ/mol}$ ) y C ( $11.17 \pm 0.26\text{ kJ/mol}$ ), se corresponde con los máximos valores de  $G_0'$  y  $G_0''$  (Tabla 1) e indica que posee un retículo proteico con mayor solidez y firmeza estructural. Este resultado refleja la capacidad del método de solubilización alcalina de mantener mejor el estado nativo de la proteína miofibrilar [2].

*Agradecimientos:* Ministerio de Educación y Ciencia por la financiación del proyecto AGL2005-04347/ALI.

## Referencias

- [1] Arya, A. P., *Introduction to Classical Mechanics*, Allyn and Bacon, Massachusetts, 1990.  
 [2] Chen, Y. y Jaczynski, J. Gelation of protein recovered from whole Antarctic Krill (*Euphasia superba*) by isoelectric solubilization/precipitation as affected by functional additives. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55, 1814-1822 (2007).

## COMPORTAMIENTO FRENTE A TEMPERATURA Y PRESIÓN DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA DE LÍQUIDOS IÓNICOS

L. Romani, J. Troncoso, P. Navia

*Departamento de Física Aplicada, Universidad de Vigo, Campus As Lagoas 32004 Ourense.  
roman@uvigo.es*

**Keywords:** Calorimetría, Coeficiente de dilatación térmica, Líquidos iónicos

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años el estudio de los líquidos iónicos ha experimentado un auge considerable, debido a que se han propuesto como sustitutos no contaminantes de los disolventes orgánicos tradicionalmente empleados en la industria química. Como es sabido, presentan una presión de vapor extremadamente baja, no son inflamables, presentan gran estabilidad térmica y son reciclables. Para una comprensión profunda del comportamiento de estos compuestos y de sus posibles aplicaciones, se hace necesaria la determinación experimental de sus propiedades termofísicas. Se han realizado numerosos trabajos en los que se han determinado diversas propiedades en función de la temperatura y presión [1-4]; sin embargo, a pesar de su importancia, apenas se dispone de datos fiables del coeficiente de dilatación térmica  $\alpha_p$  en función de  $T$  y  $p$ , debido a la complejidad que involucra su medida precisa. Habitualmente esta magnitud se obtiene a partir de datos densitométricos, por derivación directa, usando la relación:

$$\alpha_p = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (1)$$

Para obtener  $\alpha_p$  con una precisión aceptable, se requiere una buena precisión en la determinación de la densidad. Existe, sin embargo, una vía alternativa para obtener  $\alpha_p$ , basada en calorimetría, con la gran ventaja de que  $\alpha_p$  se obtiene directamente, y no a través de la relación (1), que supone, implícita o explícitamente la suposición de una relación funcional concreta entre la densidad y la temperatura.

En este trabajo se ha utilizado un método calorimétrico directo para determinar  $\alpha_p$  para una serie de líquidos iónicos en función de la temperatura y la presión. El comportamiento de  $\alpha_p$  frente a la temperatura de estos compuestos ha ocasionado en los últimos años cierta discusión, pues, debido a la precisión limitada de los resultados obtenidos de densitometría, se encontraron resultados contradictorios. El objetivo de esta contribución es aportar datos experimentales directos que ayuden a dilucidar esta cuestión.

### MÉTODO EXPERIMENTAL

El método para la determinación de  $\alpha_p$  se basa en el calor emitido o absorbido por la muestra debido a un cambio de presión;  $\alpha_p$  se determina empleando la siguiente ecuación, basada en una relación de Maxwell:

$$\alpha_p = -\frac{1}{VT} \frac{d'Q}{dp} \quad (2)$$

$\alpha_p$  se ha obtenido a partir de mediadas realizadas con un calorímetro SETARAN MICRO-DSCII acoplado a un controlador de presión Ruska 7610. Se ha empleado el método de barrido, que consiste fundamentalmente en aplicar una presión que varía linealmente con el tiempo a una velocidad prefijada ( $1.5 \text{ MPa} \cdot \text{min}^{-1}$  en este trabajo), y se han utilizado dos líquidos de calibrado, agua y *n*-hexano, seleccionados por la alta precisión de los datos bibliográficos de  $\alpha_p$  disponibles para estos compuestos. Los intervalos de temperatura y presión de medida fueron ( $278.15 - 348.15$ ) K y (5-50) MPa.

## RESULTADOS

El coeficiente de dilatación térmica para los líquidos iónicos estudiados decrece en todos los casos frente a presión y temperatura. La dependencia respecto a la presión es la obtenida usualmente para otro tipo de líquidos, pero el comportamiento respecto a la temperatura es opuesto al habitual; para la mayoría de los líquidos  $\alpha_p$  decrece frente a  $T$  únicamente a altas presiones. Estos resultados corroboran estudios anteriores basados en medidas de densidad a presión atmosférica [5] en los que se encontraba que  $\alpha_p$  decrece frente a  $T$ . Así pues, se puede concluir de manera general que  $\alpha_p$  de los líquidos iónicos se comporta de forma anómala, hecho que tiene su origen en la propia naturaleza de estos compuestos. Las fluctuaciones, y en concreto las correlaciones volumen –entalpía, son, en último término las responsables del crecimiento de  $\alpha_p$  respecto a la temperatura. Los líquidos iónicos en el intervalo de temperaturas considerado presentan muy pocas fluctuaciones, ya que son sistemas extremadamente cohexionados en los que prevalecen las fuerzas de interacción iónicas. Por lo tanto, es razonable que  $\alpha_p$  se comporte de manera semejante al de un sistema exento de fluctuaciones, que es decreciente respecto a la temperatura.

*Dedicatoria:* El presente trabajo se dedica a la memoria del Profesor Dr. Miguel Postigo, de la Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.

## Referencias

- [1] Gardas, R. L.; Freire, M. G.; Carvalho, P. J.; Marrucho, I. M.; Fonseca, I. M. A.; Ferreira, A. G. B.; Coutinho, J. A. P. *J. Chem. Eng. Data.* 52, 80-88 (2007)
- [2] Harris, K. R.; Kanakubo, M.; Woolf, L. A. *J. Chem. Eng. Data.* 52, 2425-2430 (2007)
- [3] Sanmamed, Y. A.; González-Salgado, D.; Troncoso, J.; Romani, L.; Baylaucq, A. Boned, C. *J. Chem. Thermodyn.* 42, 553-563 (2010)
- [4] Sanmamed, Y. A.; Navia, P.; Gonzalez-Salgado, D.; Troncoso, J.; Cerdeirina, C. A.; Romani, *J. Chem. Eng. Data.* 55, 600-604 (2010)
- [5] Sanmamed, Y. A.; Gonzalez-Salgado, D.; Troncoso, J.; Cerdeirina, C. A.; Romani, L. *Fluid Phase Equilib.* 252, 96-102 (2007)

## SIMULACIÓN MOLECULAR DE FLUIDOS CONFINADOS, INFLUENCIA DEL POTENCIAL DE INTERACCIÓN CON EL SUSTRATO

J. M. Míguez, G. Pérez-Sánchez, D. González-Salgado,

J. L. Legido, M. M. Piñeiro

*Departamento de Física Aplicada, Facultade de Ciencias, Universidade de Vigo, 36310 Vig.  
mmpineiro@uvigo.es*

**Keywords:** Fluidos confinados, Monte Carlo, interacción sólido-fluido.

El estudio de propiedades interfaciales de fluidos complejos en contacto con sustratos sólidos atrae una atención creciente debido a que su conocimiento es clave en numerosos procesos, como por ejemplo la extracción de gas natural de depósitos porosos. En la actualidad la caracterización de la naturaleza de estas interacciones es muy limitada y se basa en estudios fenomenológicos, pero las teorías de interfases fluidas están lejos del desarrollo alcanzado para el estudio de fluidos libres. En el caso de extracción forzada de gas natural, la adsorción sobre el sustrato es muy elevada y debe inyectarse un fluido de base acuosa para aumentar el rendimiento del proceso. La adecuada descripción de la modificación de las propiedades interfaciales debido a la inyección forzada de un fluido externo es la clave para mejorar el rendimiento de este proceso, pero los modelos teóricos usados habitualmente ofrecen resultados poco fiables en este tipo de estimación, sobre todo cuando se consideran moléculas de elevada polaridad. La simulación molecular ofrece en este marco una herramienta clave para identificar el tipo de interacciones presentes, y en este trabajo se ha utilizado el método de Monte Carlo aplicado a fluidos puros (metano, agua y dióxido de carbono, tres componentes claves en el proceso citado), confinados entre dos paredes plano paralelas interaccionantes. Se ha determinado la influencia del tipo de potencial sustrato-fluido ensayado, calculando en cada caso los perfiles de densidad y coeficiente de adsorción del fluido confinado. También se han determinado las propiedades interfaciales usando el método del Test-Área [1], y se han comparado estos valores con los obtenidos a partir de las componentes de la presión, considerando el efecto de capilaridad debido a la distancia entre paredes, y el tipo de potencial confinante. Para el metano se ha considerado un modelo molecular formado por una única esfera Lennard-Jones (LJ), para el dióxido de carbono se ha considerado un modelo que incluye un sitio LJ más una contribución multipolar integrada isótropa (IMP) [2], y para describir el agua se ha utilizado el modelo TIP4P 2005, que se ha revelado como uno de los modelos rígidos no polarizables más versátiles y precisos de los existentes en la actualidad [3].

*Agradecimientos.* Los autores agradecen a la Consellería de Educación e Ordenación Universitaria (Xunta de Galicia) y al Ministerio de Ciencia e Innovación (Proy. Ref. FIS2009-07923) por la financiación de este trabajo.

### Referencias

- [1] Gloor, G. J.; Jackson, G.; Blas, F. J.; de Miguel, E., *J. Chem. Phys.* 123, 134703 (2005).
- [2] Gallero, G.; Nieto-Draghi, C.; Boned, C.; Avalos, J. B.; Mackie, A. D.; Baylauq, A.; Montel, F., *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46, 5238 (2007)
- [3] Vega, C.; de Miguel E., *J. Chem. Phys.*, 126, 154707, (2007).

## PRUEBAS DE UN NUEVO EBULLÓMETRO PARA LA DETERMINACIÓN ELV A MEDIAS PRESIONES

J. J. Rodríguez, R. J. Rios, A. J. Sosa, P. Susial

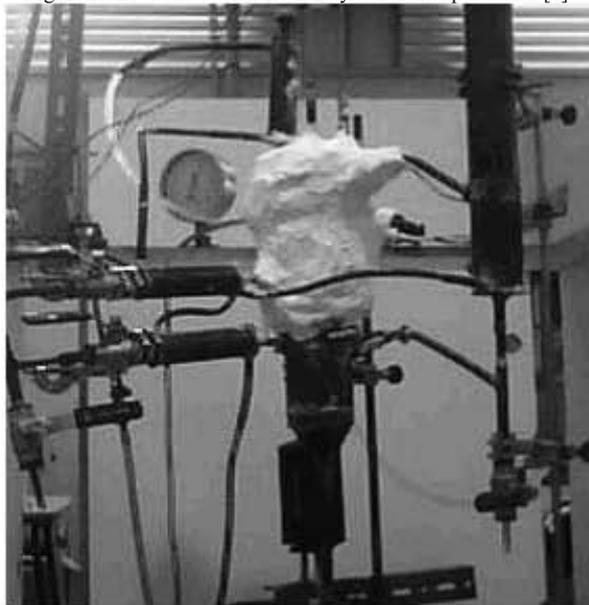
*Departamento de Ingeniería de Procesos. Escuela Ingenierías Industriales y Civiles.  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria c/Juan de Quesada nº 30, 35001 Las Palmas de  
Gran Canaria. psusial@dip.ulpgc.es*

**Keywords:** ELV, Ebulómetro, Acetato de Metilo, Acetato de Etilo, Etanol.

### RESUMEN

Se presenta un nuevo ebulómetro (Figura 1.) para el estudio del Equilibrio Líquido-Vapor desarrollado y construido en cobre por Susial [1], con similar configuración que el ebulómetro fabricado en vidrio de Casiano de Afonso [2]. Por tanto, el nuevo recinto de equilibrio, en similar forma

Figura 1.- Ebulómetro desarrollado y construido por Susial [1].



que el de Casiano de Afonso[2], dispone de un vaso invertido de doble pared en el que se genera una mezcla hirviendo. La mezcla asciende por un tubo Cottrell que finaliza en un recipiente invertido, el cual hace de cámara de equilibrio. Se canaliza la fase líquida, y canaliza y condensa la fase vapor. Por tanto ambas fases son recirculadas.

El nuevo recinto de equilibrio se ha pensado para trabajar a medias presiones hasta 1000 kPa. Este equipo es una modificación del ebulómetro desarrollado por Casiano de Afonso [2], el cual a su vez tiene como referencia el ebulómetro de Gillespie [3],

y realiza algunas modificaciones respecto del recinto dinámico de Malanowski [4]. No obstante, en el ebulómetro de cobre se han realizado algunas modificaciones para facilitar la toma de muestras sometidas a presiones sobreatmosféricas, con tal motivo, se han de utilizar además unos recipientes herméticos externos al equipo.

Para evaluar el comportamiento de dicho ebulómetro se ha estudiado el ELV de las mezclas, acetato de etilo + etanol, y acetato de metilo + etanol, a la presión de 100 kPa. Estos sistemas han sido analizados respecto de los datos existentes en la bibliografía y se ha observado una

adecuada correspondencia entre todos ellos. Además los datos experimentales obtenidos han sido verificados con el test de consistencia punto-a-punto de Van Ness [5] en la forma propuesta por Fredeslund [6]. Por tanto, considerando el análisis precedente y por la consistencia positiva de los datos, se deduce, que el nuevo ebulómetro puede suministrar datos de muy alta calidad.

Los datos p-T-x-y de los dos sistemas estudiados fueron correlacionados mediante la ecuación de las zetas propuesta por Ocon [7], también fueron comparados utilizando modelos matemáticos (Van Laar, Margules y Redlich-Kister) y modelos semi-empíricos basados en el concepto de composición local (Wilson, NRTL, UNIQUAC) así como empleando los modelos de contribución de grupos (UNIFAC [6], ASOG [8], UNIFAC Lygnby [9], UNIFAC Dortmund [10]).

#### Referencias

- [1] Susial, P.; Rios-Santana, R. and Sosa-Rosario, A.; VLE data of methyl acetate + methanol at 1.0, 3.0 and 7.0 bar with a new ebulliometer. *Journal Of Chemical Engineering Japan* (accepted) (2010).
- [2] C. de Afonso, R. Ezama, P. Losada, M.A. Calama, B. Llanas, M. Pindado, A.F. Saenz de la Torre; Equilibrio Isobárico Líquido. Vapor. III Desarrollo y ensayo de un aparato de equilibrio de pequeña capacidad. *Anales de Química de la RSEQ*, 79, 243-253 (1983).
- [3] Gillespie, D.T.C.; Vapor-liquid equilibrium still for miscible liquids. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.*, 18, 575-577 (1946).
- [4] Malanowski, S.; Experimental methods for vapour-liquid equilibria. Part I. Circulation methods. *Fluid Phase Equilibria*, 8, 197-219 (1982).
- [5] Van Ness, H. C.; Byers S. M. and Gibbs, R. E.; Vapor-Liquid equilibria; Part I An appraisal of data reduction methods. *AICHE J.*, 19, 238 -244 (1973).
- [6] Fredeslund, Aa.; Gmehling, J. and Rasmussen, P.; Vapor-liquid equilibria using UNIFAC. A group contribution method. Ed. Elsevier Science. New York (1977).
- [7] Ocón, J.; Equilibrio Vapor-Líquido. VIII Sistema Binario Etanol-Agua a 760 mmHg. *Anales de la Real Sociedad Española de Física y Química*, 65, 623-629, (1969).
- [8] Kojima, K. and Tochigi, K.; Prediction of Vapor-Liquid Equilibria by the ASOG Method. Kodansha Ltd., Tokyo (1979).
- [9] Larsen, B. L.; Rasmussen, P. and Fredenslund, Aa.; A modified UNIFAC Group Contribution Model for Prediction of Phase Equilibria and Heats of Mixing. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 26, 2274-2286 (1987).
- [10] Gmehling, J.; Li, J. and Schiller, M.; A Modified UNIFAC Model. 2. Present Parameter Matrix and Results for Different Thermodynamic Properties. *Ind. Chem. Eng. Res.*, 32, 178-193 (1993).

## EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR DEL ACETATO DE METILO + METANOL A DIFERENTES PRESIONES. SISTEMAS BINARIOS.

R. J. Rios, J. J. Rodríguez, A. Sosa, P. Susial

*Departamento de Ingeniería de Procesos. Escuela Ingenierías Industriales y Civiles.  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria c/Juan de Quesada n° 30, 35001 Las Palmas de  
Gran Canaria. psusial@dip.ulpgc.es*

**Keywords:** ELV, Acetato de Metilo, Metanol.

### RESUMEN

Este trabajo sobre ELV forma parte de un proyecto final de carrera, de la titulación de ingeniero químico de la ULPGC, en el que se analiza la evolución de los azeotropos al modificar la presión, ello es altamente importante para determinar las regiones más favorables en las que realizar la separación de las sustancias. También se estudia el comportamiento predictivo de los modelos de contribución por grupos en condiciones sobreatmosféricas.

Se ha determinado experimentalmente los datos p-T-x-y a 100, 300 y 500 kPa del sistema binario acetato de metilo + metanol. Asimismo, se ha determinado las presiones de vapor del acetato de metilo y del metanol, en el rango de 6-1000 kPa. Para ello se ha utilizado el ebulómetro de cobre desarrollado y construido por P. Susial [1]. Como quiera que los datos de las presiones de vapor influyen notoriamente en el estudio termodinámico de los datos del ELV y específicamente en su posterior consistencia termodinámica, es por lo que se ha utilizado el método simplex de Nelder y Mead [2], para su correlación respecto de la ecuación de Antoine.

Los tres sistemas a 100, 300 y 500 kPa han mostrado ser termodinámicamente consistentes cuando se les aplicó el test punto-a-punto de Van Ness [3] en la forma propuesta por Fredeslund [4]. Los datos p-T-x-y fueron correlacionados a una ecuación de tipo polinómico y a las ecuaciones de Van Laar, Margules y Redlich-Kister. También fueron evaluados los modelos empíricos basados en el concepto de composición local (Wilson, NRTL, UNIQUAC), y los modelos predicción por contribución de grupos (ASOG [5], UNIFAC [4], UNIFAC Lygby [6] UNIFAC Dortmund [7]).

### Referencias

- [1] Susial, P.; Rios-Santana, R. and Sosa-Rosario A.; VLE data of methyl acetate + methanol at 1.0, 3.0 and 7.0 bar with a new ebulliometer. *Journal of Chemical Engineering Japan* (accepted) (2010).
- [2] Nelder, J. and Mead, R.; A Simplex Method for Function Minimization. *Comput. J.*, 7, 308-313 (1967).
- [3] Van Ness, H. C.; Byers S. M. and Gibbs, R. E.; Vapor- Liquid equilibria; Part I An appraisal of data reduction methods. *AICHE J.*, 19, 238-244 (1973).
- [4] Fredeslund, Aa.; Gmehling, J. and Rasmussen, P.; Vapor-liquid equilibria using UNIFAC. A group contribution method. Ed. Elsevier Science. New York (1977).
- [5] Kojima, K. and Tochigi, K.; Prediction of Vapor-Liquid Equilibria by the ASOG Method. Kodansha Ltd, Tokyo (1979).
- [6] Larsen, B. L.; Rasmussen, P. and Fredeslund, Aa.; A modified UNIFAC Group Contribution Model for Prediction of Phase Equilibria and Heats of Mixing. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 26, 2274-2286 (1987).
- [7] Gmehling, J.; Li, J. and Schiller, M.; A Modified UNIFAC Model. 2. Present Parameter Matrix and Results for Different Thermodynamic Properties. *Ind. Chem. Eng. Res.*, 32, 178-193 (1993).

## DETERMINACIÓN DEL EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR EN MEZCLAS BINARIAS ESTER+n-ALKANOL A 700 kPa.

J. J. Rodríguez, R. J. Rios, A. J. Sosa, P. Susial<sup>a</sup>

*Departamento de Ingeniería de Procesos. Escuela Ingenierías Industriales y Civiles.  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria c/Juan de Quesada n° 30, 35001 Las Palmas de  
Gran Canaria. psusial@dip.ulpgc.es*

**Keywords:** ELV, Acetato de Metilo, Acetato de Etilo, Metanol, Etanol.

### Resumen

Los datos del Equilibrio Líquido-Vapor a moderadas presiones correspondientes a los sistemas ester+alcohol son presentados. Este estudio forma parte de dos proyectos final de carrera, desarrollados en la Escuela de Ingenieros Industriales y Civiles de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, utilizando el ebulómetro construido en el laboratorio de Tecnología Química General [1].

Se realizó la determinación experimental de los datos p-T-x-y que definen el ELV de los sistemas binarios acetato de metilo + metanol y etanol y acetato de etilo + metanol y etanol a 700 kPa de presión, con la finalidad de comprobar la evolución del azeótropo en función de la presión.

A los cuatro sistemas presentados en este trabajo se les aplicó el test punto-a-punto de Van Ness [2] en la forma propuesta por Fredeslund [3]. Los datos han resultado termodinámicamente consistentes al considerar el criterio establecido en la bibliografía [3].

Los datos fueron correlacionados con la ecuación polinómica basada en el término "Z" o fracción activa, concepto establecido por el Prof. Ocon [4]. También fueron correlacionados a modelos termodinámicos matemáticos (Van Laar, Margules y Redlich-Kister) y comparados los modelos con base termodinámica basados en el concepto de composición local (Wilson, NRTL, UNIQUAC). Por último, se verificó la capacidad predictiva de los modelos de contribución de grupos a presiones sobreatmosféricas utilizando los modelos ASOG[5], UNIFAC [3], UNIFAC Lygby [6] y UNIFAC Dortmund [7].

### Referencias

- [1] Susial, P.; Rios-Santana, R. and Sosa-Rosario A.; VLE data of methyl acetate + methanol at 1.0, 3.0 and 7.0 bar with a new ebulliometer. Journal Of Chemical Engineering Japan (accepted) (2010).
- [2] Van Ness, H.C.; Byers S.M. and Gibbs, R.E.; Vapor-Liquid equilibria; Part I An appraisal of data reduction methods. AICHEJ., 238, (1973).
- [3] Fredeslund, Aa.; Gmehling, J. and Rasmussen, P.; Vapor-liquid equilibria using UNIFAC. A group contribution method. Ed. Elsevier Science. New York (1977).
- [4] Ocon, J.; Equilibrio Vapor-Líquido. VIII Sistema Binario Etanol-Agua a 760 mmHg. Anales de la Real Sociedad Española de Física y Química, 65, 623-629, (1969).
- [5] Kojima, K. and Tochigi, K.; Prediction of Vapor-Liquid Equilibria by the ASOG Method. Kodansha Ltd, Tokyo (1979).
- [6] Larsen, B. L.; Rasmussen, P. and Fredeslund, Aa.; A modified UNIFAC Group Contribution Model for Prediction of Phase Equilibria and Heats of Mixing. Ind. Eng. Chem. Res., 26, 2274-2286 (1987)
- [7] Gmehling, J.; Li, J. and Schiller, M.; A Modified UNIFAC Model. 2. Present Parameter Matrix and Results for Different Thermodynamic Properties. Ind. Chem. Eng. Res., 32, 178-193 (1993)

## ESTUDIO DEL ELV EN MEZCLAS BINARIAS ESTER+n-ALKANOL A MODERADAS PRESIONES.

R. J. Rios, J. J. Rodríguez, A. Sosa, P. Susial

*Departamento de Ingeniería de Procesos. Escuela Ingenierías Industriales y Civiles.  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria c/Juan de Quesada n° 30, 35001 Las Palmas de  
Gran Canaria. psusial@dip.ulpgc.es*

**Keywords:** ELV, Acetato de Etilo, Metanol, Etanol.

### RESUMEN

Para el dimensionado de las operaciones de separación, el ingeniero químico necesita los datos del equilibrio entre las fases, es por ello para este trabajo se han determinado experimentalmente los datos del Equilibrio Líquido Vapor correspondientes a varios sistemas binarios ester + alcohol en condiciones isobáricas utilizando el ebulómetro desarrollado y construido por uno de nosotros [1].

Se han estudiado las mezclas acetato de etilo + metanol y acetato de etilo + etanol, a las presiones de 300 y 500 kPa, con la finalidad de comprobar la evolución de los sistemas y la capacidad predictiva de los modelos de contribución de grupos. Se han determinado experimentalmente los datos p-T-x-y que definen el ELV y los datos correspondientes a las presiones de vapor del acetato de etilo y del etanol, en el rango de 6-1000 kPa, ya que estos y su adecuada correlación influyen notoriamente en la evaluación termodinámica de los datos del ELV. Por ello, para el tratamiento matemático se ha empleado el método de Nelder y Mead [2].

Los cuatro sistemas han mostrado ser termodinámicamente consistentes cuando se les aplicó el test punto-a-punto de Van Ness [3] en la forma propuesta por Fredeslund [4]. Los datos p-T-x-y, fueron correlacionados con diferentes ecuaciones matemáticas y estudiados con los modelos basados en el concepto de composición local (Wilson, NRTL, UNIQUAC) y con modelos de predicción (UNIFAC [4], ASOG [5], UNIFAC Lygny [6] UNIFAC Dortmund [7]).

### Referencias

- [1] Susial, P.; Rios-Santana, R. and Sosa-Rosario, A.; VLE data of methyl acetate + methanol at 1.0, 3.0 and 7.0 bar with a new ebulliometer. Journal Of Chemical Engineering Japan (accepted) (2010).
- [2] Nelder, J. and Mead, R.; A Simplex Method for Function Minimization. Comput. J., 7, 308-313 (1967).
- [3] Van Ness, H. C.; Byers S. M. and Gibbs, R. E.; Vapor- Liquid equilibria; Part I An appraisal of data reduction methods. AIChE J., 19, 238-244 (1973).
- [4] Fredeslund, Aa.; Gmehling, J. and Rasmussen, P.; Vapor-liquid equilibria using UNIFAC. A group contribution method. Ed. Elsevier Science. New York (1977).
- [5] Kojima, K. and Tochigi, K.; Prediction of Vapor-Liquid Equilibria by the ASOG Method. Kodansha Ltd., Tokyo (1979).
- [6] Larsen, B. L.; Rasmussen, P. and Fredenslund, Aa.; A modified UNIFAC Group Contribution Model for Prediction of Phase Equilibria and Heats of Mixing. Ind. Eng. Chem. Res., 26, 2274-2286 (1987).
- [7] Gmehling, J.; Li, J. and Schiller, M.; A Modified UNIFAC Model. 2. Present Parameter Matrix and Results for Different Thermodynamic Properties. Ind. Chem. Eng. Res., 32, 178-193 (1993).

## CARACTERIZACIÓN DE PELLETS DE RESIDUOS DE TOMATE INDUSTRIAL

A. Ruiz-Celma <sup>a</sup>, M. T. Delgado <sup>a</sup>, A. M<sup>a</sup> V. Galán <sup>a</sup>, F. Cuadros <sup>b</sup>, A. González-González <sup>b</sup>,  
F. López-Rodríguez <sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales. Universidad de Extremadura, Avda. de Elvas s/n, 06071 Badajoz. aruiz@unex.es*

<sup>b</sup> *Departamento de Física Aplicada. Universidad de Extremadura, Avda. de Elvas s/n, 06071 Badajoz. cuadros1@unex.es*

<sup>c</sup> *Departamento de Expresión Gráfica. Universidad de Extremadura. Avda. de Elvas s/n, 06071 Badajoz.*

**Keywords:** Pelletizado, Residuos de tomate industrial, Propiedades fisico-químicas

### INTRODUCCIÓN

El cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) está ampliamente extendido por todo el mundo, donde España se encuentra como el noveno país en cuanto a producción con 3.664.100 Mt anuales, precedido por China, Estados Unidos, India, Turquía, Egipto, Italia e Irán; en décimo lugar se encuentra Brasil [1]. En Extremadura la producción fue de 1.400.000 toneladas en el año 2008, según datos facilitados por Ctaex (Centro Tecnológico Agroalimentario de Extremadura).

El procesado industrial del tomate da lugar a una amplia variedad de productos, como son: concentrado de tomate, zumo, salsa de tomate, tomate deshidratado, etc. Los residuos de tomate utilizados son los que derivan de los procesos de transformación, y son principalmente la piel y las pepitas, que suponen entre un 3% y 5% en peso del producto seco. Estos subproductos, como la mayoría de los residuos sólidos vegetales se utilizan para alimentar ganado, pero su elevado contenido en humedad hace que surjan problemas con su conservación y almacenamiento. Para evitar este problema es recomendable hacer uso del secado térmico y una vez eliminada la humedad y con el fin de facilitar su transporte, manejo y almacenamiento, someterlos a un proceso de pelletizado.

La densificación por pelletizado es una de las formas más eficientes de valorizar residuos agrícolas y biológicos [2], por ello el principal objetivo del presente trabajo es estudiar los diferentes parámetros de los granulados de residuos de tomate industrial fabricados con distintos niveles de contenido en humedad inicial, de modo que se consiga optimizar el proceso de pelletizado y, de manera indirecta, el secado térmico previo que resulta necesario en el tratamiento y valorización de estos residuos.

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En primer lugar se somete al residuo de tomate, que se encuentra con el contenido en humedad deseado, a un proceso de triturado con ayuda de un molino de cuchillas modelo *Euro tools 220 V/1,5 kW/50 Hz/2850 rpm* (Figura 1), para a continuación proceder al pelletizado de dicho residuo con ayuda de la pelletizadora a escala de laboratorio modelo

## Posters

*Euro tools*, 380 V/15 kW/ 50 Hz, con una producción máxima de 600 kg/h (Figura 2). El contenido en humedad se determina según se establece en la norma UNE 32 001 [3].



Figura 1. Molino de cuchillas



Figura 2. Pelletizadora de laboratorio

## RESULTADOS

Se han realizado gránulos 6 mm de diámetro a partir de residuos con diferente contenido en humedad inicial,  $28,95 \pm 0,50\%$  y  $37,79 \pm 0,50\%$  en peso y base húmeda, con el fin de determinar sus propiedades físico-químicas: densidad aparente y real, dureza, durabilidad y resistencia al agua; así como la densidad energética final para evaluar su posible utilidad como combustible, y así conocer en que modo afecta el contenido en humedad inicial a los resultados de los análisis. Algunos datos se presentan en la Tabla 1.

Para determinar la dureza de lo gránulos, se utiliza un durómetro manual *Amandus Kahl modelo 21465*, con el se intenta simular las fuerzas de compresión sufridas por los pellets durante su manipulación y almacenamiento. Para llevar a cabo el test de durabilidad se utiliza un durabilímetro *Mabrik DBM 230*, con el que se emula el desgaste sufrido por los pellets durante la manipulación mecánica o neumática.

<b>Humedad residuo (%)</b>	<b>28,95</b>	<b>37,79</b>
Densidad real ( $\text{kg/m}^3$ )	719,75	619,26
Densidad aparente ( $\text{kg/m}^3$ )	291,28	200,74
Durabilidad (%)	77,57	72,78
Densidad energética ( $\text{MJ/m}^3$ )	7.887,77	5.436,06

Tabla 1. Algunos resultados de los ensayos realizados a los gránulos de residuo de tomate.

*Agradecimientos:* Este trabajo ha recibido soporte financiero del Proyecto “Competitividad del Sector de Semielaborados de Tomate”, Subproyecto PSS-060000-2009-31, enmarcado en el Programa Nacional de Recursos y Tecnologías Agroalimentarias del Ministerio de Educación y Ciencia.

## Referencias

- [1] FAO (2007). FaoStat Database. Available from <http://faostat.fao.org>
- [2] Barrer, P. C., 2003. Biomasa transport systems. In: Heldman, D. (Ed.), Encyclopedia of Agriculture, Food and Biological Engineering. Dekker Publisher, New York, pp. 94-98.
- [3] Norma Española UNE 32001. Hulla y antracita: determinación de la humedad total, 1981.

## SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS

N. Fontaiña-Troitiño, V. Salgueiriño, J.L. Legido.

*Departamento Física Aplicada, Universidad de Vigo, 36310 Vigo*

**Keywords:** Nanopartícula, Magnéticas.

En las últimas décadas se han llevado a cabo un gran número de estudios sobre las nanopartículas debido a sus distintas propiedades en campos tan diversos como la termodinámica, el electromagnetismo y la mecánica, y sus posibles aplicaciones.

En nuestro caso, se trata de desarrollar un nuevo método de síntesis basado en la descomposición térmica de precursores metálicos con el fin de obtener nanopartículas magnéticas en medio no acuoso, para una posterior caracterización termodinámica, magnética y estructural. Para realizar dicho estudio de estas propiedades es necesario un control de las condiciones de síntesis que nos permitan obtener partículas con tamaño y forma determinados.

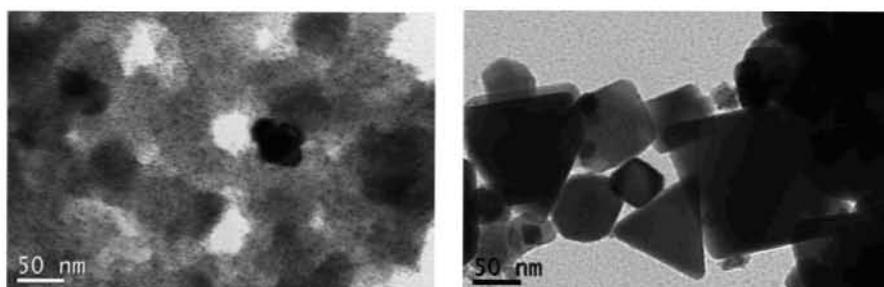


Figura 1. Imágenes de TEM que muestran partículas de níquel de 5 nm de diámetro (izquierda) y nanopartículas de  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  con distinta forma y tamaño (derecha).

*Agradecimientos.* Este trabajo es posible gracias al proyecto MAT2008-06126 del Ministerio de Innovación y Ciencia y a la Universidad de Vigo Grant 2009-Incorporación R y C.

### Referencias

- [1] Snow, C. L. Lee, C. R. Shi, Q. Boerio-Goates, J. Woodfield, B. F. *J. Chem. Thermodynamics.* 42, 1142-1151 (2010).
- [2] F. Bodker, S. Morup, S. Linderroth, *Phys. Rev. Lett.* 72, 282 (1994).
- [3] M. Abe, T. Itoh, Y. Tamaura, *ThinSolidFilms.* 216, 155 (1992).
- [4] C.V. Gopal Reddy, S.V. Manorama, V.J. Rao, *J. Mater. Sci. Lett.* 19, 775 (2000)
- [5] Benjamin D. Yuhas, David O. Zitoun, Peter J. Pauzauskie, Rongrui He, and Peidong Yang, *Angew. Chem.* 45, 420–423 (2006)

## DENSIDAD Y TENSIÓN SUPERFICIAL DE MEZCLAS BINARIAS DE LÍQUIDOS IÓNICOS EMIM-C<sub>n</sub>S + ETANOL A 25,0°C

E. Rilo, L. Segade, S. García-Garabal, M. Domínguez-Pérez, J. Pico, O. Cabeza

*Departamento de Física, Facultade de Ciencias, Universidade da Coruña, Rúa da Fraga 10,  
15008 A Coruña*

**Keywords:** Líquido iónico, mezcla binaria, densidad, tensión superficial.

### RESUMEN

Los líquidos iónicos han centrado la atención de gran número de investigadores debido a sus propiedades únicas tales como presión de vapor despreciable, excelente estabilidad térmica, alta capacidad de disolución, baja inflamabilidad etc., que los hacen apropiados para su aplicación en diferentes campos como química orgánica, electroquímica, catálisis, fisicoquímica e ingeniería. Para el desarrollo de tales aplicaciones [1] es necesario conocer las propiedades físicas de los líquidos iónicos, tanto puros como de sus mezclas con diferentes disolventes, ya que su adición tiene gran influencia en dichas propiedades.

Presentamos en esta comunicación, como continuación de nuestro trabajo en medida de propiedades físicas de líquidos iónicos y sus mezclas [2-4], datos experimentales de densidad y tensión superficial de mezclas binarias de líquidos iónicos del tipo 1-etil-3-metilimidazolio alquil sulfato (EMIM-C<sub>n</sub>S con n = 2, 4, 6 y 8), con etanol a 25,0°C y presión atmosférica. Estas medidas nos permiten estudiar la influencia que tiene tanto la adición de etanol, como el tamaño del anión en ambas propiedades.

A partir de los datos obtenidos, extraeremos los volúmenes molares de exceso y las variaciones de la tensión superficial. Ajustaremos los resultados y aplicaremos modelos teóricos disponibles para sales y disoluciones iónicas concentradas.

*Agradecimientos.* Este trabajo ha sido financiado por el proyecto de investigación FIS2007-66823-CO2-01 del Ministerio de Educación y Ciencia.

### Referencias

- [1] R.K. Rogers, K.R. Seddon (Eds.), *Ionic Liquids, Industrial Green Chemistry*, ACS Symp. Series 818, Am. Chem. Soc., Washington, 2002
- [2] J. Vila, P. Ginés, E. Rilo, O. Cabeza, L.M. Varela, *Fluid Phase Equilibria* 247 (2006) 32.
- [3] E.Rilo, J. Vila, J. Pico, S. García-Garabal, L. Segade, L.M. Varela and O. Cabeza. *J. Chem. Eng. Data* 55(2010) 639.
- [4] E. Rilo, J. Pico, S. García-Garabal, L.M. Varela and O. Cabeza. *Fluid Phase Equilibria* 285 (2009) 83.

## ENTALPÍAS MOLARES DE EXCESO DE LOS SISTEMAS BINARIOS DIBUTIL ÉTER + ISÓMEROS DEL PENTANOL A 35°C

M. Domínguez-Pérez, M. Cabanas, E. Rilo, S. García-Garabal, L. Segade, J. Pico, O. Cabeza

*Dpto. de Física, Facultade de Ciencias, Universidade da Coruña, Rúa da Fraga 15008 A  
Coruña. mdominguez@udc.es*

**Keywords:** Entalpías, dibutil éter, isómeros pentanol

### RESUMEN

En este trabajo se presentan las medidas experimentales de la entalpía molar de exceso de los siguientes sistemas binarios: Dibutil éter (DBE) + 1-pentanol, + 2-pentanol, + 3-pentanol, + 3 metil-2-butanol, + 2-metil-1-butanol y 3-metil-1-butanol a 35°C y presión atmosférica. El objetivo es estudiar la influencia de la posición del grupo OH de los distintos isómeros del pentanol en la entalpía molar de exceso.

Todas las mezclas han sido preparadas por pesada empleando para ello una balanza Mettler AT 201 cuya precisión es de  $1 \cdot 10^{-5}$ g. Las medidas experimentales se realizaron empleando un microcalorímetro Calvet conectado a un voltímetro Philips PM 2535. La desviación de las medidas de la entalpía molar de exceso se estima menor del 1%. Previamente se realizó un calibrado eléctrico del equipo usando una fuente de alimentación estable Setaram EJP 30 y posteriormente se realizó un calibrado químico empleando para ello una mezcla de hexano + ciclohexano, mezcla recomendada por la IUPAC [1]. Los detalles del procedimiento seguido fueron ya descritos previamente por Paz Andrade *et al* [2,3].

Los valores obtenidos de las entalpías molares de exceso,  $H_m^E$ , fueron ajustados empleando la ecuación polinómica de Redlich-Kister [4]

$$H_m^E = x_1 x_2 \sum_{K=0}^m A_K (x_1 - x_2)^K$$

en donde  $x_1$  es la fracción molar del DBE,  $x_2$  la fracción molar del correspondiente alcohol y  $A_K$  representa el número de coeficientes obtenidos por correlación de los datos experimentales mediante el uso del método de los mínimos cuadrados. El número de parámetros utilizados viene determinado por el criterio estadístico del test-F.

### Referencias

- [1] Marsh, K. N. Recommended Reference Materials for the Realization of Physicochemical Properties. Blackwell Scientific Publications, Londres, 1987.
- [2] Paz Andrade, M. I.; Castromil, S. and Baluja, M. C. *J. Chem. Thermodyn.* 2 ,775 (1970).
- [3] Paz Andrade, M. I. Les Développements récents de la Microcalorimétrie et de la Thermogènes. C. N. R. S., Paris, 1967.
- [4] Redlich, O. and Kister, A. T. *Ind. Eng. Chem.* 40, 341 (1948).

## SECADO CONVECTIVO EN CAPA FINA DE ALPECHÍN PROCEDENTE DE LA INDUSTRIA ALMAZARERA

A. Ruiz-Celma<sup>a</sup>, A. M<sup>a</sup> V. Galán<sup>a</sup>, M. T. Delgado<sup>a</sup>, F. Cuadros<sup>b</sup>, F. López-Rodríguez<sup>c</sup>,  
A. González-González<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales. Universidad de Extremadura, Avda de Elvas s/n, Badajoz 06071. aruiz@unex.es*

<sup>b</sup> *Departamento de Física Aplicada. Universidad de Extremadura, Avda de Elvas s/n, Badajoz 06071. cuadros1@unex.es*

<sup>c</sup> *Departamento de Expresión Gráfica. Universidad de Extremadura, Avda de Elvas s/n, Badajoz 06071. ferlopez@unex.es*

**Keywords:** Alpechín, Secado Convectivo, Contenido en Humedad, Coeficiente de difusividad, Energía de Activación

### INTRODUCCIÓN

La producción del aceite de oliva tiene vital importancia en el mundo, prioritariamente en la Unión Europea, siendo ésta, además, la principal fuente de producción (75%) y consumo. España encabeza el ranking mundial de los países productores de aceite de oliva con una producción media anual de entre 700.000 y 800.000 toneladas, además es el primer país exportador del mundo y cuenta con un total de 1.740 almazaras, distribuidas por trece Comunidades Autónomas.

En base a los datos anteriores puede evidenciarse que la cantidad de residuos procedentes de la industria almazarera en España es elevada y no se han desarrollado tecnologías para el tratamiento-eliminación con resultados óptimos. Concretamente el residuo en fase líquida, alpechín, tiene una degradación complicada pues está formado por compuestos fenólicos en una alta proporción y genera muchos problemas en una planta de tratamiento por su elevada toxicidad y complejidad de eliminación.

El primer paso en el tratamiento del alpechín, es la eliminación de la humedad. Por estos motivos este campo está continuamente en estudio y es de gran relevancia analizar los tratamientos térmicos que son más rentables y de menores dificultades tecnológicas, como es el secado convectivo. Éste es el tipo de secado más usual utilizado en industrias agroalimentarias, donde la transferencia de calor al producto se realiza por medio de un gas caliente.

La mayoría de la tecnología de secado se puede optimizar en términos de consumo de energía, seguridad de operación, control del proceso de secado e impacto ambiental de las emisiones [1]. Por ello el objetivo de este estudio es determinar la energía de activación necesaria para eliminar la humedad del producto, con el fin de aumentar la eficiencia energética durante el secado térmico de los residuos de las almazaras.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se llevaron a cabo varios experimentos a diferentes temperatura y flujo del aire de entrada: 30°C, 40°C y 50°C y 1 m/s y 1,3 m/s. Las muestras de residuo biomásico proceden de la planta TROIL Vegas Altas S.C. dedicada a la transformación de los subproductos de almazara y situada en Valdetorres, Badajoz. El equipo de secado CE-130 (Gunt Hamburg) utilizado está concebido para su uso a pequeña escala en el laboratorio. La Ilustración 1 representa un esquema del equipo.

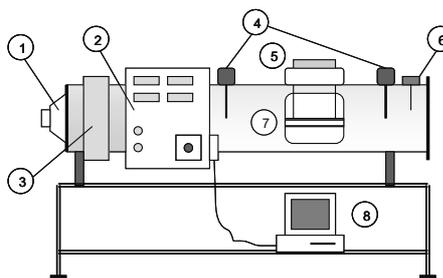


Ilustración 1. Secadero convectivo

El producto húmedo se distribuye sobre la bandeja (7), cuyo peso es registrado por la balanza (5) a la que se encuentra conectada. El aire de secado se introduce al interior del canal producido por el ventilador regulable (1) y calentado por las resistencias (3). El flujo del aire y la temperatura de secado se regulan en el cuadro de control (2). Existen dos sensores de temperatura y humedad (4), uno antes del producto y otro después, y un anemómetro (6) colocado a la salida del canal. Para realizar la recogida de datos, el equipo dispone de una conexión USB (8) que se conecta a un ordenador para proceder al posterior tratamiento de dichos datos.

Utilizando técnicas de regresión no lineal junto con un análisis de regresión múltiple, se obtiene el modelo matemático adecuado para el proceso de secado en capa fina. A partir de la segunda ley de difusión de Fick se calculan los coeficientes de difusividad para el rango de temperatura y velocidad en estudio. Los valores de energía de activación se obtienen con una relación tipo Arrhenius para los flujos de aire de 1 m/s y 1,3 m/s. [2]

## RESULTADOS

Para los experimentos realizados se observó como el tiempo de secado total necesario para reducir el contenido de humedad desde un 82,35% (b.h.) hasta un 25% (b.h.) [3] disminuía al aumentar la temperatura y velocidad de aire. Cuando la temperatura de secado aumenta de 30°C a 50°C, el periodo de secado disminuye desde 1.299 minutos a 865 minutos (1 m/s) y desde 1.295 minutos hasta 690 minutos (1,3 m/s).

### Referencias

- [1] Kudra T. and Mujumdar A.S. (2002). Advanced drying technologies. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- [2] Ruiz Celma, A., Rojas, S. and López-Rodríguez, F. Mathematical modelling of thin-layer infrared drying of wet olive husk. *Chemical Engineering and Processing, Process Intensification*, 47, 1810-1818 (2008)
- [3] Norma Española UNE 32001. Hulla y antracita: determinación de la humedad total, 1981.

## ANÁLISIS DEL CALOR ESPECÍFICO DE MEZCLAS DE CAOLÍN CON DISTINTAS AGUAS

L. M. Casás<sup>a</sup>, J. L. Legido<sup>b</sup>, L. Mourelle<sup>b</sup>, F. Plantier<sup>a</sup>, D. Bessières<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Laboratoire de Thermodynamique et Energétique des Fluides Complexes - UMR 5150,  
Université de Pau et des Pays de l'Adour, BP 1155, 64013 Pau, France.*

*lidia.martinez@univ-pau.fr*

<sup>b</sup> *Departamento de Física Aplicada, Faculdade das Ciências Do Mar, Edifício das Ciências  
Experimentais, Universidade de Vigo, Campus Lagoas-Marcosede, 36310, Vigo (España).  
xllegido@uvigo.es*

**Keywords:** Caolín, agua, calor específico

El caolín,  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ , es una arcilla que forma parte de los minerales de uso industrial, usándose, principalmente, en cerámica, construcción, medicina, papelería, cosmética y como aditivo alimentario. Un uso de interés particular de esta arcilla es como componente de los peloides termales: mezclas de arcillas con aguas mineromedicinales, agua de mar o agua de lago salada. En este estudio se presentan las mezclas de caolín puro con agua tridestilada y agua de mar.

Dentro del estudio de las características físico-químicas de los peloides, uno de los aspectos más importantes a conocer son los parámetros que favorecen o explican sus efectos termoterapéuticos. En concreto, el calor específico,  $c_p$ , es una de las propiedades más importantes de los peloides.

En este trabajo se determinaron los calores específicos de las mezclas de caolín con agua tridestilada y agua de mar en un rango de temperaturas entre 293,15 y 318,15 K y a presión atmosférica. Para ello se ha empleado un equipo calorimétrico tipo Calvet, SETARAM BT2.15, de reconocido uso en la determinación de capacidades caloríficas de sistemas complejos: aceites, polímeros, hidratos, materiales de construcción, etc.

El dispositivo experimental consta del calorímetro ya mencionado, equipado con dos celdas batch: una que fue usada como referencia y otra como celda de medida. La refrigeración del calorímetro ha sido modificada previamente [1], y en lugar de enfriar el equipo mediante vaporización de nitrógeno, se ha conectado un baño termostático lleno de etanol, con una estabilidad de  $\pm 0,01$  K. El control simultáneo de las variables termodinámicas, flujo y temperatura, se lleva a cabo mediante un controlador SETARAM y el software Setsoft2000. En la Fig 1 se presenta un esquema del dispositivo experimental.

El calor específico para un sistema con celdas batch se calcula mediante la siguiente expresión:

$$c_p = \frac{P_{diff}(x) - P_{diff}(bl)}{m \cdot (dT/dt)} \quad (1)$$

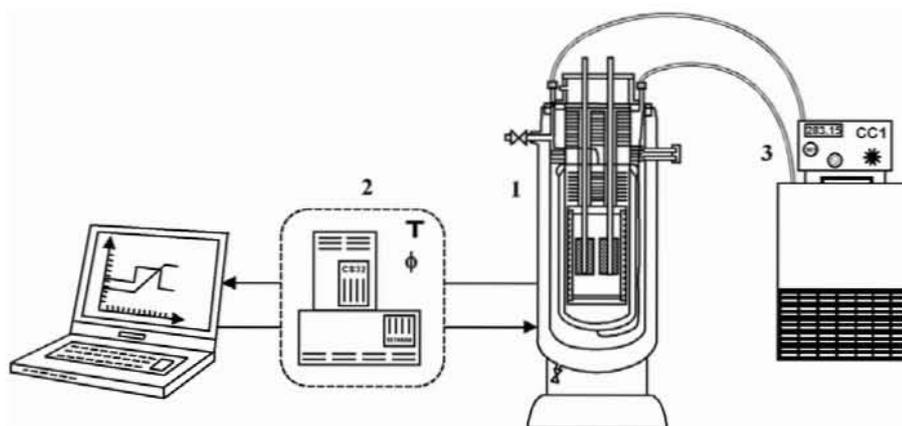
donde  $P_{diff}(x)/W$  es la señal calorimétrica diferencial en potencia, obtenida con la celda calorimétrica de medida llena del fluido estudiado y la celda de referencia vacía,  $P_{diff}(bl)/W$  es una señal similar pero obtenida con ambas celdas vacías,  $m$  es la masa de la muestra y

## Posters

$(dT/dt)$  se corresponde con la velocidad de aumento de temperatura, siendo en este caso de 0,1 K/min.

La señal calorimétrica diferencial en potencia es proporcional a la señal diferencial de las termocuplas  $E/V$  por medio de una constante de calibración estática  $k/W \cdot V^{-1}$  que se puede calcular con un fluido del que conozcamos su calor específico en función de la temperatura con gran precisión, quedando así la ec. (1) como sigue:

$$c_p = k \frac{E(x) - E(bl)}{m \cdot (dT/dt)} \quad (2)$$



**Figura 1.** Esquema del dispositivo experimental:  
1-calorímetro, 2-control del calorímetro, 3-baño termostático.

*Agradecimientos.* Los autores agradecen le financiación aportada por los fondos FEDER de la Unión Europea (Programa Sudoe Interreg IV, TERMARED, SOE1/P1/E218)

## Referencias

- [1] Casás L. M., Plantier F., Piñeiro M. M., Legido J. L., Bessières D. *Thermochimica Acta*. 10.1016/j.tca.2010.05.012, (2010)
- [2] Zábbranský M., Růžička Jr. V., Majer V., Domalski E. S. Heat capacity of liquids : critical review and recommended values. Volume I et II J. Phys. Chem. Ref. Data, Monograph nº6, American Chemical Society, Washington, DC, 1996.

## PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE LA MEZCLA NH<sub>3</sub>/NaSCN

S.K. Chaudhari, L.H. Martínez-Palmeth, E.B. Rua, D. Salavera, A. Coronas

*Dep. Ingeniería Mecánica. Universidad Rovira i Virgili, CREVER-Group of Applied Thermal Engineering, Avda. Paisos Catalans, 26, 43007, Tarragona, Tel.: +34 977 559665, fax: +34 977 55 9691. alberto.coronas@urv.cat*

**Keywords:** equilibrio líquido-vapor, amoníaco, tiocianato sódico

### INTRODUCCIÓN

La mezcla NH<sub>3</sub>/NaSCN se presenta como alternativa a los habituales fluidos de trabajo utilizados en sistemas de refrigeración por absorción. Como ventajas este tipo de mezclas requieren temperaturas de activación menores, un amplio intervalo de solubilidad en comparación con la mezcla H<sub>2</sub>O/LiBr y no necesita rectificación para una separación óptima de sus componentes a las salida del generador, tal y como sucede en el caso del NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O. En la literatura, existe un número escaso de datos experimentales de propiedades termofísicas de la mezcla NH<sub>3</sub>/NaSCN [1-3], necesarios para obtener unas correlaciones adecuadas para utilizar en simulaciones y modelizaciones de ciclos y sistemas de refrigeración por absorción. Diversos investigadores han realizado cálculos de ciclos [4-6] tomando como referencia dichos datos, llegando a la conclusión de que la cantidad de información experimental de la mezcla NH<sub>3</sub>/NaSCN no era suficiente, y que por tanto se requerían mejores datos experimentales de algunas de las propiedades termofísicas de la mezcla.

### TRABAJO EXPERIMENTAL

En el presente trabajo, se ha realizado la determinación experimental sistemática de la presión de vapor, densidad, viscosidad y capacidad calorífica de la mezcla NH<sub>3</sub> /NaSCN a diversas temperaturas, entre 263 y 403 K, y fracciones másicas del solvente superiores a 0.35. La presión de vapor se midió por el método estático utilizando un transductor de presión diferencial RUSKA, y la composición de las fases se determinó por el método de Barker a partir de la presión, temperatura y composición total. La densidad fue determinada experimentalmente por medio de un densímetro de tubo oscilante Anton Paar 60/512P. Para la medida de la viscosidad dinámica se utilizó un viscosímetro de tipo-pistón Cambridge, y finalmente, para la determinación experimental de la capacidad calorífica a presión constante se utilizó un calorímetro Setaram C80, de tipo Calvet. Los equipos experimentales y procedimientos de medida pueden consultarse en trabajos previos [7,8].

### RESULTADOS

Los resultados experimentales de las diversas propiedades termofísicas se correlacionaron con la temperatura y composición de la fase líquida por medio de sendas ecuaciones analíticas (Eqs. 1-4), donde los coeficientes A, B y C dependen de la composición en fracción másica de amoníaco (ec. 5), y cuyos valores se muestran en la Tabla 1.

$$\log(p/\text{kPa}) = A + \frac{B}{T/K} + \frac{C}{(T/K)^2} \quad (1)$$

$$Cp = A + B \cdot (T / K) \quad (2)$$

$$\rho / \text{kg m}^{-3} = A + B \cdot (T/K) \quad (3)$$

$$\log(\eta / \text{mPa} \cdot \text{s}) = A + B / (T/K) + C / (T / K)^2 \quad (4)$$

$$a = \sum_{i=0}^3 a_i \cdot w_1^i \quad B = \sum_{i=0}^3 b_i \cdot w_1^i \quad C = \sum_{i=0}^3 c_i \cdot w_1^i \quad (5)$$

Tabla 2. Valores de los Coeficientes de la ecuación (5) para la presión de vapor, capacidad calorífica, densidad y viscosidad de la mezcla  $\text{NH}_3/\text{NaSCN}$ .

Coeficiente	$\rho = \rho(T, w)$ (ec. 1)	$Cp = Cp(T, w)$ (ec. 2)	$\rho = \rho(T, w)$ (ec. 3)	$\eta = \eta(T, w)$ (ec. 4)
$a_0$	7.281	0.481	1748.02	-4.422
$a_1$	-9.986	4.013	-1528.30	5.912
$a_2$	18.092	0	845.01	-3.803
$a_3$	-8.376	0	0	0
$b_0$	-1736.8	-0.012	-1.522	2011.46
$b_1$	6632.1	0.024	2.803	-3278.05
$b_2$	-11032.4	0	-2.846	1691.45
$b_3$	4921.5	0	0	0
$c_0$	-212933.5	0	0	1.843
$c_1$	-49179.5	0	0	1.300
$c_2$	425731.7	0	0	0.992
$c_3$	-255949.3	0	0	0

*Agradecimientos:* Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto SOLEF subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación dentro del Plan Nacional de I+D+i con Ref. ENE2009-14177.

#### Referencias

- [1] Blytas, G. C.; Daniels, F. Concentrated solutions of NaSCN in Ammonia. Solubility, density, vapour pressure, viscosity, thermal conductance, heat of solution and heat capacity. J. Am.Chem.Soc. 1962, 84(7), 1075-1083.
- [2] Roberson, J.P.; Lee, C.-Y.; Squires, R. G. and Albright, L. F. Vapor pressure of ammonia and methylamine solutions for absorption refrigeration systems. ASHRAE Trans. 1966, 72(1), 198-207.
- [3] S. L. Sargent and W. A. Beckman, Theoretical performance of an ammonia-sodium thiocyanate intermittent absorption refrigeration cycle. Solar Energy 12, 137-146 (1968)
- [4] Bonauguri, E. and Polononi, R. About the mixtures NaSCN-NH<sub>3</sub>. I.I.R. Comissions B1, B2, E1, E2- Mons (Belgique), pp. 91-98 (1980).
- [5] Ferreira, C. A. I. Thermodynamic and physical property data equations for ammonia-lithium nitrate and ammonia-sodium thiocyanate solutions. Solar Energy 1984, 32, 231-236.
- [6] Gupta, C. P.; Sharma, C.P. and Meherotra, R.K. Thermodynamic properties of solutions of sodium Thiocyanate in liquid ammonia and their vapors. XIV Int.Cong. IIR, Moscow, 1975, II, 170-178.
- [7] Salavera, D.; Chaudhari, S. K.; Esteve, X.; Coronas, A. Vapor-liquid equilibria of ammonia + water + potassium hydroxide and ammonia + water + sodium hydroxide solutions at temperatures from (293.15 to 353.15) K. J. Chem. Eng. Data 2005, 50, 471-476.
- [8] Libotean, S.; Martín, A.; Salavera, D.; Vallés, M.; Esteve, X. Densities, Viscosities, and Heat Capacities of Ammonia + Lithium Nitrate and Ammonia + Lithium Nitrate + Water Solutions between (293.15 and 353.15) K Journal of Chemical and Engineering Data, 53, 2383-2388, 2008

## ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE CICLOS DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN CON NH<sub>3</sub>/NaSCN

L. H. Martínez-Palmeth, D. Salavera, J. C. Bruno, A. Coronas

*CREVER-Group of Applied Thermal Engineering, Dep. Ingeniería Mecánica. Universidad Rovira i Virgili, Avda. Paisos Catalans, 26, 43007, Tarragona, Tel.: +34 977 559665, fax: +34 977 55 9691. alberto.coronas@urv.cat*

**Keywords:** Refrigeración por absorción, amoniaco/NaSCN, Simulación.

### INTRODUCCIÓN

Se ha realizado el modelo y simulación de un ciclo de refrigeración por absorción, utilizando la mezcla amoniaco/tiocianato sódico (NH<sub>3</sub>/NaSCN). Este fluido de trabajo presenta importantes ventajas respecto a la mezcla NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O utilizada habitualmente en plantas de refrigeración por absorción, como la de no requerir rectificación de la corriente de vapor a la salida del generador y la obtención de mejores prestaciones: mejores Coeficiente de Operación (COP) para temperaturas en el generador superiores a los 85°C [1].

En este artículo se realiza un estudio teórico del sistema de absorción con NH<sub>3</sub>/NaSCN para determinar las prestaciones y condiciones de operación del ciclo para distintos niveles de refrigeración y temperaturas de accionamiento y condensación utilizando enfriamiento por aire o agua. Para ello se ha desarrollado un modelo termodinámico basado en los balances de materia y energía para cada componente del sistema. Las propiedades termodinámicas del fluido de trabajo (equilibrio líquido-vapor, densidad y capacidad calorífica) necesarias para el modelo han sido determinadas experimentalmente [2]. Se presenta además una comparativa con el sistema convencional amoniaco/agua.

### DESCRIPCIÓN DEL MODELO

La modelización del ciclo refrigeración por absorción esta basada en balances de materia y energía en los componentes del ciclo: generador, absorbedor, condensador, evaporador, intercambiador de calor de solución, bomba de solución y válvula de expansión, en las propiedades termodinámicas del fluido de trabajo y en las hipótesis realizadas. En la Figura 1 se presenta un esquema del ciclo termodinámico estudiado

### RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran que el ciclo de refrigeración de absorción con NH<sub>3</sub>/NaSCN presenta mejor COP que con NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O a temperaturas por debajo de 0°, aunque para temperaturas superiores el sistema de amoniaco/agua se comporta mejor a niveles de COP. En cuanto a la temperatura del generador, la mezcla NH<sub>3</sub>/NaSCN mantiene valores del COP prácticamente constantes y siempre superiores a los obtenidos con la mezcla NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O.

### CONCLUSIONES

Se ha realizado una comparación de las prestaciones de los ciclos de refrigeración por absorción con  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{NH}_3/\text{NaSCN}$ . Los resultados de este estudio facilitan una visión de las distintas prestaciones que pueden tener este tipo de sistemas. Según los estudios realizados en este trabajo, con el ciclo de absorción con  $\text{NH}_3/\text{NaSCN}$  se pueden obtener mejores resultados que con  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  a temperaturas de evaporación relativamente bajas, siendo las temperaturas de activación requeridas menores a esos niveles de temperatura.

Para necesidades de temperaturas más elevadas como puede ser el caso de las aplicaciones de aire acondicionado, los ciclos de absorción de amoníaco-agua, son ligeramente superiores.

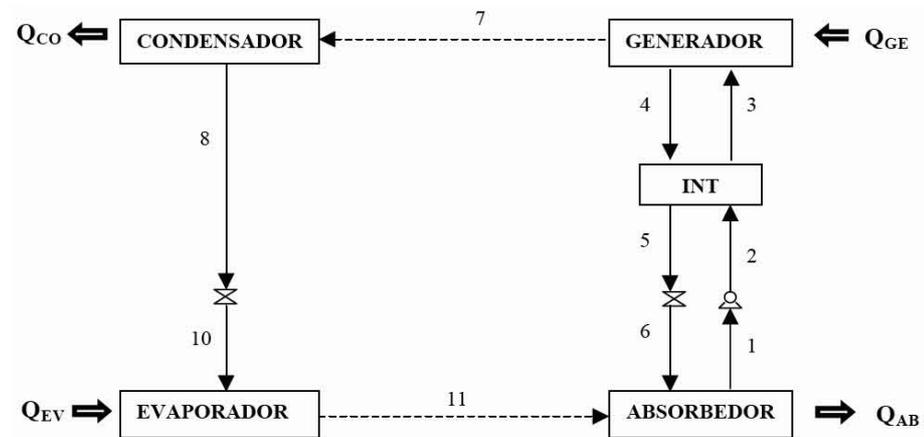


Figura 1. Diagrama esquemático de un ciclo simple de refrigeración por absorción con  $\text{NH}_3+\text{NaSCN}$ .

*Agradecimientos:* Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto SOLEF subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación dentro del Plan Nacional de I+D+i con Ref. ENE2009-14177.

### Referencias

- [1] Bruno, J.C., Performance and economics of solar driven absorption chiller systems in Spain, International Symposium of Solar and Renewable Cooling, Clean Energy Power, CEP, Stuttgart (Alemania), 2009.
- [2] Chaudhari, S.K., Martínez, L.H., Rua, E.B., Salavera, D., Coronas A. Propiedades Termofísicas de De la Solución  $\text{NH}_3+\text{NaSCN}$ . XII Encuentro Inter-Bienal del Grupo Especializado de Termodinámica (GET), 2010.

## ESTUDIO DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA DE PELOIDES TERMALES

C. Gómez, L.M. Mourelle, C. Medina, L.M. Casas, L. Román, J.L. Legido

*Departamento de Física Aplicada. Universidade de Vigo, 36310, Vigo,  
xllegido@uvigo.es*

**Keywords:** Difusividad térmica, Peloides termales

Los peloides termales son agentes termoterapéuticos constituidos por un componente sólido, más o menos complejo, mezclado con agua mineromedicinal, agua de mar o de lago salado, que después de ser sometido a un proceso de maduración físico-químico-biológico, presentan una cierta homogeneidad y plasticidad. Dependiendo del tipo de componentes de la mezcla existen distintos tipos de peloides, como barros, lodos, limos, fangos, etc.

Los peloides termales se usan en los Balnearios o Centros de Talasoterapia para el tratamiento de procesos reumáticos, rigidez articular, neuralgias, etc. [1,2]. España cuenta con Centros Termales que disponen de peloides naturales como son: Caldas de Bohí en Lérida, Arnedillo en La Rioja, Archena en Murcia, El Raposo en Badajoz o Lo Pagán en San Pedro del Pinatar. El resto de los centros recurren a mezclas preparadas en laboratorios especializados, alguna de ellas en fase de experimentación.

La aplicación de los peloides para el tratamiento de determinadas patologías, se realiza a temperaturas que oscilan entre 35 y 45°C. Los factores que influyen en las técnicas empleadas en la aplicación de los peloides termales son: la temperatura de aplicación, la superficie cutánea expuesta, la duración de la aplicación, la zona corporal y las propiedades termofísicas como el calor específico, la conductividad térmica y la densidad [3-6].

La difusividad térmica,  $\alpha$ , es el cociente entre la conductividad térmica,  $k$ , y la capacidad calorífica volumétrica,  $\rho \cdot c_p$ , siendo  $\rho$  la densidad y  $c_p$  el calor específico.

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \quad (1)$$

En este trabajo se presenta el comportamiento de la difusividad térmica de los peloides termales en función de su contenido en agua, de la composición de la fase sólida y de la temperatura.

*Agradecimientos.* Esta investigación ha sido financiada por la Consellería de Innovación e Industria, proyecto PGIDIT07PXIB310190PR y por los fondos FEDER de la Unión Europea (Programa Sudoeste Interreg IV, TERMARED, SOE1/P1/E218)

### Referencias

- [1] Kramer, J.F. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 65, 223-227 (1984).  
[2] Martínez, M.; Pastor, J. M.; Sendra, F. *Manual de Medicina Física*. Harcourt Brace, Madrid (1998).

## Posters

---

- [3] Beer, A. M.; Junginger, H.E.; Lukanov, J. y Sagorchev, P. *Internacional Journal of Pharmaceutics*. 253, 169-175 (2003).
- [4] Cara, S.; Carcangiu, G.; Paladino, G.; Palomba, M. y Tamanini, M. *Applied Clay Science*. 16, 125-132 (2000).
- [5] Ferrand, T.; Yvon, J. *Applied Clay Science*. 6, 21-38 (1991).
- [6] Legido, J. L.; Medina, C.; Mourelle, M. L.; Carretero, M. I. Y Pozo, M. *Applied Clay Science*. 36, 148-160 (2007)

## BIO-FUNCIONALIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS CON APLICACIÓN EN PROCESOS DE HIPERTERMIA

R. Mariño-Fernandez,<sup>a</sup> V. Salgueirino,<sup>a</sup> V. S. Martínez-Zorzano,<sup>b</sup>

F. J. Rodríguez Berrocal<sup>b</sup>, J. L. Legido<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Departamento de Física Aplicada, Universidade de Vigo, 36310, Vigo.*

<sup>b</sup>*Departamento de Bioquímica, Universidade de Vigo, 36310, Vigo.*

**Keywords:** Nanopartículas , Hipertermia, Calor

Una gran ventaja de determinadas partículas de tamaño nanométrico se basa en sus propiedades magnéticas que permiten el intercambio de calor en unas determinadas condiciones, lo cual depende directamente de su ciclo de histéresis (la energía intercambiada es proporcional al área del propio ciclo). Por tanto, si estas estructuras magnéticas presentan la coercitividad requerida y se posicionan donde se requiera una subida controlada de temperatura, se puede establecer dicho intercambio de calor mediante un campo magnético externo. Para todo ello, juega también un papel importante la funcionalización de la superficie de las nanopartículas.

En este trabajo se presenta un estudio sobre la interacción de ciertas biomoléculas con óxido de silicio, que actúa como la interfase que aísla materiales magnéticos como la magnetita o la ferrita de cobalto del entorno bio.

La potencial toxicidad de las nanopartículas se analizó utilizando la línea celular (humana) Caco-2 con nanopartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ , con y sin recubrimiento de sílice. Como resultado preliminar, se comprobó una disminución en la viabilidad/proliferación de las células a todas las concentraciones ensayadas, pero solo para aquellas nanopartículas recubiertas.

Este resultado constituye un avance en las posibilidades de estas nanopartículas en aplicaciones relacionadas con la hipertermia (cesión de calor controlada) ya que implica la no utilización de un aislante térmico como es el óxido de silicio.

*Agradecimientos.* Los autores agradecen el apoyo de la agrupación estratégica 2009/063 (InbioMed), financiada por la Consellería de Educación de la Xunta de Galicia.

## APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN PC-SAFT A LAS MEZCLAS

### ALCOXIETANOL + n-ALCANO

J. Vijande, L. Lugo, J.L. Legido, J. García

*Dpto. Física Aplicada, Edificio de Ciencias Experimentales, Universidad de Vigo, E-36310 Vigo.*

**Keywords:** Equilibrio de fases, Alcoxi-etanol, Alcano

#### INTRODUCCIÓN

Alcoxi-etanoles o polietilén glicol monoalquileteres,  $(C_mH_{2m+1}(OC_2H_4)_n-OH; (C_mE_n) m, n= 1, 2, \dots)$  son muy importantes para la industria como por ejemplo de la comida, de la cosmética, ingredientes de pintura, así como también se usan en la industria de la refrigeración tanto como lubricantes como absorbentes. Aparte de su importancia tecnológica, en el pasado estos compuestos fueron objeto de estudio a causa de los grupos  $-O-$  y  $-OH$  ya que son los responsables del enlace hidrógeno intramolecular. Lo cual provoca inusuales comportamiento de fases.

El modelo DISQUAC fue ampliamente aplicado, pero hasta nuestro conocimiento sólo Pedrosa et al. [1] han aplicado una versión del modelo SAFT denominada soft-SAFT. Nosotros en este trabajo hemos aplicado la versión PC-SAFT con asociación de Gross y Sadowski [2] al estudio del comportamiento de fases de los sistemas alcoxi-etanol + n-alcano.

#### CÁLCULO DE PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

Los parámetros característicos del modelo PC-SAFT con asociación ( $m, \varepsilon, \sigma, \varepsilon^{AB}$  y  $\kappa^{AB}$ ) para los compuestos 2-metoxietanol ( $C_1E_1$ ), 2-etoxietanol ( $C_2E_1$ ), 2-butoxi-etanol ( $C_4E_1$ ), 2-(2-metoxietoxi)-etanol ( $C_1E_2$ ), 2-(2-etoxietoxi)-etanol ( $C_2E_2$ ), 2-(2-propoxietoxi)-etanol ( $C_3E_2$ ) y 2-(2-butoxi-etoxi)-etanol ( $C_4E_2$ ) fueron optimizados utilizando una base de datos que contiene las presiones de vapor y densidades saturadas en un trabajo previo [3];  $m, m\varepsilon/k, m\sigma^3, \ln(\varepsilon^{AB}/k)$  y  $\ln(\kappa^{AB})$  mostraron una dependencia lineal con el peso molecular, lo que ha permitido interpolar o extrapolar los valores correspondientes a otros compuestos de las mismas series ( $C_3E_1, C_5E_1, C_6E_1$  y  $C_6E_2$ ) para los cuales no había disponibles datos experimentales en la bibliografía, lo que los hace transferibles a otras moléculas de la misma familia. Los parámetros característicos para los n-alcanos fueron tomados de Gross y Sadowski [4].

#### RESULTADOS

La bondad de la ecuación PC-SAFT utilizando los parámetros de los compuestos puros calculados en [3] así como un parámetro de interacción binaria  $k_{ij}$  para describir el ELV de estas mezclas es bastante buena, tal y como podemos ver en la figura 1. En cuanto al parámetro de interacción binaria  $k_{ij}$ , observamos que es negativo, muy pequeño y poco dependiente de la temperatura. Los sistemas muestran un comportamiento azeotrópico que es capaz de ser reproducido por la ecuación. En comparación con el sistema de Pedrosa et al. [1] tri-etilén glicol + n-hexano las desviaciones son similares. Asimismo el equilibrio líquido-líquido que presentan estos sistemas también será analizado por la misma ecuación.

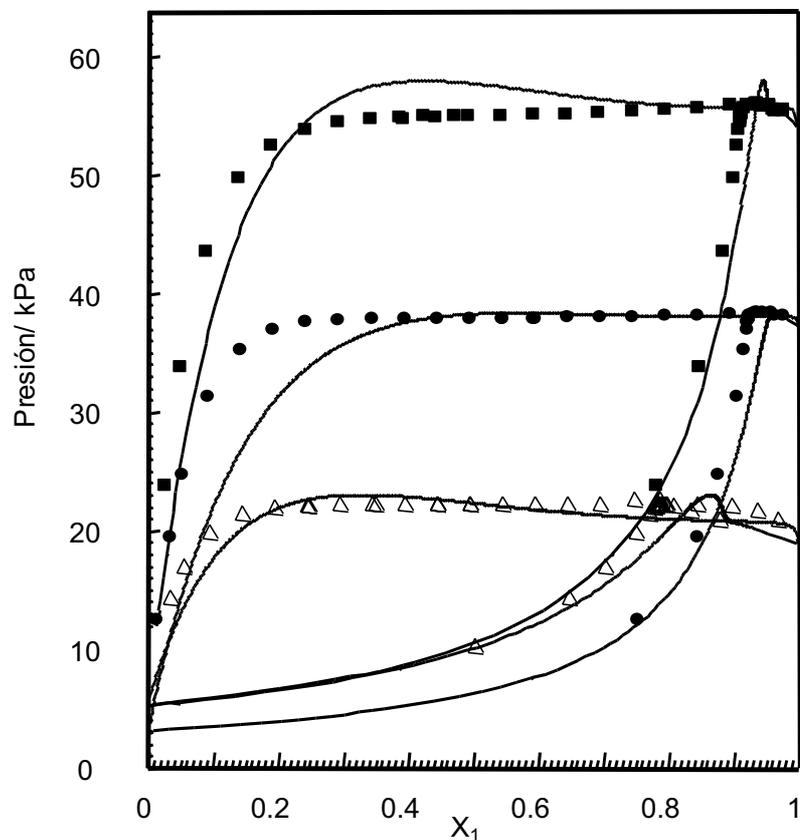


Figura 1: Equilibrio líquido-vapor de  $X_1$  2-metoxietanol +  $(1 - X_1)$  n-alcano. Puntos experimentales: (■) hexano a 313.15 y  $k_{ij} = -0.0180$ , (●) hexano a 323.15 y  $k_{ij} = -0.0058$  y (△) heptano a 323.15 K y  $k_{ij} = -0.0180$ . (—) Resultados de PC-SAFT

## CONCLUSIONES

PC-SAFT da bastante buena descripción del ELV de los sistemas alcoxi-etanol + n-alcano con un parámetro de interacción binario dependiente de la temperatura, el cual es negativo, de valor muy pequeño y poco dependiente de la temperatura.

*Agradecimientos.* Los autores agradecen a la Xunta de Galicia el financiamiento a través del proyecto PGIDIT05-TAM20601PR.

## Referencias

- [1] N. Pedrosa, J.C. Pamies, J.A.P. Coutinho, I.M. Marrucho, L.F. Vega, *Ind. Eng. Chem. Res.* 44 (2005) 7027-7037.
- [2] J. Gross, G. Sadowski, *Ind. Eng. Chem. Res.* 41 (2002) 5510-5515.
- [3] J. Vijande, J.L. Legido, L. Lugo, J. García, Parámetros característicos del modelo PC-SAFT para alcoxi-etanoles: correlación y predicción. *La investigación del Grupo Especializado de Termodinámica de las Reales Sociedades Españolas de Física y de Química* 4 (2008) pp. 97-108.
- [4] J. Gross, G. Sadowski, *Ind. Eng. Chem. Res.* 40 (2001) 1244-1260.

## ELV ISOTERMICO DEL SISTEMA BINARIO 1-BUTANOL + 1,8-CINEOL ENTRE 278,15 K Y 323,15 K

B. Gimeno, A. M. Mainar, J.S. Urieta, P. Pérez

*Departamento de Química Física, Universidad de Zaragoza, Pza. S. Francisco s.n. 50009  
Zaragoza. pascual@unizar.es*

**Keywords:** Termodinámica, Equilibrios de fase

### INTRODUCCION

Se han medido las presiones de vapor del sistema 1-butanol + 1,8-cineol a diez temperaturas entre 278,15 y 323,15 K por el método estático. El 1,8-cineol es un terpenoide habitual en aceites esenciales y el 1-butanol puede ser empleado como modificador de polaridad en procesos de extracción con CO<sub>2</sub> en condiciones supercríticas, de ahí el posible interés por el conocimiento de las propiedades termofísicas de este tipo de sistemas.

### APARATO Y PROCEDIMIENTO

El aparato para medir las presiones de vapor es similar al utilizado por Marsh [1] con algunas modificaciones (Fig.1) . Para prevenir el efecto de condensación sobre el menisco de mercurio, la temperatura del manómetro y el tubo de conexión a la fase vapor se mantiene a 325.0 K. Cada líquido fue desgasificado mediante agitación magnética bajo su propia presión de vapor y ambos fueron añadidos sucesivamente, por gravedad, a la célula de medida que estaba sumergida en nitrógeno líquido.

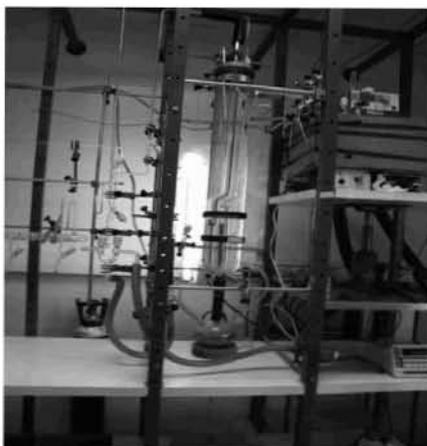


Fig. 1

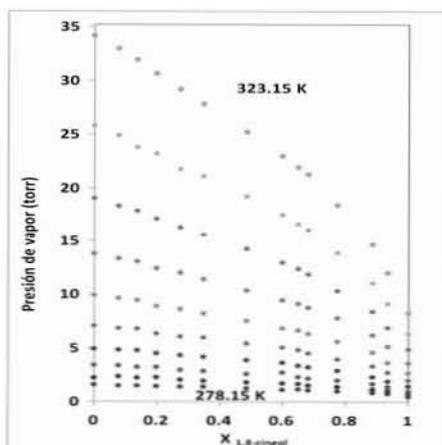


Fig. 2

Los datos de presión de vapor de los líquidos puros, entre 278.15 y 323.15 K se han ajustado a una ecuación de Antoine.

En la Fig. 2 aparecen los valores experimentales de la presión de vapor frente a la composición del líquido a las distintas temperaturas estudiadas. La energía libre de Gibbs molar de exceso se ha obtenido mediante el método de Barker [2] utilizando el modelo de Wilson [3], donde los coeficientes de actividad vienen dados por:

$$\ln \gamma_1 = -\ln(x_1 + \Lambda_{12}x_2) + x_2 \left[ \frac{\Lambda_{12}}{x_1 + \Lambda_{12}x_2} - \frac{\Lambda_{21}}{\Lambda_{21}x_1 + x_2} \right] \quad (1)$$

$$\ln \gamma_2 = -\ln(x_2 + \Lambda_{21}x_1) - x_1 \left[ \frac{\Lambda_{12}}{x_1 + \Lambda_{12}x_2} - \frac{\Lambda_{21}}{\Lambda_{21}x_1 + x_2} \right] \quad (2)$$

En ausencia de valores independientes de los coeficientes de actividad, no se puede utilizar la ecuación de Gibbs-Duhem para ensayar la consistencia termodinámica de las medidas de presión de vapor. Sin embargo es posible comprobar la consistencia de los valores independientes de las entalpías y energías libres por medio de la ecuación de Gibbs-Helmholtz. Fijando  $G_m^E(x)/T$ , a fracciones molares redondeadas, a un polinomio de segundo grado en  $1/T$ , la derivada da directamente  $H_m^E(x)$

*Agradecimientos.* Los autores desean agradecer el apoyo económico del MICINN-FEDER (Project CTQ2009-14629-C02-02) del Gobierno de Aragón (PI068/08, Grupo E52). B.G. agradece al I3A y al Grupo GATHERS *Beca de Iniciación a la Investigación*.

#### Referencias

- [1] Marsh, K. N. Thermodynamics of octamethylcyclotetrasiloxane mixtures. *Trans. Faraday Soc.* 1968, 64, 883-893
- [2] Barker, J. A. Determination of Activity Coefficients from Total Pressure Measurements, *Aust. J. Chem.* 1953, 6, 207-210
- [3] Wilson, G. M. A New Expression for the Excess Free Energy of Mixing, *J. Am. Chem. Soc.* 1964, 86, 127-130

## SISTEMA LINALOOL + 1-PROPANOL: ESTUDIO EXPERIMENTAL Y TEÓRICO DEL COMPORTAMIENTO P-ρ-T DE 20 a 40 MPa

S. M. García-Abarrio, M. Torcal, M. L. Haya, J. S. Urieta, A. M. Mainar

*Grupo de Termodinámica Aplicada y Superficies (GATHERS), Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Universidad de Zaragoza, Facultad de Ciencias, c/. Pedro Cerbuna, 12, 50009-Zaragoza. 502097@unizar.es*

**Keywords:** P-ρ-T, Mezcla Linalool+1-Propanol, Propiedades Termofísicas, EOS

### INTRODUCCIÓN

Los extractos y aceites esenciales obtenidos de plantas aromáticas y medicinales muestran propiedades que los hacen muy atractivos para las industrias farmacéutica, cosmética, alimentaria y química. El linalool es una sustancia que con frecuencia se encuentra como componente mayoritario en dichos extractos o aceites y a menudo se mezcla con alcoholes tanto en los procesos de separación como en el producto final.

Continuando con nuestra línea de investigación sobre propiedades y procesos de extractos de plantas aromáticas [1-3], en este trabajo se presentan las densidades, volúmenes de exceso, coeficientes de dilatación isobáricos y compresibilidades isotérmicas de la mezcla binaria {(±)-linalool +1-propanol} a temperaturas de (283.15, 298.15, 313.15 y 328.15) K y a presiones comprendidas entre (20 a 40) MPa. Además se comprueba la capacidad de cuatro ecuaciones de estado, Peng-Robinson, Patel-Teja, SAFT y PC-SAFT para predecir el comportamiento volumétrico de la mezcla.

### METODOLOGÍA Y ECUACIONES DE ESTADO

La medida de las densidades se llevó a cabo en el dispositivo que se muestra en la figura 1, que posee un diseño similar al utilizado por Sousa *et al.* [4] y Conesa *et al.* [5]. El aparato consta de un densímetro de tubo vibrante Anton Paar DMA-512 P. Las purezas de los líquidos empleados fueron las siguientes: (±)-linalool > 98.2 %, 1-propanol > 99.9 %.



Figura 1. Dispositivo de Medida

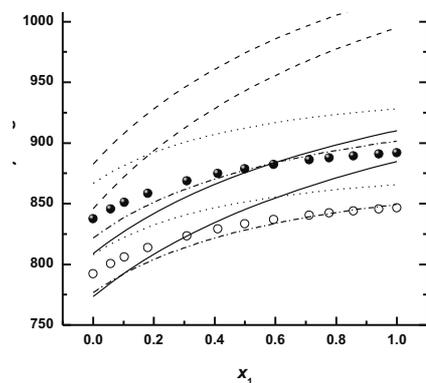
El ajuste de los datos obtenidos de densidad, presión y temperatura se realizó mediante la ecuación de Tait [6]:

$$\rho(p, T) = \rho(0.1, T) \left( 1 - C(T) \ln \frac{B(T) + p}{B(T) + 0.1} \right)^{-1} \quad (1)$$

A partir de los datos de densidad, se calcularon las siguientes magnitudes derivadas: volumen de exceso,  $V^E$ , coeficiente de dilatación isobárica,  $\alpha_p$ , y, compresibilidad isotérmica  $\kappa_T$ . El volumen de exceso  $V^E$  se ajustó con la ecuación de Redlich-Kister [7].

En el caso de la aplicación de las diferentes ecuaciones de estado, todos los cálculos se realizaron con el software PE2000 [8]. Para realizar la predicción, los parámetros de interacción binaria de las reglas de mezcla fueron considerados nulos. En los modelos SAFT y PC-SAFT se utilizaron cinco parámetros moleculares para caracterizar los compuestos puros: el número de segmentos,  $m$ , el diámetro del segmento,  $\sigma$ , la energía de interacción,  $\epsilon$ , la energía de asociación  $\epsilon^{A_i B_i} / k$ , y el volumen de asociación efectivo  $\kappa^{A_i B_i}$ .

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES



El volumen de exceso es negativo en todas las condiciones de trabajo. En general, al disminuir la temperatura y aumentar la presión el efecto de la compactación en el proceso de mezcla disminuye.

En el caso de la predicción de la densidad de la mezcla, como se puede observar en la Figura 2, los mejores resultados se obtuvieron con PC-SAFT que proporciona un valor medio de ADD% ( $=100/N \cdot \sum |\rho_{EOS} - \rho_{exp}| / \rho_{exp}$  donde N es el número de puntos experimentales, y los subíndices *exp* y *EOS* denotan los valores experimentales y calculados) de 0.83%.

Figura 2. Predicciones de densidad de las cuatro ecuaciones de estado para la mezcla (±) linalool (1) + propan-1-ol (2): (○) datos experimentales a 40 MPa y 283.15 K, (□) datos experimentales a 20 MPa bar y 328.15K. —, Peng-Robinson; - - -, Patel-Teja; ·····, SAFT; - · - · -, PC-SAFT.

*Agradecimientos.* Los autores desean agradecer el apoyo económico al MICINN-FEDER (Proyecto CTQ2009-14629-C02-02); al Gobierno de Aragón (Proyecto PI068/08 y Grupo E52). SMGA, MT and MLH agradecen al Grupo GATHERS la concesión de sus *Becas de Iniciación a la Investigación*.

## Referencias

- [1] Langa, E.; Mainar, A. M.; Pardo, J. I. y Urieta, J. S. *J. Chem. Eng. Data* 50, 1255-1261, (2005)
- [2] Langa, E.; Mainar, A. M.; Pardo, J. I. y Urieta, J. S. *J. Chem. Eng. Data* 51, 392-397, (2006)
- [3] Ribeiro A.F.; Langa E.; Mainar A. M.; Pardo J. I. y Urieta J. S., *J. Chem. Eng. Data* 51, 1846-1851, (2006)
- [4] Sousa, A. T.; de Castro C. N.; Tufeu, R. y Le Neindre B. *High Temp.-High Press.* 24, 185-194, (1992)
- [5] Conesa, A.; Shen, S. y Coronas A. *Int. J. Thermophys.* 19, 1343-1358 (1998)
- [6] Cibulka, I. y Hrdedkovsky L. *J. Chem. Eng. Data* 41, 657-668 (1996)
- [7] Redlich, O. y Kister A.T. *Ind. Eng. Chem.* 40, 345-348 (1948)
- [8] Pfohl, O.; Petkov, S. y Brunner, G. *Ind. Eng. Chem. Res.* 39(11), 4439-4440, (2000)

## EQUILIBRIO DE FASES DEL SISTEMA 1,8-CINEOL + ETANOL

M. Torcal, S. M. García-Abarrio, L. Martín, J. I. Pardo, J. S. Urieta, A. M. Mainar.

*Grupo de Termodinámica Aplicada y Superficies (GATHERS), I3A-Universidad de Zaragoza, 50009, Zaragoza. 502097@unizar.es*

**Keywords:** ELV, 1,8-Cineol, Etanol, Ecuaciones de Estado

### INTRODUCCIÓN

El 1,8-cineol, también llamado eucaliptol, es un éter bicíclico que se encuentra presente en los aceites esenciales de algunas plantas como el romero, la salvia o el eucalipto. El cineol tiene una gran variedad de aplicaciones, en farmacia, biología y usos agrícolas [1]. Además, debido a sus propiedades termofísicas (baja presión de vapor, rango de temperaturas en fase líquida, etc) y a su baja toxicidad, el cineol puede ser considerado como un disolvente industrial verde [2].

El cineol, además de los métodos tradicionales, puede extraerse de matrices vegetales sólidas empleando CO<sub>2</sub> en condiciones supercríticas. No obstante, suele ser habitual la adición de modificadores, como el etanol, que mejoran los rendimientos en las extracciones de sustancias polares como el cineol.

Así, este trabajo se centra en la determinación experimental del equilibrio líquido-vapor del sistema cineol + etanol y el uso de ecuaciones de estado para describir su comportamiento. El objetivo de este estudio es encontrar el modelo teórico más adecuado para la posterior optimización de los procesos de extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico y las etapas de separación posteriores.

### EQUIPO Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En este trabajo se emplearon 1,8-cineol (99.7 % mol) de la casa Sigma-Aldrich y etanol (99.9 % mol) de Scharlau. El equilibrio líquido-vapor isóbaro se determinó experimentalmente mediante un ebulómetro Fisher – Pilodist a 250, 500 y 760 mmHg. Las temperaturas de equilibrio se determinaron mediante una sonda Pt-100 con una incertidumbre de 0.2 K. La composición de las fases se determinó mediante densimetría utilizando un densímetro Anton-Par DSA 5000 con una incertidumbre de  $\pm 4 \cdot 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

### CÁLCULOS Y RESULTADOS

Una vez conocidas las composiciones y temperaturas de equilibrio a presión constante, los coeficientes de actividad ( $\gamma_i$ ) pueden calcularse fácilmente. En los cálculos se asumió que la fase vapor quedaba bien descrita mediante la ecuación del virial truncada en el segundo término. Los segundos coeficientes del virial de los componentes puros y los coeficientes cruzados fueron calculados siguiendo la correlación de Tsonopoulos[3,4]. Los coeficientes de actividad calculados fueron reducidos con tres modelos de coeficientes de actividad, Wilson[5], NRTL[6] y UNIQUAC[7] y la consistencia termodinámica de los mismos comprobada mediante el método de van Ness descrito por Fredenslund et al.[8]

## Posters

Con las ecuaciones de estado de Peng-Robinson, Patel-Teja, SAFT y PC-SAFT se modeló el comportamiento del sistema. Los parámetros de SAFT y PC-SAFT para etanol fueron tomados de la literatura[9,10] mientras que para el 1,8-cineol se optimizaron siguiendo el método de Pfohl et al.[11] Inicialmente los parámetros de interacción ( $k_{ij}$ ) se hicieron nulos para comprobar la capacidad predictiva de las ecuaciones de estado y posteriormente se optimizaron estudiándose su dependencia con la temperatura.

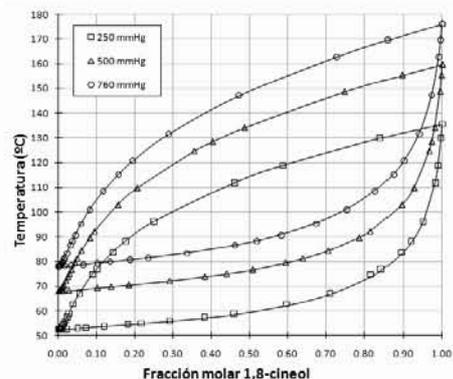


Figura 1. Diagramas de destilación del sistema 1,8-cineol + etanol. Puntos: datos experimentales. Línea sólida: ecuación de Wilson.

## CONCLUSIONES

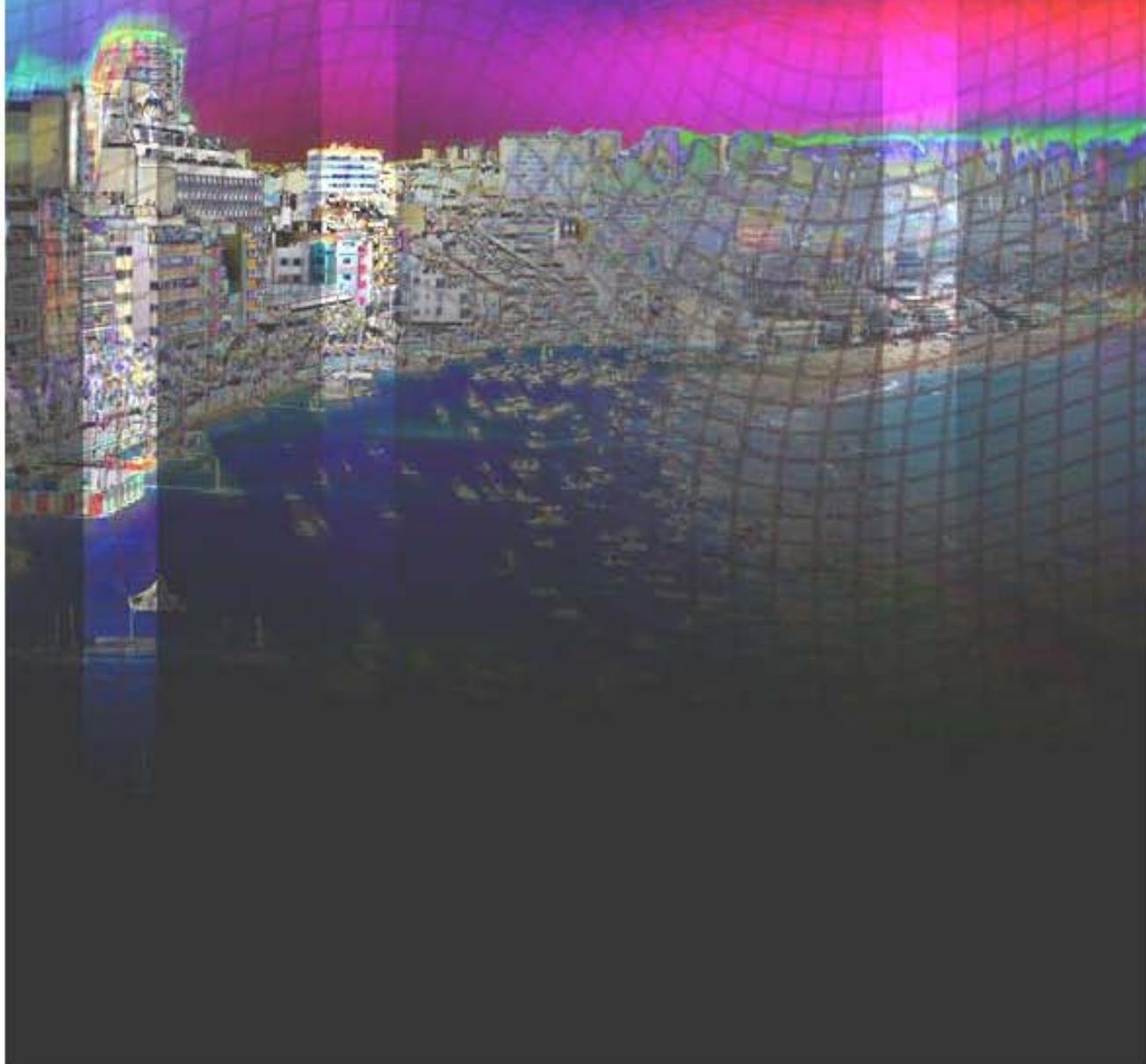
El equilibrio líquido-vapor del sistema 1,8-cineol + etanol fue determinado experimentalmente a 250, 500 y 760 mmHg y la consistencia termodinámica de los datos comprobada para los modelos de Wilson, NRTL y UNIQUAC. Además se realizaron las predicciones del equilibrio líquido-vapor con cuatro ecuaciones de estado. Debido a que las desviaciones de estas predicciones fueron grandes se optimizaron los parámetros de interacción binarios con la temperatura obteniéndose una mejora significativa de los resultados.

*Agradecimientos.* Los autores desean agradecer el apoyo económico de MICINN-FEDER (Project CTQ2009-14629-C02-02); del Gobierno de Aragón (PI068/08, Grupo E58). M.T. y S.M.G. agradecen al grupo GATHERS la concesión de sendas *Becas de Iniciación a la Investigación*. L.M. agradece al MEC la beca FPU(AP2006-02094)

## Referencias

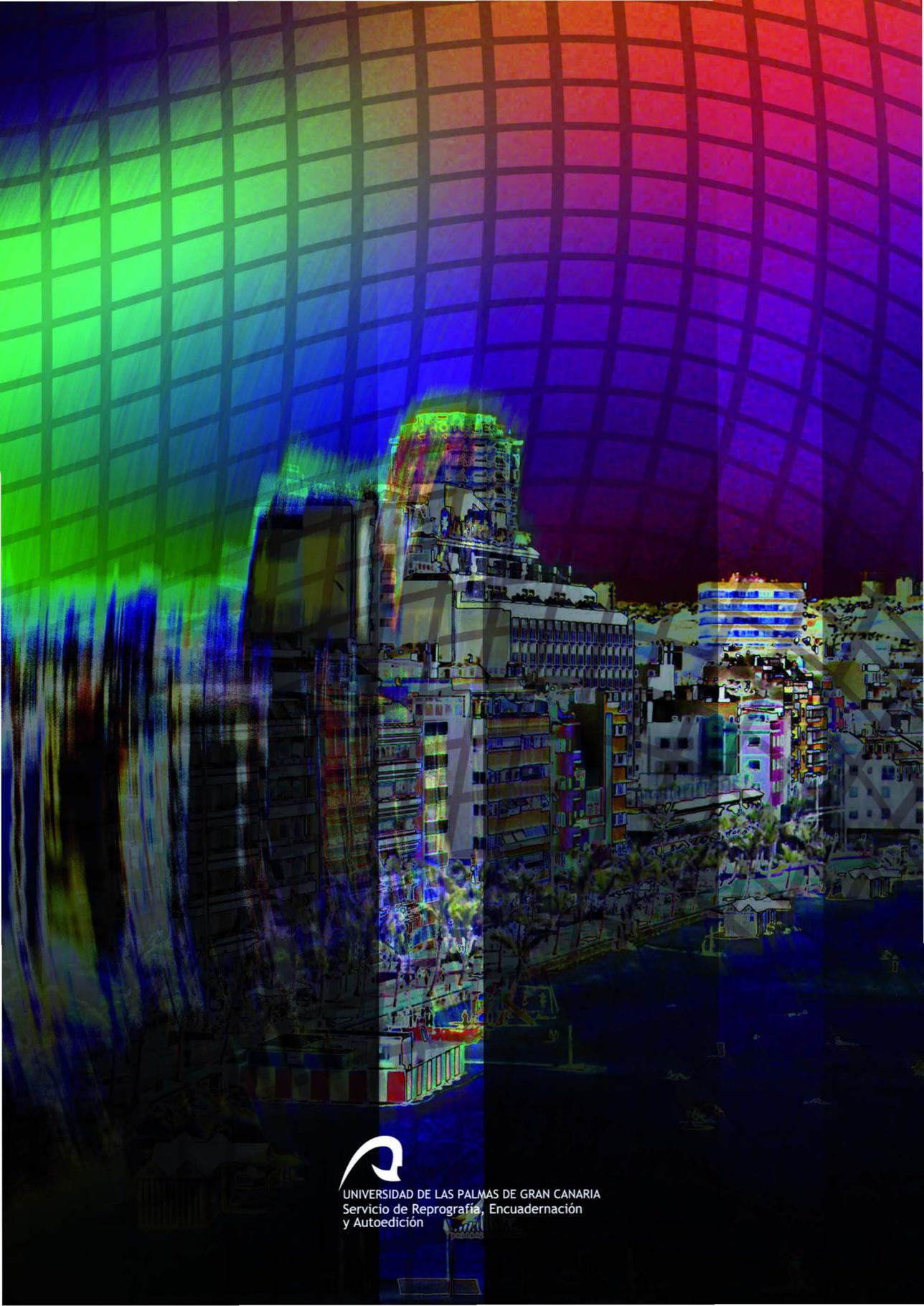
- [1] Lasarte, J.M., Martín, L., Langa, E., Urieta, J. S., Mainar. *J. Chem. Eng. Data*, 53, 1393-1400 (2008)
- [2] Aparicio, S. Alcalde, R. Dávila, M. J. García, B. Leal, J. M. *J. Phys. Chem. B*, 111, 3167-3177 (2007)
- [3] Tsonopoulos, C. *AIChE J.* 20, 263-272 (1974)
- [4] Tsonopoulos, C. and Dymond, J. H. *Fluid Phase Equilibria* 133, 11-34 (1997)
- [5] Wilson, G. M. *J. Am. Chem. Soc.*, 86, 127-130 (1964)
- [6] Renon, H. and Prausnitz, J. M. *AIChE J.*, 14, 135-144 (1968)
- [7] Abrams, D. S. and Prausnitz, J. M. *AIChE J.*, 21, 116-128 (1975)
- [8] Fredenslund, Aa. Gmehling, J. Rasmussen, P. *Vapor - Liquid Equilibria Using UNIFAC*; Elsevier: Amsterdam (1977)
- [9] Huang, S. H. And Radosz, M. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 29, 2284-2294 (1990)
- [10] Gross, J. and Sadowski, G. *Ind. Eng. Chem. Res.* 41, 5510-5515 (2002)
- [11] Pfohl, O. Petkov, S. Brunner, G. *Eng. Chem. Res.*, 39, 4439-4440 (2000)

# TERMO 2010



Amaya, J.	Pág.: 21, 23, 41
Arias, I.	Pág.: 19
Bessières D.	Pág.: 69
Blas, F.J.	Pág.: 25
Bruno, J.C.	Pág.: 73
Cabanas, M.	Pág.: 65
Cabeza, O.	Pág.: 63,65
Carballo, E.	Pág.: 43, 45
Casás, L.M.	Pág.: 69, 75
Coronas, A.	Pág.: 71, 73
Cuadros, F.	Pág.: 21, 23, 41, 59, 67
Chaudhari, S.K.	Pág.: 71
Davila-Ibáñez, A.B.	Pág.: 27
De Dios, M.	Pág.: 27
Delgado, M.T.	Pág.: 21, 23, 41, 59, 67
Díez, A.	Pág.: 37
Domínguez-Pérez, M.	Pág.: 63, 65
Dos Ramos, C.	Pág.: 25
Enríquez, R.	Pág.: 33
Fernández, J.	Pág.: 29
Fontañña-Troitiño, N.	Pág.: 61
Galán, A.M.V.	Pág.: 21, 23, 41, 59, 67
García, A.	Pág.: 21, 23, 41
García, F.	Pág.: 19
García, J.	Pág.: 29, 79
García-Abarrio, S.M.	Pág.: 83, 85
García-Garabal, S.	Pág.: 63, 65
Gimeno, B.	Pág.: 81
Gómez, C.	Pág.: 75
González-González, A.	Pág.: 21, 23, 41, 59, 67
González-Salgado, D.	Pág.: 25, 49
Haya, M.L.	Pág.: 83
Heras, M.R.	Pág.: 33
Hernando, R.	Pág.: 33
Iglesias, L.	Pág.: 43, 45
Iglesias, R.	Pág.: 39
Iglesias, T.P.	Pág.: 39
Jiménez, M.J.	Pág.: 33
Lago, N.	Pág.: 19
Largo, J.	Pág.: 37
Legido, J.L.	Pág.: 19, 25, 49, 61, 69, 75, 77, 79
López-Rodríguez, F.	Pág.: 21, 23, 41, 59, 67

Lugo, L.	Pág.: 29, 79
Mainar, A.M.	Pág.: 81, 83, 85
Mariño-Fernandez, R.	Pág.: 77
Martín, L.	Pág.: 85
Martínez-Palmet, L.H.	Pág.: 71, 73
Martinez-Zorzano, V.S.	Pág.: 77
Medina, C.	Pág.: 75
Merino, A.	Pág.: 31
Míguez, J.M.	Pág.: 25, 49
Mourelle, L.M.	Pág.: 69, 75
Navia, P.	Pág.: 47
Olmedo, R.	Pág.: 33
Pardo, J.I.	Pág.: 85
Pérez, P.	Pág.: 81
Pérez-Cruzado, C.	Pág.: 31
Pérez-Sánchez, G.	Pág.: 49
Pico, J.	Pág.: 63, 65
Piñeiro, M.M.	Pág.: 25, 27, 49
Plantier, F.	Pág.: 69
Regueira, T.	Pág.: 29
Rilo, E.	Pág.: 63, 65
Rios, R.J.	Pág.: 51, 53, 55, 57
Rivas, M.A.	Pág.: 39
Rodríguez, J.J.	Pág.: 51, 53, 55, 57
Rodríguez-Berrocal, F.J.	Pág.: 77
Romaní, L.	Pág.: 47, 75
Rua, E.B.	Pág.: 71
Ruiz-Celma, A.	Pág.: 21, 23, 41, 59, 67
Salavera, D.	Pág.: 71, 73
Salgado, J.	Pág.: 29, 31
Salgueiriño, V.	Pág.: 27, 61, 77
Sánchez, N.	Pág.: 33
Sande-Eslava, B.	Pág.: 31
Segade, L.	Pág.: 63, 65
Solana, J.R.	Pág.: 37
Sosa, A.J.	Pág.: 51, 53, 55, 57
Susial, P.	Pág.: 51, 53, 55, 57
Torcal, M.	Pág.: 83, 85
Tovar, C.A.	Pág.: 43, 45
Troncoso, J.	Pág.: 47
Urieta, J.S.	Pág.: 81, 83, 85
Vijande, J.	Pág.: 29, 79



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA  
Servicio de Reprografía, Encuadernación  
y Autoedición