

**Proyecto de Innovación y Mejora Docente ID2012/051**

Financiado por el Programa de Ayudas de la Universidad de Salamanca a la Innovación y Mejora Docente en la Implantación de los Nuevos Planes de Estudio en el Marco de la Nueva Ordenación de las Enseñanzas Universitarias Oficiales. Convocatoria 2012-2013

**MEMORIA**

**ESTUDIOS QUÍMICO FÍSICOS  
DEL EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR:  
MEJORA Y AMPLIACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO:**

Salamanca a 30 de Junio de 2013

José Luis Usero García  
Coordinador del Proyecto

## ÍNDICE

	pg.
<b>I. EQUIPO DEL PROYECTO .....</b>	<b>3</b>
<b>II. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
1. Marco General del Proyecto .....	3
2. Objetivos y descripción de Actuaciones .....	5
3. Destino de la Subvención Concedida .....	5
<b>III. DESARROLLO</b>	
1. Materiales didácticos utilizados .....	5
2. Diseño del Trabajo Experimental .....	6
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>7</b>
1. Análisis del ascenso ebulloscópico de disoluciones acuosas de diferentes electrolitos .....	7
2. Diseño del Trabajo Experimental .....	9
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>10</b>
<b>VI. DIFUSIÓN DE RESULTADOS Y CONTINUIDAD DEL PROYECTO ....</b>	<b>10</b>
<b>VI. ANEXO: Catálogo General de Prácticas de Química Física .....</b>	<b>11</b>

## **EQUIPO DEL PROYECTO**

<b>Coordinador</b>	<b>José Luis Usero García</b>	<a href="mailto:usero@usal.es">usero@usal.es</a>
<b>Colaboradores</b>	<b>M<sup>a</sup> Carmen Izquierdo Misiego</b>	<a href="mailto:misiego@usal.es">misiego@usal.es</a>
	<b>Francisco Salvador Palacios</b>	<a href="mailto:salvador@usal.es">salvador@usal.es</a>
	<b>Nicolás Martín Sánchez</b>	<a href="mailto:nico4iq@hotmail.com">nico4iq@hotmail.com</a>

## **II. INTRODUCCIÓN**

### **1. Marco General del Proyecto**

El Proyecto al que hace referencia la presente Memoria responde al hecho de completar y ampliar trabajos de laboratorio que pertenecen al catálogo de prácticas de Química Física cuyo diseño había sido el objetivo del Proyecto de Innovación Docente ID10/138: “DISEÑO, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE LA DOCENCIA PRÁCTICA DE QUÍMICA FÍSICA EN LOS ESTUDIOS DE GRADO EN INGENIERIA QUÍMICA” con el propósito de dar respuesta a las necesidades de formación práctica de los nuevos Graduados en Química e Ingeniería Química

Evidentemente la elaboración de dicho Catálogo se elaboró en su momento para dar respuesta a un objetivo a largo plazo: conseguir progresivamente llegar a la realidad de disponer de una dotación que permitiera el desarrollo de un conjunto de prácticas en nuestros laboratorios con el propósito de cubrir a las necesidades formativas de los nuevos Graduados en Química e Ingeniería Química acordes con el objetivo general del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) de formar futuros profesionales.

Concretamente en este Proyecto se trataba de completar y ampliar la posibilidad en diferentes aspectos relacionados con el equilibrio Líquido-Vapor que aparece como temática en el mencionado Catálogo General de Prácticas de Química Física (*cf.* Anexo I, temas destacados).

### **2. Objetivos y Marco Específico de Desarrollo**

El interés del estudio químico físico del equilibrio líquido-vapor desde distintas perspectivas, equilibrio de fases para la determinación de diagramas de equilibrio así como el estudio de los comportamientos inherentes a disoluciones de solutos no volátiles y sus aplicaciones, hace que este tipo de trabajos experimentales sean muy idóneos para la formación de los futuros graduados tanto en Química como en Ingeniería Química.

En el Proyecto presentado se planteaba la posibilidad de disponer del material necesario para completar y ampliar el trabajo de laboratorio relacionado concretamente con la aplicación de los equipos de ebulloscopía ya disponibles. Más concretamente y como aspecto innovador en relación con los estudios de ebulloscopía los objetivos concretos que se planteaban eran los siguiente:

## QUÍMICA FÍSICA DEL EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR: MEJORA Y AMPLIACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

- ✚ Analizar el efecto de distintos solutos iónicos con la finalidad de que del análisis de los resultados el alumnado descubra por sí mismo el verdadero significado de las propiedades coligativas.
- ✚ Aplicar la ebulloscopía para el propósito de determinar pesos moléculares.
- ✚ Utilizar las medidas ebulloscópicas con el propósito de determinar constante ebulloscópicas de diferentes disolventes y, a partir de ellas, la entalpía de vaporización de los mismos.

El último de los objetivos planteados exigía contar con diseño del equipo experimental diferente utilizando un dispositivo de calentamiento controlado adecuado para sustituir la tradicional manta calefactora que fue el motivo esencial de la solicitud presentada.

En cuanto al ámbito de actuación, la entrada en vigor del 3º Curso del Grado en Química ha permitido ampliar la posibilidad de aplicación de todo el equipamiento a diferentes asignaturas que contemplan la temática del equilibrio Líquido-Vapor. Concretamente, el trabajo relacionado con la ebulloscopía y sus aplicaciones se ha desarrollado en los siguientes laboratorios:

- **Experimentación en Química Física** de 3º Curso de Grado en Química
- **Experimentación en Química** de 1º de Grado en Ingeniería Química

Cabe señalar que este tipo equipamiento también ha sido [utilizado para la promoción de las Titulaciones de Grado de la Facultad de Químicas](#) durante la celebración de las [Jornadas de Puertas Abiertas](#) así como en el [Programa de Difusión de la Ciencia](#) entre los estudiantes de Educación Secundaria desarrollado por la Facultad en colaboración con el Ayuntamiento

### 3. Destino de la Subvención Concedida

La subvención total concedida junto con la cofinanciación aceptada por el Departamento de Química Física se destinado concretamente para la adquisición:

- Agitador Magnético HEIDOLPH con Calefacción controlada digitalmente. Modelo MR Heistandar (*cf. figura 1, infra*)
- Manta Calefactora MOD. KMME 450°C para utilizar el equipo de ebulloscopía diseñado para trabajar con agua como disolvente (*cf. figura 2, infra*)

Se ha de señalar que la subvención concedida no ha permitido de momento adquirir el complemento del equipo Heidolph (*cf. Fig. 3*) que permitiría acoplar el balón de ebullición del equipo de ebulloscopía, razón por la cual los resultados en relación con los objetivos planteados para este equipamiento se han visto muy limitados.



Figura 1: Agitador HEIDOLPH



Figura 2: Equipo de ebulloscopia



Figura 3: Accesorio específico para el calentamiento del agitador HEIDOLPH

### III. DESARROLLO

#### 1. Materiales didácticos utilizados

El alumnado con el que se ha desarrollado el trabajo de 1º Curso del Grado en Ingeniería Química y de 3º Curso de Grado en Química, al llegar al laboratorio ya habían recibido en sendas asignaturas de Química Física las bases teóricas fundamentales en relación con la ley que rige el ascenso ebulloscópico.

Por ello, el trabajo con el alumnado se centraba más específicamente en lo referente al montaje del equipo, que llevaría a cabo el propio alumno y su adecuado manejo para conseguir los objetivos experimentales planteados.

No obstante, se les proporcionaba un esquema del fundamento teórico (cf. Anexo, pg. 12) para que recordaran la deducción rigurosa de la ley de ebulloscopía desde el punto de vista Termodinámico y tuvieran claro el significado de los parámetros que en ella aparecen al efecto de proceder a determinaciones posteriores a partir, concretamente, de valores de la constante ebulloscópica.

Se proporcionaba además al alumno:

- ✚ Un video ( que le proporcionaba una explicación general **en inglés** de **todas las propiedades coligativas** con el objetivo de incentivar su curiosidad y darle un punto de apoyo para la interpretación de sus propios resultados.
- ✚ Un programa de simulación de datos de ebulloscopía y crioscopía que le permitía de forma rápida generar datos análogos a los obtenidos en el laboratorio o sus análogos en relación con el fenómeno de crioscopía.

## **2. Diseño del Trabajo Experimental**

Para el desarrollo experimental del trabajo por parte del alumnado , se adoptó una metodología didáctica encaminada a conseguir de ellos, no sólo la mera realización de las experiencias que exigía el objetivo concreto de trabajo planteado sino también en la medida de lo posible la adquisición de competencias genéricas. Para ello, se seguían los siguientes pasos:

- ✚ Sesión introductoria donde se planteaba al alumno los objetivos concretos a desarrollar por cada uno de ellos pero que en su conjunto iban a constituir un trabajo global del equipo, los datos experimentales que será necesario obtener y su tratamiento para conseguir los objetivos. Esto, de alguna manera se podía considerar un trabajo cooperativo con una responsabilidad individual y el requerimiento de una puesta en común para tener una visión global de todo lo conseguido por el grupo de trabajo.
- ✚ Presentación del equipamiento a utilizar para obtener dichos datos experimentales de forma general sin entrar en explicaciones pormenorizadas con el objetivo que en el propio alumno proceda al montaje de los mismos con la aparición de las consiguientes dudas inherentes a su funcionamiento.
- ✚ Proponer a los alumnos a lo largo de su trabajo en el laboratorio la tarea de buscar respuesta a las preguntas y dudas que surgían instándoles además a proceder a la elaboración de una breve presentación PowerPoint como base para proceder a la explicación de la respuesta encontrada al resto de sus compañeros.
- ✚ Programar una sesión final para la presentación y discusión de todos los resultados obtenidos en relación con lo objetivos planteados, donde se procedía además, como parte fundamental a la exposición por parte de cada alumno de lo que consideraba la

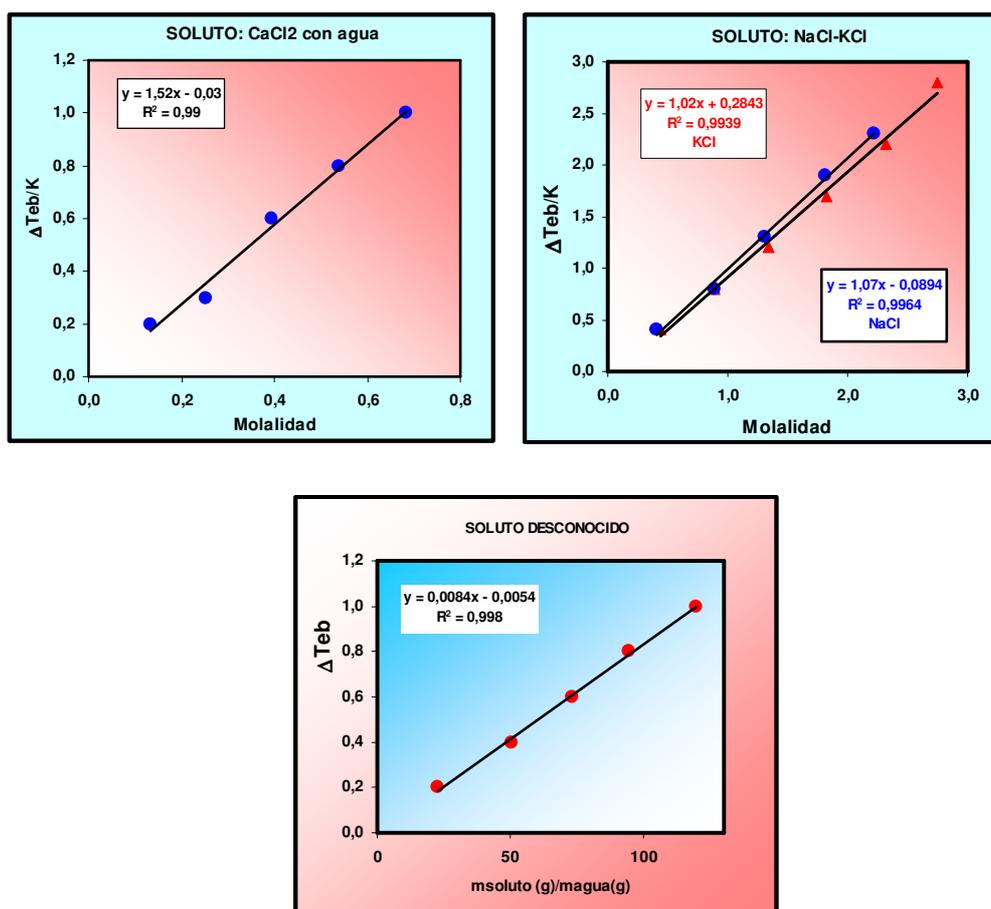
respuesta adecuada a la duda de la que se le había hecho responsable con el consiguiente debate conjunto por parte del grupo de trabajo.

Consideramos que este procedimiento metodológico contribuiría a incentivar la curiosidad científica, el autoaprendizaje, la capacidad de expresarse de forma oral en público y de defender o criticar argumentos. Es necesario resaltar que esta enseñanza de tipo "eurístico" ha exigido al profesorado el estar constantemente en contacto con el alumnado para, llegado el caso, hacerle ver si era, o no, consciente de todos los porqués de lo que estaba haciendo o viendo en el laboratorio.

## IV. RESULTADOS

### 1. Análisis del ascenso ebulloscópico de disoluciones acuosas de diferentes electrolitos

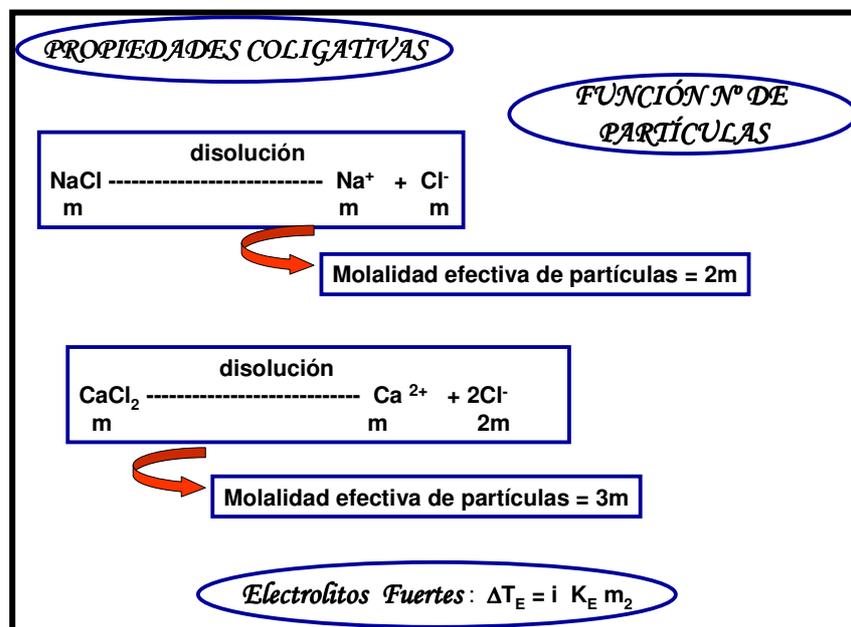
En relación con este objetivo general para el grupo, las figuras que se muestran más abajo recogen un ejemplo de los resultados obtenidos



Los resultados obtenidos, claramente satisfactorios desde un punto de vista cualitativo, obligarán al alumno a pensar y descubrir por sí mismo el porqué de los valores

## QUÍMICA FÍSICA DEL EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR: MEJORA Y AMPLIACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

de las pendientes en la dos primeras representaciones. El video proporcionado le servía de apoyo para llegar a comprender el comportamiento ebulloscópico de solutos de carácter iónico para llegar a la conclusión que se refleja en la siguiente figura:



En cuanto al soluto desconocido, el peso molecular derivado de los resultados experimentales procedían a analizarlo a partir de la información proporcionada de composición porcentual elemental del mismo y sabiendo que era un soluto no iónico.

Desde el punto de vista de la metodología didáctica utilizada en el desarrollo del trabajo es de especial interés la consecución de otros objetivos que inicialmente no estaban previstos y que han resultado del autoaprendizaje del alumnado a partir de las dudas surgidas a lo largo de la realización del trabajo experimental.

Concretamente el alumnado ha conseguido dar respuesta y, en consecuencia, conocer y comprender claramente lo siguiente:

- ✚ Qué es un **termopar**, tipos, propiedad termométrica en la que se basan y leyes implicadas en la misma.
- ✚ Por qué es **necesario** introducir **plato poroso** en el matraz de ebullición
- ✚ Qué es el **factor de Van't Hoff** en relación con las propiedades coligativas
- ✚ Conocer **otras propiedades coligativas** de interés
- ✚ Por qué es conveniente introducir **glicerina en el protector de sonda** del termopar.
- ✚Cuál es la causa de que **no se puedan pesar dispositivos** que se encuentran a **alta temperatura** y sea necesario enfriarlos.

A todos estos objetivos conseguidos adicionalmente y relacionados con conocimientos específicos hay que añadir el hecho, no menos importante, de haber contribuido a desarrollar en el alumnado:

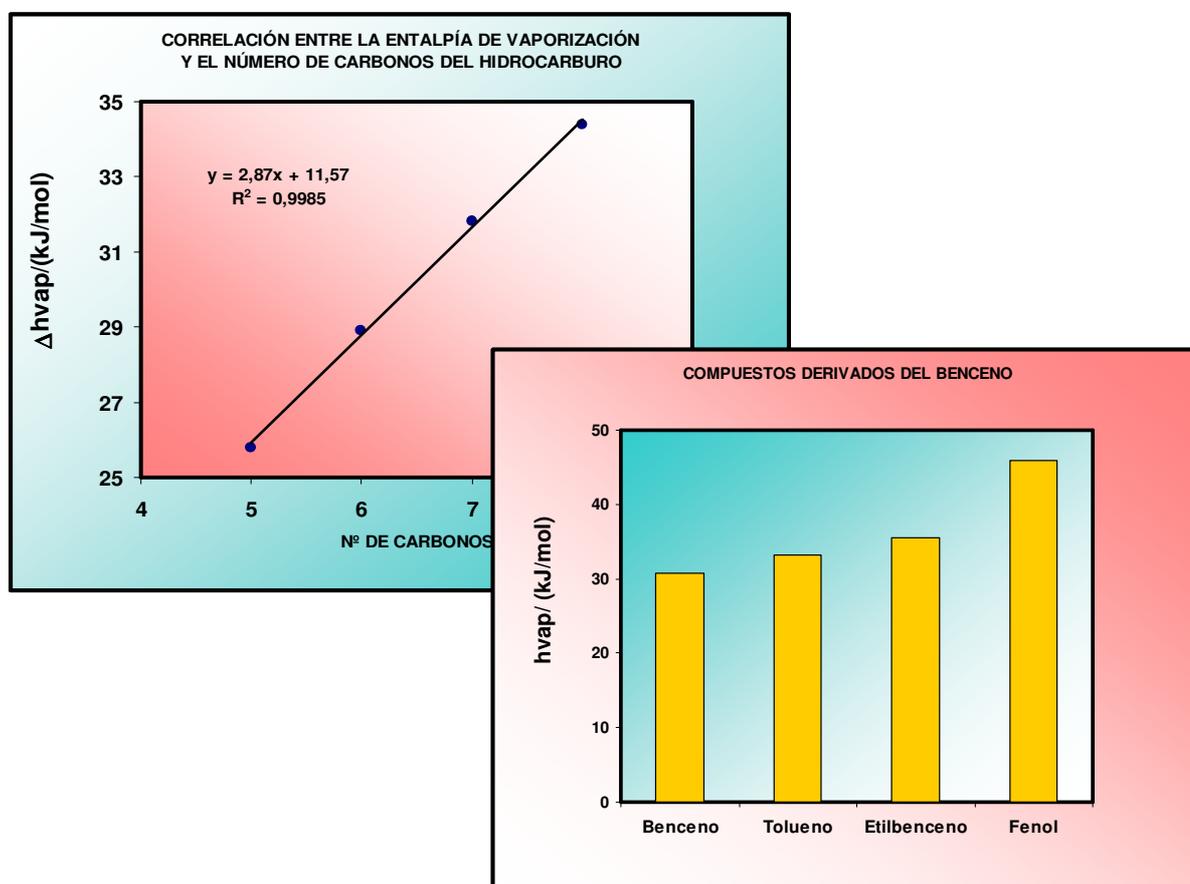
- ✚ La **curiosidad científica**
- ✚ La capacidad de búsqueda y **autoaprendizaje**
- ✚ Las **habilidades de expresión oral** para hacerse comprender.
- ✚ El **razonamiento crítico**

De todos estos logros, es prueba evidente las imágenes, elaboradas por los propios alumnos y que, a título de ejemplo, se muestran en el Anexo (cf. pg.13)

## 2. Obtención de constantes ebulloscópicas para determinar entalpías de vaporización

En relación con este objetivo, aunque no se ha podido desarrollar aún de forma completa, la idea es trabajar con compuestos que permitan llegar a descubrir posibles correlaciones de carácter estructural que permitan justificar los diferentes valores de entalpía de vaporización obtenidas a partir de las constantes ebulloscópicas determinadas experimentalmente.

Resultados como los que se muestran a continuación permitirían abrir una discusión de interés con el alumnado en relación con el tema de las fuerzas intermoleculares.



## **V. CONCLUSIONES**

A la vista de todo lo precedente se puede concluir que la serie de trabajos que presentados y la metodología utilizada para su desarrollo han permitido ampliar las posibilidades de experimentación práctica en nuestros laboratorios para mejorar de formación de nuestros Graduados en Química e Ingeniería Química. Por otro lado, también creemos que están en concordancia con lo que preconiza el EEES en cuanto a la necesidad de desarrollar una enseñanza-aprendizaje encaminada a la adquisición de competencias.

En este sentido, es necesario hacer referencia al hecho de que nuestra conclusión como profesorado es que el alumnado, ante una motivación real por parte del profesorado, responde muy favorablemente.

La satisfacción profesor-alumno durante el desarrollo de los trabajos ha sido mutua si bien, y en honor a la verdad es necesario también señalar que el desarrollo de este tipo de metodología de trabajo con el alumnado exige un alto grado de dedicación por parte del profesorado.

Finalmente, indicar que la experiencia adquirida durante el presente curso académico ha dejado abiertas aún muchas posibilidades de trabajos futuros que se intentarán perfeccionar y llevar a cabo en próximos cursos.

## **VI. CONTINUIDAD DEL PROYECTO**

Por lo que se refiere a la continuidad de este tipo de Proyectos, es intención del equipo de trabajo continuar desarrollando, en la medida de lo posible, todos los trabajos que en su día se incluyeron en el catálogo de prácticas de Química Física elaborado (cf. Anexo, pg.11 ).

El propósito último es poder tener a disposición de nuestro alumnado un laboratorio de Química Física moderno y bien dotado que le permita adquirir los conocimientos necesarios relacionados con el ámbito práctico de la Química Física que resulta esencial para su adecuada formación.

Estamos convencidos de esta necesidad de una mejora significativa en la formación práctica de los nuevos Graduados para dar cumplimiento al objetivo básico del EEES de formar profesionales que sirvan a la sociedad.

**ANEXO 1:**  
**RESUMEN DEL CATÁLOGO GENERAL DE PRÁCTICAS DE QUÍMICA FÍSICA PARA  
EL GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA**

(Elaborado con la Financiación concedida por el Programa de Ayudas de la USAL a la Innovación Docente. Convocatoria 2010 (Proyecto de Innovación Docente ID10/138)

**INTRODUCCIÓN**

- I. DATOS EXPERIMENTALES DEL LABORATORIO Y SU TRATAMIENTO
- II. ELABORACIÓN DE UN INFORME DE TRABAJO EXPERIMENTAL
- III. TÉCNICAS EXPERIMENTALES BÁSICAS

**TERMODINÁMICA**

**I. SUSTANCIAS PURAS**

**II. SISTEMAS MULTICOMPONENTES**

- 1. PROPIEDADES MOLARES PARCIALES Y DE MEZCLADO
- 2. DISOLUCIONES

**2.1. PROPIEDADES COLIGATIVAS**

- ✚ Ebulloscopía: Análisis de el efecto de distintos de solutos
- ✚ Determinación de pesos moleculares por ebulloscopía y crioscopía
- ✚ Obtención de entalpías de vaporización a partir de medidas de constantes ebulloscópicas

**4. DIAGRAMAS DE FASES Y SUS APLICACIONES**

**4.1. LÍQUIDO-VAPOR: VAPORIZACIÓN**

- ✚ Presión de vapor de mezclas de fluidos ideales: Diagrama T-Zi
- ✚ Diagrama T-Zi: Mezclas zeotrópicas y azeotrópicas

- 5. EQUILIBRIO QUÍMICO
- 6. TERMOQUÍMICA
- 7. TERMODINÁMICA BÁSICA DE SUPERFICIES
- 8. PROCESOS TERMODINÁMICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL

**CINÉTICA QUÍMICA**

- I. METODOLOGÍA BÁSICA EN CINÉTICA QUÍMICA
- II. MECANISMOS DE REACCIÓN
- III. CATÁLISIS Y FOTOQUÍMICA

## Ascenso Ebulloscópico: Justificación Termodinámica

Considere el siguiente sistema binario en equilibrio L-V a una temperatura  $T$  y presión  $P$ :

Vapor Comp. 1 Disolvente	$\mu_1(v)$
Disolución Comps. 1 y 2	$\mu_1(l)$

1° Condición de equilibrio entre fases:

$$\mu_1(l) = \mu_1(v)$$

2° Suponiendo comportamiento ideal:  $\mu_1(l) = \mu_1^*(l) + RT \ln x_1 = \mu_1(v)$

Teniendo en cuenta que:  $\mu_1^*(l) = g_{liq}$     y     $\mu_1(v) = g_{vap}$

$$\mu_1(v) - \mu_1^*(l) = g_{vap} - g_{liq} = \Delta g_{vap} = RT \ln x_1$$

y, por tanto,

$$\ln x_1 = \Delta g_{vap} / RT$$

$$d \ln x_1 = \frac{\partial(\Delta g_{vap}) / (RT)}{\partial T} dT = \frac{-\Delta h_{vap}}{RT^2} dT \quad [1]$$

$$\int_1^{x_1} d \ln x_1 = \int_{T_E^*}^{T_E} \frac{-\Delta h_{vap}}{RT^2} dT$$

$$\ln x_1 = \frac{\Delta h_{vap}}{R} \left( \frac{1}{T_E} - \frac{1}{T_E^*} \right) = \frac{\Delta h_{vap}}{R} \frac{T_E^* - T_E}{T_E^* T_E}$$

Considerando que:  $\Delta T_E = T_E - T_E^* \rightarrow$  ascenso ebulloscópico

$$T_E \cdot T_E^* \simeq (T_E^*)^2$$

$$\text{Disoluciones diluidas: } \ln x_1 = \ln(1 - x_2) \simeq -x_2 = -\frac{M_1 m_2}{1000}$$

$$\boxed{\Delta T_E = K_E \cdot m_2}$$

$$K_E = \frac{R(T_E^*)^2 M_1}{1000 \Delta h_{vap}} \rightarrow \text{constante ebulloscópica}$$

$m_2 \rightarrow$  molalidad de la disolución

Cuestión: Justifique la transformación realizada en la ecuación [1]

## QUÍMICA FÍSICA DEL EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR: MEJORA Y AMPLIACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

**PLATO POROSO**

Material Cerámico

**Función**

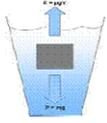
- \* Facilitar la formación de burbujas.
- \* Repartir el calor en el seno del líquido.
- \* Evitar un ebullición violenta.

¡¡¡Nunca se añade en caliente!!!

¡¡¡Siempre seco!!!

¿Pesa más un cuerpo caliente o frío?

Experiencia realizada:  
-Cuerpo a temperatura ambiente (frío): P = 58,5306g  
-Cuerpo caliente: P = 58,5084g  
**PESA MÁS UN CUERPO FRÍO**



Esto se explica por el **PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES**:  
"Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja"  
 $E = m * g = \rho * g * V$   
Y el aire caliente es menos denso que el aire frío, por tanto el peso del cuerpo es menor en aire caliente.

Glicerina en el protector de la sonda de un termopar

La glicerina se calienta antes que el agua ya que la capacidad calorífica del agua es mucho mayor. La del agua es 4,18 KJ/mol y la de la glicerina es 2,26 KJ/mol por lo tanto la glicerina necesita menos energía para cambiar su temperatura y de esta forma, el termopar puede alcanzar más rápidamente la temperatura de ebullición.



Por otra parte, la glicerina tiene un punto de ebullición mayor que el del agua, de unos 290 °C, lo que le convierte en un componente óptimo en este experimento, ya que permite el paso del calor rápido pero sin calentarse hasta su temperatura de ebullición. Si la glicerina llegase a su punto de ebullición, el termopar no nos daría una temperatura exacta del agua que tenemos en el matraz redondo y probablemente el tubo donde está apoyado el termopar no podría resistir.

TERMOPARES

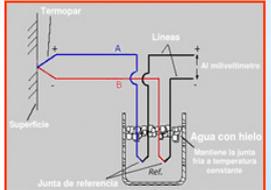




El termopar genera una fuerza electromotriz (fem) que depende de la diferencia de temperatura de la junta caliente o de medida y la unión fría o de referencia

El funcionamiento del termopar está directamente relacionado con algunas leyes :

- EFECTO DE VOLTA
- LEY DE LOS METALES INTERMEDIOS
- EFECTO DE THOMSON
- LEY DE LAS TEMPERATURAS INTERMEDIAS
- EFECTO DE PELLIER



## ÓSMOSIS

La *ósmosis* es un fenómeno físico relacionado con el comportamiento de un sólido como soluto en una solución ante una membrana semipermeable la cual permite el paso del solvente pero no para los solutos. Tal comportamiento supone una difusión simple a través de la membrana, sin "gasto de energía". La ósmosis del agua es un fenómeno biológico importante para el metabolismo celular de los seres vivos.

