

## **Proyecto de Innovación y Mejora Docente ID2014/0211**

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 2014-2015

# **MEMORIA**

## *CINÉTICA HOMOGÉNEA Y HETEROGÉNEA EN FLUJO*

**Salamanca a 29 de Junio de 2015**

**Francisco Salvador Palacios  
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 marco específico de desarrollo .....	3
3. Destino de la Subvención Concedida .....	4
<b>III. DESARROLLO</b>	
1. Recursos Disponibles .....	5
2. Actividades Desarrolladas.....	5
2.1. Diseño de las instalaciones experimentales y posibilidades que ofrecen	
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>6</b>
1. Cinética en fase homogénea en flujo. ....	6
2. Cinética en fase heterogénea: Procesos de adsorción en flujo.....	7
<b>V. CONCLUSIONES Y CONTINUIDAD DEL PROYECTO .....</b>	<b>8</b>
<b>VI. ANEXO: Catálogo General de Prácticas de Química Física .....</b>	<b>9</b>

## EQUIPO DEL PROYECTO

<b>Coordinador</b>	<b>Francisco Salvador Palacios</b>	<a href="mailto:salvador@usal.es">salvador@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>M<sup>a</sup> Jesús Sánchez Montero</b>	<a href="mailto:chusan@usal.es">chusan@usal.es</a>
	<b>Nicolás Martín Sánchez</b>	<a href="mailto:nico4iq@hotmail.com">nico4iq@hotmail.com</a>
	<b>Jennifer Peláz Fernández</b>	<a href="mailto:jpf@usal.es">jpf@usal.es</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

En este Proyecto se ha intentado ampliar el tipo de estudios cinéticos que se vienen haciendo en el laboratorio para dar entrada a la posibilidad de poder obtener y analizar datos cinéticos obtenidos en sistemas homogéneos o heterogéneos en flujo continuo. Este aspecto es de especial interés para los graduados en Ingeniería Química cuyo futuro profesional exigirá el diseño de reactores que trabajan en continuo. . en el mencionado Catálogo General de Prácticas de Química Física (*cf.* Anexo I, temas destacados).

### 2. Objetivos y Marco Específico de Desarrollo

El interés de los estudios relacionados con la velocidad de los procesos químicos y de las variables que afectan a la evolución de los mismos constituye uno de los temas básicos en el contexto de la Cinética Química que se imparten tanto a futuros graduados en Química como Ingeniería Química.

La obtención e interpretación de los datos cinéticos propios de un proceso reactivo cuando el sistema se analiza en flujo es de especial interés porque capacita al alumnado para, en cursos superiores, comprender y ser capaz de llegar a realizar el correcto desarrollo del diseño de Reactores Químicos.

En el Proyecto presentado se planteaba la posibilidad de disponer de un elemento que es clave para poder diseñar y desarrollar este tipo de estudios cinéticos en flujo; la bomba que permitirá impulsar las corrientes de reactivos a la cámara de reacción y la corriente de productos para analizar los productos producidos. Concretamente se plantearon en el Proyecto solicitado los siguientes objetivos:

1. La obtención e interpretación de datos cinéticos correspondientes al desarrollo de dos tipos de procesos reactivos:
  - ✚ Fase homogénea en un reactor tubular en flujo continuo.
  - ✚ Fase heterogénea que implica el análisis de la adsorción en flujo.
2. Análisis de todas las posibles variables que van a intervenir o afectar a los procesos analizados en flujo continuo
3. Utilización de los resultados cinéticos obtenidos para, mediante un cambio de escala, extrapolar al caso de un supuesto procedimiento industrial.

En cuanto al ámbito de actuación, este tipo de estudios cinéticos se va a desarrollar esencialmente en el laboratorio de **Experimentación en Química del Grado en Ingeniería Química**. No obstante, este tipo de trabajo puede plantearse como objetivo a estudiantes del **Grado en Química** en el contexto del laboratorio de **Experimentación en Química Física** de 3º curso o en la asignatura optativa de **“Química Física Aplicada”** como marco idóneo para formar a los graduados de Química en aspectos relacionados con los procesos industriales que han dejado de ser temas básicos en el contexto del Grado en Química.

### 3. Destino de la Subvención Concedida

La subvención concedida se ha destinado concretamente para la **adquisición de una bomba peristáltica dosificadora de líquidos** de la firma Perimax 12. provista de dos canales y posibilidades de regular el flujo. (cf. figura 1, *infra*)

Es necesario señalar que la subvención concedida, reducida en un 75% respecto de la petición solicitada no hubiera permitido de ningún adquirir este material que ha sido financiado prácticamente en su totalidad por el presupuesto ordinario del Departamento. (con la excepción de los 125 € concedidos).



**Figura 1:** Bomba Peristáltica

## III. DESARROLLO

### 1. RECURSOS DISPONIBLES

Tal y como se indico en el Proyecto presentado para desarrollar el trabajo que se planteaba, se dispone del diseño de la instalación que sería necesaria para poder llevar a cabo las medidas experimentales

En cuanto a los reactivos que se pueden utilizar son versátiles y de uso habitual en otros contextos experimentales que ya se desarrollan habitualmente en el departamento.

### 2. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

#### 2.1. Diseño de las instalaciones Experimentales y posibilidades que ofrecen.

El alumnado con el que se va a desarrollar el trabajo es en primera instancia los de 3º de Grado en Ingeniería Química y de 3º Curso de Grado en Química. Al llegar al laboratorio ya han recibido en sendas asignaturas de Química Física las bases teóricas fundamentales en relación a la cinética formal, es decir, todo lo relativo a la obtención y tratamiento de datos cinéticos mediante metodologías convencionales en discontinuo.

En consecuencia, todas las actividades estarán encaminadas a mostrar a los alumnos las diferencias y ventajas que supone trabajar en continuo para la obtención de datos cinéticos. Para ello y de acuerdo con lo planteado en nuestro proyecto:

1º Proceder al montaje de las dos instalaciones necesarias para llevar a cabo las experiencias planteadas dejando abierta la posibilidad de modificar y analizar las diferentes variables que son de interés en el análisis de procesos en flujo (cálculo de caudales reales, relación entre conversión de los reactivos y longitud del reactor). En las Figuras 2 se muestran el esquema de la instalación preparada para la cinética en continuo en fase homogénea

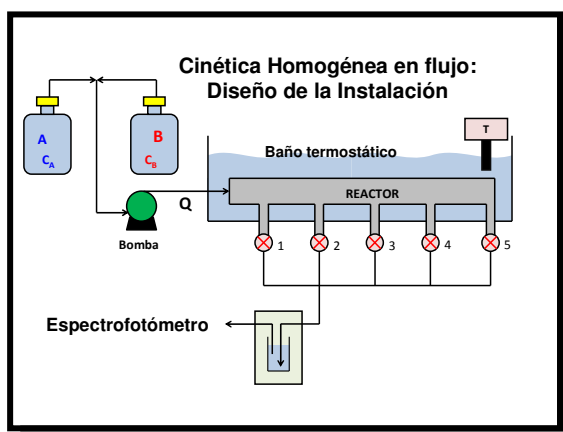
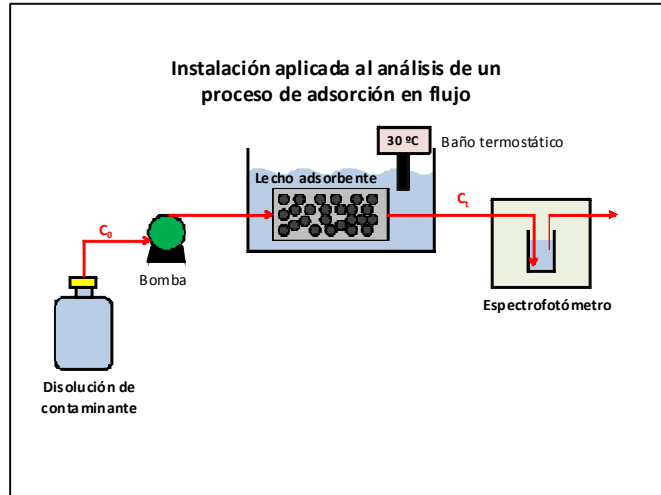


Figura 2: Diseño de la instalación para el análisis de cinéticas homogéneas en continuo

La instalación que muestra la figura 2 permitirá al alumno obtener datos cinéticos al disponer de diferentes puntos a distancias definidas para la toma de muestra de la mezcla reactiva que circula por el reactor. El alumno podrá constatar que conocido el caudal de la corriente el conocimiento de las distancias a lo largo del reactor es equivalente a tener medidas a lo largo del tiempo. La posibilidad de modificar el caudal con la bomba permitirá establecer las condiciones más óptimas para el estudio de una reacción dada dando con ello [cumplimiento al 2º objetivo](#) que se planteaba en nuestro trabajo.

Para la consecución del [3º objetivo](#) planteado, [analizar un proceso heterogéneo de adsorción en flujo](#), la instalación previamente diseñada se adaptó, tal y como muestra la figura 3, para intercalar un lecho de adsorbente a través del cual pasaría la corriente del adsorbato

cuyo proceso de adsorción se desee estudiar. En el caso de los estudiantes de grado en ingeniería se considera idónea la posibilidad de utilizar el proceso de adsorción como medio para la eliminación de algún contaminante que pueda derivarse de procesos industriales.



**Figura 3: Instalación para el análisis de cinéticas heterogéneas en continuo**

Cabe destacar que este tipo de estudios abre la posibilidad de introducir al alumnado en toda la temática referente a los adsorbentes propiamente dichos: su obtención, caracterización a través del estudio de las isothermas de adsorción y la importancia de los grupos superficiales que pueden estar implicados en el proceso de unión adsorbato-adsorbente.

Por otra parte, el estudio de un mecanismo cinético de adsorción permite captar al alumno la complejidad que encierra dicho proceso y cómo se puede abordar el análisis de los datos cinéticos que pueden obtenerse para un proceso de adsorción determinado.

Para el desarrollo de todos estos aspectos, se cuenta con la formación teórica proporcionada en las clases o bien se puede utilizar el propio laboratorio como medio para su aprendizaje a través de la búsqueda por parte de los alumnos de las respuestas a las diferentes preguntas que puedan plantearse a lo largo del desarrollo del trabajo.

## IV. RESULTADOS

### 1. Cinética en fase homogénea en flujo.

La instalación mostrada en la figura 2 tras ser optimizada en relación con las condiciones idóneas de funcionamiento, permitirá al alumno proceder al análisis de la reacción seleccionada disponiendo de los datos de absorbancia-tiempo.

A partir de estos datos y aplicando el método de integración se obtendrán representaciones del tipo de la que aparecen en la Figura 3 para el caso particular de una reacción de orden uno o pseudoprimer orden, a partir de la cual se pueden obtener los parámetros cinéticos característicos del proceso.

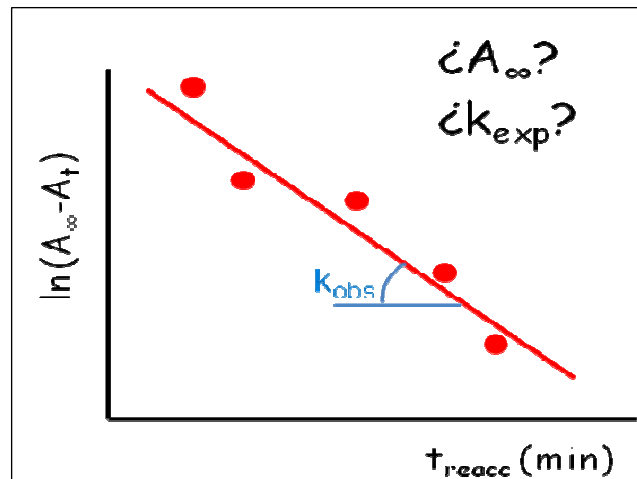


Figura 4: Análisis de datos cinéticos obtenidos en continuo

## 2. Cinética en fase heterogénea: Procesos de adsorción en flujo

En cuanto a los procesos cinéticos de adsorción la información que el alumno va a obtener en el laboratorio será la dependencia de la propiedad física de seguimiento en la corriente que emerge de la columna, tras estar en contacto con el adsorbente, en función del tiempo.

Dicho perfil es lo que se conoce como curva de ruptura. A título de ejemplo se muestra en la figura 5 una de dichas curvas para el caso más habitual de que sea la absorbancia la propiedad física que se utilice para el seguimiento del cambio de concentración de la corriente emergente.

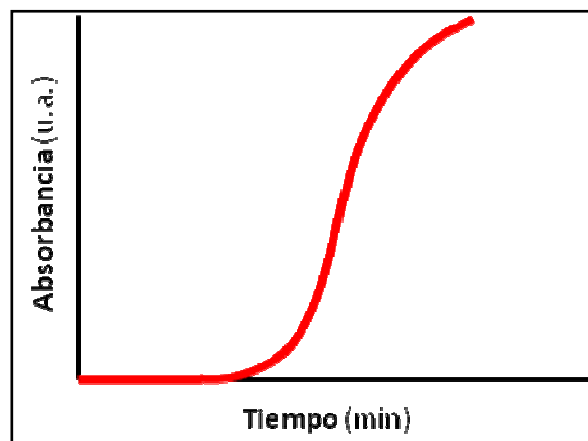


Figura 5: Curva de ruptura.

A partir de este tipo de curvas, el alumno podrá establecer:

- ✚ La capacidad de adsorción a lo largo del tiempo
- ✚ La capacidad máxima de adsorción del adsorbente utilizado
- ✚ La constante cinética de adsorción aplicando algunos de los modelos, como el de Thomas, para tal propósito.

Las instalaciones diseñadas evidentemente hacen factible el la posibilidad de hacer estudios para ambos tipos de procesos como función de la temperatura lo que abre al alumnado todo un campo de posibilidades en cuanto a la determinación de parámetros químico físicos de interés.

Además de los objetivos concretos inherentes al estudio cinético de procesos en fase homogénea o heterogénea que se han descrito, la formación del alumnado puede completarse planteando a los alumnos del trabajo a realizar mediante una metodología de tipo eurístico. Este planteamiento, por una parte, hace posible la adquisición de conocimientos adicionales mediante la búsqueda por sí mismos de respuestas a cualquier cuestión planteada en relación con el tema o el equipamiento que van a utilizar. Por otra, no menos importante, contribuirá 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**

## V. CONCLUSIONES Y CONTINUIDAD DEL PROYECTO

A la vista de todo lo precedente se puede concluir que la serie de trabajos y la metodología para su desarrollo permiten ampliar las posibilidades de experimentación práctica en nuestros laboratorios para mejorar de formación de nuestros Graduados con un enfoque orientado esencialmente a la enseñanza-aprendizaje para 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.

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).



## ANEXO

*CATÁLOGO GENERAL DE  
PRÁCTICAS DE QUÍMICA FÍSICA  
GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA*

### Proyecto de Innovación Docente ID10/138

Financiado por el Programa de Ayudas de la Universidad de Salamanca a la Innovación Docente en la Implantación de los Nuevos Planes de Estudio en el Marco de la Nueva Ordenación de las Enseñanzas Universitarias Oficiales. Convocatoria 2010-2011

*CINÉTICA QUÍMICA*

#### I. METODOLOGÍA BÁSICA EN CINÉTICA QUÍMICA

1. METODO DE INTEGRACIÓN: CINÉTICA EN FLUJO
2. METODO DIFERENCIAL
3. DEPENDENCIA DE LA VELOCIDAD CON LA TEMPERATURA
4. EFECTOS DEL MEDIO DE REACCIÓN

#### II. MECANISMOS DE REACCIÓN

CINÉTICA EN FLUJO DEL PROCESO DE ADSORCIÓN

#### III. CATÁLISIS