



Tecnología Química

ISSN: 0041-8420

revista.tec.quimica@fiq.uo.edu.cu

Universidad de Oriente

Cuba

Sanz Pardo, Annette; Martínez Vázquez, Juan Luis  
EL USO DE LOS LABORATORIOS VIRTUALES EN LA ASIGNATURA BIOQUÍMICA  
COMO ALTERNATIVA PARA LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA  
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN  
Tecnología Química, vol. XXV, núm. 1, enero-abril, 2005, pp. 5-17  
Universidad de Oriente  
Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543746001>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en [redalyc.org](http://redalyc.org)

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

---

# EL USO DE LOS LABORATORIOS VIRTUALES EN LA ASIGNATURA BIOQUÍMICA COMO ALTERNATIVA PARA LA APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN

Annette Sanz Pardo, Juan Luis Martínez Vázquez

Universidad de Oriente

*En el presente trabajo, mediante la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación, se ha realizado un análisis sobre la aplicación de las prácticas de laboratorio virtuales en diferentes centros de Educación Superior del país, que indica que constituyen una poderosa herramienta para el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes en diferentes asignaturas, y permiten que el estudiante se apropie de los conocimientos necesarios para enfrentarse a la realidad de los procesos y fenómenos objetos de estudio.*

*Se presenta un ejemplo de la simulación de una de las prácticas de laboratorio de Bioquímica, referida a la separación de proteínas empleando el método de la precipitación isoeléctrica. El programa (software) está vinculado a una página web donde se relacionan los aspectos teóricos que deben tenerse en cuenta en la preparación del estudiante para la práctica. Presenta una secuencia de realización de los ensayos y finalmente se observan los resultados a partir de los cuales el estudiante hará las conclusiones de la práctica, guardando estos datos en una carpeta habilitada en el ordenador para este fin.*

**Palabras clave:** bioquímica, laboratorios virtuales

---

*In the present paper, by means of the use of technologies of information and communication, an analysis about the application of virtual laboratory practices in different centers of Higher Education of our country, has been carried out which indicates that they constitute a powerful tool for the process of the students' teaching-learning in different subjects, and they allow the student to appropriate of the necessary knowledge to face the reality of the processes and phenomena that are objects of study.*

*An example of the simulation of one of the practices of Biochemistry laboratory, referred to the separation of proteins using the method of isoelectric precipitation, is presented. The software is linked to a web page where the theoretical aspects that should be kept in mind are related in the student's preparation for the practice. It presents a sequence of realization of the assays and finally the results are observed, starting from which the student will make the conclusions of the practice, keeping these data in a folder enabled in the computer for this purpose.*

**Key words:** biochemistry, virtual laboratories.

## Introducción

La nueva sociedad de la información que se construye en el mundo, tendrá a la información como materia prima y a su procesamiento como base de todo sistema económico. En estas circunstancias, la educación enfrenta el reto de desarrollar en los individuos habilidades para acceder a la información, seleccionarla, procesarla, trabajar cooperativamente y tomar decisiones; empleando sistemáticamente las tecnologías de la información y las comunicaciones en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Por otra parte, en la educación química una de las problemáticas fundamentales que hay que solucionar es el divorcio entre la teoría y la práctica. Esta división ha originado fronteras artificiales entre el aprendizaje de conceptos, la resolución de problemas y la realización de prácticas de laboratorio, que han alejado a la enseñanza del proceder de la ciencia misma. La práctica de laboratorio típica ha sido concebida para que los alumnos comprueben experimentalmente conceptos, leyes y teorías que el profesor les ha "enseñado" con anterioridad.

---

Una de las alternativas para la enseñanza de los procedimientos de laboratorio cuando existen dificultades materiales o medioambientales, lo constituye el uso de laboratorios virtuales o simuladores interactivos de laboratorios químicos, que se crean por medio de la programación (software) y contienen una serie de elementos que ayudan al estudiante a apropiarse y comprobar sus habilidades como químicos.

Estos elementos son los mismos conceptos, leyes y teorías citadas antes, que aparecen en los libros de texto y que son adquiridos en las conferencias, fundamentalmente.

Un laboratorio virtual es una simulación de la realidad (es decir, de un experimento de laboratorio) usando los patrones descubiertos por la ciencia. Estos patrones o leyes si se prefieren, son codificados por el procesador de un ordenador para que mediante algunas órdenes que le demos, éste nos brinde respuestas, las cuales se asemejan a lo que en la vida real se podría obtener.

Debe quedar claro que aún cuando tratamos de imitar la realidad esto no se puede lograr, ya que el modelo es una abstracción que carece de infinidad de elementos que hacen parte de lo que en verdad ocurre.

## Aplicación de los laboratorios virtuales

### ¿Por qué hacer un laboratorio virtual?

Cualquier persona puede argumentar que no vale la pena invertir mucho tiempo para que una máquina haga lo que se puede hacer en la realidad y seguramente tiene la razón, pero nos preguntamos si el hombre hubiese llegado a la Luna de no haberse podido simular previamente todo el proceso de despegue, desacople, alunizaje, despegue de nuevo, etcétera, lo mismo ocurre con los pilotos de aviones.

Un laboratorio virtual puede tener una función principalmente pedagógica, que permita aprender conceptos, leyes y fenómenos sin tener que esperar mucho tiempo y sin tener la necesidad de invertir en la infraestructura apropiada para realizar estos experimentos. Pero también se puede usar como herramienta de predicción para verificar los datos de un experimento o para diseñar algún experimento más complicado en el que no se puedan realizar fácilmente cálculos con un lápiz y un papel.

### ¿Cómo se hace una simulación de la realidad?

El punto de partida es el de un modelo sólido (con buena capacidad de predicción). Por ejemplo, las leyes de Newton constituyen un modelo sobre el cual se puede simular con cierto grado de certeza lo que ha de ocurrir, y por lo tanto se puede construir un simulador que represente la órbita de un satélite artificial. Para el caso de la Genética la cosa no es tan sencilla (como en cualquier modelo biológico) y toca echar mano a toda la información producida en el último siglo para poder elaborar un modelo más o menos fiable.

El siguiente paso en la construcción del simulador es elaborar el algoritmo, o los pasos por seguir para aplicar el modelo. Después de esto no queda más que traducir este algoritmo de tal manera que sea entendido por el ordenador (o quien quiera que vaya a realizar la simulación) y agregarle todas las cosas extra que faciliten la entrada de la información y la presentación de ésta. Finalmente se hacen todas las pruebas necesarias para asegurarnos que todo ha salido bien.

## Experiencias de universidades del país en la aplicación de laboratorios virtuales

En el año 1991, en los laboratorios docentes de Física General del ISPJAE se incorporó la computación para la automatización y la utilización como procesador de los datos experimentales en ocho prácticas de laboratorios. Ha sido empleada la simulación de experimentos de difícil realización. Se publicó un trabajo sobre simulación de experimentos desarrollados para la enseñanza y aprendizaje de Física en las carreras de Ingeniería. Se hace énfasis en la formulación, y se sugiere que el proceso de modelación matemática se integre orgánicamente al desarrollo del curso de Laboratorio de Física, en el sentido de que el estudiante participe en el diseño de los experimentos.

Se realizó la modelación del campo electrostático, un espectrómetro de masas, del campo magnético, del fenómeno de inducción magnética; una línea de transmisión infinita, una unión p-n y del campo magnético de un magnetizador. Las prácticas tuvieron gran aceptación entre los estudiantes, y su efectividad ha sido demostrada durante varios cursos.

---

Se han desarrollado trabajos utilizando técnicas de la inteligencia artificial. Se ha reportado el desarrollo de un tutorial para la enseñanza de circuitos de corriente alterna de la asignatura de Física para las especialidades de Ingeniería.

Desde 1987, la Facultad de Física de la Universidad de La Habana introdujo la computación en los laboratorios, se automatizaron las prácticas de los laboratorios de electrónica, y se hicieron programas para procesar automáticamente los datos en el laboratorio de Óptica y Mecánica.

En la actualidad, en el laboratorio de Mecánica del departamento de Física Aplicada existen varias prácticas automatizadas. En la asignatura Electrónica II y III se simulan numerosos procesos físicos. Los informes de laboratorios de todas las prácticas se hacen con el uso de programas de computación para el procesamiento automático de los datos.

De la misma forma, en otras universidades del país como el Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, donde desde el año 1995 se comenzaron a desarrollar laboratorios virtuales en diferentes temáticas de la disciplina de Física, utilizando el lenguaje de programación Visual Basic, por ejemplo, el VisualLab. En la Universidad Central de Las Villas se ha realizado la actualización de la tecnología a través de las prácticas virtuales. En la Universidad Agraria de La Habana se implementó un sistema para la construcción de un Laboratorio Virtual basado en imágenes. Por laboratorio virtual basado en Imágenes (LVBI) se entiende la disponibilidad en la red (intranet o internet) de un banco de imágenes clasificadas por expertos de diferentes disciplinas, que describen e incorporan imágenes clasificadas a una base de datos que queda disponible para usuarios de diferentes tipos mediante una aplicación web, además, de un Laboratorio Virtual de Micología orientado a la automatización en el proceso de investigación de la morfología e identificación de hongos, proceso en el que es necesaria la intervención de varios especialistas no situados físicamente en el mismo lugar.

## En la Universidad de Oriente

Se han desarrollado más de diez tesis de grado en temáticas afines a la asignatura Física y en

otras facultades para diferentes asignaturas, en la actividad de diseño, elaboración y explotación de los mismos.

La actividad central de estos diseños en el caso de Física se centró fundamentalmente en la labor práctica-investigativa, donde el tema principal abordado es el de la interacción de la radiación ionizante con la sustancia, su forma de medición, control y uso de la misma.

Se destaca dentro de este período el uso de la simulación con el objetivo de analizar la eficiencia de detectores de radiación, aspecto de singular importancia en las buenas prácticas de Física de la protección radiológica, también el estudio de sistemas gamma espectrométricos; sistema que permite una evaluación dosimétrica del uso de diferentes fuentes de interés médico e investigativo (Vidal *et al.*, 2002).

En la Facultad de Ciencias Naturales existe un grupo de profesores dirigidos por el Dr. Luis Bello, que han realizado importantes trabajos relacionados fundamentalmente con los laboratorios de Química. En varias universidades del mundo se utilizan los laboratorios virtuales para diversos fines, uno de ellos es la enseñanza a distancia, por ejemplo, en el departamento de Química de la Universidad Imperial de Londres se desarrolló una práctica de laboratorio en forma de biblioteca tridimensional de objetos, incluyendo las moléculas, sus propiedades asociadas y el equipamiento del laboratorio.

Con el desarrollo de la educación a distancia se intenta proveer ésta de una fuerte componente de simulación y laboratorios virtuales, que permitan desarrollar de forma remota complejas prácticas de laboratorios que se deben realizar en equipos altamente sofisticados pero a la vez costosos.

A pesar de los logros obtenidos, las diversas aplicaciones disponibles carecen de imágenes actualizadas que se generan a gran velocidad en procesos de investigación que ocurren al mismo tiempo que el estudiante consulta un catálogo o un sitio web.

En muchas ramas de la ciencia en las que los cambios se generan a gran velocidad, se necesita la incorporación rápida al proceso docente y la discusión colectiva, sobre todo en los estudios superiores en los que el estudiante debe estar actualizado en los procesos cada vez más cambiantes de la realidad.

Muchos centros de investigación producen diariamente imágenes de diferentes procesos que se pierden y no se archivan, ni se registran por no ser importantes para una investigación en particular: sin embargo, sí lo pueden ser para el proceso docente.

Cuando un investigador o médico considera que la imagen por él obtenida es importante, tanto para la investigación como para la docencia, no cuenta con la organización, ni con las herramientas de software necesarias para clasificarla y registrarla; existen herramientas de software que permiten la descripción de la imagen como un conjunto y el detalle de objetos contenidos en la imagen, elemento muy útil en el diagnóstico de enfermedades y el análisis de salidas de instrumentos modernos en los que se requiere conocer las características o el significado de una parte de la imagen. Estas posibilidades pueden estar recogidas en un software asociado a la temática que se desea investigar.

Otro de los ejemplos de la utilización de la simulación de fenómenos mediante el uso de los laboratorios virtuales es el programa Model ChemLab v2.0 para Windows donde se simula interactivamente un laboratorio de química. En él se usan el equipamiento y los procedimientos comunes de laboratorio para simular los pasos involucrados en la realización de los experimentos. Posee una ventana de texto donde aparece la teoría y el procedimiento, y otra para que el estudiante o investigador anote las observaciones y las conclusiones (Vidal *et al.*, 2002).

El uso de las técnicas de información y comunicación es muy útil para la aplicación de las diferentes alternativas elaboradas (una de ellas es la utilización de las prácticas virtuales) con el objetivo de facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los cursos de pregrado y postgrado de diferentes asignaturas y extenderlos a otras instituciones a través de la aplicación de la educación a distancia.

A continuación se expone, usando como ejemplo la práctica de laboratorio sobre la determinación del punto isoeléctrico de una proteína, la forma en que han sido diseñadas las prácticas de laboratorio de Bioquímica, que pueden insertarse tanto en la educación local como en los programas de educación a distancia que poseen las diferentes universidades del país.

Estas prácticas presentan una revisión de la bibliografía necesaria para garantizar el respaldo teórico de las mismas y se visualizan a través de una página web que se vincula con las prácticas simuladas.

## Simulación de prácticas de laboratorio de Bioquímica

Título: Determinación del punto isoeléctrico de una proteína

Tema: Biomoléculas y su metabolismo

Objetivo:

Determinar el punto isoeléctrico de una proteína valorando su efecto sobre la solubilidad de las mismas.

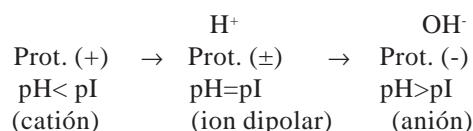
## Fundamento teórico

Las proteínas están formadas por una secuencia de aminoácidos (a.a) que determinan su estructura primaria. Estos a.a se encuentran unidos mediante enlaces peptídicos a través de un grupo carboxilo (COOH) de un a.a y el grupo amino (NH<sub>2</sub>) del otro, esto determina que sólo quedan libres los grupos COOH y NH<sub>2</sub> terminales de la cadena polipeptídica. Por ello es que la carga de la molécula proteica depende fundamentalmente de la presencia de grupos ionizables en los radicales de los a.a presentes en ella.

El pH del medio es el factor fundamental que determina el estado iónico de estos radicales. Atendiendo a esto, existirá para toda proteína un valor de pH en el cual se establece en su molécula el mismo número de cargas positivas que negativas, hallándose entonces en su punto isoeléctrico, y no migrando ni al ánodo ni al cátodo en un campo eléctrico.

A valores de pH inferiores al punto isoeléctrico existirá un predominio de cargas eléctricas positivas, comportándose dicha proteína como un catión, mientras que por encima del punto isoeléctrico se comportará como un anión.

## Esquemáticamente podría representarse:



El punto isoeléctrico afecta las propiedades de las proteínas, sobre todo la solubilidad, debido a que sus cargas negativas y positivas se neutralizan entre sí disminuyendo la atracción electrolítica sobre el agua y precipitando.

Cuando el pH de la mezcla se ajusta al pH isoeléctrico de uno de sus componentes, la mayor parte o casi todo el componente precipitará, quedando en la disolución las proteínas cuyos valores de pH isoeléctrico se hallen por

encima o por debajo de aquél. La proteína isoeléctrica precipitada permanece en su conformación nativa y puede redissolverse en un medio de pH y concentración salina adecuados.

Deben revisarse los conceptos de estructura primaria, enlace peptídico, carácter anfotérico, punto isoeléctrico y propiedades generales de las proteínas, así como la estructura de los radicales de a.a.

### Forma de presentación de la práctica simulada:

#### Parte experimental

Laboratorio Virtual de Bioquímica

Práctica # 5

Utensilios de Laboratorio



*Tubos de Ensayos*

*Vasos de Precipitados*

*Gradilla*

*Pipetas*

*Lapiz Cristalográfico*

Sustancias

*Agua Destilada*

*Solución de Caseína*

*Ácido Acético --- 0.1 mol/L*

*Ácido Acético --- 0.01 mol/L*

Ejemplo de una de las reacciones que se producen:

Prácticas de Laboratorio

**3ra Reacción**

Agua Destilada

Ácido Acético  
*c*(0.1 mol/l)

Caseína

Reacciones

1ra Reacción

2da Reacción

3ra Reacción

4ta Reacción

5ta Reacción

6ta Reacción

7ma Reacción

8va Reacción

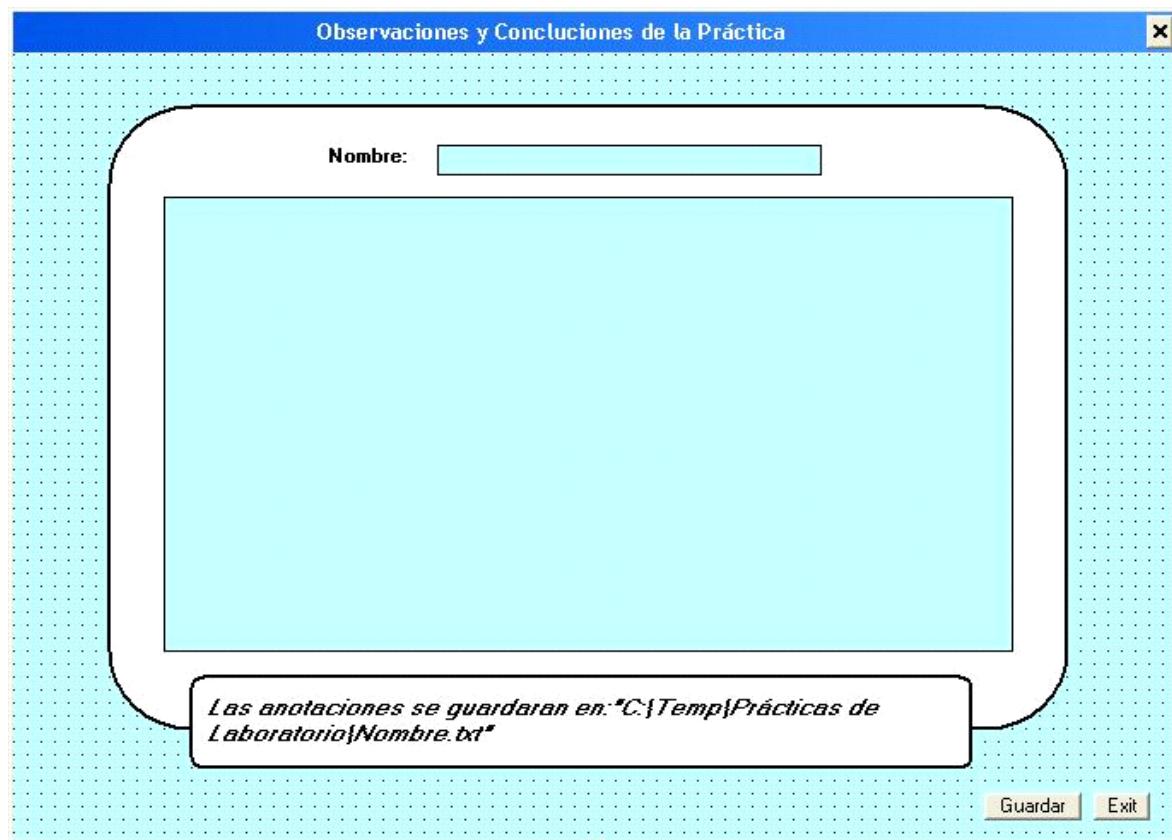
Resultados de la práctica

Gradilla con los Resultados de las Reacciones

1 2 3 4 5 6 7 8

PH=4.7

Al pasar el cursor por encima de cada tubo de ensayo, el estudiante podrá saber el valor del pH alcanzado para cada reacción.



## Experiencias en la aplicación de las prácticas de laboratorio virtuales de Bioquímica

Estas prácticas han sido muy útiles para la preparación de los estudiantes antes de su realización en el laboratorio real, pero también son factibles cuando existan problemas para su realización, cuando falten los reactivos necesarios para llevarlas a cabo o cuando no pueda usarse el laboratorio por alguna circunstancia. Mediante su uso ha sido posible introducir otro de los elementos de uso de las tecnologías de la información y la comunicación en el programa de estudio para esta asignatura, que les permite a los estudiantes consultar la bibliografía necesaria para la autopreparación teórica, y a la vez manejar los recursos de intranet a su disposición.

Los estudiantes han mostrado satisfacción al utilizar estas prácticas virtuales, lo que ha aumentado su nivel de preparación, y al estar disponibles en la red, pueden consultarlas o realizarlas en cualquier momento y tantas veces como deseen.

## Conclusiones

Como consecuencia del análisis realizado sobre los laboratorios virtuales en Cuba y la realización y aplicación de uno de ellos en la asignatura Bioquímica en la carrera de Ingeniería Química, se ha arribado a las siguientes conclusiones:

- El uso de las técnicas de información y comunicación permite facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los cursos de pregrado y postgrado de diferentes asignaturas, y extenderlos a otras instituciones a través de la aplicación de la educación a distancia.
- Mediante el uso del programa elaborado se realizan los experimentos con una alta aproximación a la realidad, relacionados con dos de los procesos de separación de aminoácidos y proteínas.
- Por su estructura en forma de página web donde se relacionan los conceptos fundamentales necesarios para el conocimiento del metabolismo

---

bioquímico, permite relacionar la teoría con la práctica.

- Brinda la posibilidad de desarrollar habilidades generales cognoscitivas al permitir mostrar a los estudiantes la realización de prácticas que, por dificultades materiales o medioambientales, no pueden realizarse en el laboratorio.
- Puede utilizarse para la educación a distancia y donde el aprendizaje del estudiante se produzca de forma dirigida.
- Es un instrumento útil para evaluar la práctica de laboratorio aun cuando se hubiera podido realizar previamente en el laboratorio.
- Contribuye al uso de las tecnologías de la información y la comunicación.
- Contribuye al ahorro de reactivos e instrumentos utilizados en el laboratorio.

## Bibliografía

- Bandiera, J.; Dupre, F.; Ianniello, M.; Vicentini, M. “Una investigación sobre las habilidades para el aprendizaje científico”, *Enseñanza de las ciencias*, vol. XIII, núm. 1. 1995, págs. 46-54.
- García, J., “La solución de situaciones problemáticas: una estrategia para la enseñanza didáctica de la Química”, *Enseñanza de las ciencias*, vol. XVIII, núm. 1, 2000, págs. 113-130.
- González, H.; Spengler, I.; Vidal, G., “Aprendizaje activo de las destrezas básicas del laboratorio químico”, *Educación en Ciencias*, vol. III, núm. 1, 2002, págs. 34-36.
- Lehninger, A.; *Bioquímica*, 2da ed., Barcelona. España, Edit. Omega.
- Vidal, G.; González, M., “Evaluación pedagógica de un simulador virtual”, *Revista Pedagógica Universitaria*, vol. VII, núm. 4, 2002, págs. 17-28.
- Villar, V.; Santos, A., *Tratado de Bioquímica*, 3ra edic., La Habana, Edit. Pueblo y Educación, 1979.

## OBTENCIÓN DE LAS CURVAS CINÉTICAS DE LA REACCIÓN DEL SO<sub>2</sub> Y LOS RESIDUALES DE LA PRODUCCIÓN DE ACETILENO

Isnel Benítez Cortés\*, Reynero Álvarez Borroto \*, Luis Beltrán Ramos Sánchez \*, Javier de la Torre Edo \*\*

\* Universidad de Camagüey, \*\* Universidad de Valencia, España

*El presente trabajo se desarrolla con el objetivo de determinar las curvas cinéticas de la reacción entre el SO<sub>2</sub> y los residuales de la producción de acetileno.*

*Para el desarrollo del mismo se diseña y construye una instalación experimental y se estudia la cinética de la reacción entre 200-400 °C y niveles de concentración de SO<sub>2</sub> entre 2-6 %.*

*Los resultados muestran la posibilidad de utilizar estos residuales en la reducción del dióxido de azufre en los gases de combustión.*

**Palabras clave:** gravimétrico, dióxido de azufre, cieno, cinética.

*The present work is developed to obtain the kinetic curves of the reaction between SO<sub>2</sub> and the wastes of acetylene production.*

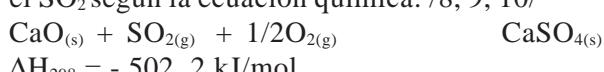
*For this purpose, it is designed and built an experimental installation, and it is studied the reaction kinetics between 200-400 °C of temperature and the SO<sub>2</sub> concentration levels between 2-6 %.*

*The results show the possibility of using these wastes in the sulfur dioxide reduction in the combustion gases.*

**Key words:** gravimetric, sulfur dioxide, mud, kinetics.

### Desarrollo

La utilización de minerales naturales ha venido a ser, en los últimos años, uno de los métodos más utilizados para la reducción del SO<sub>2</sub> en los gases de combustión /2, 4, 7/, utilizando para ello diferentes métodos de contacto. /1, 3, 5, 6/ El alto contenido de óxido de calcio de los mismos los hacen muy atractivos, ya que éste reacciona con el SO<sub>2</sub> según la ecuación química: /8, 9, 10/



El cieno de acetileno (residual) es muy rico en CaO (65 % y un 29,67 % de pérdidas por ignición) de ahí que este trabajo se realice con el objetivo de obtener las curvas cinéticas del cieno de acetileno con el dióxido de azufre.

### Materiales y métodos

#### Instalación experimental a escala de laboratorio

Los trabajos de estudios a escala de laboratorio, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad de Va

lencia, España. Se diseña y construye una instalación experimental formada por un reactor rotatorio de tubos de vidrio de borosilicato, colocados concéntricamente, que permitían trabajar hasta temperaturas de 500 °C. El cilindro externo permanecía fijo, mientras que el interno se encontraba en movimiento rotando sobre dos anillos de teflón dispuestos en los extremos. El movimiento de rotación se logró mediante un motor eléctrico de hasta 1 r/min, dando la posibilidad de regular su velocidad de giro.

En el cilindro interno se crea una cámara de reacción de unos siete cm de largo donde se colocaba el residual de acetileno, y se situó lana de vidrio en la salida para eliminar los posibles arrastres de polvo al exterior del reactor. Esta zona estaba situada entre los 6 ó 7 cm del inicio del horno eléctrico, actuando esta distancia como zona de calentamiento del gas hasta la temperatura de trabajo. A la misma, se le realizaron pequeñas protuberancias que actuaban como paletas agitadoras

La mezcla de SO<sub>2</sub>-aire a diferentes concentraciones se realiza con unos rotámetros instalados en una práctica de laboratorio de absorción de SO<sub>2</sub> en agua. Esta cuenta con una entrada para

cada uno de los gases. Se trabajó con la calibración de los rotámetros de ambos gases para lograr las concentraciones en estudio.

Para garantizar los valores de temperaturas ensayados en este trabajo, el reactor se introduce en un horno eléctrico. La temperatura en la zona de reacción era controlada mediante un termopar de Chromel-Alumel conectado a un controlador PID (Ultra-Therm) (h), el cual estaba alojado en una funda en el interior de una funda de vidrio de 2,5 mm de diámetro, que se colocaba en la zona de reacción dentro del reactor.

El seguimiento de la reacción se realiza por el método gravimétrico<sup>10, 11</sup> pesando el reactor a diferentes tiempos. Para que la pérdida de humedad del sólido y de otros productos volátiles del mismo no afectaran la precisión del método gravimétrico, se trataron en una estufa a temperatura de 550 °C. La determinación de la conversión se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$x = \frac{\frac{(W_t - W_0)}{MW_{SO_3}}}{\frac{(W_{CaO} * W_0)}{MW_{CaO}}}$$

donde:

x: conversión de CaO-CaSO<sub>4</sub>;

W<sub>t</sub>: peso de la muestra a un tiempo determinado (g);

W<sub>0</sub>: peso inicial de la muestra seca (g);

WCaO: fracción másica de CaO en la muestra; MW: peso molecular (g/g mol).

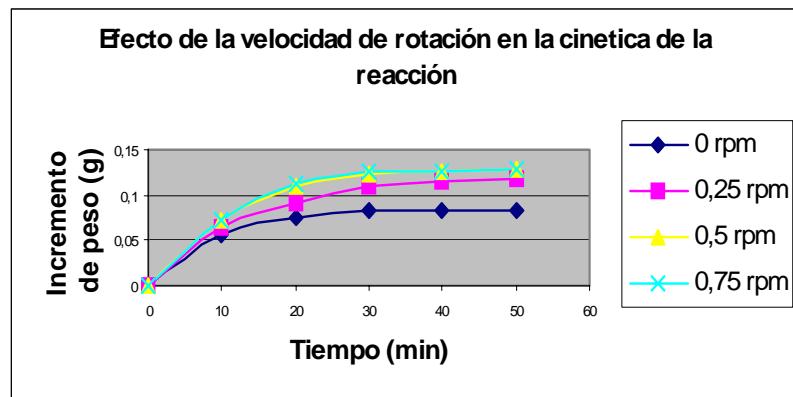
## Selección de las condiciones de operación

### Influencia del caudal de gas

Una de las etapas que puede influir en la velocidad de reacción global de este sistema es la difusión del SO<sub>2</sub>, desde el seno de la fase gaseosa hasta la superficie de las partículas. Para estudiar la influencia de esta etapa sobre la velocidad global se realizaron una serie de experimentos, manteniendo todas las variables del proceso constantes excepto el caudal de gas que circula a través de reactor.

Para cada corrida experimental se utiliza 1,5 g de residual de acetileno aproximadamente, realizándose dos réplicas para cada flujo ensayado. Se trabaja con una concentración de SO<sub>2</sub> del 6 % a una temperatura de 400 °C. Se utilizó una velocidad de rotación de 1 r/min.

Los caudales variaron entre 0,103-0,172 L/s. El límite máximo se toma debido a que valores de caudales por encima de éste no influyen en la velocidad de reacción. Por otra parte, para caudales por encima de 0,2 L/s, comienzan a aparecer arrastres de partículas sólidas en el seno del gas, las cuales salen del reactor afectando las mediciones por el método gravimétrico.



**Fig. 1 Efecto de la velocidad de rotación del reactor en la velocidad de reacción.**

Los resultados muestran que las curvas son prácticamente coincidentes para flujos por encima de los 0,127 L/s, obteniéndose los mismos incrementos de peso por concepto de la reacción química. Por lo tanto, trabajando con caudales por encima de este valor, se garantiza que la etapa de transferencia de materia en la fase gaseosa no sea la controlante de la velocidad global.

El resto de los experimentos se realizaron con caudales por encima de 0,172 L/s que es el máximo ensayado en esta etapa para así evitar que cualquier posible variación de la velocidad a la que se desarrollan las demás etapas del proceso, motivadas por un cambio en las condiciones de trabajo, hiciera que esta etapa de transferencia de materia pudiera llegar a ser la controlante. La figura 1 muestra los resultados.

### Influencia de la velocidad de giro del reactor

Otra etapa que puede influir sobre la velocidad global de reacción es la difusión de los gases a través de los espacios intergranulares, mucho más si tenemos en cuenta el tamaño de partículas tan pequeño utilizado en los experimentos.

Con el fin de estudiar la influencia de la velocidad de rotación, se han realizado una serie de experimentos manteniendo todas las variables constantes e iguales al estudio anterior, sólo que trabajando con el caudal definido en esta experiencia. Las velocidades de rotación ensayadas están comprendidas entre 0 y 0,75 r/rmin. Los resultados obtenidos están representados en la figura 1.

Como puede observarse, para valores de flujo por encima de 0,5 r/rmin, la forma de las curvas no resulta modificada apreciablemente por lo que puede concluirse que siempre que se trabaje por encima de 0,5 r/rmin, la reacción entre el SO<sub>2</sub> y el residual de acetileno, no estará controlada por la difusión del gas a través de los espacios intergranulares de éste.

El resto de los experimentos se realizaron por encima de 0,5 r/rmin, límite superior del intervalo ensayado, para asegurar que, en ningún caso, la difusión de los gases a través de los espacios intergranulares pudiera ser la etapa controlante de la velocidad global de reacción. La figura 2 presenta los resultados.

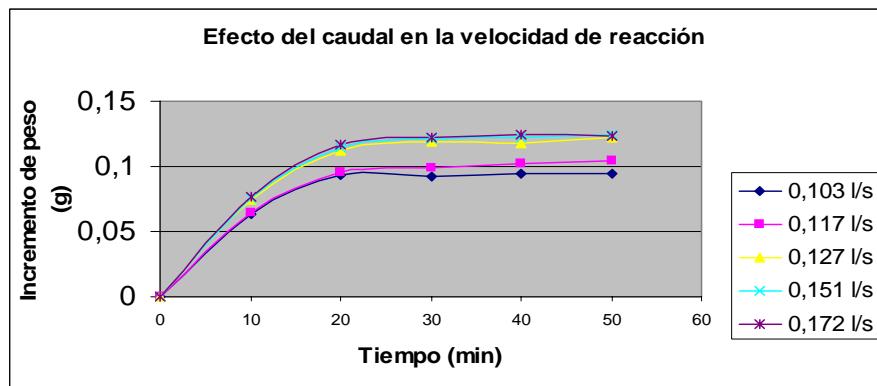


Fig. 2 Efecto del caudal de gas en la velocidad de reacción.

### Influencia de la concentración de SO<sub>2</sub> y la temperatura de reacción en el gas

Para estudiar la influencia de la concentración de SO<sub>2</sub> en el gas, así como la temperatura de reacción, se realizaron los experimentos con 2, 4 y 6 % de SO<sub>2</sub>

en aire puro, representando tres niveles de concentración y a 200, 300 y 400 °C de temperatura, siguiendo un diseño experimental 33. Las corridas experimentales se desarrollaron siguiendo la misma técnica analítica empleada para los experimentos precedentes. Los resultados se muestran en los gráficos 3, 4 y 5.

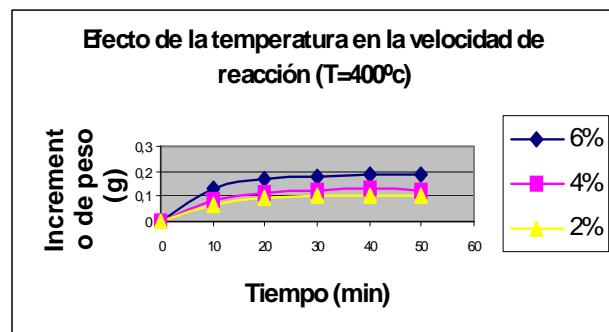


Fig. 3 influencia de la temperatura y la concentración de SO<sub>2</sub> en la velocidad de reacción.

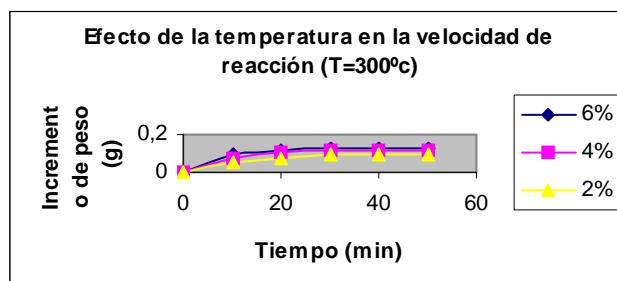


Fig. 4 influencia de la temperatura y la concentración de SO<sub>2</sub> en la velocidad de reacción )T= 300 °C.

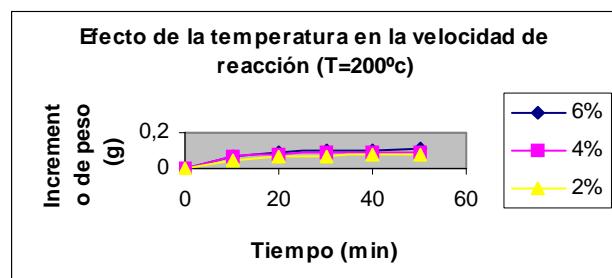


Fig. 5 influencia de la temperatura y la concentración de SO<sub>2</sub> en la velocidad de reacción T = 200 °C

## Análisis de los resultados

Los estudios realizados para definir las condiciones de operación, y trabajar en la zona donde la difusión a través de la película del gas y la difusión del gas a través de las partículas no sean los controlantes de la velocidad de reacción, permiten realizar el estudio del comportamiento real de la velocidad de reacción del SO<sub>2</sub> y el cieno de acetileno.

Las figuras muestran que, para tiempos pequeños, las velocidades de reacción son altas y van disminuyendo a medida que el tiempo transcurre, llegando a mantenerse el peso de la muestra en el tiempo, lo que indica que la reacción ha llegado a su final.

Las conversiones obtenidas son bajas, lo que se debe a varios factores. En primer lugar, las temperaturas ensayadas son muy bajas (200-400 °C) aunque los valores de temperaturas

de los gases de combustión están en este rango. /12/ Otro de los factores que influyen es la baja porosidad del cieno (entre 20-25 m<sup>2</sup>/g), lo que hace que su superficie específica sea pequeña, afectando el frente de reacción. /13/

Por otra parte, el efecto de taponamiento de los poros por la formación de la ceniza, rica en sulfato de calcio, unido al efecto de la pequeña superficie específica, hace muy difícil la difusión del SO<sub>2</sub> hacia el interior de la partícula que no ha reaccionado. /11, 14/

Las figuras 3, 4 y 5 muestran cómo el incremento de la temperatura y la concentración de SO<sub>2</sub> en el gas, aumentan la conversión favoreciendo la captura del mismo por los residuales de acetileno.

## Conclusiones

1. La obtención de las curvas cinéticas de la reacción del SO<sub>2</sub> con los residuales de la producción de acetileno, constituye un paso importante para el desarrollo de una tecnología para la reducción del mismo en los gases de combustión.
2. Los resultados muestran que, aunque los valores de conversión obtenidos son bajos, es posible la utilización del cieno de acetileno para la reducción del SO<sub>2</sub> en los gases de combustión.

## Recomendaciones

1. Ajustar los valores obtenidos a los modelos referidos en la literatura para el estudio de los sistemas heterogéneos sólido-gas.
2. Valorar la posibilidad de realizar estudios a niveles de temperatura mayores que los tratados en este trabajo.
3. Valorar la posibilidad de activar la superficie específica de las partículas para incrementar los valores de conversión de las mismas.

## Bibliografía

1. Qui, Kuanrong; Oliver, Lindqvist, "Direct Sulfation of Limestone at Elevated Pressures", Chemical Engineering Science, 55, 2000, págs. 3091-3100.
2. Ghosh-Dastidar, A., "Investigation of High-Reactivity Calcium Carbonate Sorbent for Enhanced SO<sub>2</sub> Capture", Industrial Engineering Chemistry Research, 35, 1996, págs. 598-606.
3. Zheng, Y., *et al.*, "Use of Spray Dry Absorption Product in Wet Flue Gas Desulphurization Plants: Pilot-scale Experiments", Fuel, 81, Issue 15, Oct. 2002, págs. 1899-1905.
4. Sasaoka, E.; Sada, N.; Uddin, M., "Preparation of Macroporous Lime from Natural Lime by Swelling Method with Acetic Acid for High-Temperature Desulfurization", Industrial Engineering Chemical Research, vol. XXXVII, núm. 10, 1998, págs. 3943-3949
5. Other, D.; Kirk I.: Desulfurization, Gas, Treating Processes and SO<sub>2</sub> Removal, *Encyclopedia of Chemical Technology*, vol. IV, III Edition, EU. ISBN 0-471-020575-3.
6. Ollero, P. y otros, "Flue-Gas Desulfurization in Circulating Fluidized Beds: An Empirical Model from an Experimental Pilot-Plant Study", Ind. Eng. Chem. Res., 40, 2001, págs. 5640-5648.
7. Uenoa, T. y otros, "Flue Gas Cleaning Technology Using Fly-Ash Derived Absorbents (Japanese)", Nippon Kagaku Kaishi, 9, 1994, págs. 763-770.
8. Bueno, A. y otros, "Regenerable CaO Sorbents for SO<sub>2</sub> Retention: Carbonaceous Versus Inorganic Dispersantes", Fuel, 81, 2002, págs. 2435-2438.
9. Jia, Lufei; Wang, Jinsheng; Edward J. Anthony, "Reactivation of Fluidized Bed Combustors Ash for Sulfur Capture", Chemical Engineering Journal, Edit Elsevier, artículo en impresión aceptada para publicar el 29 de enero de 2003.
10. Ar, Irfan; Suna, Balci, "Sulfation Reaction Between SO<sub>2</sub> and Limestone: Application of Deactivation Model", Chemical Engineering and Processing, 41, 2002, págs. 179-188.
11. Li, Y.; M. Sadakata: "Study of Gypsum Formation for Appropriate Dry Desulfurization Process of Flue Gas", Fuel, Edit Elsevier, 78, 1999, págs. 1089-1095.
12. Paolo, D., "Investigation of the SO<sub>2</sub> Adsorption Properties of Ca(OH)<sub>2</sub>-Fly Ash System", Fuel, 75 (6), 1996, págs. 713-716.
13. Análisis Térmico-Diferencial y Superficie Específica, Instituto de Tecnología Cerámica, Asociación de Investigaciones de las Industrias Cerámicas, Informe No. C031147, pág. 15, Castellón, España, julio, 2003.
14. Adánez, J. y otros, "Modeling for the High-Temperature Sulphation of Calcium-Based Sorbents with Cylindrical and Plate-Like Pore Geometry's", Chemical Engineering Science, Edit. Pergamon, 55, 2000, págs. 3665-3683.