

Sistema electroquímico

POR

M. C. MERIN, P. TARRAGA y A. REQUENA

INTRODUCCION

El éxito de la instrucción basada en ordenador como herramienta de enseñanza ha sido ya demostrado ampliamente (1) y la mayoría de los problemas técnicos que planteaba su utilización han sido resueltos (2, 3). Además, los ordenadores son una de las pocas cosas que cada año son más «baratas». Los estudiantes llegan a los Institutos y a la Universidad cada vez con un mayor conocimiento y aceptación de los ordenadores y no está tan lejano el día en que empiecen a preguntarse ¿por qué los centros de enseñanza no están convenientemente equipados?

Un departamento de química que no esté investigando activamente las posibilidades de la instrucción basada en ordenador es más que probable que dentro de pocos años se vea obligado a justificar su ignorancia.

Una de las ventajas de la EBO es que ayuda a resolver un problema grave de la enseñanza: enseñar a grupos de alumnos, cada vez más numerosos y de heterogeneidad creciente. Este tipo de aprendizaje pretende que un número mayor de alumnos, con una base muy diferente, superen con éxito sus estudios.

El fracaso escolar es una grave preocupación para la sociedad en general, y para alumnos y profesores en particular, ya que todos son cada vez más conscientes de que la responsabilidad de este fracaso la



comparten alumnos, profesores y centros de enseñanza y que, por consiguiente, es necesario arbitrar medios que mejoren su calidad.

La primera ventaja de los ordenadores es la INTERACCION, ya que permite al estudiante jugar un papel ACTIVO en el proceso de aprendizaje, en contraste con el PASIVO que la mayoría de los estudiantes desempeñan en las clases tradicionales, sobre todo en las clases numerosas. Pasa de ser un espectador a participar activamente.

Segunda ventaja: Se puede prestar al estudiante una atención individualizada. Tan pronto como teclea una respuesta a la pregunta hecha por el ordenador, éste analiza dicha respuesta y toma decisiones que se basan, no sólo en la última aportación del estudiante, sino también en respuestas anteriores.

No todos los estudiantes tienen la misma base ni aprenden de la misma manera, ni tienen las mismas dificultades, ni razonan del mismo modo. La mayoría de los enfoques tradicionales de la educación no permiten tener en cuenta estas diferencias. Con un buen material el ordenador permite individualizar la enseñanza. Un programa EBO puede, y debe, EVOLUCIONAR a medida que se va adquiriendo experiencia y se observan necesidades nuevas o complementarias. Este crecimiento sólo es posible si tenemos medios para almacenar datos sobre la interacción de los estudiantes con el programa. En este sentido, las respuestas que no han sido propuestas de antemano a las preguntas formuladas son de la mayor importancia, ya que, aunque con frecuencia son sólo errores de escritura, pueden ocasionalmente revelar líneas de pensamiento, esquemas mentales, dificultades conceptuales o «trampas», que no se le hubiesen ocurrido al autor del programa.

La individualización de la enseñanza también puede conseguirse si un profesor muy bueno dedica toda su atención a un grupo no superior a cuatro o cinco estudiantes. Es el modelo socrático, indudablemente superior a cualquiera que podamos seguir con ordenador, pero impracticable tanto por el número de alumnos como por la insuficiencia de profesores y la cantidad de dinero que requiere este sistema. El ordenador puede proporcionarnos algunas de las ventajas del modelo socrático para muchos alumnos y a un precio asequible.

Una tercera ventaja de la EBO está también relacionada con las diferencias individuales de los alumnos, en el sentido de que no todos aprenden al mismo ritmo, luego es importante que cada uno disponga de un tiempo distinto para la misma materia. La EBO permite que cada alumno controle el ritmo de aprendizaje individual de cada secuencia o unidad y, en definitiva, el ritmo global de la asignatura y del curso.

El ordenador puede dar aún otra elección al estudiante, la del contenido, incluso dentro de una determinada asignatura. Está claro que la clave está en la bondad del programa o módulos EBO. Hacen falta una serie de datos, cuanto más elaborados mejor, en el desarrollo inicial de un programa EBO. Por ejemplo:

- Número de alumnos que empiezan y terminan satisfactoriamente un tema.
- Frecuencia con que eligen una respuesta de las propuestas para cada pregunta.
- Tiempo que ha necesitado cada alumno para contestar cada pregunta y para terminar una lección.

El análisis de esta información es la base para ir mejorando los módulos, tanto teóricos como de simulación, ejercitación y de control. Por ejemplo, al examinar las respuestas y el tiempo de interacción puede ponerse en evidencia que una o dos preguntas de una lección son más difíciles o más fáciles de lo que pensaba el que la escribió.

A escala más amplia, los resultados obtenidos después de que miles de alumnos hayan utilizado un módulo EBO nos proporcionan datos estadísticos significativos sobre el grupo concreto de alumnos que está utilizándolo.

Esta visión más exacta de las dificultades, de los fallos específicos y de los aciertos de los estudiantes de Química, debería tenerse muy en cuenta por el gran valor que tiene tanto para profesores como para autores de libros y de programas EBO.

De las muchas maneras de utilizar el ordenador para ayudar al estudiante, vamos a referirnos a aquellas que hemos aplicado en los temas de Electroquímica, que constituyen una parte del programa de Química General que se imparte en primer curso de la Facultad de Ciencias (Sección de Químicas) de la Universidad de Murcia.

1. Construir lo que en la literatura anglosajona se denominan «mundos controlables» por el ordenador. Para ayudar al estudiante a conseguir una comprensión y una visión más penetrante de los problemas químicos, se simulan en el ordenador un gran número de experimentos que el alumno tiene a su disposición. Esta es la noción básica.

2. Como ayuda, control (test) y diagnóstico. A este aspecto se le está dando una importancia creciente. En los exámenes tradicionales se pasan días, semanas, meses, hasta que el alumno recibe información sobre los errores, aclaraciones globales sobre las dificultades más generalizadas y excepcionalmente explicaciones individualizadas sobre sus fallos. Este retraso y la generalidad de las informaciones son particu-

larmente nocivos, ya que la retroalimentación es mucho más eficaz cuando está realizando el test, SU test. Entonces es cuando puede conseguirse que aprendan y precisamente con el material que se refiere a los tipos de dificultades que van surgiendo. Esta es la principal ventaja del control de conocimientos vía ordenador; que se puede dar al estudiante inmediatamente retroalimentación y ayuda. Se evita además la publicidad de los fallos que para muchos estudiantes es un fuerte factor de inhibición. Sobre todo en los primeros cursos no pregunta, aunque no entienda lo que se está explicando.

Un profesor experimentado y con vocación pedagógica conoce los errores típicos en que incurren los estudiantes y genera módulos para controlar esos errores.

3. Como herramienta para la ejercitación. Se proponen al estudiante muchos problemas distintos del mismo tipo, para que acabe comprendiendo no sólo la mecánica de resolverlos, sino los fundamentos teóricos que necesita aplicar.

4. El ordenador juega el papel de un tutor tenaz, paciente, plácido e incansable. Que, además, no le está DICIENDO cosas sin parar, no se limita a darle INFORMACION, sino que a través de preguntas, que enlazan unas con otras, intenta conducir su línea de pensamiento hacia deducciones e ideas críticas.

Contestar a la pregunta, ¿cómo sabemos que lo sabemos?, adquiere un singular relieve. Es intentar volver al diálogo de Sócrates con sus alumnos, salvadas las distancias, evidentemente.

5. No hemos utilizado en nuestro, por fuerza, limitado trabajo el ordenador para que sea el estudiante el que la programe. El fin de la actividad programadora sería, por supuesto, el aprender Química. El ordenador es, en este caso, una herramienta intelectual que sirve para aumentar no sólo la comprensión del problema objeto del programa, sino también la capacidad intelectual del alumno.

Estimamos que la frase «El ordenador es una herramienta excepcional para aprender como se aprende», sintetiza sus probabilidades en la enseñanza futura. Y en nuestro ánimo está el utilizarla para mejorar la calidad de la enseñanza y conseguir que más estudiantes sepan más y mejor al ser capaces de razonar lo que aprenden.

ELECTROQUIMICA

I. PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LAS DISOLUCIONES ELECTROLÍTICAS

1.—Ley de Ohm. Unidades eléctricas.

- 2.—Conductividad electrolítica. Leyes de Faraday.
- 3.—Conductividad específica. Conductividad equivalente.
- 4.—Variación de la conductividad con la concentración.
- 5.—Teorías Debye-Hückel-Onsager.
- 6.—Aplicaciones de las medidas de conductividad.
- 7.—Actividad y coeficientes de actividad de electrolitos fuertes.

II. REACCIONES DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN

- 1.—Número de oxidación.
- 2.—Métodos de ajuste de estas reacciones.

III. POTENCIALES DE ELECTRODO Y FUERZA

- 1.—Concepto de «media reacción».
- 2.—Comprobación de la naturaleza eléctrica de los procesos REDOX.
- 3.—Potenciales de electrodo. Electrodo de referencia.
- 4.—Tensión eléctrica electrodo-disolución: tipos de electrodos.
- 5.—Serie electromotriz.
- 6.—Pilas electroquímicas.

IV. TERMODINÁMICA DE LOS POTENCIALES DE ELECTRODO

- 1.—FEM y variación de energía libre.
- 2.—Potencial de electrodo o concentración: Ecuación de Nerest.
- 3.—Potencial tipo y constante de equilibrio.
- 4.—K de inestabilidad de complejos.
- 5.—Indicadores ácido-base.
- 6.—Producto de solubilidad.

V. DIAGRAMAS DE LATIMER

- 1.—Interpretación.
- 2.—Variación del potencial con el pH.
- 3.—Rango de estabilidad del H₂O.

VI. DISPOSITIVOS ELECTROQUÍMICOS

A) *Dispositivos electroquímicos generadores de energía*

- 1.—Pilas primarias.
- 2.—Pilas secundarias.
- 3.—Pilas de combustible.

B) *Dispositivos electroquímicos generadores de sustancias*

- 1.—Electrolisis.
- 2.—Polarización.

C) *Dispositivos electroquímicos que destruyen sustancias y consumen energía*

1.—Corrosión.

MODELO DE TRABAJO

El programa de instrucción del área de Electroquímica para alumnos de Química General de primer curso, de la Facultad de Ciencias Químicas que se propone, ha sido elaborado para ser desarrollado en el microordenador bajo la perspectiva de los tres aspectos fundamentales de los llamados «MODELOS DE TRABAJO»: El contenido NARRATIVO Y VISUAL, las SECUENCIAS INTERACTIVAS y el CONTROL LOGICO.

En el diseño del modelo de trabajo MT que se propone se han integrado los tres tipos de modelo, *el conversacional*, el llamado *de procedimiento* que se asemeja a la simulación y *el causal* cuya finalidad es que el estudiante asimile una serie de principios que le permitan descubrir las causas que producirán unos efectos determinados, que deberá ser capaz de predecir.

Hemos tenido siempre presentes tres ideas básicas: Que el modelo de trabajo refleje fielmente el área que se pretende estudiar; que permita al estudiante la máxima capacidad de abstracción de los atributos esenciales del problema y, que puesto que le brinda la oportunidad de una enseñanza experimental, que las tareas a realizar estén relacionadas con sus necesidades futuras.

El hecho de que este método de trabajo permite al estudiante comprobar, sobre la marcha, sus errores y sus aciertos, le proporciona retroalimentación y estímulo.

El modelo de trabajo, considerado como UNIDAD PRACTICA INTEGRADA, se descompone en situaciones prácticas de complejidad decreciente. En nuestro ejemplo el área que se pretende estudiar comprende los puntos 3, 5 y 6 del capítulo III. Potenciales de electrodo y fuerza electromotriz, del programa de la Electroquímica.

MT₀.—Es el objetivo FINAL. Es la unidad práctica de máxima fidelidad. Se trata de, con datos diferentes en cada ejemplo, calcular la FEM de la pila formada y la reacción espontánea que en ella transcurre ha de ser formulada.

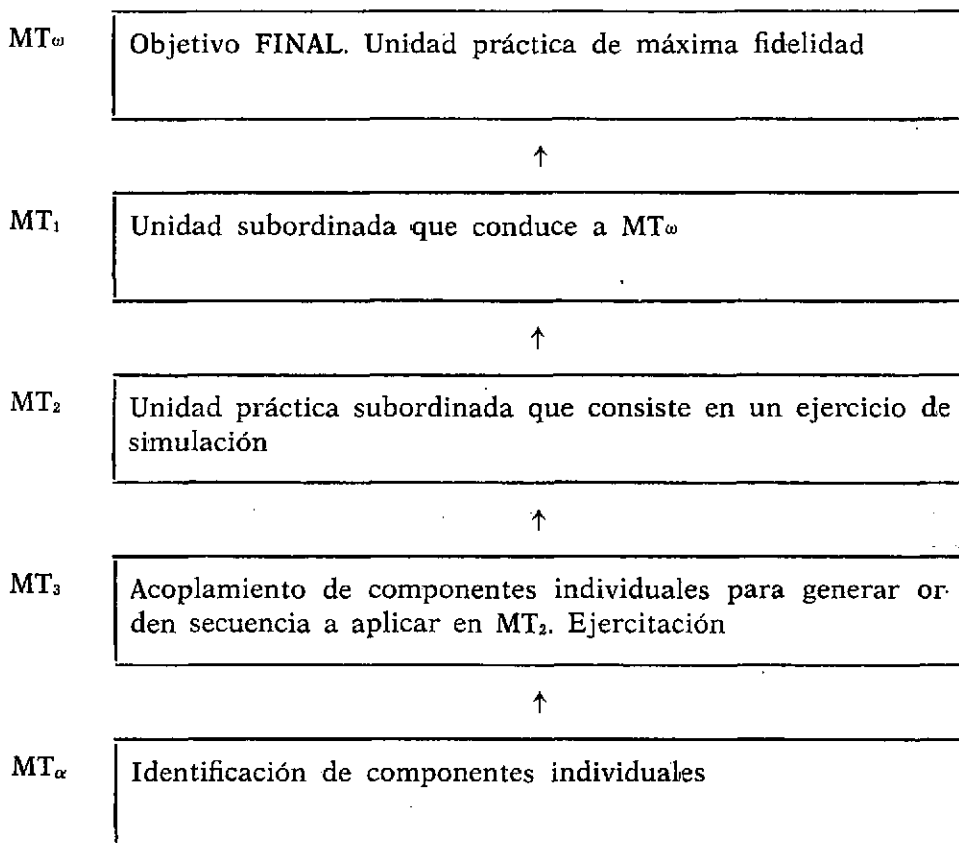
MT₁.—Es una unidad subordinada que resume las normas generales a aplicar en cualquiera de los posibles ejemplos de MT₀, para conseguir el objetivo que pretendemos.

MT₂.—Esta unidad práctica subordinada consiste en un ejercicio de simulación con UN EJEMPLO CONCRETO de pila. PILA DANIELL.

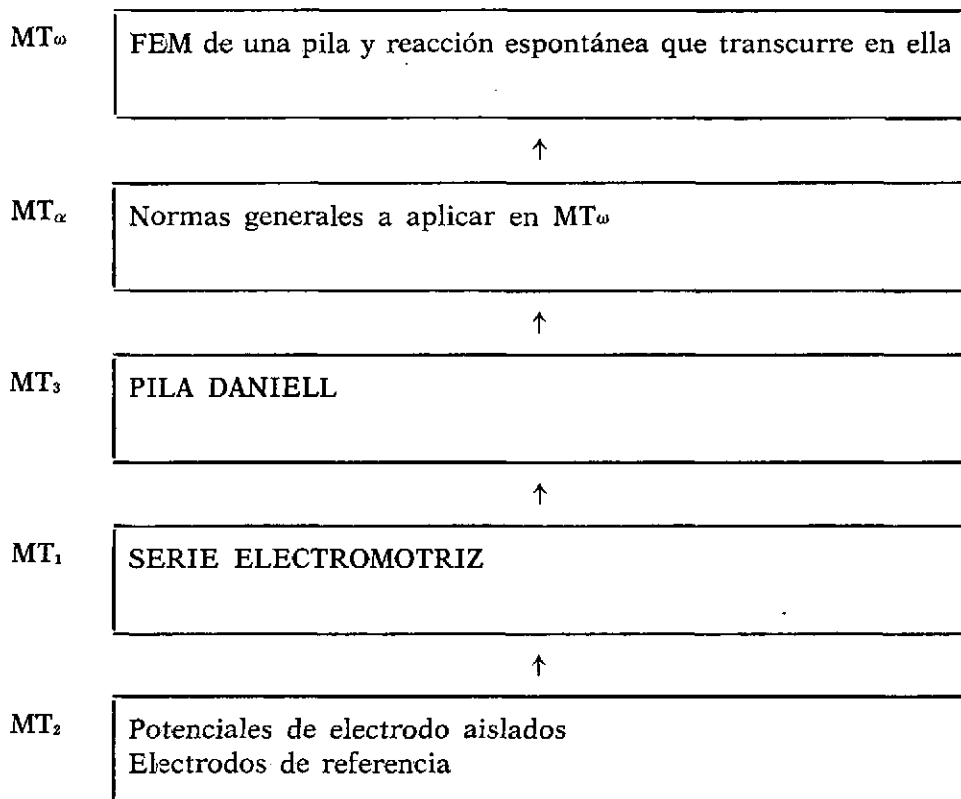
MT₃.—Es una unidad de ejercitación. Basándose en los componentes individuales identificados en MT_α, se genera un orden secuencial, la serie electromotriz, cuyos datos habrá de utilizar en MT₂.

MT_α.—Es la considerada en este modelo de trabajo como UNIDAD MAS SENCILLA. En ella se identifican los componentes individuales a acoplar en MT₃.

MODELO DE TRABAJO



MODELO DE TRABAJO



El sistema está dividido en seis módulos que desarrollan la Electroquímica de la asignatura de Química General, impartida en el primer curso de Ciencias Químicas.

Partiendo de un ejemplo conocido por los alumnos, la pila Daniell, a lo largo de los seis módulos se van introduciendo conceptos tales como fem de una pila, potenciales normales, reacción espontánea, etc., mediante textos y representaciones gráficas, tratando de relacionar la Electroquímica con otras partes de la Química, como Termodinámica, etc.

Los seis módulos están relacionados entre sí, ya que en cada uno se utilizan algunos conceptos que han sido explicados en módulos anteriores, al tiempo que se introducen otros nuevos.

El esquema básico es el siguiente:

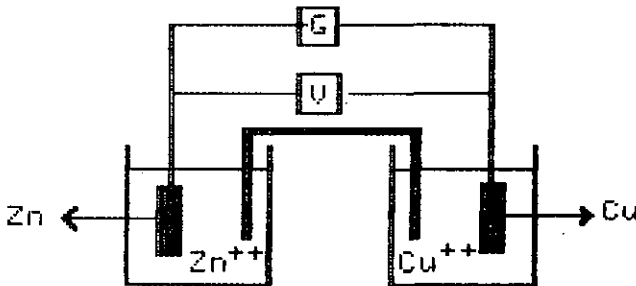
— Presentación de textos y gráficas según el desarrollo del módulo, siendo el tiempo de exposición de cada página controlable por el alumno, el cual pasa a la siguiente cuando lo estima oportuno.

— Cuando se han explicado una serie de conceptos se realizan preguntas, que pueden ser de respuesta construida o a elección entre las presentadas. Se analiza la respuesta del alumno, y según ésta la exposición se continúa por un camino o por otro.

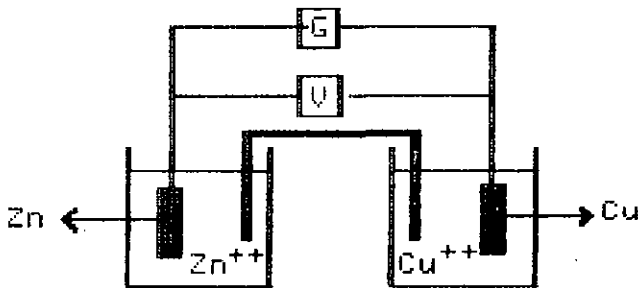
Para ver esto con un ejemplo, veamos el desarrollo de la lección primera, titulada Pilas Electroquímicas:

Se introduce el concepto de pila y se presenta una gráfica correspondiente a la pila Daniell. Conforme se van explicando más conceptos, tales como descripción de los semielementos de la pila, reacciones que tienen lugar en cada uno de los electrodos, nombre que reciben, etc., se van añadiendo partes a la gráfica inicial:

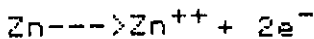
GRAFICA INICIAL



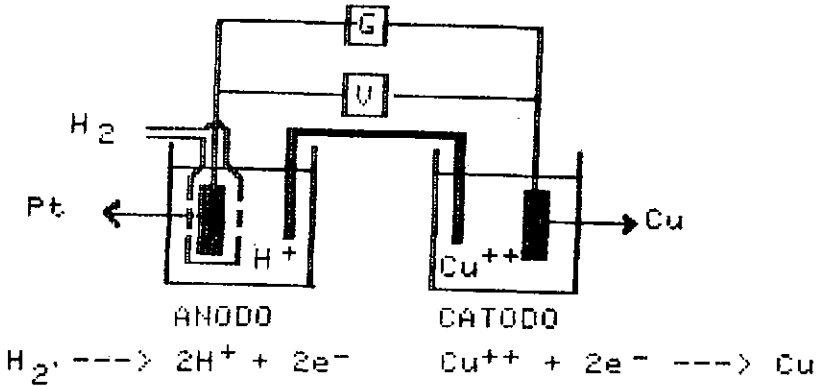
PRIMERA GRAFICA INTERMEDIA



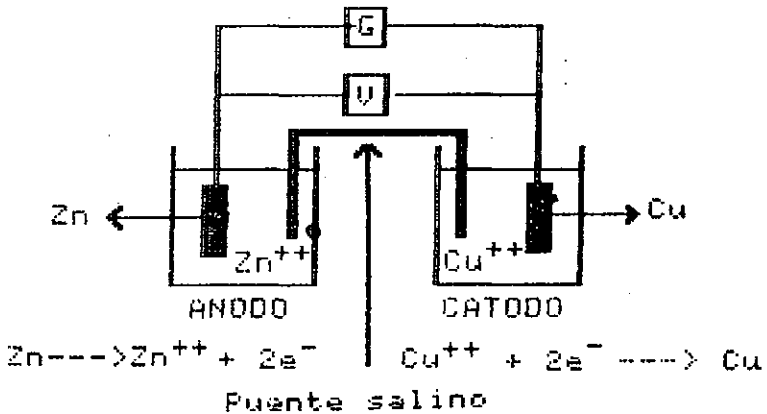
ANODO



SEGUNDA GRAFICA INTERMEDIA



GRAFICA FINAL



Al mismo tiempo que se introducen conceptos nuevos, se hace un chequeo de los ya introducidos:

¿Se produciría simultáneamente un exceso de carga en el cátodo?

Se trata de un sistema interactivo por tanto; según la respuesta del alumno se presenta un texto distinto:

a) Opción correcta:

¿Se produciría simultáneamente un exceso de carga en el cátodo?

Sí.

De acuerdo, la contestación es correcta.

b) Opción incorrecta:

¿Se produciría simultáneamente un exceso de carga en el cátodo?

No.

La respuesta no ha sido la adecuada.

Como en el cátodo se reducen los iones Cu^{++} , en la disolución quedará un exceso de carga procedente de los aniones de la sal de Cu^{++} .

Veamos el listado del programa correspondiente a esta parte:

G: ES

T: SE PRODUCIRIA SIMULTANEAMENTE UN EXCE-

T:

T: SO DE CARGA EN EL CATODO?

T:

A:

M: SI, CLARO

JN: A4

JY: A5

*A4

T:

T: LA RESPUESTA NO HA SIDO LA ADECUADA.

T:

T: COMO EN EL CATODO SE REDUCEN LOS IONES

T:

T: Cu^{++} , EN LA DISOLUCION QUEDARA UN EXCE-

T:

T: SO DE CARGA PROCEDENTE DE LOS ANIONES

T:

T: DE LA SAL DE Cu^{++} .

T:

T:

T:

T:

AS:

G: ES

J: A6

*A5

T:

T: DE ACUERDO, LA CONTESTACION ES CORRECTA.

T:

T:

T:

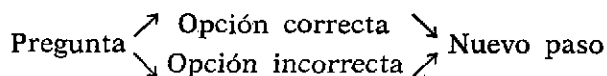
T:

AS:

G: ES

*A6

Para este caso el esquema es de la forma:



En los restantes módulos la forma de trabajo es similar, aunque, según la naturaleza de los conceptos y la actuación del alumno se presentan más o menos gráficas, se hacen mayor o menor cantidad de preguntas, se vuelve atrás en la exposición o se avanza sin pasar por pasos intermedios.

SIMULACION

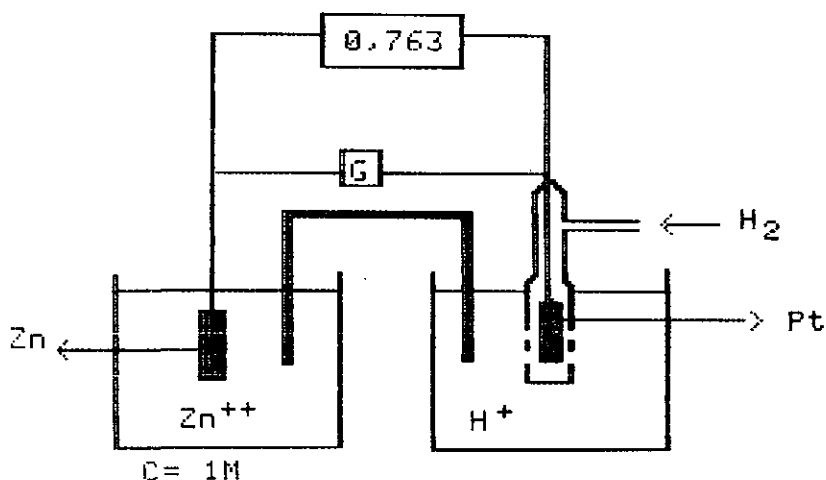
En la simulación se refleja el comportamiento de una pila al variar la concentración del electrolito de uno de los electrodos.

La pila se forma acoplando al electrodo normal de hidrógeno otro electrodo que el alumno escoge entre una serie dada.

En una gráfica se representa la pila así construida con el valor del potencial cuando la concentración del electrolito del electrodo escogido es la unidad.

A continuación se da opción al alumno para que modifique dicha concentración, pulsando la tecla A para aumentarla y D para disminuirla. Tanto en un caso como en otro los intervalos de la variación son constantes. Tanto la concentración mínima como la máxima están fijadas de antemano.

En el recuadro que en la gráfica corresponde a la escala del voltímetro, aparece el valor del potencial, calculado aplicando la ecuación de Nernst, para la correspondiente concentración.



EJERCITACION

La finalidad de los módulos de ejercitación es que los alumnos tengan que aplicar a casos concretos sus conocimientos teóricos, para que comprueben si los han comprendido y los asimilen al aplicarlos a casos concretos.

Para ello, el esquema seguido en cada uno de ellos es el mismo: presentación de un texto donde hay una serie de datos fijos y otros que se generan al azar, y que se van cambiando cuando se genera un nuevo ejercicio.

Se han desarrollado los siguientes módulos:

I. PILA ELECTROQUIMICA

En este módulo se aplican los conceptos básicos referentes a una pila, tales como identificar las reacciones que se producen en cada uno de los electrodos, la reacción espontánea de la pila, el signo del potencial, etcétera.

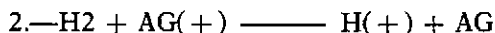
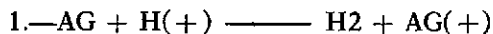
Para ello se genera una pila formada por dos electrodos normales, uno el de hidrógeno y otro al azar.

Se presenta la lectura del voltímetro y se especifica si el electrodo de hidrógeno funciona como cátodo o como ánodo.

A partir de aquí se presentan cinco preguntas, unas de respuesta construida y otras de respuesta a elegir.

Pregunta 4

CUAL SERA LA REACCION ESPONTANEA?



1

RESPUESTA INCORRECTA.

LA REACCION ESPONTANEA SERA LA SUMA DE LAS REACCIONES QUE SE PRODUCEN EN LOS ELECTRODOS, POR TANTO, SERA LA CONTRARIA

Pregunta 5

CUAL SERA EL SIGNO DEL POTENCIAL DEL ELECTRODO NORMAL DE $AG (+ o -)$

+

RESPUESTA CORRECTA

Ante cada una de las preguntas el alumno está el tiempo que estime oportuno, ya que es él quien decide cuándo pasa a la página siguiente, mediante el pulsado de una tecla.

II. ESTABILIDAD DEL AGUA

Se trata en este ejercicio de aplicar el concepto de reacción espontánea, al tiempo de ver cómo ésta puede modificarse según la concentración de uno de los electrolitos.

EL METAL CR, EN EL ESTADO DE OXIDACION

+3, A LA CONCENTRACION .847 DESPRENDERA

HIDROGENO EN CONTACTO CON AGUA PURA?

POTENCIAL NORMAL DEL PAR $CR+3/CR$:

$E_0 = -.744$

SI/NO

SI

RESPUESTA CORRECTA

A LA CONCENTRACION .847 EL POTENCIAL

PARA EL PAR $CR+3/CR$ ES DE $-.748$ VOLTIOS

MENOR QUE $-.413$ VOLTIOS, POTENCIAL DEL

ELECTRODO DE HIDROGENO PARA $C=10 E-7$
(CONCENTRACION EN AGUA PURA). POR TANTO,
SI HABRA DESPRENDIMIENTO DE HIDROGENO.
...

III. CONCENTRACION

Se analiza en este ejercicio la variación del potencial cuando cambia la concentración del electrolito.

Los valores de concentración se generan al azar, teniendo en cuenta que sean menores que 1 y mayores que $10E-3$ molar.

Además, se le da opción al alumno para que emplee el ordenador como calculadora, mediante el empleo de una subrutina especial. En la parte inferior de la pantalla se le presenta la serie de operaciones que puede ejecutar, con los símbolos correspondientes.

CUAL SERA EL POTENCIAL (EN V.) PARA EL
PAR $AL+3/AL$
A LA CONCENTRACION .621 M DE SUS IONES?
POTENCIAL NORMAL DEL PAR $E0 = -1.662 V$.

+ - * / LN LOG EXP SEN COS

Cuando ha terminado de ejecutar operaciones se le pide que teclee el resultado, valor que se compara con el obtenido aplicando la ecuación de Nernst para el electrodo, y se le informa de la exactitud de su respuesta.

PRUEBAS OBJETIVAS

Para no complicar más el desarrollo de los módulos de enseñanza éstos contienen pocas preguntas que controlen el grado de asimilación de los conceptos.

Con la finalidad de llenar este hueco y, además, para poder realizar preguntas que requieran aplicar conocimientos adquiridos en varios módulos (ya que éstos están relacionados se nos ofrece esta interesante posibilidad) se ha generado un banco de preguntas para poder realizar pruebas objetivas.

Para la realización de exámenes hay dos tipos distintos de programas, uno para preguntas seleccionadas de acuerdo con el grado de difi-

cultad que tienen, y otro para realizar la elección totalmente al azar. En cada uno de ellos sale al final un impreso para el alumno donde figura la nota obtenida y las contestaciones dadas, además de las correctas.

También se elabora otro impreso para el profesor donde, además de los datos anteriores, figuran los códigos de las preguntas, la fecha de realización del examen y el tiempo que ha tardado el alumno en contestar cada una de las preguntas.

Además de la nota obtenida por cada alumno, nos interesan otra serie de datos estadísticos:

- Media aritmética, que es la medida más representativa del punto medio de la distribución de un test.
- Índice de dificultad por pregunta, que es el porcentaje de estudiantes que la han contestado correctamente.
- Índice de discriminación por pregunta, que nos sirve para saber si una pregunta puede distinguir entre alumnos «buenos» y «malos».
- Análisis de la respuesta, correcta o incorrecta, dada por el alumno en cada cuestión, que nos sirve para ver el grado de atracción de cada una de las respuestas.
- Índice de discriminación de cada opción en cada pregunta. Idéntico a lo anterior pero distinguiendo entre alumnos «buenos» y «malos».

Las preguntas que integran el banco tienen todas tres opciones, de las cuales sólo una es válida. Tanto la pregunta como las opciones se le presenta al alumno en una sola pantalla. Ejemplo:

EL CATODO DE UNA PILA ES EL ELECTRODO
DONDE TIENE LUGAR:

- 1.—UNA REACCION DE REDUCCION
- 2.—UNA REACCION QUE CEDE ELECTRONES
- 3.—UNA REACCION DE OXIDACION

PULSE LA OPCION ADECUADA, 0 PARA BLANCO

REFERENCIAS

1. *Computers in education*. 3rd world conference on computer education. Lausanne (1981).
2. *Microcomputers in education: an introduction*. Adeline Naiman TER Cambridge (1982).
3. REQUENA, A.; ROMERO, F., y MARTÍNEZ, F., *Enseñanza basada en ordenador*. Bordón, 246, 29 (1983).



