



**CONGRESO
IBEROAMERICANO**
DE CIENCIA, TECNOLOGÍA,
INNOVACIÓN Y EDUCACIÓN

BUENOS AIRES, ARGENTINA
12, 13 Y 14 DE NOVIEMBRE 2014

**CONGRESSO
IBERO-AMERICANO**
DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÃO E EDUCAÇÃO

BUENOS AIRES, ARGENTINA
12, 13 Y 14 DE NOVIEMBRE 2014

ENSEÑANZA EXPERIMENTAL DE CIENCIAS FÍSICAS Y QUÍMICAS POTENCIADAS CON TECNOLOGÍAS

BOSCH, H., PELEM, M., PEREZ, M., SCALELLA, G., STERZOVSKY, M.

ENSEÑANZA EXPERIMENTAL DE CIENCIAS FÍSICAS Y QUÍMICAS POTENCIADAS CON TECNOLOGÍAS

BOSCH, H., PELEM, M., PEREZ, M., SCALELLA, G., STERZOVSKY, M.

hbosch@fiberel.com.ar ; mpelem@gmail.com : perzmartinm@yahoo.com.ar,
gascapi60@hotmail.com.ar; sterzovsky@frgp.utn.edu.ar

RESUMEN

La enseñanza de las ciencias naturales se ha desarrollado en la mayoría de los casos mediante exposiciones teóricas del docente frente a la pizarra. Los alumnos han sido receptivos de esas enseñanzas, sin participación activa. La experimentación ha sido muy escasa y fuera de contexto.

Se presenta un enfoque actualizado de enseñanza de las ciencias físicas y químicas donde la experimentación, utilizando recursos tecnológicos, es la base fundamental de la enseñanza centrada en el alumno. Por otra parte, se enfatiza un enfoque interdisciplinario de ciencias, matemática y tecnologías conocido por STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics). Estos estudios se realizan con un sistema automático de colección, procesamiento y representación de datos, destacado universalmente como Computer Based Laboratory. Se proponen actividades que comprenden, entre otros: a) Calibrar y usar equipos y sensores; b) Colectar datos y analizarlos; c) Diseñar experiencias; d) Discutir resultados y comunicarlos.

Se presenta una serie de sesiones experimentales para ciencias físicas y ciencias químicas siguiendo una metodología científica de diseño experimental, obtención de datos, modelización del sistema en estudio, validación de las predicciones del modelo y discusión de resultados. Se han desarrollado sesiones experimentales en temas básicos del currículo, tales como cinemática y dinámica de cuerpos, conservación de energía mecánica, electricidad, magnetismo, gases ideales, termoquímica, cambios de estado, soluciones acuosas, ionización del agua y titulaciones, entre otras.

Los recursos didácticos elaborados sobre la base de seminarios y talleres con docentes de enseñanza media, terciaria y universitaria tienen la particularidad de ser concebidos según las tendencias actuales de educación STEM y del uso de tecnologías electrónica e informática, aplicables para el desarrollo de conceptos básicos ("common core") de enseñanza de ciencias naturales propuestos en congresos recientes y organismos educativos y científicos de diversos países. Con el uso de estos recursos es posible crear nuevas capacidades tanto en docentes y alumnos relacionadas con: (i) desarrollar el pensamiento científico; (ii) entender la complejidad y la ambigüedad del trabajo empírico; (iii) desarrollar las habilidades prácticas; (iv) entender la naturaleza de la ciencia; (v) cultivar el interés por la ciencia y de aprender ciencia; (vi) desarrollar habilidades de grupos de trabajo.

Introducción

La enseñanza de las ciencias naturales, particularmente física y química, para las generaciones que viven en el Siglo XXI debe ser totalmente diferente a la enseñanza desarrollada en el siglo pasado, incluido sus libros y lecciones de docentes.

Los estudiantes deben estar preparados para evaluar las situaciones que se generan en el contexto global, entendiendo, analizando y aplicando los conocimientos científicos. Deben explorar el lenguaje científico, sus símbolos, sus herramientas y las tecnologías disponibles adaptadas para mejorar las experiencias, analizar datos, interpretarlos y concretar conclusiones.

En resumen, los estudiantes deben prepararse para investigar el mundo mediante la identificación de modelos relacionados con experiencias, de tal manera de validar las hipótesis. Para ello deben obtener representaciones visuales (gráficos) de los datos adquiridos, evaluarlos y aplicar conceptos estadísticos, identificar errores e inconsistencias. Deben también saber seleccionar las tecnologías y los medios adecuados para llevar a cabo experiencias y expresar y discutir las ideas científicas en colaboración con el resto de las comunidades involucradas en los problemas del mundo.

Resulta un verdadero desafío diseñar lecciones de física y química que estén correlacionadas con los avances científicos y tecnológicos globalizados del presente y completen todos los aspectos detallados precedentemente.

En esta presentación se precisan ejemplos de cómo son preparadas las sesiones experimentales concebidas por el Grupo UTN de investigación educativa en ciencias básicas, teniendo en cuenta los preceptos descriptos. Se pretende estimular a los estudiantes el interés por las ciencias proponiendo actividades que contemplan el uso de herramientas y manipulación de objetos mediante ejemplos concretos.

DEARROLLO DE EXPERIENCIAS DE FÍSICA

Planteo de Problema:

Proponga el diseño de un sistema mecánico para determinar momentos de inercia de cuerpos no geométricos que giran alrededor de un eje fijo

Como conocimiento previo, es sabido que los momentos de inercia de cuerpos geométricos, respecto del eje de rotación que contiene su centro de gravedad, pueden ser calculados y obtenidos experimentalmente con facilidad. Pero no resulta así el caso de determinación de momentos de inercia de cuerpos no geométricos respecto de ejes que no contienen su centro de gravedad.

Se propone una serie de actividades que conducirán a la resolución del problema planteado.

Actividad 1

- a) *¿Cómo se produce la rotación de un cuerpo alrededor de un eje?*
- b) *¿Cómo se define el momento de inercia de un cuerpo que gira alrededor de un eje?*
- c) *Diseñe y obtenga un cuerpo que no sea geométrico y con centro de gravedad variable, el cual puede ser suspendido en un punto de apoyo de un eje y rotar alrededor de éste.*

- a) Se parte del conocimiento que la rotación de un cuerpo alrededor de un eje se produce cuando se aplica una fuerza **F** a una cierta distancia **R** del eje de rotación, o

sea que la rotación se produce cuando se aplica sobre el cuerpo un momento de la fuerza \mathbf{F} respecto del eje, definido por el producto vectorial

$$\mathbf{M} = \mathbf{R} \times \mathbf{F}.$$

Este momento es representado por el pseudo vector \mathbf{M} que tiene la misma dirección que el eje de rotación.

b) La aplicación del momento \mathbf{M} a un cuerpo respecto de un eje le provoca una aceleración angular γ . La relación entre un momento \mathbf{M} y la correspondiente aceleración angular γ es una constante intrínseca del cuerpo, independiente del momento que se le aplique, llamada momento de inercia I . Luego, queda definida la relación modular

$$M = I \cdot \gamma.$$

Se concluye que para determinar momentos de inercia de un cuerpo es necesario que éste pueda girar u oscilar alrededor de un eje. Por lo tanto, se debe preparar un dispositivo para que el cuerpo pueda girar (pendular u oscilar) alrededor de un eje de rotación fijo que no contiene el centro de gravedad del cuerpo.

c) Se diseña un cuerpo con centro de gravedad variable. Se toma una barra de sección rectangular o circular a la cual se le adosa un cuerpo que puede deslizarse a lo largo de ella. En el extremo superior de la barra se fija un gancho con una superficie plana, el cual se apoya sobre una cuña de sección triangular. De esta manera el cuerpo central, con el cuerpo adosado, puede oscilar. Se ha construido un sistema llamado péndulo compuesto. Su estructura se muestra en la Fig. 1.



Figura 1. Fotografía del péndulo compuesto construido de acuerdo con el diseño estipulado, el cual puede oscilar alrededor de un eje.

Actividad 2

- a) *Asemeje las propiedades del péndulo compuesto respecto de las propiedades del péndulo simple.*

- b) Siguiendo las semejanzas con el péndulo simple, determine los períodos de oscilación del péndulo compuesto para cada posición del cuerpo adicional, o sea para cada distancia D_i del eje al centro de gravedad.
- c) ¿Cómo relaciona el momento de inercia del cuerpo compuesto con los momentos de las fuerzas externas actuantes sobre éste?

a) El péndulo simple que oscila alrededor de un eje tiene una longitud ℓ (distancia del eje de suspensión al centro de gravedad del sistema) siendo el período de oscilación

$$T = 2\pi\sqrt{\ell/g}.$$

En este caso el centro de gravedad del sistema oscilante se encuentra en el centro de la masa que conforma el péndulo simple.

En el caso del péndulo compuesto las distancias D_i del centro de gravedad al eje de suspensión son variables para cada posición del cuerpo adosado. Estas distancias se determinan mediante el procedimiento práctico de apoyar el cuerpo sobre una cuña y desplazarlo hasta que se observe una posición de equilibrio. Ello indica que el centro de gravedad se encuentra en un plano vertical que pasa por la cuña.

b) El Cuadro 1 indica los correspondientes valores de las distancias D_i , la masa m del sistema y los correspondientes períodos T_i . Los períodos se determinan mediante las representaciones gráficas de los movimientos oscilatorios registrados por un radar ultrasónico, para cada uno de los cinco casos. Las Figs. 2.a y 2.b muestran los gráficos del movimiento oscilatorio del péndulo compuesto para los casos extremos en que el cuerpo adicional se encuentra más próximo del eje de rotación y más alejado, respectivamente. Cuando el cuerpo adicional se ubica en la barra más alejado del eje de rotación, aumenta el período. Este resultado es coherente pues, en semejanza con el péndulo simple, al alejarse el cuerpo adicional del centro de suspensión, aumenta la longitud del péndulo simple, y por ende, aumenta el período.

Cabe señalar que el método para determinación de períodos de oscilación del péndulo compuesto tiene una gran precisión, dado que discrimina valores que difieren en centésimas de segundo.

Masa del sistema $m = 1,743 \text{ kg}$; aceleración $g = 9,806 \text{ m/s}^2$;

Distancias D_i (m)	Períodos T_i (s)	T_i^2 (s^2)	
$D_1 = 0,353$	$T_1 = 1,36$	1,85	
$D_2 = 0,318$	$T_2 = 1,28$	1,64	
$D_3 = 0,295$	$T_3 = 1,21$	1,46	
$D_4 = 0,260$		$T_4 = 1,17$	1,37
$D_5 = 0,230$	$T_5 = 1,13$	1,27	

Cuadro 1. Valores experimentales de las distancias D_i y de los períodos T_i .

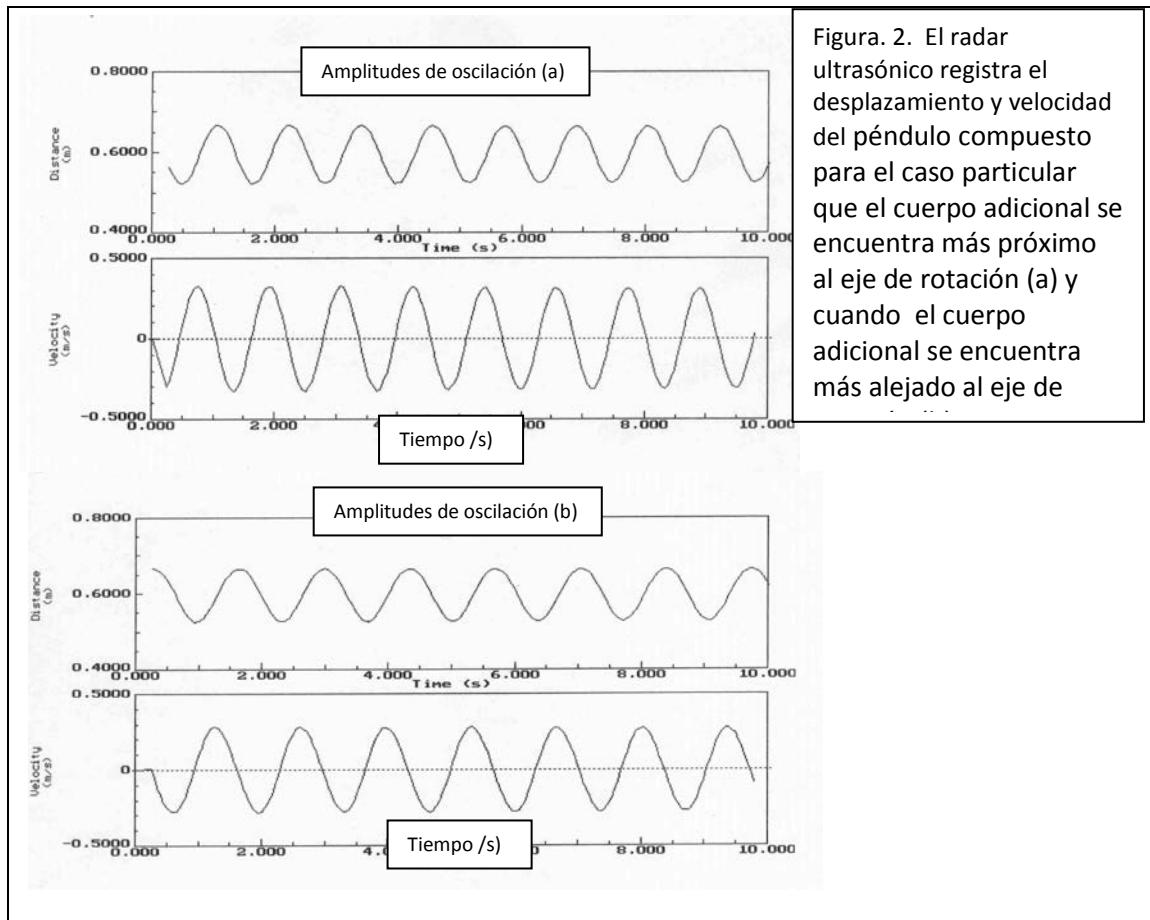


Figura. 2. El radar ultrasónico registra el desplazamiento y velocidad del péndulo compuesto para el caso particular que el cuerpo adicional se encuentra más próximo al eje de rotación (a) y cuando el cuerpo adicional se encuentra más alejado al eje de

c) El momento de inercia de un cuerpo respecto de un eje es igual a la suma de los productos de las masas m_i de los elementos de volumen dV_i multiplicadas por el cuadrado de la distancia d_i de cada elemento al eje de rotación

$$I = \sum r_i^2 \cdot m_i$$

El producto del momento de inercia por la velocidad angular de rotación ω es igual al momento angular L del cuerpo respecto del eje de giro

$$L = I \cdot \omega.$$

La variación del momento angular respecto del tiempo resulta igual al producto del momento de inercia por la aceleración angular

$$dL/dt = I \cdot \gamma = M$$

Esta expresión se generaliza cuando sobre el cuerpo que rota alrededor del eje fijo actúan varias fuerzas exteriores F_i , aplicadas a distancias r_i del eje de rotación, obteniéndose, respectivamente, los momentos M_i . La variación del momento angular de rotación del cuerpo rígido L_r respecto del tiempo es igual a la suma de los momentos de las fuerzas exteriores que actúan sobre el cuerpo al instante t

$$dL_r/dt = \sum M_i(\text{ext}) = I \cdot \gamma. \quad (1)$$

Actividad 3

Aplicación del modelo de la dinámica de rotación al sistema construido

Este sistema oscilante cumple las condiciones establecidas por el modelo de la dinámica de rotación (suma de los momentos de las fuerzas externas aplicadas al sistema es igual al producto del momento de inercia por la aceleración angular). En efecto:

- a) Las fuerzas actuantes sobre el sistema de cuerpos construido son (ver Fig. 3).
 - (i) El peso del sistema $\mathbf{P} = m \cdot \mathbf{g}$ aplicado en su centro de gravedad G (a determinar experimentalmente).
 - (ii) La reacción de vínculo \mathbf{R} , o sea la fuerza que ejerce el vínculo (cuña) sobre el gancho unido al sistema.
- b) Los momentos de esas fuerzas respecto del punto O de contacto del gancho con el eje (cuchilla) son:
 - (i) $\mathbf{M}(\mathbf{P}) = - \mathbf{OG} \times (m \cdot \mathbf{g}) = - \mathbf{D} \times (m \cdot \mathbf{g})$, siendo \mathbf{D} el vector determinado por el origen O (fijo) y el centro de gravedad G del sistema oscilante. El signo del momento es negativo por oponerse a apartar la barra de su posición de equilibrio.
 - (ii) $\mathbf{M}(\mathbf{R}) = 0$.

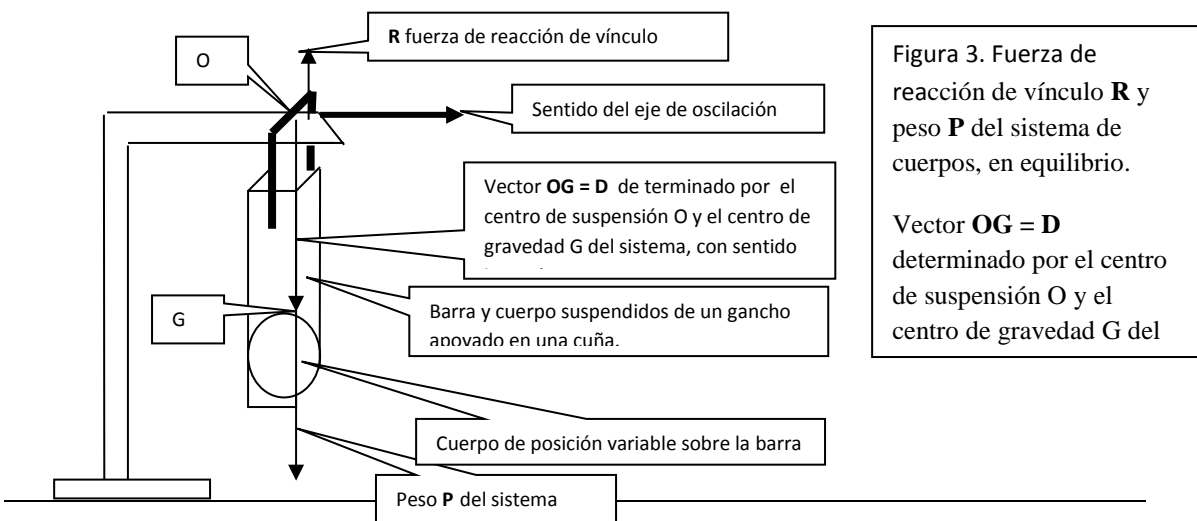


Figura 3. Fuerza de reacción de vínculo \mathbf{R} y peso \mathbf{P} del sistema de cuerpos, en equilibrio.

Vector $\mathbf{OG} = \mathbf{D}$ determinado por el centro de suspensión O y el centro de gravedad G del

Cuando el sistema de cuerpos oscila (único grado de libertad), queda formado un ángulo ϑ variable entre la recta de acción del peso (o vertical) y la recta que contiene el vector \mathbf{OG} (ver esquema de la Fig. 4).

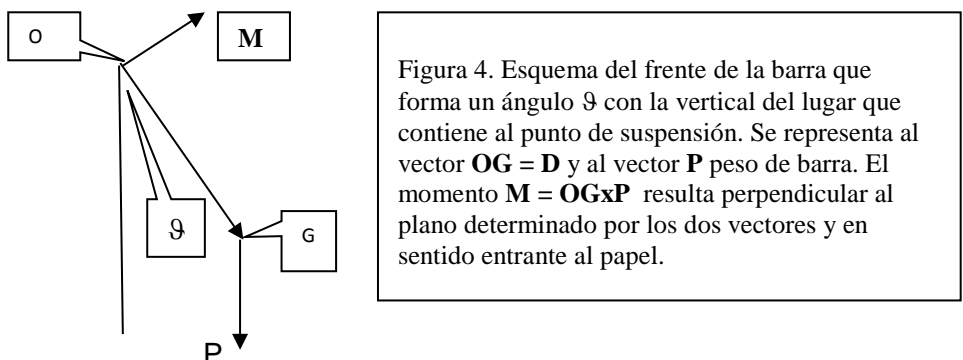


Figura 4. Esquema del frente de la barra que forma un ángulo ϑ con la vertical del lugar que contiene al punto de suspensión. Se representa al vector $\mathbf{OG} = \mathbf{D}$ y al vector \mathbf{P} peso de barra. El momento $\mathbf{M} = \mathbf{OG} \times \mathbf{P}$ resulta perpendicular al plano determinado por los dos vectores y en sentido entrante al papel.

Aplicando el modelo de la dinámica de rotación al sistema de cuerpos sobre el cual actúan las fuerzas y momentos descritos, resulta

$$\sum M_i = I \cdot \gamma = I \cdot d^2\vartheta/dt^2, \quad (2)$$

o bien $- D \cdot m \cdot g \cdot \text{seno}(\vartheta) = I \cdot d^2\vartheta/dt^2$.

Para oscilaciones de pequeña amplitud, se reemplaza seno (ϑ) por ϑ , resultando

$$I \cdot d^2\vartheta/dt^2 + D \cdot m \cdot g \cdot \vartheta = 0. \quad (3)$$

Este algoritmo tiene la estructura de la ecuación diferencial del oscilador armónico

$$: \quad d^2\vartheta/dt^2 + \omega^2 \cdot \vartheta = 0, \quad (4)$$

$$\text{donde } \omega^2 = D \cdot m \cdot g / I. \quad (5)$$

La solución de esta ecuación para las condiciones iniciales $t = 0$; $\vartheta(0) = \vartheta_0$; $(d\vartheta/dt)_0 = 0$ es la función armónica

$$\text{Variación armónica del ángulo de giro: } \vartheta(t) = \vartheta_0 \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (6)$$

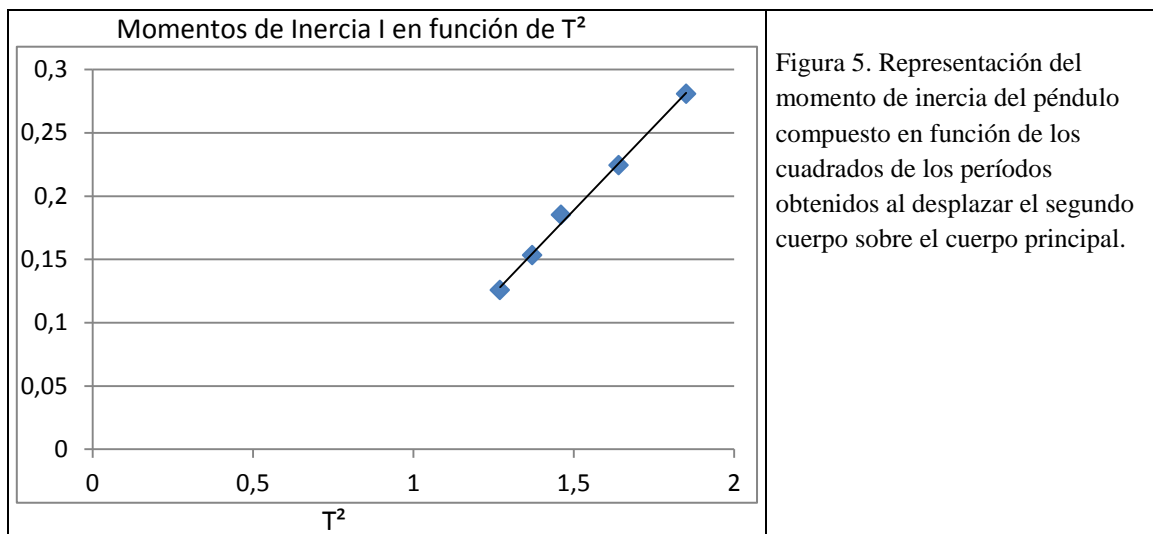
$$\text{dinde } \omega = 2 \cdot \pi / T, \text{ o bien } \omega^2 = 4 \cdot \pi^2 / T^2$$

Igualando las relaciones (5) y (7) resulta que el momento de inercia I se expresa en función de la distancia D y del cuadrado del período T de oscilación

$$D \cdot m \cdot g / I = 4 \cdot \pi^2 / T^2,$$

$$I = (m \cdot g / 4 \cdot \pi^2) \cdot (D \cdot T^2) = 0,43 \cdot (D \cdot T^2) \quad (8)$$

La Fig. 5 muestra los valores del momento de inercia calculado con la expresión (8) en función de los valores de los cuadrados de los periodos medidos según el Cuadro 1.



Conclusiones

Se ha demostrado que el momento de inercia I del péndulo compuesto depende del cuadrado del periodo de oscilación T . Los valores discretos de los momentos de inercia calculados a partir de los valores experimentales de los cuadrados de los periodos de oscilación T_i y de las distancias variables D_i , se ajustan con una función lineal.

De esta manera se ha resuelto el problema planteado mediante el diseño de un péndulo compuesto que oscila alrededor de un eje fijo. Se ha utilizado la tecnología del radar ultrasónico para determinar los períodos y se ha aplicado el modelo de la mecánica newtoniana relacionado con la suma de los momentos de las fuerzas actuantes sobre el péndulo. También ha quedado planteada como solución del problema, la misma estructura de ecuación diferencial del oscilador armónico tanto para el péndulo simple como para el péndulo compuesto.

DESARROLLO DE EXPERIENCIAS DE QUÍMICA

Planteo de Problema:

Con el objeto de tipificar contaminantes del agua proponga el diseño de experiencias para estudio de conductividad eléctrica de soluciones

Actividad 1

a) *Proponga las condiciones experimentales para realizar experiencias de conductividad eléctrica de soluciones*

b) *¿Qué tipo de instrumento se utiliza para medir la conductividad eléctrica de soluciones?*

c) *Considere dos contaminantes típicos del agua: sodio y calcio*

a) Mediante la introducción de electrodos en una solución acuosa, conectados a una fuente de energía, se produce un campo eléctrico \mathbf{E} entre ellos y, por lo tanto, una corriente eléctrica \mathbf{i} de iones, proporcional a la intensidad del campo eléctrico

$$\mathbf{i} = \sigma \cdot \mathbf{E}, \quad (1)$$

Las dimensiones de $\{\sigma\} = \{I\} / \{E\} = C \cdot s^{-1} \cdot cm^{-2} / V \cdot cm^{-1} = (A / V) \cdot cm^{-1} = G / cm$,

siendo G la *conductancia*, recíproca de la resistencia eléctrica R del medio. La unidad de conductancia es el Siemens. Como la intensidad de corriente que circula es del orden del micro ampere, la conductancia se mide en micro Siemens.

La corriente eléctrica \mathbf{i} es una magnitud compuesta a la cual contribuyen todas las especies cargadas eléctricamente que se encuentran en la solución. Por lo tanto, la corriente eléctrica total es la suma de las corrientes eléctricas producidas por cada especie cargada.

Cada portador de carga contribuye a la conductancia según su concentración y su movilidad, en forma independiente, o sea que obedecen a una ley de migraciones independientes (Kohlrausch).

b) Para medir la *conductividad* σ de una solución, recíproca de la resistividad ρ , se utiliza un sensor específico que posee una celda de dimensiones dadas, con dos electrodos. Si bien se mide la *conductancia* G , se trata de determinar la *conductividad* σ de una solución, proporcional a la conductancia G

$$\sigma = G \cdot k_C \quad (2)$$

Siendo k_C una constante de la celda del sensor.

$k_C = d/A$ (d es la distancia entre electrodos y A la superficie de cada electrodo).

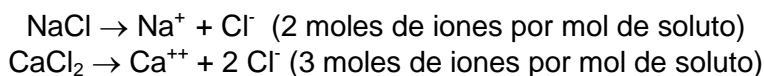
En el caso del sensor propuesto $k_C = 1 \text{ cm}^{-1}$. Luego

$$\sigma = G/\text{cm}. \quad (3)$$

Al aplicar una diferencia de potencial entre los electrodos, circula una corriente eléctrica i , proporcional a la conductividad σ de la solución. Esta corriente es convertida en una tensión. El sensor se conecta a una interfaz y ésta a una computadora, obteniéndose un sistema automático de registro de conductividad de soluciones. Se procede a calibrar el instrumento en dos posiciones.

- (i) Valor 0 de calibración utilizando el instrumento en el aire, fuera de todo líquido
- (ii) Valor de solución estándar de NaCl: $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$.

c) Se consideran dos sales: NaCl y CaCl_2 cuya descomposición en iones es



Actividad 2

Desarrolle las experiencias de medición de conductividad de soluciones con estas sales

Diseño experimental

Para el diseño de la experiencia se dispone de un vaso de precipitado con agua destilada al cual se agregan gotas de soluciones de NaCl y de CaCl_2 , en forma separada. Se determina la conductividad de la solución en función del número de gotas de soluto. Las gotas se vuelcan al agua destilada por medio de una bureta. El detalle de la experiencia consiste en que se debe homogeneizar la solución rápidamente, para lo cual se monta el vaso de precipitado sobre un agitador magnético. Para medir la conductividad de las soluciones se utiliza un sensor de conductividad en el rango de 2000 micro Siemens / cm. La Fig. 1 muestra el arreglo experimental descrito.

1) Desarrollo de experiencia con solución de ClNa

Se posa el vaso de precipitado sobre el agitador, se introduce el sensor de conductividad previamente calibrado y se vuelcan sucesivamente gotas de NaCl. La conductividad se registra en el sistema integrado por el sensor, interfaz y computadora. La variación de la conductividad de la solución en función de las gotas incorporadas se indica en el gráfico de la Fig.2.



Figura 1. Arreglo experimental para medición de conductividad de una solución de NaCl a medida que se agregan gotas de soluto, con agitación permanente.

Vaso de precipitado sobre agitador con sensor de conductividad y bureta para volcar gotas de solución NaCl. El sensor se conecta a la interfaz y ésta a la computadora.

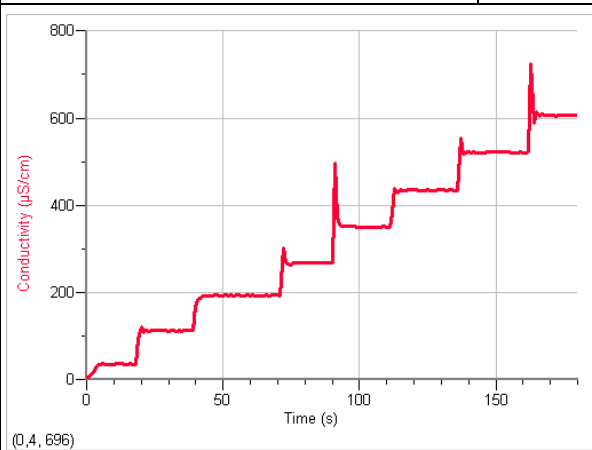


Figura 2. Registro de variación de conductividad de una solución de NaCl a medida que se agregan gotas de soluto, con agitación permanente.

Los resultados de la Fig. 2 se indican en la Tabla 1, los cuales se grafican (Conductividad vs. gotas de soluto) en la Fig. 3 y se obtiene la recta de ajuste de la conductividad en función de la concentración del soluto, medido en gotas.

Gotas soluto	1	2	3	5	6	7	8
Conductividad	37	112	192	268	435	520	606

Tabla .1. Valores de la conductividad de la solución de NaCl en función del incremento de soluto, medido en gotas. La conductividad se expresa en unidades de microS/cm.

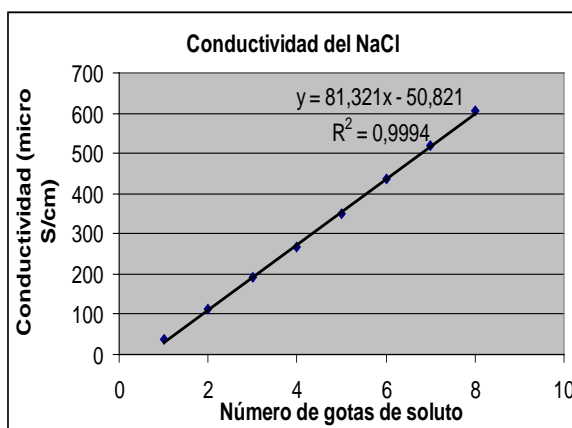
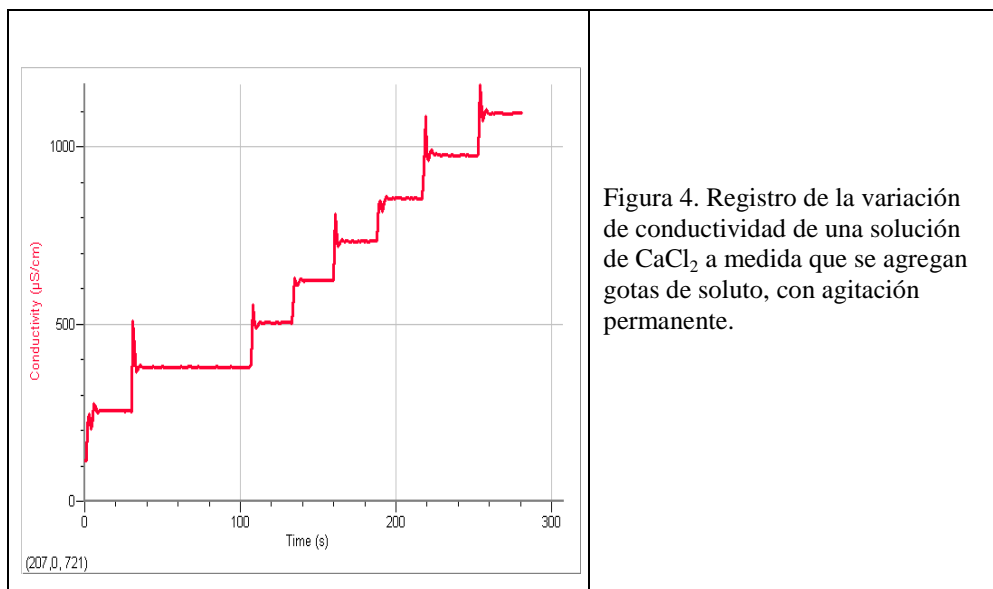


Figura 3. Representación gráfica de los pares de valores de la Tabla 1. Los puntos experimentales se ajustan con una recta de pendiente $m = 81$.

2) Desarrollo de experiencia con solución de CaCl_2

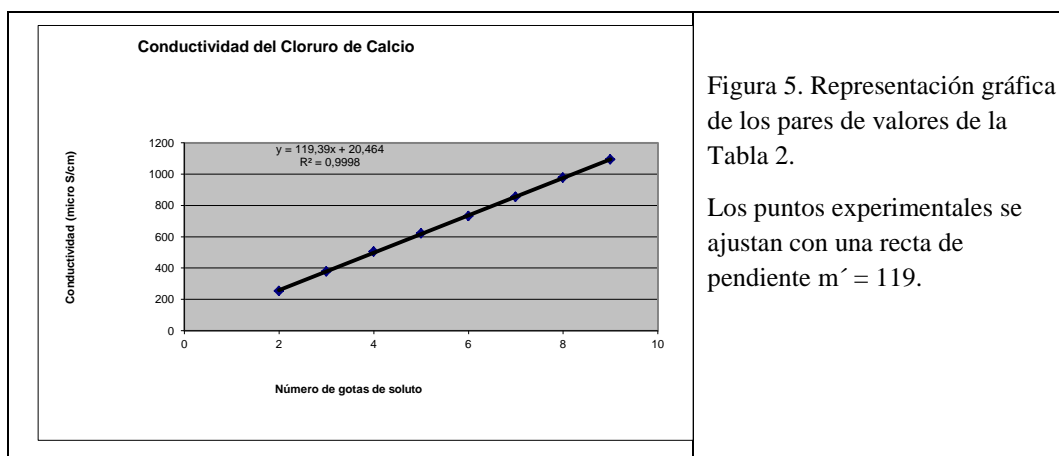
Se posa el vaso de precipitado sobre el agitador, se introduce el sensor de conductividad previamente calibrado y se vuelcan sucesivamente gotas de CaCl_2 . La conductividad se registra en el sistema integrado por el sensor, interfaz y computadora. La variación de la conductividad de la solución de CaCl_2 en función de las gotas incorporadas se indica en el gráfico de la Fig. 4.



Los resultados de la Fig. 4 se indican en la Tabla 2, los cuales se grafican (conductividad vs. gotas de soluto) en la Fig. 5 y se obtiene la recta de ajuste de la conductividad en función de la concentración del soluto, medido en gotas.

Gotas soluto	2	3	4	5	6	7	9
Conductividad	37	112	192	268	435	520	606

Tabla 2. Valores de la conductividad de la solución en función del incremento de soluto CaCl_2 , medido en gotas. La conductividad se expresa en unidades de $\mu\text{S/cm}$.



Conclusiones

De las Figs. 3 y 5 surge la conclusión que la conductividad de las soluciones experimentadas crece linealmente con el agregado de soluto. La pendiente de la recta de ajuste de los puntos que corresponden a la conductividad del CaCl_2 es mayor que la que corresponde a la conductividad del NaCl , en un factor 1,5. Ello se debe, como se indicó en la Introducción, a que en los sucesivos casos cada vez hay más iones disueltos en la solución. En el primer caso, 2 iones y en el segundo, 3 iones. En el análisis de las pendientes de las respectivas rectas, ocurre una relación 2 a 3.

Actividad 3

Como aplicación desarrolle una experiencia de conductividad de agua relacionada con el medioambiente

Experiencia propuesta: Determinación de la conductividad de muestras de agua de diversas procedencias como ser desmineralizada, de lluvia, de pozo, mineral comercial y muestra patrón.

Se realizó el mismo montaje experimental descrito previamente y se introdujo el sensor de conductividad en recipientes que contienen diversas muestras de agua. Se indican en la Fig. 6 diferentes valores de conductividad para diversas muestras de agua.

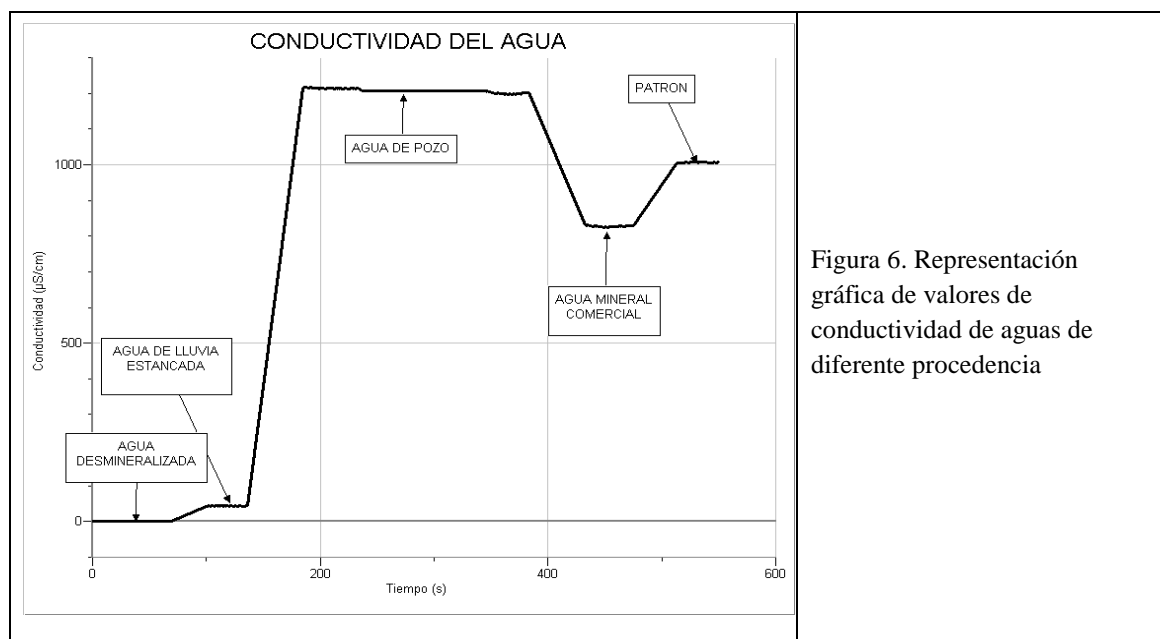


Figura 6. Representación gráfica de valores de conductividad de aguas de diferente procedencia

Conclusiones generales

Se han diseñado experiencias sobre conductividad de soluciones determinando la relación del número de iones de la solución con la conductividad de la solución, para dos casos típicos de soluciones con un factor 3/2 del número de iones. Para ello se ha utilizado un sistema automático de registro, procesamiento y representación de la información, que ha permitido establecer las relaciones experimentales validando la

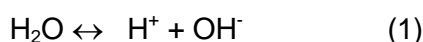
teoría básica de la conductividad de la solución: ésta depende de las cargas de los iones que circulan en ella. Por otra parte, se ha efectuado una demostración de cómo utilizar este sistema automático para aplicaciones del medio ambiente como ser conductividad de diferentes muestras de agua.

Planteo de Problema:
A partir de la medición de pH de soluciones con un sistema automático,
desarrolle el método para determinar titulaciones

Actividad 1

- a) *Describa el concepto de pH a partir de la ionización del agua.*
b) *Determine el pH de soluciones acuosas de uso doméstico*

a) La auto ionización del agua ocurre independientemente de que haya en solución una base o un ácido. La correspondiente ecuación de equilibrio iónico es



La condición de equilibrio está determinada por la constante correspondiente

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} \quad (2)$$

La concentración del agua no disociada $[\text{H}_2\text{O}]$ puede considerarse constante, por lo tanto se define una nueva constante

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_{\text{H}_2\text{O}} \cdot [\text{H}_2\text{O}] = K_w, \quad (3)$$

llamada producto iónico del agua, cuyo valor es $1,0 \cdot 10^{-14}$ a temperatura normal de 25°C . Consecuentemente, si se forman x moles del ión H^+ por litro de agua, también se forman x moles del ión OH^- , por lo tanto se cumple

$$x = [\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-7}. \quad (4)$$

Como esta concentración de iones hidrógeno H^+ e hidroxilo OH^- es muy pequeña, se define el pH de una solución, o potencia de hidrógeno, al logaritmo de la concentración de hidrógeno, con signo negativo

$$\text{pH} = -\log x = -\log [\text{H}^+]. \quad (5)$$

Para el caso del agua pura resulta $\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = 7$.

b) Para medir pH de soluciones acuosas se utiliza un electrodo especial consistente en un elemento sensor que contiene en su interior una celda con una concentración de referencia de $[\text{H}^+]$. Éste se introduce en la solución que se desea conocer su pH con otra concentración $[\text{H}^+]$. La diferencia entre las concentraciones $[\text{H}^+]$ y $[\text{H}^+]$ se traduce en un pulso eléctrico cuya amplitud depende de la diferencia de las concentraciones mencionadas. El electrodo se conecta a la interfaz y ésta a la computadora, registrándose en pantalla el valor del pH medido de la solución. El rango de medición de pH es de 0 a 14, siendo la resolución de 0,02 unidades de pH. Para calibrarlo, se utilizan dos soluciones, una con $\text{pH} = 4$ y otra con $\text{pH} = 7$. Se preparan en diferentes vasos de precipitado soluciones con vinagre, cola, detergente y agua de la canilla (Ver Fig. 1). Se introduce el sensor de pH en cada uno de los vasos, previa

limpieza y secado. Se registra en forma continua el valor de pH, obteniéndose el gráfico de la Fig. 2. Los valores de pH de cada solución se indican en la Tabla 1.

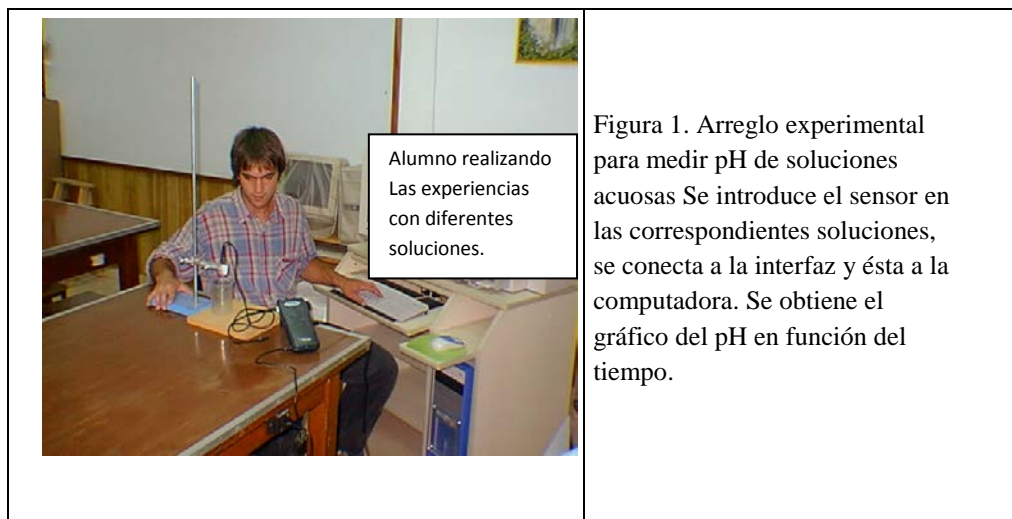


Figura 1. Arreglo experimental para medir pH de soluciones acuosas. Se introduce el sensor en las correspondientes soluciones, se conecta a la interfaz y ésta a la computadora. Se obtiene el gráfico del pH en función del tiempo.

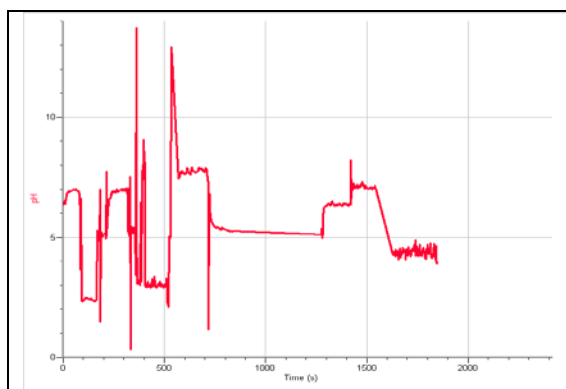


Figura 2. Variación del pH medido cuando se sumerge el sensor en diferentes soluciones, previo enjuague y secado.
 Primer y tercer plateau pH = 6,9.
 Segundo plateau pH = 2,4;
 Cuarto plateau pH = 3,0
 Quinto plateau pH = 7,8;
 Sexto plateau pH = 6,4
 Séptimo plateau pH = 7,1;
 Octavo plateau pH = 7,8

sustancia	Agua destilada	Vinagre	Cola	Agua corriente	café	Agua con jabón
Valor pH	6.9	2.4	3.0	7.8	6.4	7.1

Tabla 1. Valores de pH de algunas soluciones de uso doméstico.

Actividad 2

- a) Defina la titulación como método de análisis cuantitativo
- b) Establezca un diseño experimental para realizar titulaciones con el sensor de pH

a) La titulación es un método estándar de análisis cuantitativo para determinar la concentración de una solución llamada *reactivo* de volumen conocido. A ésta se le agrega otra solución llamada *titulante*, de concentración y volumen conocidos. Se mide constantemente el pH a medida que se agrega gotas del titulante a la solución primaria, hasta que la solución combinada adquiera el valor pH = 7, para el caso de

una reacción de ácido fuerte con una base fuerte. Este valor indica que el número de moles de la sustancia reactivo es igual al número de moles del titulante. Por ejemplo si el reactivo es una solución ácida que libera iones H^+ y el titulante es una solución base que libera iones hidroxilo OH^- , cuando al agregar la solución base a la solución ácida, se obtiene el valor $pH = 7$, es una indicación que el número de iones H^+ existente en la mezcla, ha reaccionado con todos los iones OH^- . La solución inicial (reactivo) se ha neutralizado con el agregado de la solución base. O sea, se ha alcanzado la igualdad de las concentraciones de H^+ y de OH^-

$$[H^+] = [OH^-]. \quad (1)$$

Reactivo: Solución normal (desconocida) · volumen (litros) = n moles

Titulante: Solución normal (conocida) · volumen (litros) = n moles

De la igualdad de estas relaciones se obtiene la concentración molar del reactivo

b) Titulaciones cualitativas de soluciones ácidas con soluciones base

Se propone determinar la variación de pH de una solución de ácido clorhídrico titulando con hidróxido de sodio. Para ello se prepara una solución de concentración indeterminada del ácido y una solución de $NaOH$ de concentración conocida.

Diseño experimental

Se procede a verter en un vaso de precipitado 10 mL de solución ácida de HCl de concentración desconocida. Se coloca el vaso sobre la base de un agitador. Se monta una bureta que contiene una solución de $NaOH$ de concentración conocida y un volumen determinado de 20 mL. Se coloca el pico de la bureta en la boca del vaso que se encuentra sobre el agitador. Se introduce el sensor de pH en la solución. Se conecta a la interfaz y ésta a la computadora y en la pantalla se observa los valores de pH que se van obteniendo a medida que se vierten gotas sobre la solución. El diseño experimental descrito se muestra en la Fig. 3.



Figura 3. Diseño experimental para determinar la titulación de una solución ácida con una solución base. Vaso de precipitado que contiene la solución ácida sobre un agitador magnético, bureta que contiene la solución base y sensor de pH conectado a la interfaz y computadora.

Obtención de resultados

Para valores cercanos al valor $pH = 7$ se observa un cambio brusco de pH de la solución combinada de ácido y base. En ese momento se ha producido la neutralización de la solución ácida, siendo la concentración de iones H^+ igual a la de iones OH^- . El gráfico de la variación de pH en función del tiempo se muestra en la Fig. 4.

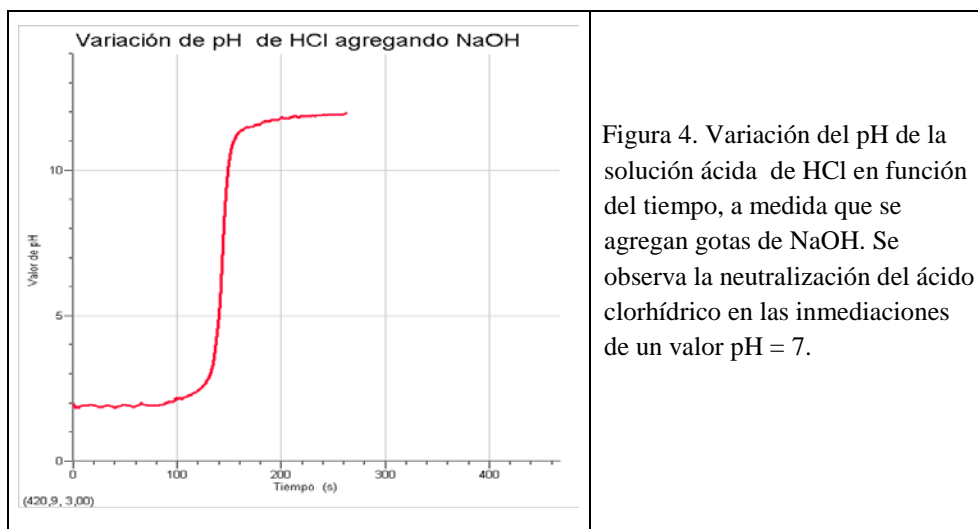


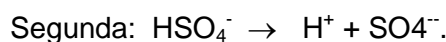
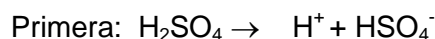
Figura 4. Variación del pH de la solución ácida de HCl en función del tiempo, a medida que se agregan gotas de NaOH. Se observa la neutralización del ácido clorhídrico en las inmediaciones de un valor pH = 7.

Actividad 3

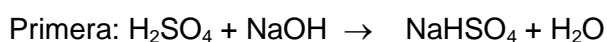
a) Plantee la titulación de una solución ácida con dos iones H^+ con un reactivo base con un ión OH^- .

b) Diseñe una experiencia de titulación de un ácido diprótico con una solución de NaOH

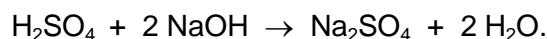
a) Se determina la titulación de una solución ácida que provee 2 iones H^+ por cada molécula de ácido. Éstos se llaman ácidos dipróticos, tales como el ácido sulfúrico H_2SO_4 y el ácido carbónico H_2CO_3 . Los ácidos dipróticos se disocian en agua según dos etapas sucesivas



Consecuentemente, la titulación con NaOH también se desarrolla en dos etapas sucesivas mostrando dos puntos de equivalencia:



Teniendo en cuenta las dos reacciones sucesivas resulta



En la primera etapa se liberan iones H^+ , los que reaccionan en su totalidad con los iones OH^- , dando lugar a la primera neutralización. En la segunda etapa se repite la misma cantidad de H^+ , que se neutralizan con la misma cantidad de OH^- . Por lo tanto, si se vierte una cantidad de x mL de NaOH para obtener el primer punto de equivalencia, para obtener el segundo punto de equivalencia, debe verterse 2 x mL de NaOH. Son necesarios verter 2 moles de NaOH para neutralizar 1 mol de ácido sulfúrico.

b) Titulación de un ácido diprótico (ácido maleico) con una solución de NaOH

Se preparan 50 mL de soluciones de concentración desconocida del ácido maleico, disolviendo 0,120 g en agua y una solución de concentración 0,1 M de NaOH.

Diseño experimental

Se procede a verter en un vaso de precipitado 50 mL de solución ácido maleico de concentración desconocida. Se coloca el vaso sobre la base de un agitador. Se monta una bureta que contiene una concentración 0,203 M de NaOH y un volumen determinado de unos 60 mL. Se coloca el pico de la bureta en la boca del vaso que se encuentra sobre el agitador. Se introduce el sensor de pH en la solución. Se conecta a la interfaz y ésta a la computadora y en la pantalla se observa los valores de pH que se van registrando a medida que se vierten gotas sobre la solución. El arreglo experimental es similar al de la experiencia anterior.

Obtención de resultados

Se comienza a verter gotas sobre la solución. Cada vez que se vierte una gota de solución base es preciso agitar hasta que la solución sea homogénea y se determina el valor de pH. Para valores cercanos al primer punto de equivalencia, se registran los datos de pH por cada gota de NaOH que se agrega (ver Tabla 2.a). Se continúa agregando gotas de NaOH; para valores cercanos al segundo punto de equivalencia, se registran los datos de pH por cada gota de NaOH que se agrega (ver Tabla 2.b). Se observa un cambio brusco de pH en las inmediaciones del valor pH = 8. El gráfico completo de la variación de pH en función del volumen vertido de NaOH se muestra en la Fig.5.

Se determina el volumen total volcado de la solución base al alcanzar el valor pH = 8. Este valor es registrado en la Tabla 3, así como el número de moles OH⁻ que tiene la solución neutra, calculado a partir de la relación

$$\text{N}^\circ \text{ moles NaOH}^- = (0,1 \text{ mol/L}) \cdot (\text{x litros de solución base gastados para neutralizar})$$

El número de moles de la solución ácida es también igual al indicado más arriba por la relación de 1 mol de ácido dividido 2 moles de NaOH, ya que como el ácido es diprótico, se debe gastar dos moles de base para neutralizar un mol de ácido.

pH mezcla	2.35	2.92	3.92	4.30	4.63	4.83	4.9
Volumen NaOH (mL)	2.4	4.1	5.0	5.1	5.2	5.4	5.5

Tabla 2.a. Valores de pH de la mezcla para volúmenes de solución NaOH, para valores cercanos al pH de la muestra pH = 4,9.

pH mezcla	6.5	7.5	7.7	8.7	9.0	9.4	9.5
Volumen NaOH (mL)	9.9	10.8	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5

Tabla 2.b. Valores de pH de la mezcla para volúmenes de solución NaOH, para valores cercanos al pH de la muestra pH = 8.

Soluciones	Concentraciones C	Volúmenes V	Moles
Acido maleico	desconocida	V = 50 mL	0,0011
Base (NaOH)	0,203 M	V _{exp} = 5,5 mL	0,0011

Tabla 3. Número de moles y volúmenes de las soluciones de ácido maleico y NaOH para el valor pH = 4.9 de la mezcla.

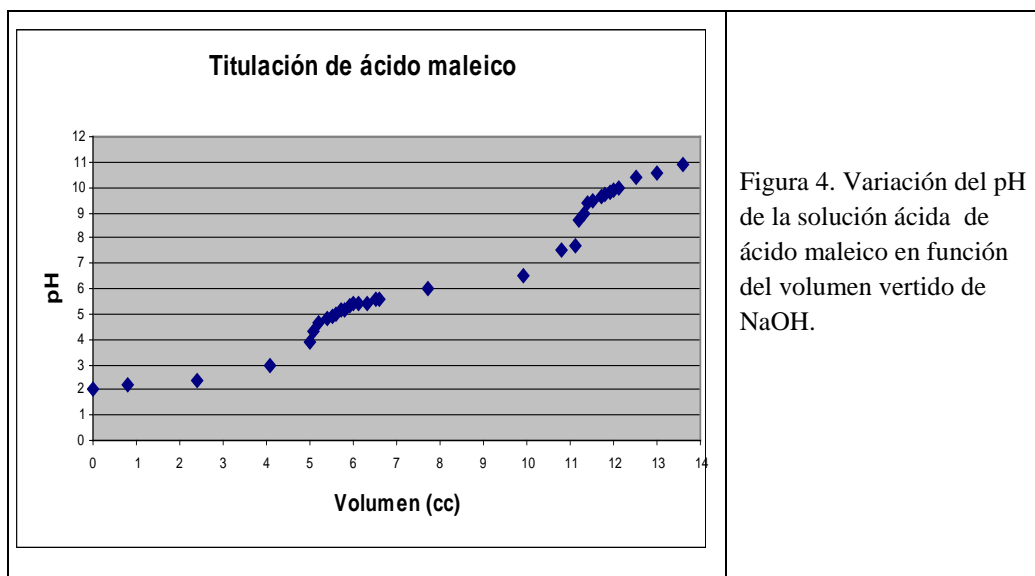


Figura 4. Variación del pH de la solución ácida de ácido maleico en función del volumen vertido de NaOH.

Resultados

De acuerdo con los datos de la Tabla 3, a 0,120 g de ácido maleico corresponden 0,0011 moles. Por lo tanto, la masa de un mol es $0,120/0,0011 = 109,1$. El peso molecular del ácido maleico dado en tablas es 116. Por lo tanto el error experimental cometido es de 6 %.

Conclusiones generales

Se ha dado respuesta al problema planteado, indicando cómo se miden pH de soluciones con un sistema automático de registro, procesamiento y representación de datos utilizando un sensor de pH. Se ha establecido una metodología para determinación de titulaciones en casos de una solución ácido con un ión H^+ y dos iones H^+ .

Bibliografía

- (1) America's Lab Report: Investigations in High School Science. *National Academies Press* (2005).
 - (2) Center for Education Integrating Sciences, Mathematics, and Computing – CEISMC, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA. www.ceismc.gatech.edu.
 - (3) Feisel, L. D. y Rosa, A.J.: The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education. *Journal of Engineering Education*. (January 2005), pp. 121-130.
 - (4) Meet the Future. Summit 2010: *Next European agenda on STEM*. 18-19 November 2010, The Hague, Netherlands.
 - (5) Northeastern University-The Center for STEM Education: <http://www.stem.neu.edu>.
 - (6) Open Courseware Consortium <http://www.ocwconsortium.org/>.
 - (7) Polino, C.: Las ciencias en el aula y el interés por las carreras científico-tecnológicas, *OEI- Revista Iberoamericana de educación*. N.º 58 (2012), pp. 167-191.
 - (8) The Concord Consortium, Massachusetts, USA (www.concord.org).
 - (9) Tufts University, Center for Science & Math Teaching. (www.ase.tufts.edu/csmt).
 - (10) Dan D. Holmquist, Donald L. Volz, *Chemistry with Computers*. Vernier Software and Technology ISBN 1-929075-27-8.
-
- (11) Technology, Engineering and Mathematics Education. **STEM Double Bridge: Connecting High Schools, Community Colleges, and Universities for Tomorrow's Leaders in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (junio 2009)**.
 - (12) U.S. Department of Education, Office of Educational Technology (2010). *Transforming American Education: Learning Powered by Technology*. Washington, D.C.
 - (13) National Research Council (2012). *"A Framework for K-12 Science Education"*. Washington DC. The National Academies Press.