

LA CONDUCTIMETRÍA EN LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE QUÍMICA-FÍSICA DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS Y ALIMENTARIAS

Pérez Ricardo D*, Santacruz Broche S., Muñoz Díaz MM., Peña Nápoles M., Mantilla García N.
Departamento de Farmacia. Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de la Habana

*Email: yosue@ifal.uh.cu

Resumen

La realización de experimentos tiene gran importancia en el proceso de aprendizaje de la Química Física, pues los conocimientos teóricos deben ponerse a prueba en la práctica para obtener mejores resultados. La falta de equipamiento y de algunos reactivos en los laboratorios de esta disciplina hace que constituya un reto continuo la realización de prácticas que aporten a los estudiantes el complemento necesario una vez recibida la teoría. Por otra parte los contenidos relacionados con la conductimetría generalmente resultan de difícil comprensión por parte de los estudiantes, al tiempo que constituye un procedimiento ampliamente utilizado por el profesional farmacéutico o especializado en alimentos, tanto en la práctica diaria como con fines investigativos. En el presente trabajo se exponen los resultados del diseño, desarrollo e implementación de dos nuevas prácticas de laboratorio de las asignaturas Química Física I y Química Física II respectivamente, en las que se emplea el conductímetro para las determinaciones experimentales. En la práctica de Química Física I se determina la constante de disociación de un ácido débil mediante medidas conductimétricas, mientras que en la de QF II se estudia la cinética de la reacción de saponificación de un éster determinando la variación de la conductividad del sistema reaccionante en el tiempo. Las prácticas de laboratorio cuentan con técnicas y procedimientos factibles así como los resultados reproducibles. Con un formato ameno y didáctico, que permite y fomenta la preparación previa de los estudiantes, así como la interpretación lógica de los resultados. Las mismas están en correspondencia con las necesidades prácticas del estudiante universitario en términos de la experimentación y el trabajo en el laboratorio, para el tema que fueron diseñadas.

Palabras clave: Química Física, Conductímetro, Prácticas de Laboratorio

Conductimetry in Pharmacy and Foods Sciences Physical Chemistry Laboratory Practices

Abstract

Conducting experiments is very important in the learning process of physical chemistry, as theoretical knowledge must be tested in practice for best results. The lack of equipment and some reagents in laboratories makes this discipline constitutes a continuing challenge the experiments that provide students with the necessary complement after receiving the theory. Furthermore the contents related to conductimetric determinations generally are difficult understanding by students, while a process is widely used by the pharmaceutical or food specialized professional, both in daily practice and research purposes. In this paper the results of the design, development and implementation of two new labs in the subjects Physical Chemistry I and II respectively, in which the conductivity meter for experimental determinations is used. In the practice of Physical Chemistry I the dissociation constant of a weak acid is determined by conductimetric measurements, while the Physical Chemistry II kinetics saponification reaction of an ester is studied by determining the variation of the conductivity of the reaction system in time. The labs have feasible techniques and procedures and reproducible results. With an entertaining and educational format, this allows and encourages the prior preparation of students as well as the logical interpretation of the results. They are in line with the practical needs of college student in terms of experimentation and laboratory work to the topic they were designed.

Key words: Physical chemistry, Conductivity meter, Labs.

Introducción

Desde el punto de vista funcional, en el desarrollo de cualquier actividad humana pueden diferenciarse cuatro momentos fundamentales: Orientación, ejecución, control y ajuste y corrección. Toda acción que se pretenda realizar necesita de una orientación profunda y detallada pues de esto dependerá que se pueda desarrollar la acción con el mínimo de errores, de esta forma la orientación cumple la función esencial de lograr la comprensión por el alumno de lo que va a realizar antes de ejecutarlo¹.

La abstracción constituye una de las habilidades fundamentales que deben desarrollar los estudiantes e investigadores para comprender de manera eficiente las ciencias exactas, dentro de ellas la química es una de las más necesitadas de esta habilidad. Por esta razón desde su surgimiento se

considera una ciencia teórica – experimental, que tiene en las prácticas o ensayos de laboratorio una herramienta esencial para su comprensión y demostración de hechos teóricos².

La conductimetría es un método analítico basado en la conducción eléctrica de los iones en solución, que se utiliza para medir la molaridad de una disolución, determinada por su carga iónica, o salina, de gran movilidad entre dos puntos de diferente potencial. Después del valor de pH, la conductividad electrolítica representa la segunda magnitud de medida más importante de los análisis de procesos químicos. Por otra parte los contenidos relacionados con la conductimetría generalmente resultan de difícil comprensión por parte de los estudiantes, al tiempo que constituye un procedimiento ampliamente utilizado por el profesional farmacéutico o especializado en alimentos, tanto en la práctica diaria como con fines investigativos.

Algunas aplicaciones de la conductimetría en el campo de las Ciencias farmacéuticas y alimentarias:

- Para determinar el grado de desacetilación de la quitosana (*Raymond y cols., 1993*)
- Para evaluar el tipo de emulsión (*Ferreira y cols., 2010*)
- Para determinar las constantes de disociación de los ácidos y bases (*Martínez y cols., 2006*)
- En estudios de estabilidad de sistemas dispersos (*Guía de estabilidad de productos cosméticos, 2005; La Rosa, 2012*)
- En el control de calidad del agua (*Martínez y cols., 2006*)
- *En el tratamiento de aguas residuales.*
- *En valoraciones conductimétricas*

Con el transcurso de los años, los planes de estudio las carreras de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias han sufrido varias modificaciones, en particular la disciplina Química Física, en los últimos años ha disminuido el número de horas presenciales, incluyendo las destinadas a las prácticas de laboratorio³. En este caso se ha debido también a otras causas como la falta de equipamiento, aún así el interés por mantener el mayor número de actividades prácticas posibles ha sido notable en el colectivo de asignatura. La entrada de dos nuevos conductímetros al laboratorio de Química Física motivó la realización de este trabajo que tiene como objetivo básico diseñar dos prácticas de laboratorio de la disciplina Química Física en las que se emplee el conductímetro para las determinaciones experimentales.

Materiales y métodos

Confección del texto introductorio y de preguntas de preparación previa: A través de búsqueda bibliográfica de los contenidos de las prácticas a diseñar se seleccionaron las informaciones que debían formar parte de la introducción de cada una de ellas así como se elaboraron preguntas para motivar la preparación de los estudiantes antes de acudir a la sesión de laboratorio.

Establecimiento de la técnica operatoria: Tomando como referencia técnicas reportadas en la literatura^{4,5} con objetivos similares y realizando varios ensayos experimentales se optimizó la metodología a seguir en cada práctica en cuanto a reactivos, volúmenes, concentraciones, cantidad de determinaciones, tiempos y orden de los procedimientos.

Selección de cristalería y reactivos a ubicar en los puestos de trabajo: Se seleccionaron los materiales necesarios para desarrollar la metodología propuesta con total independencia, de acuerdo a la disponibilidad en el laboratorio.

Redacción de las orientaciones para el procesamiento de los resultados y conformación del informe: Se elaboraron orientaciones finales con detalles suficientes en las explicaciones para garantizar la comprensión de los estudiantes y la calidad de los informes de laboratorio. Además se fomentó la integración con asignaturas como Análisis instrumental y Bioestadística.

Elaboración de un cuestionario comprobatorio: Al final de cada práctica se ubicó un cuestionario que permita al estudiante evaluar su interpretación de los resultados de la práctica y consolidar su aprendizaje.

Implementación de las prácticas: Se realizaron las prácticas con los grupos de estudiantes de Segundo año de ambas especialidades, para validar el trabajo realizado. La Práctica 1 que se ajusta al tema de Equilibrio, en el primer semestre donde se imparte la Química Física I y la Práctica 2 en el segundo semestre pues pertenece al Tema II Cinética química de la Química Física II.

Resultados

Los textos introductorios cuentan con aspectos importantes tales como objetivo de la práctica fundamento del método, aplicaciones de la técnica aplicada en su perfil profesional y en otras ramas

afines, leyes de las ciencias a considerar, características generales y funcionamiento del conductímetro y propiedades de las sustancias químicas que se emplean.

Las preguntas de preparación previa precisan del estudio independiente de las conferencias y revisión de la bibliografía de las asignaturas.

Los títulos de las prácticas diseñadas se muestran a continuación:

–Práctica 1 "Determinación de la constante de disociación del ácido acético por conductimetría".

Química Física I Tema II (1er Semestre 2do Año)

–Práctica 2 "Determinación del orden y la constante específica de velocidad para la saponificación del acetato de etilo. Método conductimétrico". ***Química Física II Tema II (2do Semestre 2do Año)***

Ambas técnicas operatorias, tienen dos etapas fundamentales: la primera la preparación de las disoluciones donde es importante trabajar con mucha precisión para lograr la mayor exactitud de las concentraciones, y así minimizar las fuentes de error. La segunda corresponde a las determinaciones experimentales en el equipo, esta etapa comienza con la familiarización con el funcionamiento del conductímetro, en este caso se debe tener especial cuidado tanto con el control de la temperatura pues la variación puede afectar los resultados, como con el lavado de la celda después de cada medición, ya que es muy sensible.

En la práctica 1 se obtienen valores de conductividad específica (k) en función de la concentración de las disoluciones preparadas (4) para cada electrolito fuerte empleado (cloruro de sodio, acetato de sodio, ácido clorhídrico) y para el electrolito débil (ácido acético). Mientras que en la práctica 2 se realizan determinaciones sucesivas de la conductividad del sistema reaccionante, que permanece a temperatura ambiente, en función del tiempo durante 40 minutos, a otra muestra del sistema reaccionante que se mantiene a 60 °C durante 30 minutos se le mide la conductividad cuando haya alcanzado la temperatura ambiente, dicho valor constituye la conductividad del sistema en el punto final de la reacción. En las Figuras 1 y 2 respectivamente, se ejemplifican los valores experimentales que se obtienen en cada una de las prácticas.

Una vez establecidas las técnicas operatorias se seleccionaron los materiales y reactivos a ubicar en los puestos de trabajo, los mismos aparecen resumidos en la tabla 1.

Tabla 1. Componentes de los puestos de trabajo para las prácticas diseñadas

Práctica 1		
Equipos	Reactivos	Materiales y Cristalería
Conductímetro	Disoluciones de acetato de sodio, cloruro de sodio y ácido clorhídrico 0,5 mol/L Ácido acético glacial Agua destilada	16 volumétricos de 100 mL 1 volumétrico de 250 mL 2 pipetas de 1mL 2 pipetas de 5 mL 4 vasos de precipitado de 100 mL Papel de filtro Frasco lavador
Práctica 2		
Equipos	Reactivos	Materiales y Cristalería
Conductímetro Baño termostático Cronómetro	Disolución estandarizada de hidróxido de sodio, 0,1 mol/L Acetato de etilo Agua destilada	2 volumétricos de 100 mL pipeta de 1 mL probeta de 25 mL 2 probetas de 50 mL 2 vasos de precipitado de 150 mL vaso de precipitado de 10 mL Papel de filtro Frasco lavador

Las orientaciones para el análisis de los resultados y conformación del informe de laboratorio, mediante una secuencia lógica, permiten la organización de los datos experimentales así como el procesamiento de los mismos para cumplimentar el objetivo de cada práctica. Dichas orientaciones contienen tablas, ecuaciones matemáticas y recomendaciones para lograr la comprensión del procedimiento correcto y garantizar que los informes cumplan con las exigencias pretendidas. Se propició además la vinculación con la asignatura Bioestadística que reciben en primer año de ambas carreras. El procesamiento de los datos experimentales y la obtención de los resultados finales se ilustran en las figuras 1 y 2, respectivamente.

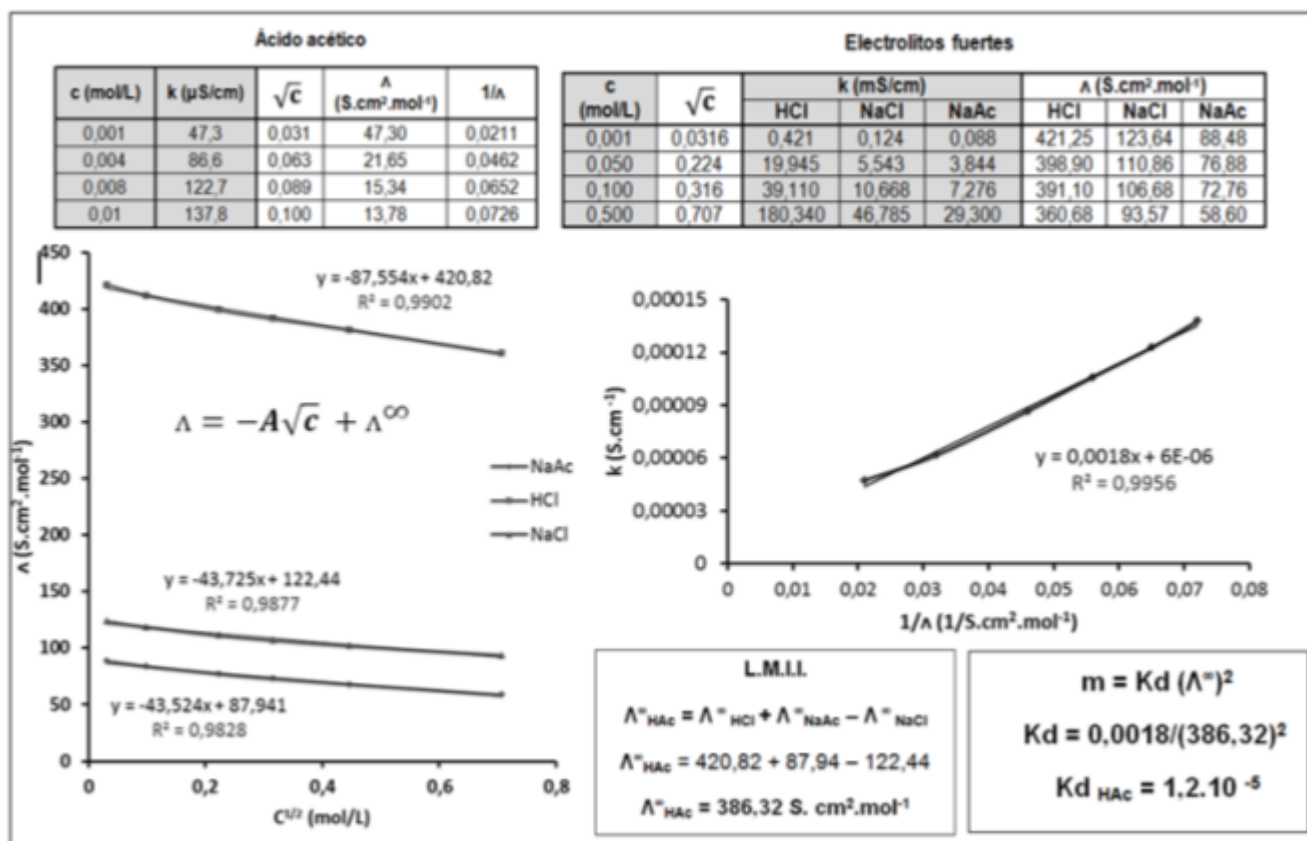


Figura 1. Muestra de procesamiento de datos de la Práctica 1

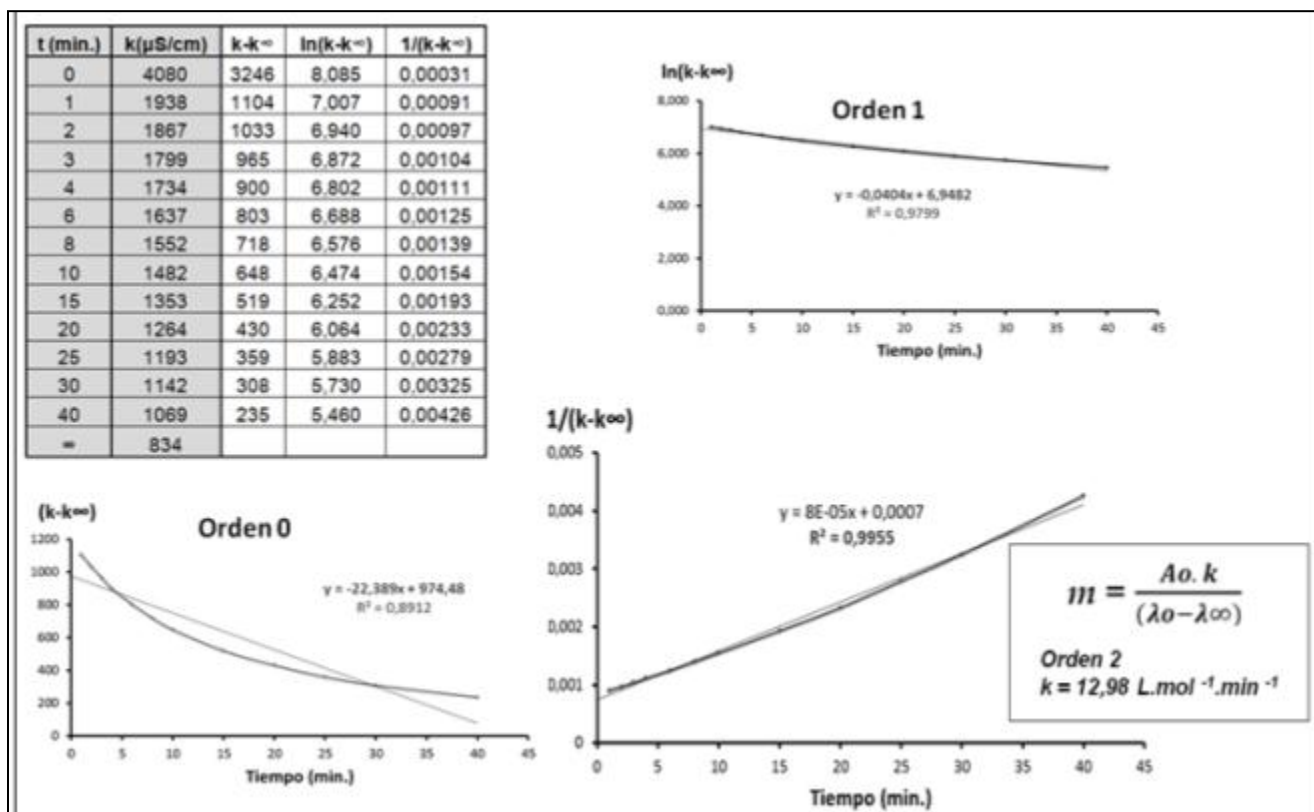


Figura 2. Muestra de procesamiento de datos de la Práctica 2

Las preguntas ubicadas al final de cada práctica resultaron útiles para que el estudiante llegue a conclusiones certeras sobre la técnica realizada y los resultados obtenidos, pudiendo realizar predicciones del resultado a obtener si cambiaran las condiciones experimentales.

En todas las sesiones de laboratorio realizadas se logró la reproducibilidad de los resultados experimentales, los estudiantes acudieron correctamente preparados y trabajaron con precisión y gran independencia tanto en la actividad experimental como en la elaboración del informe final.

Discusión

Lograr que los estudiantes tengan una visión integradora de una Disciplina es un propósito que en ocasiones resulta difícil de alcanzar. Con las prácticas diseñadas, se favoreció este objetivo, pues en la primera práctica se consolidan los contenidos y conceptos del tema relacionado con las medidas de conductividad en disoluciones, que reciben por primera vez los estudiantes en Química Física I.

Posteriormente en la práctica 2 de Química Física II ya se emplea el método conductimétrico como una herramienta para seguir la cinética de una reacción. Por lo que se reafirma el carácter integrador de las ciencias y en particular de estas asignaturas.

Las prácticas que se proponen responden a los objetivos generales de la disciplina Química Física que se plantean en el plan de estudios vigente (Plan D)³, los mismos se relacionan a continuación:

- Desarrollar las capacidades de generalización, análisis y síntesis durante la interpretación de los fenómenos físico-químicos en distintos tipos de sistemas.
- Utilizar los métodos físico-químicos como herramientas para el conocimiento y transformación de la realidad objetiva.
- Explicar el comportamiento de diferentes sistemas sobre la base de las variaciones de sus parámetros físico-químicos más importantes.
- Establecer relaciones cualitativas y cuantitativas entre las variaciones de estos parámetros, aplicando conceptos, leyes y teorías fundamentales de la Química Física.

Por otra parte se observó que de las 17 habilidades que se plantean en el plan de estudio, 4 se cumplen o ejercitan con el desarrollo de estas prácticas.

Sistema de habilidades de la disciplina QUÍMICA FÍSICA Plan D

- Evaluación de las constantes de equilibrio de las reacciones que tienen lugar en las disoluciones diluidas y no diluidas e interpretación de su significado.
- Confección e interpretación de gráficos que permitan evaluar diferentes magnitudes termodinámicas.
- Cálculo de las conductancias específica, molar y molar límite para electrolitos fuertes y débiles.
- Determinación del orden y la constante de velocidad de una reacción, valiéndose de gráficos, así como de las expresiones analíticas, auxiliándose de técnicas de computación.

Adicionalmente se insiste en la necesidad de aplicar los métodos estadísticos al análisis de los resultados experimentales, para lograr una correcta interpretación de los mismos, que también se logra en las prácticas propuestas.

A pesar de que el procedimiento general para la práctica 1 ya existía en el libro electrónico de la asignatura, fue necesario un trabajo experimental para optimizar los pasos a seguir y establecer la técnica operatoria con los nuevos equipos. El fundamento de esta práctica puede describirse de acuerdo a lo siguiente: como plantea el propio título el objetivo de esta práctica es determinar la constante de disociación (K_d) para el ácido acético, que se obtiene a partir de la pendiente en un gráfico de conductividad específica (k) contra el inverso de la conductividad molar ($1/\Lambda$) (Figura 1). Un valor necesario es la conductividad molar límite o a dilución infinita (Λ^∞). Para electrolitos fuertes resulta sencillo determinarla, mediante el intercepto de un gráfico de Λ contra raíz de concentración por tener una dependencia lineal, no así para los débiles donde el comportamiento es asintótico, lo cual se comprueba con la construcción del gráfico indicada en las orientaciones de la práctica. Sin embargo según la Ley de migración independiente de los iones (L.M.I.I.), planteada por Kohlrausch en 1978⁴, se puede calcular este valor para un electrolito débil empleando los electrolitos fuertes adecuados mediante la suma algebraica de sus Λ^∞ respectivas, en este caso el valor para el ácido acético fue de $386,32 \text{ S.cm}^2.\text{mol}^{-1}$. Finalmente se calcula el valor de la K_d $1,2 \cdot 10^5$ el cual está en correspondencia con valores reportados en la literatura⁶.

Los buenos resultados obtenidos conllevaron a diseñar otra práctica de laboratorio en la que se empleara el conductímetro, en este caso fue del tema Cinética química de Química Física II, en dicha práctica se estudia la cinética de la reacción de saponificación de un éster (acetato de etilo) determinando la variación de la conductividad del sistema reaccionante en el tiempo. Si en disolución ocurre una reacción que involucra iones, las concentraciones de éstos varían con el tiempo y, por lo tanto, también variará la conductividad del sistema. En disoluciones suficientemente diluidas se pueden considerar aproximadamente constantes las conductividades iónicas de los iones y, entonces, la variación la conductividad se debe solo a las variaciones de las concentraciones iónicas. Y a través de la determinación la conductividad en función del tiempo se puede seguir la cinética de la reacción. La reacción estudiada en esta práctica es la siguiente:



Dado que a medida que avanza esta reacción la concentración de iones OH^- , de elevada conductividad, va disminuyendo, al ser sustituidos por iones CH_3COO^- , de conductividad moderada, la cinética de la hidrólisis puede seguirse mediante medidas de conductancia, cuyo valor en el sistema reaccionante muestra un acusado descenso al transcurrir el tiempo de reacción. Dentro de los métodos experimentales para estudios cinéticos el que desarrolló se clasifica como método físico, precisamente porque se mide una propiedad física λ (relacionada con la concentración) en el tiempo. Un requerimiento de este método es la determinación del valor de la propiedad física en el punto final de la reacción (λ_∞), necesario para calcular la constante de velocidad mediante la ecuación que aparece en la Figura 2. El procesamiento de los datos se realiza de acuerdo al método integral vía gráfica, por ser el procedimiento más comúnmente realizado y publicado por los investigadores.

Al construir los gráficos en el procesamiento los resultados (Figura 2) se demuestra que los datos se ajustan al modelo de Orden 2, como se reporta en la literatura para este tipo de reacción⁵. A partir de dicho gráfico, específicamente de la pendiente se calcula el valor de la constante de velocidad, en este caso el valor fue de $12,98 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

En ambas prácticas es imprescindible el reporte de la temperatura pues tanto las constantes de equilibrio de disociación como las constantes de velocidad de las reacciones se modifican notablemente con la temperatura, como propuesta futura se pretende incorporar nuevos ensayos a las prácticas para constatar esta dependencia.

Además de las ventajas que proporciona cualquier práctica de laboratorio, como son la integración de asignaturas, la adquisición y perfeccionamiento de habilidades de manipulación, el adiestramiento en el procesamiento de datos experimentales e interpretación de resultados; en este caso se ha logrado una mejor comprensión de los contenidos por los estudiantes así como menos rechazo, es un contenido complejo que se imparte al final del semestre y de esta manera se sienten más motivados.

Se confirma la importancia y significación de las prácticas de laboratorio como forma de enseñanza en las carreras de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Se fundamenta específicamente la necesidad de la experimentación en asignaturas de Química Física, para fortalecer la formación de profesionales competentes. Por otra parte se explica el procedimiento requerido para diseñar y montar una nueva práctica de laboratorio, que cumpla con los parámetros necesarios y se desarrolle satisfactoriamente de manera sistemática. Mejor comprensión de los contenidos por los estudiantes.

Integración de asignaturas. Habilidades en el laboratorio. Procesamiento de datos experimentales e interpretación de resultados.

Se lograron diseñar las prácticas de laboratorio, de manera que las técnicas y procedimientos son factibles así como los resultados reproducibles. Se optimizó el procedimiento requerido para que las nuevas prácticas de laboratorio cumplan con los parámetros necesarios y se desarrollen satisfactoriamente de manera sistemática. Se fundamenta específicamente la necesidad de la experimentación en asignaturas de Química Física, para fortalecer la formación de profesionales competentes. Se recomienda seguir implementando las prácticas diseñadas en los próximos cursos.

Referencias Bibliográficas

1. Alfonso I., Canfux V., Castellanos AV., Corral R., González M., González V. et al. Tendencias pedagógicas en la realidad educativa actual. Tarija-Bolivia: Universidad Autónoma Juan Misael Caracho. 2000.
2. Vidal G. El enfoque histórico cultural y de la actividad como concepción del proceso de enseñanza-aprendizaje. Facultad de Química. Universidad de la Habana. 1998: 10-11.
3. Ministerio de Educación Superior. Universidad de la Habana. Plan de Estudio D. Carrera de Licenciatura en Ciencias Farmacéuticas. Curso regular diurno, 2008: 103-112.
4. Y. Martínez, R. Hernández, R. Ortiz. Prácticas de electroanalítica. Parte I Conductimetría y Potenciometría. Universidad de los Andes Facultad de ciencias Departamento de química Laboratorio de Análisis instrumental. Mérida, 2006: 5-10.
5. J.J. Ruiz Sánchez, J.M. Rodríguez Mellado, E. Muñoz Gutiérrez, J.M. Sevilla Suárez de Urbina. Curso experimental en Química Física. Síntesis, 2003.
6. M., Díaz Peña, A., Roig Muntaner. Química Física. Alhambra 1988, (II): 961.