

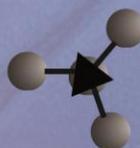
Clicap 2015

Congreso Latinoamericano
Ingeniería y Ciencias Aplicadas

15, 16 y 17 de abril de 2015
SAN RAFAEL - MENDOZA - ARGENTINA



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE CIENCIAS
APLICADAS A LA INDUSTRIA

CLICAP 2015 : Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas /
Alicia Lucia Ordoñez ... [et.al.] ; con colaboración de Cecilia Adriana
Flores y Mónica Beatriz Barrera ; coordinado por Alicia Lucia Ordoñez. - 1a ed. -
San Rafael; Mendoza : Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria : Universidad Nacional de
Cuyo, 2015.
E-Book.

ISBN 978-987-575-119-4

1. Ingeniería. 2. Congresos. I. Ordoñez, Alicia Lucia II. Flores, Cecilia Adriana, colab. III.
Barrera, Mónica Beatriz, colab. IV. Ordoñez, Alicia Lucia, coord.

CDD 620.007

Fecha de catalogación: 17/03/2015

**CLICAP 2015 : Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria
San Rafael, Mendoza, Abril de 2015.**

Coordinadora: Dr. Ing. Alicia Lucía Ordóñez

Colaboradores: Prof. Mónica Beatriz Barrera, Ing. Cecilia Adriana Flores

San Rafael, Mendoza, 1ª Edición 2015.

ISBN: 978-987-575-119-4
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria
Bernardo de Irigoyen 375, 5600. San Rafael, Mendoza, Argentina

11TCE - EL LABORATORIO DE FÍSICA FUERA DEL AULA UNIVERSITARIA

LUCERO, I.; RODRIGUEZ AGUIRRE, J.M.

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura
Departamento de Física, Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.
irmairene2005@yahoo.com.ar**

Resumen

El trabajo presentado es un ejemplo de incorporación de las simulaciones de fenómenos físicos para la realización de prácticas de laboratorio en ambiente virtual, como otra alternativa para el aprendizaje. Es una propuesta pensada para ser trabajada en forma colaborativa y domiciliaria. Se busca no sólo el aprendizaje de los fundamentos que sustentan experimentos históricos de la física moderna, sino fortalecer el tratamiento y análisis de datos experimentales, que es una de las actividades cruciales en la enseñanza del laboratorio en física. La incorporación de TIC a las propuestas de aprendizaje generan que el aula se extienda por fuera de las paredes, pudiendo trabajar en otros entornos y en colaboración entre pares y con el docente tutor.

1. Introducción

Ya está instaurado en el ámbito de la enseñanza de la Física que las nuevas tecnologías de la información y comunicación (TICs) son un recurso actual que puede actuar como instrumento de mediación en el proceso de enseñanza- aprendizaje, siempre que sea incorporado con enfoques adecuados y dentro de secuencias didácticas pensadas responsable y críticamente (Lucero, 2009). Estas tecnologías posibilitan nuevos entornos para llevar adelante el proceso enseñanza- aprendizaje.

La asignatura Física atómica del 2º año de las carreras de Ingeniería Eléctrica y en Electrónica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura de la UNNE, desarrolla los contenidos que se conocen habitualmente como *física moderna*. Es un curso cuatrimestral organizado en dos clases semanales de 2 horas cada una, dado que la carga horaria es de 4 horas de acuerdo al diseño curricular de la carrera. De las cuatro horas se destinan 3 a las clases teóricas, 1 para clases prácticas de problemas y 2 horas extras, no obligatorias, para consultas presenciales. El escaso horario presencial, frente a las otras asignaturas de física de la carrera y la importancia de poder desarrollar con calidad los contenidos del programa llevó al principal cuestionamiento pedagógico ¿qué hacer para que el escaso tiempo presencial no sea un impedimento al desarrollo de un curso básico de física moderna con adecuado nivel universitario para una carrera científica-tecnológica? Por otra parte, la escasa presencialidad áulica hace que los estudiantes deban trabajar de una manera más autónoma, autogestionando su estudio con las herramientas que se llevan de las clases presenciales.

Este escenario generó la búsqueda de soluciones a la problemática y es así que se pensó en traspasar las paredes del aula para continuar con el proceso de enseñanza- aprendizaje y el entorno virtual permite perfectamente esta situación. Utilizar rasgos de la educación a distancia como apoyo a la presencialidad se presenta como una opción útil e innovadora ante esta cuestión.

Para ello se trabaja con el *aula virtual de Física atómica*, administrada desde el Programa UNNE virtual de la universidad que funciona en el entorno de la plataforma educativa y la misma está pensada como un ambiente de comunicación fluida con el profesor y entre pares, de repositorio de materiales y de trabajo individual y colaborativo.

Los contenidos del programa de Física atómica están organizados siguiendo la línea de tiempo de los diferentes experimentos y fenómenos que se dieron en el siglo XX y que son el basamento de la física cuántica, la nuclear y la de partículas. Desde la cátedra se considera importante el enfoque histórico en la presentación de estos contenidos y es por ello que algunos de los experimentos cruciales de la física moderna se abordan, no sólo por su importancia histórica, sino como contenidos para el aprendizaje de técnicas de laboratorio y tratamiento de datos experimentales. Se contaba en la institución con los dispositivos para realizar algunos de los experimentos importantes de la física moderna como: determinación de e/m con uso de tubo de rayos catódicos, el experimento de Millikan de la gota de aceite, el experimento de Frank y Hertz. Son equipos comprados en tiempos pasados, que se fueron deteriorando y hoy no están en condiciones de ser usados; por otra parte, el diseño curricular de la carrera ya no incorpora para esta Física la modalidad laboratorio como obligatoria para el desarrollo de las clases, en virtud de la escasa carga horaria presencial atribuida. (Res.3390 y 3391/12 CS, 2012, p8).

Desde la enseñanza de la Física se sabe bien que el carácter experimental de la misma no puede dejarse de lado, por lo que en esta cátedra se piensa que es necesario incorporar el pensamiento experimental en el desarrollo de los contenidos de alguna manera. Es por ello que se pensó en utilizar el entorno virtual para poder llevar a cabo algunos experimentos, trabajando con simulaciones que sean de uso gratuito en la web y puedan ser disponibles para el alumno fuera del aula universitaria.

El trabajo que aquí se presenta, se corresponde con uno de los laboratorios en entorno virtual que se diseñaron para la asignatura *Física atómica*. Este práctico forma parte de las secuencias didácticas educativas con apoyo de TIC que se están diseñando para cursos de física básica universitaria y para escuelas secundarias, en el marco del Proyecto de investigación "*Universidad y Escuela Secundaria mancomunadamente por la enseñanza – aprendizaje de la Física*" (F005, subsidiado por SGCyT, UNNE).

Este proyecto tiene por objetivo general generar secuencias didácticas con apoyo de TIC, que son probadas en las aulas universitarias y secundarias para conformar material de apoyo a docentes que enriquezca la literatura en Didáctica de la Física.

2. Objetivo

En este trabajo se pretende mostrar el desarrollo del experimento de Millikan de la gota de aceite, trabajando en un entorno virtual y de manera colaborativa entre los estudiantes.

3. Marco teórico

Ya en 1997 la Asociación Americana de Profesores de Física (American Association of Physics Teachers) en el documento de declaración política referido a los Objetivos de los laboratorios en las física básicas estableció que las clases de laboratorio son espacios en los que el alumno puede desarrollar un vasto número de destrezas y herramientas de la física experimental y del tratamiento de datos, manejar conceptos básicos, entender el papel de la observación directa en Física y distinguir entre las inferencias que se

realizan a partir de la teoría y las que se realizan a partir de la práctica, analizar datos para llegar a explicaciones o determinar parámetros físicos buscados.

El estudio de los abordajes experimentales de fenómenos cruciales de la historia de la física revela cómo las personas de ciencia se involucran, dudan, formulan hipótesis que son probadas empíricamente, para luego elaborar modelos explicativos del fenómeno estudiado. Es una actividad humana en la que se avanza y se vuelve hasta encontrar consensos y resultados que convengan a la comunidad científica.

Los entornos virtuales para el aprendizaje son un recurso que ya no puede obviarse en el siglo XXI en cualquier nivel educativo. Es así que hoy día las clases de laboratorio pueden desarrollarse de dos modalidades (Lucero y otros, 2005)

- I. **El laboratorio Real (LR).** Los trabajos se desarrollan de manera que el alumno esté en contacto físico con los elementos, dispositivos e instrumental requeridos para la experiencia, manipularlos y tomar mediciones.
- II. **El laboratorio Virtual (LV).** Las actividades propuestas para el trabajo de laboratorio pueden ser encaradas mediante simulaciones interactivas programadas en una PC, sin contacto físico con los elementos del laboratorio.

Generalmente la simulación muestra un determinado fenómeno permitiendo modificar algunos parámetros del mismo y visualizar qué pasa. No siempre está diseñada como un dispositivo para hacer mediciones y luego trabajar con las series de datos relevados, sin embargo eso es posible si se diseñan adecuadamente las actividades a proponer a los estudiantes. Muchas simulaciones pueden ser usadas como un dispositivo experimental virtual donde pueden levantarse series de valores medidos y luego, después del tratamiento dado a los datos, obtener algún parámetro físico importante.

Hay que reconocer que una simulación no es el fenómeno real y por ende no se trata del experimento real sino que detrás de ella está un modelo con el cual el programador decidió representar al fenómeno y para el cual utilizó herramientas de cálculo numérico que muchas veces dan resultados aproximados. Las experiencias virtuales de ninguna manera podrán reemplazar a las reales pero sí pueden ser complementarias.

El uso de simulaciones es útil cuando no se puede acceder a la experimentación directa por riesgo elevado o falta de presupuesto y/o equipamiento adecuado, o cuando se precisa un mayor número de determinaciones experimentales con menor costo y menor nivel de contaminación. La simulación cobra entonces importancia como recurso didáctico. "El carácter ubicuo del trabajo en los entornos virtuales, con una PC conectada a internet, permite producción y consumo de contenidos en cualquier lugar, facilitando el trabajo dentro y fuera de la clase" (Sagol, 2011, p11), promoviendo aprendizajes autónomos.

Pensar un práctico de laboratorio como fuera del aula, sin la presencia del docente requiere de un diseño didáctico adecuado a la educación a distancia, donde debe ponerse especial cuidado en el material didáctico, de forma tal que el receptor pueda interpretar los contenidos e instrucciones para que pueda autogestionar su aprendizaje. La complejidad de la relación docente alumno a distancia necesita, por parte del emisor generador de los materiales, que éstos sean diseñados cuidadosamente "*para suplir las carencias que genera la falta de presencialidad*" (Grau, 2008, p8).

Este diálogo a través de los materiales debe ser suficiente para que el alumno logre realizar las tareas y reflexiones que le llevarán a producir el informe del trabajo experimental que ha realizado y, en el cual deberían quedar plasmados sus aprendizajes.

4. Propuesta didáctica

El práctico que aquí se propone es el de la determinación de la carga eléctrica del electrón, como carga elemental, por medio de una simulación que recrea el experimento de la gota de aceite de Millikan, que figura en la página del Curso Interactivo de Física en Internet “Física con Ordenador” de Angel Franco García del Departamento de Física Aplicada I de la Universidad del País Vasco en España, cuya dirección URL es: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/millikan/millikan.html>

Lo que se pretende es usar este entorno virtual, no sólo para aprender el procedimiento del experimento, sino para realizar las mediciones correspondientes y obtener el valor de la carga elemental, poniendo énfasis en el tratamiento e interpretación de los resultados como un cuerpo coherente de valores que apunten a ilustrar el concepto de la cuantización de la carga.

El laboratorio fue pensado como un trabajo colaborativo y domiciliario a desarrollar en pequeños grupos de estudiantes que se vinculan entre sí, con el profesor y con los materiales de estudio, por medio del aula virtual de la cátedra que funciona con la plataforma e-ducativa del programa UNNE virtu@l. En el aula se depositan los materiales de estudio y se generan espacios de trabajo como los foros y la wiki, que permite la elaboración de documentos colaborativos.

El experimento de Millikan se basa en el movimiento de una pequeña gota de aceite cargada eléctricamente en un fluido viscoso por acción del campo gravitacional y un campo eléctrico. Tal es así que por medio de conocimientos básicos de dinámica, fuerza eléctrica y viscosidad es posible deducir la carga presente en la gota, que puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$q = \frac{6\pi}{E} \sqrt{\frac{9\eta^3}{2\delta g}} \sqrt{v_g} (v_E + v_g) \quad (1)$$

La simulación representa un pulverizador, que luego de ser accionado deja caer la gota, que ingresa por un pequeño orificio en las placas del condensador eléctrico y puede moverse entre ellas. Las placas están conectadas a una fuente de alimentación, el interruptor se cierra para activar el campo. Puede visualizarse el movimiento de la gota de aceite entre las placas del capacitor, en caída (por acción gravitacional) y en subida (cuando se activa el campo eléctrico). Un cronómetro mide los tiempos.

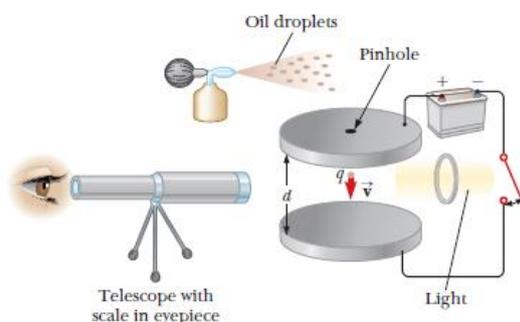


FIGURA 1 Esquema del dispositivo real

Fuente: scaneo de Serway- Vuille. College Physics-p 531

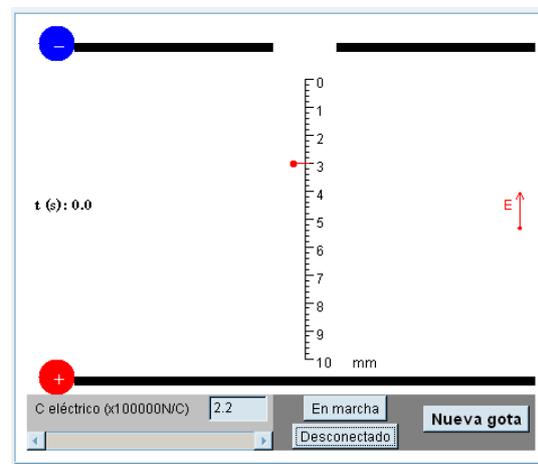


FIGURA 2 Esquema del dispositivo virtual

Fuente: captura de pantalla de la simulación

En la ventana de la simulación están representadas las placas del condensador y la polaridad de las mismas cuando se conecta a la fuente de alimentación; esto se hace pulsando el botón Conectado. La ventana inferior izquierda permite introducir el valor del campo eléctrico que se quiere generar entre las placas del capacitor. El comando Nueva gota permite introducir la gotita de aceite entre las placas y se visualiza su movimiento descendente (movimiento gravitacional en un fluido) pudiendo medirse la distancia recorrida por medio de la escala graduada vertical (que representaría al micrómetro en el microscopio de observación). Al pulsar el botón en marcha se activa el cronómetro en el lado izquierdo de la pantalla, mide los tiempos a la décima de segundos; el botón parar detiene el cronómetro. Con el comando conectado se genera el campo eléctrico entre las placas del capacitor. Los datos de las constantes necesarias en este trabajo son:

densidad del aceite $\delta = 800 \text{ kg/m}^3$, viscosidad del aire $\eta = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(ms)}$.

La teoría que fundamenta el experimento muestra que la gota cae y sube con velocidad constante v_g y v_E por lo que es posible medir el tiempo que tarda la gotita en recorrer una distancia fija para poder obtener esas velocidades y luego obtener la carga por la ecuación (1). Para que el experimento tenga sentido es necesario determinar la carga de “muchas” gotas y para minimizar errores, también es importante medir los tiempos de caída y subida de una misma gota por lo menos 6 veces, para, con el promedio de esos tiempos, hacer la determinación de las velocidades. Acostumbrarse a manipular la simulación, sumado a la lectura del cronómetro y el registro correspondiente es una actividad que lleva su tiempo, y poder realizar las mediciones con precisión. Dado que se necesitan muchas gotas para tener los valores necesarios que permitan hacer un tratamiento de datos coherente, es que se trabaja en forma colaborativa, de modo que cada estudiante (una vez familiarizado con el entorno) solo haga las mediciones para tres gotitas diferentes, de modo que no le resulte “repetitiva y aburrida” la toma de datos.

Los alumnos trabajan colaborativamente en grupos de 20 estudiantes, pudiendo acceder cada grupo a su documento colaborativo en el aula virtual donde cargan los valores medidos por cada uno. Las instrucciones para trabajar las tienen en la guía didáctica diseñada para tal fin que se encuentra en el depósito de archivos del aula virtual (no se anexa por razones de espacio). La guía contiene en forma explícita y ordenada todas las instrucciones y cuidados para la realización del trabajo, el fundamento teórico mínimo y la forma en que deben procesarse los datos. Por otra parte, se habilita un foro para el grupo donde se intercambia entre los pares y con el docente, las inquietudes, inconvenientes, dudas y apreciaciones personales del proceso de realización del práctico.

Los estudiantes de cada grupo deben cargar tres líneas de cada una de las planillas colaborativas que confeccionan en la wiki, después de tomar los tiempos de caída y subida de tres gotitas diferentes. Las planillas tiene la siguiente forma:

| N | $E \cdot 10^5$ (N/C) | t_g (s) | | | | | | t_E (s) | | | | | | $\langle t_g \rangle$ (s) | $\langle t_E \rangle$ (s) |
|---|-------------------------|--------------|--|--|--|--|--|--------------|--|--|--|--|--|------------------------------|------------------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | |

TABLA 1 Registro de los tiempos de caída y subida

| N | $E \cdot 10^5$ (N/C) | $\langle t_g \rangle$ (s) | $\langle t_E \rangle$ (s) | v_g (m/s) | v_E (m/s) | Q (Coul) |
|---|-------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------|----------------|-------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |

TABLA 2 Cálculo de velocidades y carga eléctrica

Las planillas quedan completas cuando la totalidad de alumnos cargan los valores tomados y entonces recién allí están en condiciones de procesar los datos y realizar el informe correspondiente.

El procesamiento de datos que se realiza es una adaptación del que aparece en bibliografía específica sobre el experimento de Millikan (Eckert et al., 2012; Heering y Klassen, 2010; Pearson, 2005).

4.1 Resultados del práctico experimental

Se aprecia que los valores obtenidos de las cargas no necesariamente se corresponden con la carga elemental; es decir que la simulación permite calcular la carga de la gota, pero no demostrar la cuantización de la misma. Esta cuestión podrá hacerse según la interpretación dada a los valores medidos. Aquí se presentan las gráficas obtenidas con los datos recogidos de 60 gotitas. Al graficar $Q = f(N)$ se obtiene la siguiente gráfica:

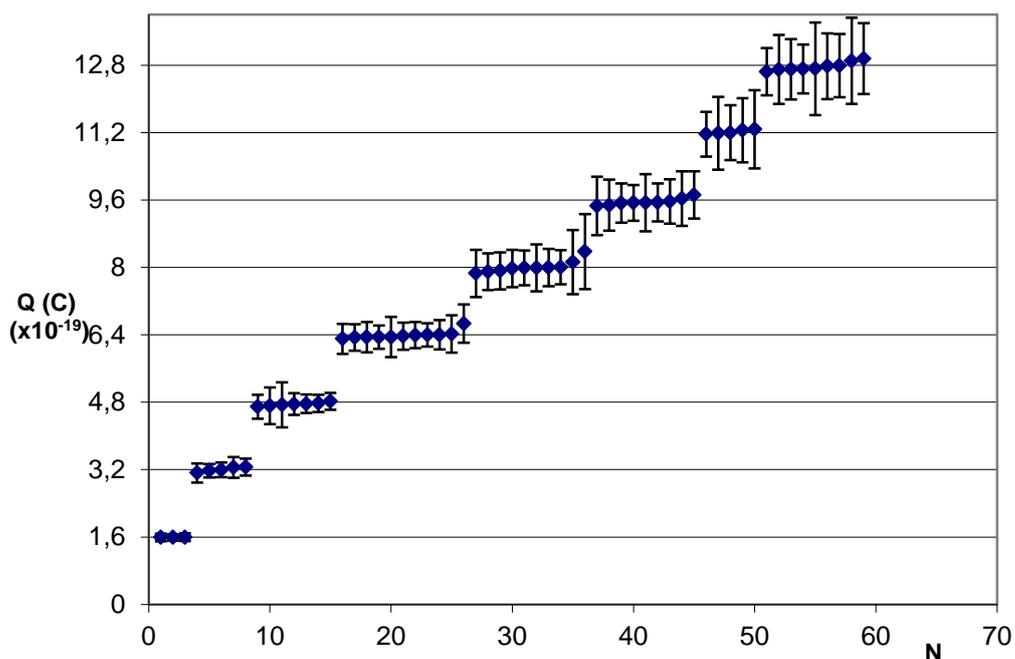


FIGURA 3 Gráfica de carga en función del número de medición

Puede verse que todos los valores de las cargas se acomodan de tal forma que quedan acomodados alrededor de líneas horizontales. El primer análisis que se hace es ver cuál es el valor entre los escalones consecutivos de líneas horizontales, que estaría indicando una unidad de carga elemental. Para ello se toma el promedio de los valores de carga alineados horizontalmente Q' y con esos valores se hace la diferencia entre valores consecutivos. Precisamente esas diferencias se corresponden prácticamente con el valor de carga elemental, tal como puede verse en la siguiente tabla

| N | Q' (C) Valor promedio de cada conjunto | ΔQ (C) Diferencias entre valores consecutivos |
|---|---|--|
| 1 | 1,5923E-19 | 1,60759E-19 |
| 2 | 3,19989E-19 | 1,55073E-19 |
| 3 | 4,75062E-19 | 1,61476E-19 |
| 4 | 6,36538E-19 | 1,60695E-19 |
| 5 | 7,97232E-19 | 1,5819E-19 |
| 6 | 9,55423E-19 | 1,6601E-19 |
| 7 | 1,12143E-18 | 1,55097E-19 |
| 8 | 1,27653E-18 | $\langle \Delta Q \rangle = e' = 1,59614E-19$ C |

TABLA 3 Valor promedio de cada conjunto de cargas

El promedio de las diferencias es una primera aproximación a la carga elemental. En la gráfica al poner como unidad de medida del eje de ordenadas a la carga elemental, se aprecia perfectamente como los valores se aproximan a los múltiplos enteros de la carga elemental: e , $2e$, $3e$, etc. Al estar indicadas la barra de error en cada determinación, pueden verse los valores que fueron medidos con mayor imprecisión. Un último análisis de datos posibles que lleve mostrar la cuantización de la carga y su valor elemental es representar $Q' = f(N)$ asumiendo la hipótesis de que cada carga es múltiplo de e , $Q' = e \cdot N$; por regresión lineal se calcula la pendiente que estaría dando el valor de la carga elemental.

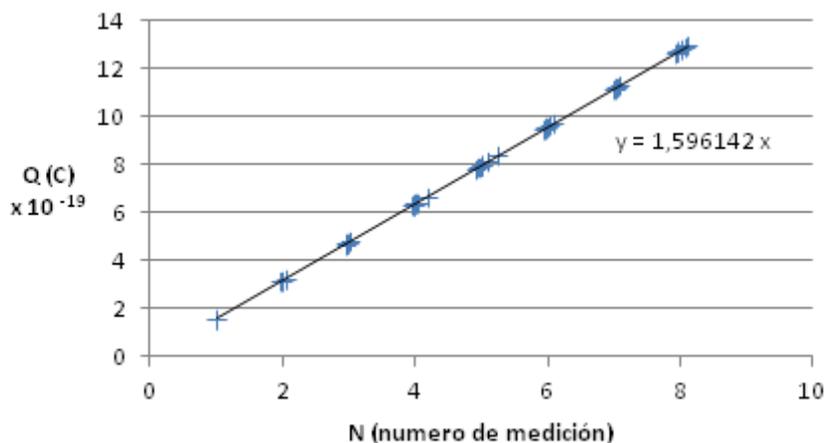


FIGURA 4 Gráfica de Q' en función de N

5. Metodología

Estas propuestas didácticas son probadas en las aulas y a efectos de “medir” su potencialidad para favorecer los aprendizajes, se analizan algunas variables didácticas en los informes y evaluaciones parciales que se toman como instrumentos de recolección. El informe presentado del práctico experimental virtual es la principal fuente de datos. Se analizan allí las siguientes categorías: identificación de variables relevantes, fundamentos del experimento, tratamiento de datos. Los parciales de la asignatura también incluyen actividades a resolver que permiten medir estas mismas categorías. El nivel de logro de respuestas correctas es una medida del aprendizaje realizado. La coherencia interna del informe del práctico y las consultas realizadas en el aula virtual, son tomados como indicadores para monitorear la calidad del material didáctico diseñado como elemento para la autogestión del aprendizaje. En la encuesta final de asignatura se recoge información cualitativa que permite conocer las apreciaciones de los alumnos ante este tipo de actividades.

6. Conclusiones y perspectivas didácticas

Conocer los experimentos cruciales de la física permite al alumno tomar conciencia de los modos en que los científicos generan el cuerpo de teorías científicas.

Las experiencias virtuales de ninguna manera podrán reemplazar a las reales pero sí pueden complementar a las clases de problemas y de laboratorio real. Aquí, este tipo de prácticas permiten ampliar las posibilidades de aprendizaje apoyando a la escasa presencialidad aúlica.

Si bien este práctico se ha implementado en la última cursada recientemente, el análisis general de los informes, y las escasas consultas en el aula virtual muestran que la autogestión del aprendizaje ha sido lograda. Como esta modalidad de laboratorios virtuales domiciliarios ya se viene implementando paulatinamente, con otros contenidos, las respuestas de los estudiantes en la encuesta final son alentadoras, por ejemplo: “*no tuvimos dificultades para hacer los laboratorios*”, “*la guía nos sirvió ...*”. Un resultado que consideramos importante destacar es que ya son muy pocos los informes que deben ser devueltos para rehacer, el tratamiento de datos que siempre tenía dificultades, ya va siendo superada. Las preguntas conceptuales en el informe, son respondidas correctamente.

Trabajar colaborativamente no sólo para evitar “lo aburrido” pero necesario de la toma de datos, sirvió para comprender y valorar el trabajo en equipo que se da muchas veces dentro de la comunidad científico-técnica, donde equipos de investigadores de diferentes lugares se abocan en un mismo proyecto al estudio de un fenómeno, compartiendo tareas y mediciones experimentales realizadas en diferentes lugares.

La simulación elegida aquí es interesante porque permite trabajar el fenómeno con la misma lógica que si se lo abordara experimentalmente con la experiencia real. Las simulaciones funcionan como recurso didáctico que contribuyen a que el estudiante pueda seguir entrenándose para pensar con la “lógica de la física”, donde la realidad debe dar cuenta de lo que enuncian las leyes.

7. Bibliografía

American Association of Physics Teachers 1997. The goal of introductory physics laboratory. Documento de declaración política, disponible en www.aapt.org/Resources/policy/goaloflabs.cfm (consulta el 6/12/2014)

- Grau, J. (2008). Curso: La educación virtual en la enseñanza universitaria. Módulo 4: Diseño y producción de materiales EAD. UNNE virtu@1. Editorial fundec.
- Eckert, S.; Gröber, M.; Vetter, M.; Hans-Jörg J. (2012). Millikan's oil-drop experiment as a remotely controlled laboratory. *Eur. J. Phys.* 33: 1227-1233
- Franco García, A.(2010). Curso Interactivo de Física en Internet "Física con Ordenador" Departamento de Física Aplicada I de la Universidad del País Vasco en España. Disponible en <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/millikan/millikan.html> (última visita 10/12/2014)
- Lucero, I., Meza, S.; Aguirre, M. S. (2005). Uso de simulación en física. *LatinEduca*. Segundo Congreso Latinoamericano de Educación a distancia. En <http://www.latineduca2005.com/latineduca2005/index.htm> (consulta 6/6/2006)
- Lucero, I. (2009). El laboratorio virtual en prácticas de física moderna. Primeras relatorías de experiencias pedagógicas con aplicación de nuevas tecnologías. Facultad de Humanidades. Universidad Nacional del Nordeste.
- Heering, P.; Klassen, S. (2010). Doing it differently: attempts to improve Millikan's oil-drop experiment . *Physics Education*. 45(4): 382-393
- Pearson, E. (2005). Revisiting Millikan's Oil-Drop Experiment. *Journal of Chemical Education*.82(6): 851-854
- Res.3390 y 3391/12 CS. (2012). Diseño Curricular de Ingeniería eléctrica y en electrónica.UNNE.
- Serway, R.; Vuille,C. (2010). *College Physics* 9 edición.Boston. Brooks/Cole
- Sagol, C. (2011). El modelo 1 a 1: notas para comenzar. 1a ed. Buenos Aires. Ministerio de Educación de la Nación.