

La enseñanza por proyecto en el proceso de enseñanza y aprendizaje de ingenieros automáticos

(Teaching through project in the teaching-learning process of automatic engineers)

Daniel Sabín-Díaz¹, Aris Quintana-Nedelcos², Abel Fundora-Cruz³ y Gilda Vega Cruz²

¹Departamento de Automática, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de la Habana, Cuba

²Departamento de Física, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de la Habana, Cuba

³Departamento de Materiales, Instituto de Materiales para la Electrónica, Ciudad de la Habana, Cuba

Recebido em 8/6/2009; Revisado em 5/1/2010; Aceito em 21/1/2010; Publicado em 17/1/2011

Se muestra una experiencia desarrollada en el Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, con estudiantes de la carrera de Ingeniería Automática. Se desarrolló por parte de los estudiantes un proyecto con características de asignatura integradora, donde tuvieron que ser capaces de afrontar una tarea con elementos recibidos a partir de un variado número de asignaturas, que según la experiencia de años anteriores muestra que los estudiantes no ven las conexiones entre ellas, de esta forma se potencia la visión de interdisciplinariedad además de adentrarlos en elementos de nanotecnología, altamente motivador por su actualidad. Se presentan las ventajas de haber realizado esta experiencia según los propios estudiantes.

Palavras-chave: experiencia en PBL, circuito *Sawyer-Tower*, proyecto integral.

An experience developed in the Polytechnic Superior Institute “José Antonio Echeverría”, with the Automatic Engineering career students is shown. A project with an integrating characteristic subject was put into practice by the students, where they had to be able to face a task with elements studied in different subjects. According to the experience of previous years, the students do not see clearly the connections among the subjects considered. In this way an interdisciplinary vision is emphasized besides presenting the up-to-date highly motivating nanotechnology elements. Advantages of this experience are presented by the students themselves.

Keywords: PBL experience, *Sawyer-Tower circuits*, integrating project.

1. Introducción

Un gran número de universidades y centros educacionales de diferentes niveles, no importa el país a que pertenezcan, se enfrentan hoy día con problemas comunes. El significativo aumento de la matrícula, la deficiente preparación que presentan los egresados de nivel medio pre-universitario, la heterogeneidad de los nuevos ingresos en las universidades, que viene a complicar aún más el diapasón de deficiencias de estos, las habilidades profesionales que demanda la industria de los nuevos licenciados e ingenieros, son algunos, y quizás los más significativos de estos problemas; que ya han tomado la atención de un número, cada vez mayor de personas, comprometidas con el proceso educacional a partir de las nuevas demandas.

Hoy día, se han reportado en la bibliografía, diferentes experiencias desarrolladas en un gran número de países y universidades, que han intentado superar las deficiencias del sistema tradicional de enseñanza, a

partir de introducir nuevos modelos pedagógicos. Estos basan su éxito en el aprovechamiento de procesos cognitivos, inherentes del ser humano, a favor del proceso de aprendizaje por parte del estudiante. Entre estos encontramos algunos conceptos educacionales como “aprender descubriendo”, “aprender haciendo”, “aprender experimentando” y “aprendizaje centrado en el estudiante” [1-3], que claramente sugieren el aprovechamiento de características humanas como la curiosidad y la autodeterminación, entre otras. Entre los promotores de estas ideas destacamos a Dewey, con su teoría de “Aprender Haciendo”, y a Killpatrick, al que se le considera como el padre de la pedagogía en base a proyectos (PBL, las siglas provienen del inglés Problem Based Learning) [4].

El Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, se ha propuesto elevar el nivel de sus egresados, donde se incluyan a partir de algunos de estos modelos, potenciar habilidades en los estudiantes que no sería posible lograrlo a partir del modelo pedagógico

³E-mail: danielsabin2005@yahoo.es.

tradicional. Para esto promovemos el uso de los laboratorios como apoyo al proceso de enseñanza y aprendizaje en las carreras de ingeniería. Tal y como se sugiere por varios autores, enfatizando su aprovechamiento en las nuevas tecnologías de la información, en particular laboratorios remotos y virtuales como podemos ver en [5-9]. Además se toman algunos elementos propios del modelo de enseñanza PBL, aquí debemos destacar que la experiencia que se muestra, aunque inspirada en este tipo de aprendizaje, mantiene muchos elementos de la enseñanza tradicional, como parte de una estrategia de migración a otros modelos de enseñanza.

En el modelo de aprendizaje PBL, se han identificado para los principales principios del aprendizaje tres marcos referenciales fundamentales: aprendizaje-contenido-social [10].

- El marco del aprendizaje: como aprendizaje basado en problema o proyecto, significando que el aprendizaje está organizado alrededor de problemas, siendo este el argumento principal para el desarrollo de la motivación. El problema marca el punto de partida del proceso de aprendizaje.

- El marco del contenido: concierne específicamente al aprendizaje interdisciplinario, donde se pueden emplear métodos tradicionales.

- El marco social: es el aprendizaje basado en equipo, se entiende el proceso de aprendizaje como un acto social, mientras el aprendizaje se desarrolla a través del diálogo y la comunicación, donde los estudiantes no solo aprenden unos de otros, sino que también aprenden a compartir el conocimiento y a organizar el proceso del aprendizaje en colaboración mutua.

El objetivo principal de este trabajo es que los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Automática vinculen una gran cantidad de asignaturas que reciben durante la carrera y que aumenten el conocimiento de las nuevas tecnologías, con proyectos, en nuestro caso en el campo de la física, específicamente en el campo de los materiales ferroeléctricos. Para cumplir con lo anterior los estudiantes deben cumplir con los objetivos específicos siguientes:

- Implementación del circuito *Sawyer and Tower* modificado para la medición del lazo de histéresis en capas delgadas ferroeléctricas.

- Diseñar un sistema de adquisición de datos para la obtención en una PC del lazo de histéresis.

- Diseñar una aplicación *SCADA* (Supervisory Control And Data Acquisition), para la obtención de las mediciones en la PC.

En la sección 2 se introduce el tema de estudio, algunos conceptos importantes y algunas características de los materiales tratados, el circuito eléctrico con sus elementos. En la sección 3 se presentan las diferentes etapas en las que se divide el proyecto, según los niveles de conocimientos relacionados a cada una. En la sección 4 se muestran algunas opiniones y resultados obtenidos a partir de estudiantes que realizaron el proyecto. La

sección 5 para las conclusiones.

2. Característica de los materiales ferroeléctricos y del circuito *Sawyer-Tower*

Es necesario destacar que un material es ferroeléctrico si su dependencia de la polarización (P) con el campo eléctrico externo aplicado, tiene la forma de un lazo cerrado, conocido como lazo de histéresis [11] como se muestra en la Fig. 1.

De la Fig. 1 podemos ver que para un mismo valor de campo eléctrico aplicado a la muestra se tienen dos puntos distintos para la polarización del material. Explicaremos más detalladamente esta idea por su importancia. Si le aplicamos a la muestra un campo eléctrico E partiendo del punto A y luego aumentamos el campo eléctrico hasta un punto B y lo comenzamos a disminuir llegamos al punto C. De esta forma vemos que el material queda con una polarización remanente sin aplicarle campo eléctrico. Si continuamos el análisis y le aplicamos un campo eléctrico en sentido contrario vemos que llegaremos a un punto D donde no existe polarización del material y luego hasta un punto E. A partir de aquí comenzamos a disminuir el campo eléctrico aplicado y llegamos al punto F, punto en el que no hay campo eléctrico aplicado y sin embargo tenemos una polarización remanente. Si aumentamos nuevamente el campo eléctrico llegamos al punto G sin polarización y luego al B nuevamente.

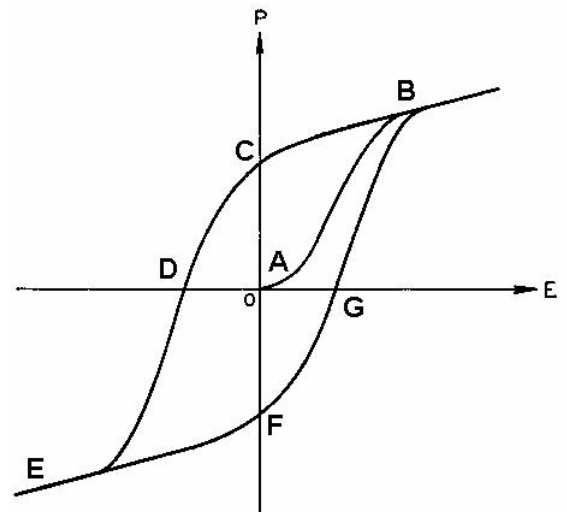


Figura 1 - Lazo de histéresis en películas delgadas de material ferroeléctrico.

Hay dos puntos en este gráfico muy importantes que son los puntos C y F, notemos que estos puntos no tienen aplicado ningún campo eléctrico sin embargo el material quedó polarizado. Esto es muy importante porque tenemos un mismo material que de acuerdo al campo eléctrico que le apliquemos nos dará una información u otra. Es decir, podemos guardar información.

Esta característica es muy parecida a la característica de los materiales ferromagnéticos que componen los discos duros de las computadoras que todos utilizamos.

Como sabemos toda la información que se guarda se hace en forma de ceros y unos, en este gráfico tenemos entonces bien definidos para una misma condición de campo eléctrico dos puntos distintos en C y F que pueden representar el 0 y el 1 lógico. Si podemos formar arreglos con estos materiales, podremos guardar grandes cantidades de información en pequeños espacios.

De esta forma se presenta a los estudiantes los elementos que les permitan entender la actualidad científica del estudio de estos materiales, y usarlo como motivación.

2.1. Ventajas y desventajas de los ferroeléctricos

Una de las más importantes aplicaciones en que están involucrados los ferroeléctricos, es la posibilidad de almacenamiento de datos [12] debido a la característica que se muestra en la Fig. 1.

Para capas delgadas ferroeléctricas los altos campos que deben ser aplicados para cambiar el estado de polarización, pueden ser obtenidas con bajos voltajes, haciendo a estas útiles para aplicaciones electrónicas. La habilidad para crear arreglos de alta densidad de capacitores basados en capas delgadas ferroeléctricas ha sido especialmente desarrollado en la comercialización de memorias ferroeléctricas para computadoras [13, 14].

Los ferroeléctricos tienen mayor tiempo de vida y mejor respuesta a las conmutaciones que los ferromagnéticos, las cuales se hacen constantemente en los dispositivos de almacenamiento masivo.

Aunque tienen una desventaja que es la lectura destructiva que se realiza, esto en estos momentos no es un freno, porque la tecnología ha llegado a tal punto que las memorias se pueden refrescar es decir, reescribir en muy poco tiempo.

2.2. Circuito clásico de Sawyer-Tower

El sistema para efectuar la medición del lazo de histéresis se basa en el circuito clásico de Sawyer-Tower [15] mostrado en la Fig. 2. Este es un circuito sencillo que utiliza un campo de corriente alterna aplicado a la muestra Cf, entonces una cantidad proporcional entra al barrido horizontal del osciloscopio, mientras que el voltaje a lo largo del capacitor Cr (conectado en serie a Cf) es proporcional a la polarización del cristal Cf que se mide por el barrido vertical del osciloscopio [15]. Aunque este circuito es conocido desde los años 30 del siglo XX, no es totalmente útil para el estudio de capas delgadas, las caracterizaciones de estas difieren de las del material masivo, teniendo que cambiar incluso la interpretación de los resultados.

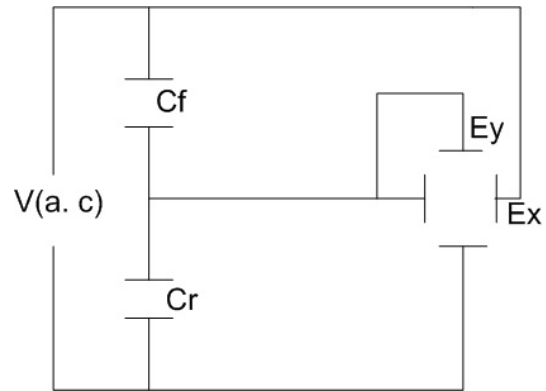


Figura 2 - Circuito clásico de Sawyer-Tower.

2.3. Obtención de la polarización a partir del voltaje

La polarización que es el resultado final al que se llega y el valor que nos interesa debido a que con este valor se comparan los materiales ferroeléctricos para ser seleccionados para sus distintas aplicaciones. Se calcula de esta forma a partir del voltaje inicial aplicado [16].

A partir de

$$Ey = \frac{Q}{Cr}, \tag{1}$$

y

$$P = \frac{Q}{S}, \tag{2}$$

se obtiene

$$P = Ey \frac{Cr}{S}, \tag{3}$$

donde Cr = capacitor de referencia, P = polarización, Ey = voltaje, Q = carga y S = área de la sección transversal.

2.4. Principio de funcionamiento del Sawyer-Tower modificado

A partir de las valoraciones hechas anteriormente se modifica el circuito clásico de Sawyer-Tower mostrado en la Fig. 3, de forma que permita obtener de manera confiable la respuesta típica [lazo de histéresis] de un material ferroeléctrico crecido en forma de película delgada [13, 11].

El modelo circuital de un condensador ferroeléctrico, viene representado por una capacidad no lineal Cf conectada en paralelo con una capacidad lineal Cl y una resistencia equivalente Rp, donde se tiene en cuenta la pérdida del dieléctrico [16].

Con el fin de evitar ambigüedades en la medición, es necesario introducir una red de compensación, que consiste en atenuar el efecto indeseado de Cl y Rp. En la Fig. 4 se muestra como queda el montaje experimental.

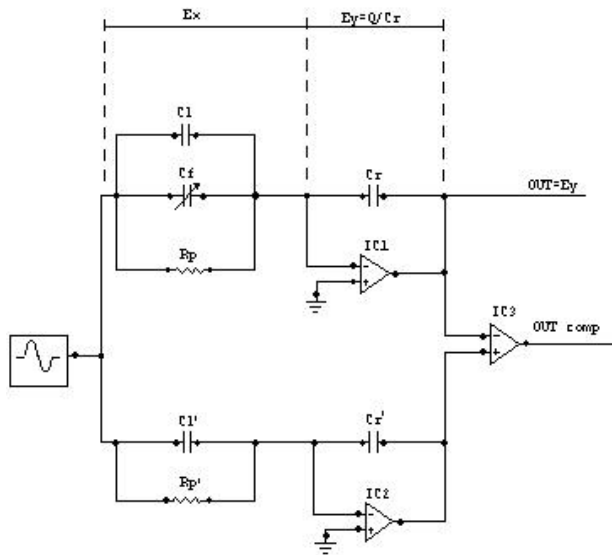


Figura 3 - Circuito *Sawyer-Tower* modificado.

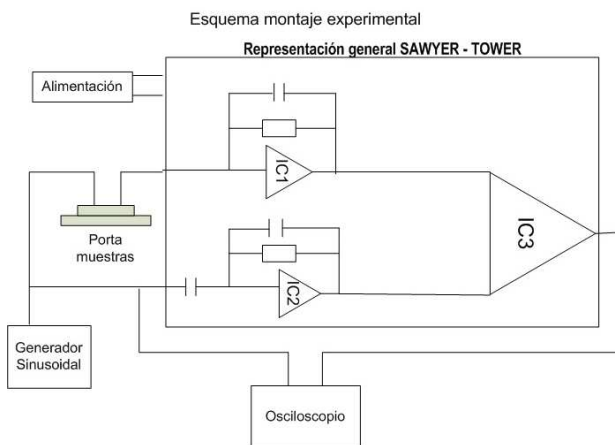


Figura 4 - Esquema del montaje experimental.

Acerca de la Fig. 3, siendo la entrada inversora del operacional $IC1$ un punto de masa virtual, o sea, presenta una alta impedancia de entrada, por lo que las corrientes que atraviesan C_f y C_r son iguales. Con la tensión de salida E_y del operacional y la capacidad C_r se puede obtener la carga Q [17]

$$Q = C \times V, \quad (4)$$

y conociendo la superficie de la armadura del condensador ferroeléctrico se obtiene la polarización [16], utilizando la expresión (2).

La rama de compensación constituida por $IC2$ junto con C'_r , que son imágenes de $IC1$ y C_r respectivamente, se introduce con el objetivo de compensar el desfase de la componente lineal de la señal del ferroeléctrico, y de esta manera tener una lectura de la respuesta del material más real, reflejando solo la correspondiente a los fenómenos ferroeléctricos.

2.5. Adquisición de datos

Después de creado el circuito *Sawyer-Tower* modificado, la tarea es llevar la información a la PC. Podríamos pensar en un osciloscopio pero el osciloscopio como dispositivo que no tiene memoria se encuentra limitado debido a que la información que muestra se pierde al quitar el circuito, de ahí la importancia de adquirir los datos a la computadora para de esa forma obtener el mismo gráfico que en el osciloscopio pero con mayores posibilidades ya que la información puede quedar almacenada mediante un programa en forma de histórico. Esta adquisición se puede realizar con un programa como el *Labview 6.1* y con una tarjeta como la PCL818L. También se puede utilizar como software el *MatLab* u otro sistema *SCADA*. Se necesita un circuito adicional para darle los valores de entrada adecuados a la tarjeta de adquisición de datos.

En la Fig. 5 se muestra una imagen de la aplicación en *Labview*. Esta aplicación permite las siguientes facilidades:

- Muestra el lazo de histéresis en la gráfica;
- Guarda los resultados en un archivo txt con fecha y hora de la medición, para tener la posibilidad de después ser analizados, utilizando como hemos comentado el *MatLab*;
- Posibilidad de escoger la dirección del archivo para guardar los datos si este no existe crea uno;
- Posibilidad de escoger el rango de voltaje de entrada a la tarjeta, que depende del rango escogido por el diseñador de cada proyecto en particular, es recomendable escoger el máximo rango.

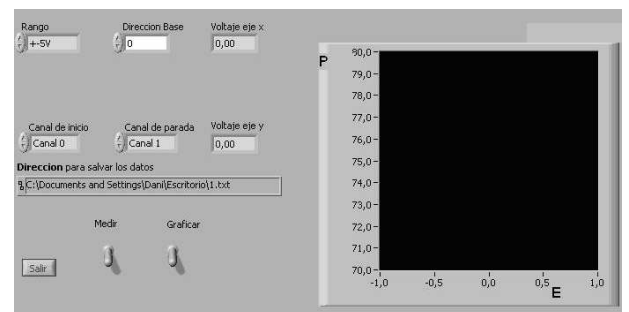


Figura 5 - Foto de la aplicación en *Labview*.

3. Presentación del proyecto integral

En esta sección comentaremos como se realizó el proyecto. El objetivo del trabajo es proponer un proyecto a desarrollar por parte de los estudiantes donde se propicie un espacio adecuado para vincular habilidades y competencias de diferentes asignaturas, logrando mostrarle un carácter integrador de las asignaturas recibidas.

Para ver de una forma clara la idea que se llevó a la práctica se muestra un diagrama en bloques donde se muestra el proceso de elaboración del proyecto dividido

en dos etapas para su cumplimiento. Este diagrama se muestra en la Fig. 6.

En la primera etapa, a los estudiantes se les entrega una bibliografía básica sobre la teoría involucrada, como la configuración básica del circuito. Y se les entregan las muestras ferromagnéticas a las cuales se les van a medir el lazo de histéresis. A la salida del circuito se mide la señal en un osciloscopio. Para obtener una figura en forma de lazo de histéresis, deben ser capaces de escoger potenciómetros para poder trabajar en la prueba y puesta a punta del circuito debido a las posibles variaciones que pueden tener las resistencias. El amplificador de instrumentación debe ser creado con amplificadores operacionales, sin mostrarle que amplificadores operacionales son los más indicados para utilizar.

El circuito debe ser elaborado sobre un *Protoboard* y después que se logren los resultados adecuados, comprobados con un osciloscopio, debe diseñarse una placa, crear las calles, perforarla y luego soldar todos los elementos y volver a comprobar con el osciloscopio si los resultados son los adecuados. De esta forma se termina con la primera parte del proyecto.

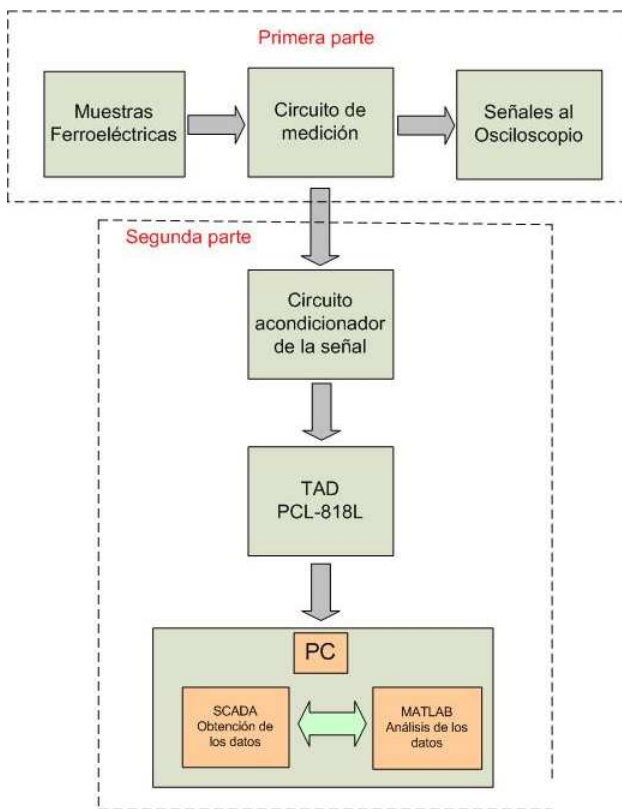


Figura 6 - Diagrama en bloques del sistema de medición del proyecto.

En la segunda etapa se debe realizar un circuito para el acondicionamiento de la señal para lograr los valores que puede leer la tarjeta de adquisición de datos (TAD). Luego de llegar la información a la tarjeta, se debe desarrollar una aplicación en un *SCADA* ó *MatLab*.

Elaborar la aplicación del software escogido para que se obtenga la señal a través de la tarjeta de adquisición de datos, sea mostrada en un gráfico, guardada la información en un archivo o base de datos para que después pueda ser utilizada.

De esta forma el estudiante puede realizar el proyecto y lograr que se vinculen una gran cantidad de asignaturas que se dan durante la carrera.

Los instrumentos, componentes y elementos necesarios para la realización del proyecto se pueden encontrar en cualquier laboratorio docente de electrónica.

4. Resultados de las encuestas y comentarios sobre las asignaturas involucradas

Se realizó una encuesta a un grupo de estudiantes que desarrollaron el proyecto. Se preguntó sobre la real vinculación de las asignaturas de la carrera en el proyecto, si se aplica la teoría estudiada anteriormente, la necesidad de estudio independiente, el uso de simuladores, el uso de bibliografía auxiliar el uso de Internet y se obtuvieron los siguientes criterios resumidos. La encuesta se muestra en la Tabla 1 y estaba organizada de la siguiente forma:

Encuesta realizada a estudiantes de ingeniería en Automática sobre proyecto integrador de sistemas de Medición.

Usted debe responder con números del 1 al 5 donde: 1 nada; 2 poco; 3 regular; 4 bueno; 5 mucho

Tabla 1. Muestra la encuesta realizada a 10 estudiantes de Ingeniería Automática.

Preguntas	Evaluación
1- En el proyecto se involucran varias asignaturas que se imparten durante la carrera	
2- Se aplica de forma práctica la teoría estudiada	
3- Se realizan búsquedas en Internet	
4- Se necesita estudio independiente	
5- Se utilizan simuladores [asistentes en la PC como Proteus] para la simulación de los circuitos antes de montarlos	
6- Uso de bibliografía auxiliar	

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las encuestas

Tabla 2. Resultados de las encuestas realizadas.

Preguntas	Eval-5	Eval-4	Eval-3	Eval-2	Eval-1
1	4	6	0	0	0
2	6	3	1	0	0
3	0	1	5	2	2
4	5	5	0	0	0
5	6	3	0	0	1
6	0	4	2	4	0

De los resultados de las encuestas podemos llegar a algunas conclusiones parciales que mencionamos a continuación.

Para poder realizar el proyecto se necesitó un alto grado de estudio independiente. Según los resultados de las encuestas no se buscó en Internet con la intensidad con que los profesores desearían. Sobre este aspecto se debe señalar, que en nuestra universidad, el espacio habilitado para que los estudiantes tengan oportunidades reales de navegación por Internet, no es suficiente para un trabajo de esta envergadura, teniendo además en cuenta que dentro de estas limitaciones ellos deben ser capaces de atender a otras obligaciones curriculares. El colectivo de autores nos damos por satisfechos con las soluciones sugeridas por los estudiantes, para poder enfrentar este problema. En las últimas orientaciones de los proyectos se buscan actualmente variantes para aumentar la búsqueda en Internet de los estudiantes.

Sin duda uno de los objetivos de una actividad integradora como esta, es el uso de bibliografía auxiliar. Sin embargo, la respuesta sobre la pregunta 6 realizada a los estudiantes que desarrollaron el proyecto sobre este tema, como promedio es regular. Según nuestra modesta experiencia adquirida la información que se le debe dar al estudiante, debe ser la mínima suficiente para que pueda comenzar su investigación y que él solo se motive por buscar más información. Esto nos ha llevado a pensar en nuevas variantes de enfrentarles el problema a los estudiantes. Darle menos información al estudiante sobre la configuración básica del circuito y aumentar los textos complementarios que pueden ser revisados. Adicionando que la originalidad de la variante, en la búsqueda de la mejor solución influyen en la evaluación del resultado. Estas cuestiones han demostrado según los estudiantes, un aumento en el uso de bibliografía auxiliar.

El trabajo aplica de forma práctica una gran cantidad de asignaturas de la carrera, al mismo tiempo que nos invita a adentrarnos en el maravilloso mundo de las nuevas tecnologías y materiales en el campo de la física para el apoyo al desarrollo de las nanotecnologías.

También es importante destacar como resultado de la encuesta que el uso de simuladores para la simulación de los circuitos antes de realizar la placa definitiva es muy utilizada por los estudiantes como se le orienta en clase.

La primera pregunta es la más importante. Además se obtuvieron resultados positivos según muestra la encuesta donde 4 estudiantes consideraron el máximo de la puntuación es decir mucho y otros 6 consideraron que era buena la cantidad de asignaturas involucradas. Según los resultados de esta pregunta el proyecto involucra una gran cantidad de asignaturas de la carrera que se mencionan a continuación.

Una de las primeras asignaturas que se imparten en la carrera de Ingeniería en Automática es la física, donde está involucrado este tema de los materiales ferroelectricos y sus características. Se estudian los lazos de histéresis y sus aplicaciones.

En tercer año en la asignatura de la especialidad lla-

mada Automática 3 se da un curso de Labview y se realizan proyectos. Este Software es considerado por una gran parte de la comunidad científica especialista en el tema como un *SCADA*, y tiene grandes potencialidades para el trabajo con las tarjetas de adquisición de datos, que por la importancia que resultan estos elementos para un automático el estudiante decidió adquirir la información del circuito mostrado anteriormente hasta una PC de esta forma.

El *MatLab* es otro de los Software ampliamente utilizado por la Academia para la simulación y modelación de procesos de control automático. Presenta una gran potencia de cálculo, con una enorme biblioteca y *Tool-Box* que presentan facilidades para el trabajo incluso con tarjetas de adquisición de datos. El *MatLab* se utiliza para el análisis posterior de los datos almacenados de las distintas mediciones realizadas. El *MatLab* en definitiva es utilizado en las asignaturas de Cálculo 1, 2, 3; Matemática Numérica y álgebra Lineal donde se resuelven ecuaciones y cálculos complejos. Ya en asignaturas específicas de la carrera se utilizan en Sistemas de Control 1 y 2, así como en Control de Procesos 1 donde es utilizado ampliamente para la simulación y modelación e incluso para técnicas de identificación de modelos matemáticos y para mostrar los gráficos de estabilidad de los sistemas reales que se desarrollan en la industria.

En este proyecto se utilizan conceptos que son impartidos en asignaturas de Electrónica y Circuitos Eléctricos como el trabajo con amplificadores operacionales que se muestran anteriormente en el circuito creado, y son utilizados para diferentes funciones dentro del mismo circuito.

Como un paso intermedio para verificar algunas cuestiones y que todo vaya saliendo bien, se utiliza el osciloscopio para medir la salida del circuito creado que se muestra en la Fig. 7. El osciloscopio es estudiado profundamente en la asignatura de mediciones electrónicas por su importancia para el estudio de diferentes señales.

En cuarto año se imparten asignaturas relacionadas con la adquisición de datos como Sistemas de Medición donde se realizan algunos proyectos para obtener mediciones como el que tenemos en nuestro caso.

Como hemos visto anteriormente hay una gran cantidad de asignaturas que se pueden vincular con el proyecto, sin embargo los estudiantes ven de forma directa la vinculación de asignaturas como Electrónica, Circuitos Eléctricos, Mediciones Eléctricas y Sistemas de Medición. Las demás asignaturas las ven de forma indirecta que les pueden servir de ayuda pero que no son imprescindibles para desarrollar el proyecto. Se buscan variantes donde el estudiante demuestre con resultados palpables que puedan ser evaluados la utilización de todas las asignaturas vinculadas.

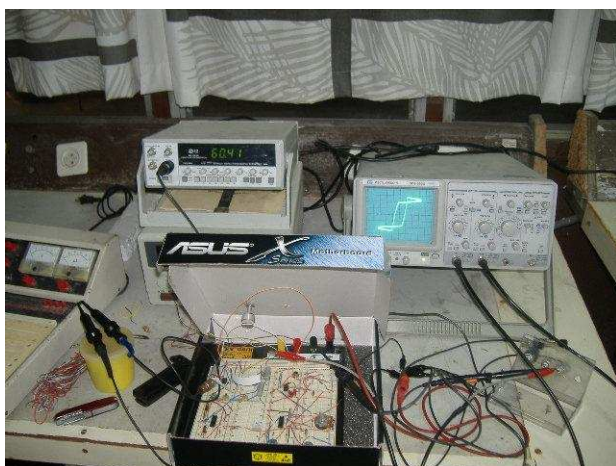


Figura 7 - Foto del proyecto en el laboratorio hasta el osciloscopio.

5. Conclusiones

Este proyecto debe ser desarrollado por estudiantes de años superiores de la carrera de Ingeniería en Automática con el propósito de que los estudiantes integren gran cantidad de asignaturas recibidas durante la carrera.

Este es un proyecto que involucra a los estudiantes en líneas de investigación que están en desarrollo en la actualidad a nivel mundial como las nanotecnologías. Los recursos para realizar el proyecto están presentes en cualquier laboratorio de electrónica y por tanto es realizable de forma completa.

Para lograr el trabajo de forma completa se debe: obtener el lazo de histéresis en materiales ferroeléctricos a partir de la construcción del circuito e implementar un sistema de adquisición de datos mediante una tarjeta utilizando el *Labview* o el *MatLab* u otro software que cumpla con lo requerido.

Más allá de un proyecto podemos de esta forma disminuir las barreras que pueden existir entre ingenieros y físicos y demostrar que el avance y desarrollo solo es posible con la formación de grupos de investigación de diferentes especialidades.

Las opiniones y resultados sobre el proyecto son buenas tanto por parte de los estudiantes como de los profesores y por tanto se seguirán aplicando en próximos años experiencias similares.

Las nuevas experiencias estarán dirigidas a la utilización de bibliografía auxiliar y a la vinculación de la mayor cantidad de asignaturas de forma tal que los profesores puedan evaluar la integralidad del proyecto.

Referências

- [1] D.A. Kolb, *Experimental Learning. Experience as the Source of Learning and Development* (Prentice Hall, New Jersey, 1984).
- [2] C. Rogers, *On Becoming a Person* (Houghton Mifflin, Boston, 1961).
- [3] H.G. Schmidt, *Medical Education* **17**, 11 (1983).
- [4] E. Graff and A. Kolmos, *History of Problem-Based and Project-Based Learning. Management of Change* (Sense Publisher, Rotterdam, 2007).
- [5] L.M. Jimenez, *RIAI* **2**, 64 (2005).
- [6] M. Reguera, J.J. Domínguez and P. Fuertes, *RIAI* **2**, 36 (2005).
- [7] F.A. Candelas and J. Sánchez, *RIAI* **2**, 93 (2005).
- [8] F.A. Candelas, F. Torres, P. Gil, F. Ortiz, S. Puente and J. Pomares, *RIAI* **1**, 49 (2004).
- [9] J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguer and S. Dormido, *RIAI* **2**, 82 (2005).
- [10] E. Graff and A. Kolmos, *International Journal of Engineering Education* **5**, 657 (2003).
- [11] A. Quintana, *Caracterización de Capas Delgadas de Ferroeléctricos*. Trabajo de Diploma, Universidad de la Habana, Habana, 2002.
- [12] C.A. Fundora, *Obtención y Caracterización de Películas Delgadas Ferroeléctricas (PMNT) a Partir de la Técnica de Ablación por Láser Pulsado*. Tesis de Doctorado, Ensenada, 2000.
- [13] J. Albella, *Laminas Delgadas y Recubrimientos. Preparación, Propiedades y Aplicaciones* (Consejo Superior Investigaciones Científicas, Madrid, 2003).
- [14] G. Franco, *Aplicazione dei Materiali Ferroelectrici in Microelettronica*. Trabajo de Diploma, Univ. di Parma, 1991.
- [15] M. Dawber, J.F. Scott and K.M. Rabe, arXiv:cond-mat/0503372v1 (2005).
- [16] E. Melioni, *Rapporto Interno n. 66* (Istituto MAS-PEC/CNR, Parma, 1992).
- [17] K. Angus, *Nature Materials* **5**, 251 (2006).