

Una plataforma laboratorio con fines didácticos para la medición de parámetros de dispositivos electrónicos en forma remota

Federico Lerro¹, Susana Marchisio², Miguel Plano³, Mauro Protano⁴, Oscar Von Pamel⁵

(1) *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario*
flerro2@yahoo.com.ar

(2) *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario*
smarch@fceia.unr.edu.ar

(3) *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario*
mplano@fceia.unr.edu.ar

(4) *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario*
mauroprotano@yahoo.com.ar

(5) *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario*
vonpamel@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN: En la formación de ingenieros, el trabajo experimental es insustituible, para la adquisición de destrezas y habilidades, como puentes facilitadores para la construcción de conocimientos, para la formación científica, de diseño o de innovación, para el desarrollo de competencias profesionales, entre otros. En relación con ello, hoy resulta inevitable la referencia al desarrollo alcanzado por las nuevas tecnologías de información y comunicación (TICs) basadas en Internet, como herramientas que integrando software, hardware y comunicación en redes, en el marco de estrategias didácticas adecuadas, pueden constituirse en recursos educativos valiosos para una formación profesional contextualizada y significativa en el marco de una sociedad cada vez más compleja, rica en información y basada en el conocimiento. En este contexto, en este trabajo se presentan el diseño y la implementación de un laboratorio remoto que permite la experimentación y medición en tiempo real de las características de dispositivos electrónicos semiconductores básicos. Mediante el mismo es posible obtener las curvas características de corriente-tensión de diodos de diversos tipos, transistores Bipolares y Jfet que permiten luego la determinación de parámetros de los dispositivos y la obtención de los modelos físicos correspondientes. Una de las virtudes destacadas en este desarrollo, es que el estudiante no necesita instalar ningún software, bastando con una PC con cualquier explorador Web para el acceso al sitio y la realización de las experiencias. El trabajo informa además acerca de avances en la mejora de la interfaz del mencionado laboratorio remoto, surgidas a partir de una primera etapa de la evaluación del mismo llevada a cabo por docentes, en calidad de expertos.

PALABRAS CLAVES: laboratorios remotos, dispositivos electrónicos, educación en ingeniería, TICs.

1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo alcanzado por las actuales tecnologías de información y comunicación (TICs) posibilitan hoy, en el área de las enseñanzas científicas y tecnológicas, nuevos modos de acercamiento al conocimiento basados, entre otros, en el desarrollo de laboratorios virtuales y remotos. Al respecto, si bien ambos tipos de laboratorio están basados en Web, la naturaleza del sistema con el que se opera

en cada caso es diferente. La interfaz de un "laboratorio virtual" trabaja contra una simulación de fenómenos y modelos físicos, ocultando el modelo matemático y mostrando lo simulado en forma interactiva. Estos desarrollos basados exclusivamente en software permiten realizar análisis de situaciones y de procesos mediante el control a voluntad de variables; siendo posible trabajar didácticamente con ellos conceptos abstractos y mundos hipotéticos. De acuerdo al tipo de software que se utilice, un

laboratorio virtual puede ser implementado en forma local o remota mediante Web. En este último caso, se trata de aplicaciones distribuidas (Rosado y Herreros, 2005).

Desde nuestra perspectiva, y con el sustento de investigaciones anteriores (Marchisio et al, 2006; Giuliano, et al, 2006), los laboratorios virtuales, aprovechando su potencial para el desarrollo de capacidades de tipo exploratorio, procesual y de visualización (Barbera y Badia, 2002), pueden convertirse en recursos idóneos, en auxiliares eficientes de la tarea didáctica cuando se los incorpora en el currículum de Ingeniería, integrados en estrategias de reconocimiento de variables y procesos a los fines de la construcción de modelos físicos en el contexto teórico, o en actividades de resolución de problemas y de diseño tecnológico. Sin embargo, no hay que olvidar que en este tipo de laboratorios el alumno emplea modelos construidos y restringidos por el propio programador, muchos de ellos, provenientes de la industria y no siempre creados con fines didácticos. Se ha corroborado que éstos, suelen ser grandes simplificaciones de la realidad, por lo que, usados acríticamente, pueden, en algunos casos, hasta alentar en el alumno el aumento de conexiones tendientes a reforzar significados de un conocimiento preexistente alejado de una estructuración aceptada científicamente (Marchisio et al, 2005).

Por el otro lado, en un “laboratorio remoto”, se opera contra un proceso físico real. La expresión “laboratorio remoto” identifica a aquél que tiene equipos físicos que realizan los ensayos localmente, pero en los que el usuario accede en forma remota a través de una interfase que está implementada mediante software. En este caso, entendemos que se puede hablar de un trabajo experimental en el sentido estricto, de un desarrollo de verdaderas prácticas de laboratorio (Mattaloni, et al, 2005), en tanto el alumno, a través de la red, de manera interactiva, opera con dispositivos reales.

Desde la perspectiva de la formación integral del futuro ingeniero, el laboratorio remoto representa además, a nuestro juicio, un nuevo concepto que lleva al estudiante a entender la importancia de las redes de comunicación como recursos para la generación de conocimiento y el trabajo profesional, sin olvidar los análisis que puedan desprenderse de los objetivos específicos asociados a la realización de cada práctica.

Se destaca asimismo que este tipo de desarrollos permite la experimentación simultánea de grupos de alumnos con un mismo equipamiento, posibilitando tanto compartir recursos entre instituciones, ya sea en el marco de dictados de

asignaturas de carácter experimental con propósitos de e-learning (Fernández et al, 2001)

En este trabajo se parte del diseño y la implementación de un laboratorio remoto para la experimentación y medición en tiempo real de las características de dispositivos electrónicos básicos. El primer desarrollo del mismo (Lerro y Protano, 2007) fue realizado en el marco de un proyecto final de la carrera Ingeniería Electrónica.

En esa oportunidad, los objetivos a lograr mediante el desarrollo del prototipo fueron:

- Obtener las curvas características de (a) diodo en polarización directa; (b) diodo Zener; (c) Transistor bipolara en conexión emisor común; (d) J-Fet y (e) Fototransistor.
- Ensayar los dispositivos en diferentes polarizaciones
- Obtener algunos parámetros característicos de los dispositivos a partir de los resultados

En cuanto a sus prestaciones, se buscó:

- Ensayo de varios dispositivos en el mismo laboratorio
- Independencia de plataforma de acceso (compatible con distintos exploradores tales como Mozilla, Internet Explorer, Opera, etc.)
- Funcionamiento sin el uso de agregados
- Interfaz sencilla, intuitiva, de fácil uso

En definitiva, la prioridad pasó por el logro de un desarrollo de hardware y software de bajo costo que permitiera a un usuario conectado a Internet desde cualquier PC, con flexibilidad de modelos y con niveles de actualización no exigentes, la experimentación y medición, a distancia, de parámetros y el análisis, mediante curvas, de dispositivos semiconductores reales. De ese modo, incluso un alumno que sólo se conecte a Internet desde una estación tipo Cyber, podía realizar los experimentos sin necesidad de instalaciones complementarias.

A partir de una primera evaluación por docentes, en calidad de expertos, se vio la necesidad de realizar ajustes a ese primer desarrollo, así como algunas modificaciones en la interfaz a los fines de su adecuación como recurso didáctico en el marco de la asignatura Física IV, a cargo del dictado de los contenidos fundamentales de la Física electrónica y del estado sólido para la carrera Ingeniería Electrónica.

2 ARQUITECTURA DEL LABORATORIO REMOTO

En la Figura 1 se esquematiza la arquitectura de un laboratorio remoto. A continuación de ella, en la Figura 2 se observan detalle y funcionamiento del sistema.

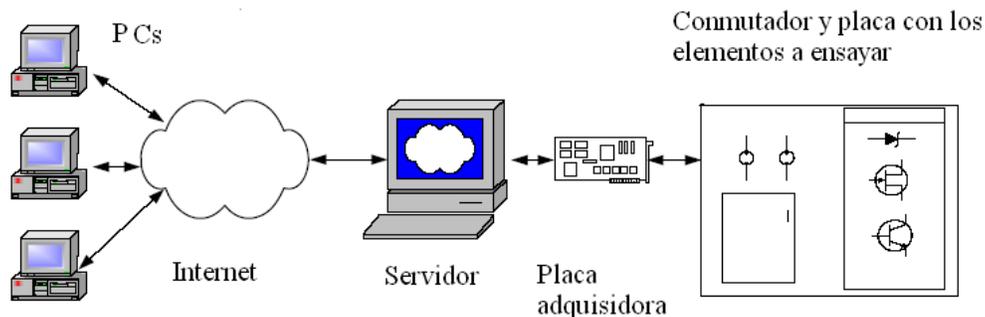


Figura 1: Esquema básico del laboratorio remoto

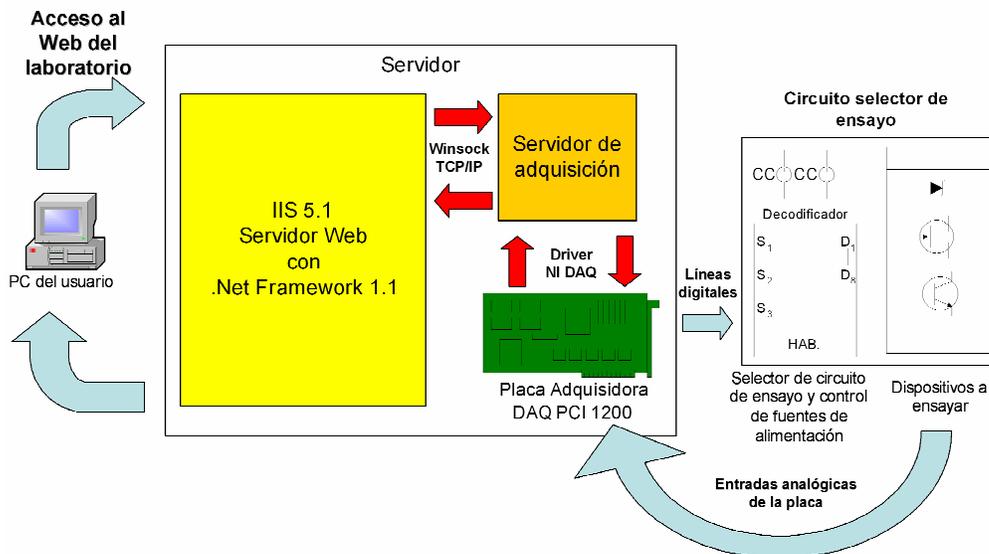


Figura 2: Detalle de los componentes del laboratorio remoto y funcionamiento

Como base para el diseño y realización de este prototipo se contó con una placa adquisidora de datos National Instruments PCI 1200 (2002), una PC (con Windows XP SP2) y una fuente de alimentación de laboratorio ($\pm 15V$ de continua). A partir de ello, se desarrolló el circuito selector de ensayos y de dispositivos. Asimismo, se implementó un circuito de control digital de fuentes de alimentación, a los fines de contar con fuente de tensión continua positiva, fuente de tensión continua negativa y fuente de corriente. En lo que refiere al software, se utilizó la PC con Windows XP como servidor web y una plataforma .Net Framework 1.1. Debido a que la placa adquisidora disponible no era compatible con la tecnología .Net, debió realizarse una aplicación en Visual Studio 6 que trabaja como

servidor TCP/IP (Coulouris et al, 2001). Este servidor de comunicaciones recibe las órdenes desde la aplicación desarrollada en Visual Studio 2003, realiza la adquisición y presenta los resultados al servidor Web.

El lenguaje de programación es HTML standard. Desde <http://labremf4.fceia.unr.edu.ar/> se accede entonces al “Laboratorio Experimental de Física Electrónica” sin necesidad de instalar ningún plug-in ni aplicación Java. La operación con el sistema es muy sencilla. Se ingresa con usuario y clave personalizadas. Desde el menú principal, si se selecciona “nuevo ensayo” se abre la pantalla representada en la Figura 3. Desde la misma se pueden elegir las condiciones del ensayo, modificando y seleccionando con un desplegable el dispositivo a ensayar.

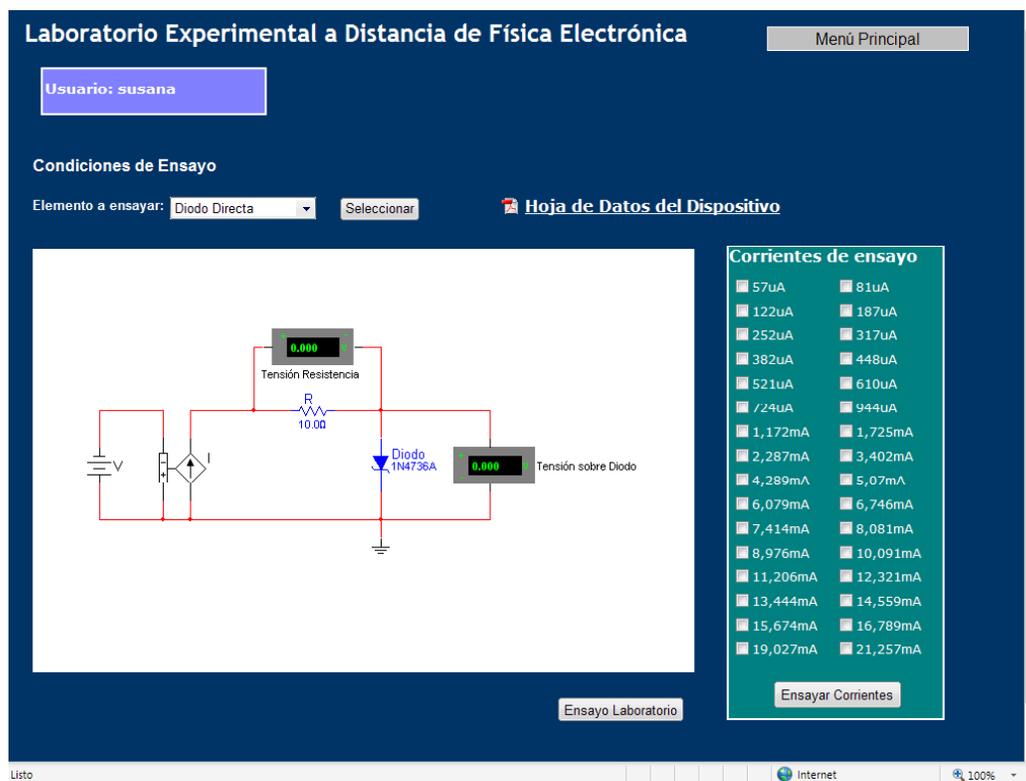


Figura 3: Pantalla de selección de ensayos inicial, correspondiente al diodo

En la primera versión del sistema, una vez elegido el ensayo a realizar, se obtenían en forma automática las características estáticas de cada uno de los dispositivos; sólo en el caso del ensayo del diodo, el usuario podía optar entre obtener las curvas que resulten de la experimentación remota del dispositivo en forma automática (botón “Ensayo Laboratorio”) o elegir, de entre una veintena de puntos de la curva, seleccionando los valores de corriente directa (botón “Ensayo Corriente”) según su interés. Tal como se visualiza en la Figura 3, el alumno dispone además en la pantalla, del circuito correspondiente al ensayo y la hoja técnica de datos del dispositivo.

Actualmente, y luego de valorar, desde la perspectiva del uso del laboratorio remoto en un contexto didáctico, la necesidad de proporcionar al alumno, desde el diseño del propio recurso tecnológico, mayores oportunidades para el control interactivo sobre el ensayo, se ampliaron las opciones (número de valores ofrecidos en el menú) para la selección de puntos a representar en el modo “Ensayo Corriente” para el diodo. Asimismo, se modificaron las restantes interfases, correspondientes a los dispositivos diodo zener, transistor bipolara, JFet y fototransistor, incorporando la posibilidad de que el alumno pueda realizar los ensayos de puntos, tramos o curvas según interés, o conveniencia para el análisis solicitado en el marco de una actividad de

aprendizaje. Se ha valorado con ello tanto la necesidad de promover en el alumno el desarrollo de una actitud científica, que requiere de la formulación de hipótesis, de la observación, de la prueba, del ensayo a voluntad, de la toma de decisiones y de la visualización de los resultados de esa elección, como así también el superar la idea errónea de no estar realizando un ensayo real. Al respecto, es notable, cómo esta modificación ayuda a desterrar desde la percepción, desde lo sensible, la idea del falso ensayo, del estar visualizando una curva dibujada mediante una simulación o que aparece en la pantalla a continuación de la acción de pulsar el botón “Ensayar Laboratorio” debido a un truco de programación.

Otra de las modificaciones realizadas a partir de la evaluación por docentes, fue la de agregar en la plataforma laboratorio el ensayo de un diodo led. Cabe consignar que con el objetivo del aprendizaje de los dispositivos electrónicos, y en relación con lo que se vislumbra como posibilidades de aplicaciones tecnológicas futuras, la asignatura plantea el estudio de las estructuras materiales que dan sustento al comportamiento de los mismos desde una visión científica, avanzando sobre una formación básica en el área de la Física de los materiales, pero a la vez, integrando ese conocimiento al que desde el trabajo de ensayo de los dispositivos en el laboratorio, aporta el análisis de las curvas.

Concretamente, los dispositivos tecnológicos son considerados así productos de diferentes procesos de transformación de la materia en alguno de sus estados, que resultan de interés para alguna aplicación específica. Así, si se está frente, por ejemplo, al estudio de dispositivos como el fotodiodo, el indicador LED, la celda solar, éstos son considerados como casos particulares del estudio de un tipo de “juntura”: la semiconductor-semiconductor, definida como una estructura compuesta de dos diferentes materiales semiconductores de un elemento o combinación de elementos químicos en interacción (Cabanellas, S. et. al., 1989).

En el marco de este enfoque disciplinar, resulta de interés en el laboratorio, por ejemplo, el análisis comparativo de las curvas obtenidas al ensayar distintos tipos de diodos asociado a la conformación de junturas de materiales semiconductores diversos (germanio, silicio, arseniuro de galio) con variedad de dopajes. De ello resulta entonces la posibilidad de analizar diferencias de uso y utilidades de los dispositivos, asociadas a sus correspondientes diferentes manifestaciones de las evoluciones I-V, visualizadas en las curvas características obtenidas de los ensayos.

Cualquiera de los experimentos puede ser realizado por el usuario el número de veces que desee; además, cada uno de los ensayos queda almacenado en el sistema con información de día y hora de realización, por lo que sus resultados pueden ser consultados o recuperados por el usuario en cualquier momento.

Una vez elegido el experimento a realizar, el servidor Web transfiere los parámetros al servidor de comunicación para que pueda lograrse la adquisición. Después de unos segundos, se muestra el resultado.

La Figura 4 muestra la pantalla correspondiente a una experimentación del transistor bijuntura. En este caso, es posible, elegir los valores de las fuentes del circuito de polarización emisor común y la realización de ensayos del dispositivo con diferentes temperaturas; pudiendo el alumno hacer análisis de como varía el hfe con el autocalentamiento.

El estudiante puede observar las características estáticas en modos tabla y gráfico. De igual forma, puede elegir si desea obtener la curva completa, sólo los puntos solicitados o la porción de la curva correspondiente. La tabla puede ser exportada como archivo XLS (Excel) y la gráfica como archivo de imagen GIF. Ver Figura 5.

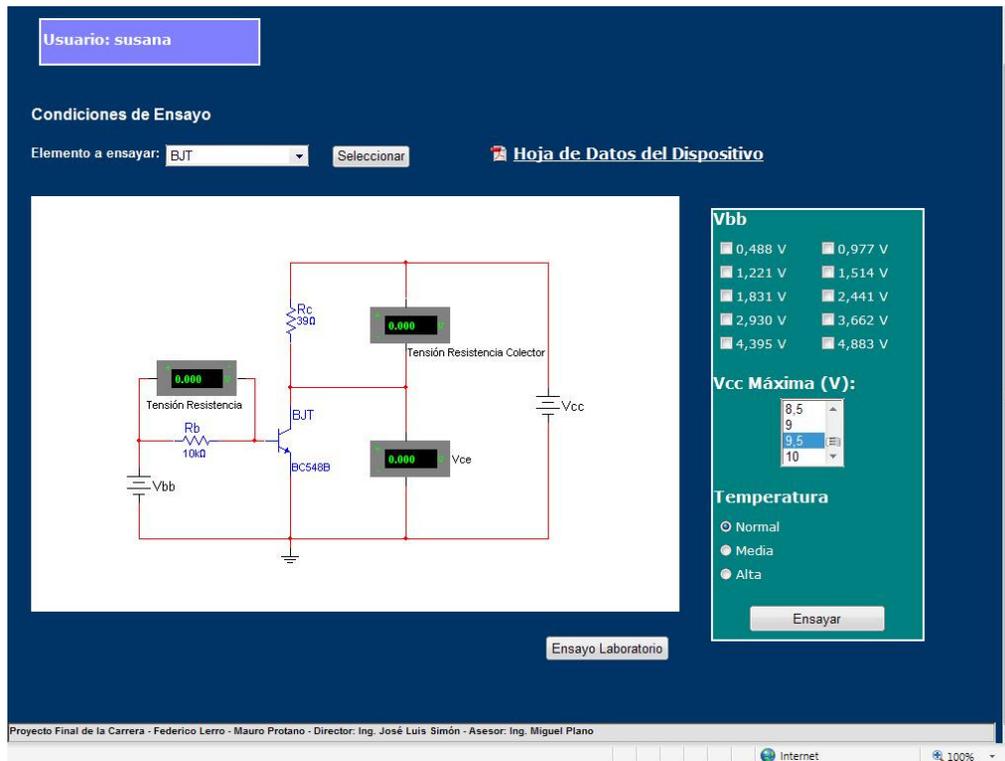


Figura 4: Pantalla correspondiente al ensayo del transistor bijuntura

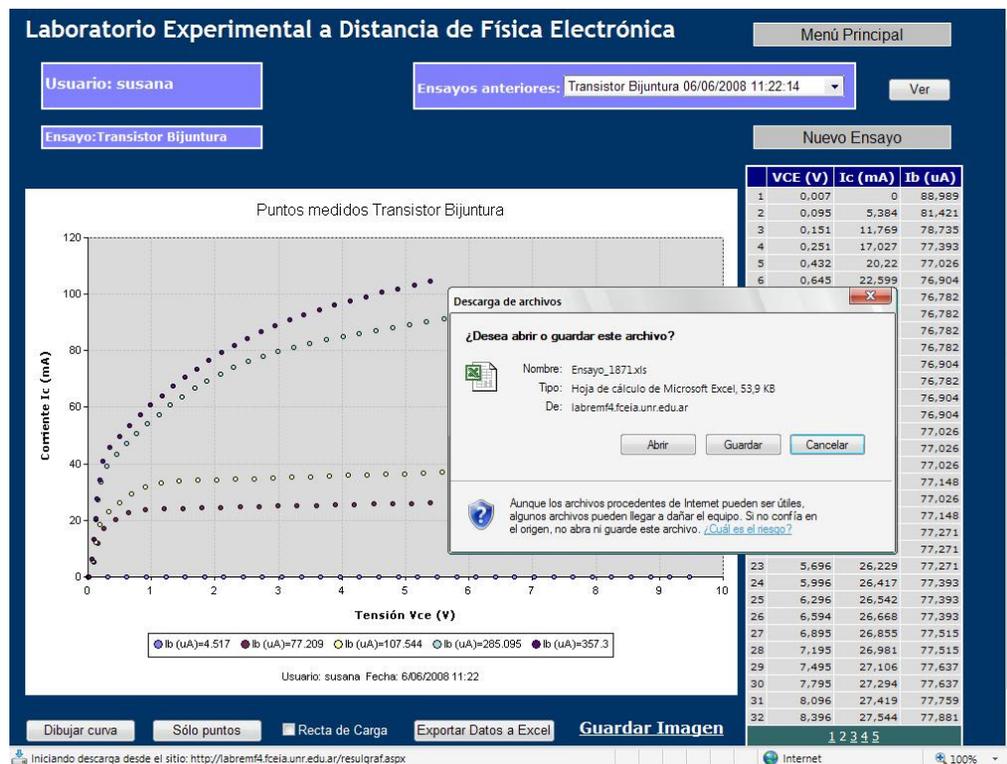


Figura 5: Visualización de resultados de un ensayo del transistor bijuntura (BJT) a temperatura normal. Se observan gráfica de sólo puntos, tabla de valores y forma de exportación a Excel

Como puede observarse en la Figura 4, el bijuntura está conectado como amplificador en modo emisor común. Ambas fuentes son variables e independientes. Estas tensiones son controladas por dos canales de salida analógica de la placa adquisidora.

Para la obtención de la característica del BJT, el sistema mide la corriente de colector, la corriente de base y la tensión colector base en cada punto de trabajo. El sistema establece la corriente de base y luego obtiene treinta y dos diferentes puntos de trabajo incrementando tensiones V_{cc} . El mismo proceso es repetido para cada una de las corrientes de base seleccionadas.

En el caso del transistor JFet, el mismo está conectado en modo amplificador con fuente a masa. Cada uno de los voltajes de polarización está controlado por uno de los canales de salida analógica del adquisidor. Se pueden seleccionar hasta diez valores de V_{gs} ; la V_{cc} también es variable y se pueden realizar también ensayos con temperatura. El procedimiento es idéntico al del bijuntura. Una vez que se polariza el JFet, el sistema incrementa la V_{cc} después de cada medida. Para obtener una característica del fototransistor lo más exacta posible, se eligió un optoacoplador integrado. El procedimiento para

realizar las mediciones es equivalente al del transistor bijuntura y el J-Fet. Dado que cada componente puede ser ensayado con cualquier combinación de fuentes (de corriente para ensayo de diodos, voltaje positivo/ voltaje positivo y voltaje positivo/voltaje negativo en el caso del bijuntura, voltaje positivo/voltaje negativo en el caso del J-Fet y voltaje positivo/ corriente en el caso del fototransistor), en el futuro, los dispositivos pueden ser reemplazados por otros que sean de eventual interés. Por otra parte, el software puede ser mejorado a fin de permitir al usuario la realización de nuevo tipo de ensayos sin modificar el hardware

3 CONSIDERACIONES FINALES

Actualmente, el laboratorio remoto está siendo evaluado en uso por estudiantes en la cátedra Física IV. El mismo es empleado en el marco de un dictado que incluye momentos de enseñanza cara a cara y estrategias de trabajo propias del e-learning (Cheng et al, 2001). En este contexto, el espacio de aula se concibe extendido más allá de los límites físicos de la misma, a partir de la incorporación de distintos recursos y estrategias, entre los que se destacan, además del uso del laboratorio remoto, el empleo de simulaciones

(applets), sistema hipermedia (Von Pamel et al, 2004; Marchisio et al, 2005b) y laboratorio tradicional, en actividades de aprendizaje tendientes a promover el desarrollo de competencias requeridas para una sólida formación básica científico - tecnológica.

Entre otras, las tareas desarrolladas por los estudiantes incluyen estrategias de asociación, de manipulación de variables, de síntesis, de integración, de comparación, de búsqueda de información, de modelización, de contrastación, de diseño. Esto es a los fines de posibilitar diferentes, pero a la vez significativas y convergentes vías de acceso al conocimiento y abarcando el estudio de los dispositivos con diferentes recursos, y desde una doble perspectiva científica y tecnológica.

En este contexto, el laboratorio remoto se propone para ensayar y obtener curvas corriente-tensión de diodos de diversos tipos, transistores Bijuntura y J-Fet, tanto a los fines de que el estudiante pueda profundizar el análisis del comportamiento de dispositivos ensayados en el laboratorio tradicional, como para determinar parámetros que le permitan elaborar los modelos correspondientes.

Se desataca además en esta etapa de evaluación, su uso no sólo para facilitar el acceso de los alumnos a una serie de sistemas físicos, de forma remota en cualquier momento y lugar, sino también el acceso y trabajo conjunto con el profesor en forma interactiva y cotidiana en las clases de teoría, favoreciendo la integración teórico práctica buscada.

4 REFERENCIAS

- Barbera, E. y Badia, A., Hacia el aula virtual: actividades y aprendizaje en la red. *Revista Iberoamericana de Educación*. 36 (9). 1- 22. 2005.
- Cabanellas, S., Llonch, E., Marchisio, S. Plano, M., Von Pamel, O. Descripción de una metodología para la enseñanza de la Juntura *Anales AFA*. Vol 1 N°1, 1989
- Cheng, K., Chan, C.; Chan C., Cheung, T., Development of a web-based virtual power electronics laboratory experiment, pp. 47-50, *ICCE/SchoolNet 2001* (International Conference on Computer in Education (Korea).2001
- Coulouris, G. Dollimore, J. Kindberg, T. *Distributed systems concepts and design*, Pearson Education Limited editor, 3rd Edition, 2001
- Fernandez, O. Borges, P., Pérez-Lisboa, M. Peixoto, N. Ramirez-Fernandez, F. Laboratório virtual aplicado à educação a distância, *Instrumentation Newsletter*; 02/04/01; 2001 <http://sim.lme.usp.br>
- Giuliano, M., Marchisio, S., Concarì, S., Giorgi, S., Cámara, C., Von Pamel, O., Cruz, R., Diseño de simuladores para un curso a distancia dirigido a docentes de Física de distintas jurisdicciones de Argentina. *Current Development Developments in Technology-Assisted Education*. FORMATEX 2006. m-ICTE 2006. pp 2047-2051. 2006. accessible en www.formatex.org/micte2006/,
- Lerro, F., Protano, M., Web-based remote semiconductors devices testing laboratory, *iJOE International Journal of Online Engineering* accessible en: www.i-joe.org. (Paper presented at REV2007 Conference, Porto, Portugal) 2007.
- Marchisio, S., Plano, M., Von Pamel, O., La formulación estadística de Fermi-Dirac en el diseño de un programa de simulación para la formación en Ciencia y Tecnología de Materiales en carreras de Ingeniería, *Memorias XIV Reunión Nacional de Educación en Física*. Asociación de Profesores de Física de la Argentina. Bariloche, Argentina. 10-14. 2005a.
- Marchisio, S. Plano, M. Ronco, J. Von Pamel, O. Combinación de estrategias didácticas e integración de TIC's en la enseñanza de fundamentos de Física cuántica para ingenieros, *V Congreso Internacional Virtual de Educación CIVE 2005*. 2005b
- Marchisio, S. Plano, M. Ronco, J. Von Pamel, O. Experiencia con uso de simulaciones en la enseñanza de la física de los dispositivos electrónicos, *Revista Cognición*, Año 1, Vol 2; Edit. Instituto Latinoamericano de Investigación Educativa (I.L.I.E.), edición electrónica <http://www.cognicion.net/>. 2006
- Mattaloni, M. Kofman H.; Lucero, P. La realidad de la experimentación física en laboratorios remotos. *1er. Congreso en Tecnologías de la Información y Comunicación en la Enseñanza de las Ciencias (TICec/05)*. La Plata. 2005
- National Instruments, *DAQ NI PCI-1200 user manual. Multifunctional I/O device for PCI bus computers*, Edition, Worldwide Technical Support and Product Information, ni.com. 2002
- Rosado, L y Herreros, J. Nuevas aportaciones didácticas de los laboratorios virtuales y remotos en la enseñanza de la Física. *Recent Research Developments in Learning Technologies*. FORMATEX 2005- m-ICTE2005, accessible en <http://www.formatex.org/micte2005>. 2005.
- Von Pamel, O., Marchisio, S., Ronco, J., Plano, M., Sáez de Arregui, G. *Del átomo al sólido* (libro en formato de hipermedia educativo) Editorial Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, UNR. 2004.