

Implementación de una tecnología para la construcción de laboratorios remotos para la enseñanza de electrónica usando Internet

Harvey Giraldo Arboleda, Mauricio Alvarez Mesa, José Edinson Aedo Cobo

Resumen— En países con problemas de cobertura en la educación se hace indispensable el desarrollo y utilización de nuevas tecnologías que permitan expandir la oferta de educación a una mayor población. En el campo de la ingeniería unos de los problemas para acometer este propósito es el alto costo que tienen los laboratorios para la experimentación y la práctica. En el caso de la ingeniería electrónica una forma de lograr una mayor disponibilidad de laboratorios puede consistir en construir laboratorios que permitan utilizarse por Internet a cualquier hora. De tal forma que las prácticas más simples pueden ser realizadas sin visitar físicamente los laboratorios.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema constituido de hardware y software concebido con el propósito de integrar un laboratorio de electrónica básica a la Internet. El laboratorio tiene una interfaz web que permite variar remotamente parámetros de circuitos electrónicos básicos y obtener medidas de las señales de salida de los circuitos.

Dentro del prototipo construido, el estudiante puede realizar prácticas de caracterización de diodos, de transistores de efecto de campo, de transistores bipolares y de amplificadores de señal básicos. La metodología desarrollada en este trabajo puede ser fácilmente extendida a otros tipos de laboratorios y a aplicaciones industriales.

Index Terms— Laboratorios basados en Web, Java Servlets.

I. INTRODUCCIÓN

UNO de los problemas que enfrenta la Universidad Pública colombiana es la necesidad en el aumento de la cobertura en un ambiente de restricciones presupuestales. Sobre todo en

Manuscrito recibido el 19 de Junio, 2002. Este trabajo fue financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Antioquia en la modalidad de investigación de baja cuantía.

José Edinson Aedo es profesor en el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Antioquia, Calle 67 no 53-108, Bloque 18-310s. Apartado Aéreo 1226, Medellín, Colombia. phone: 57-4-2105560; fax: 57-4-2105518; e-mail: joseaedo@udea.edu.co. Mauricio Alvarez es estudiante de Doctorado en la Universidad Politécnica de Cataluña, España. e-mail: alvarez@ac.upc.es.

Harvey Girado Arboleda, Es ingeniero electrónico y trabaja en la Universidad de Antioquia como programador Web. Email harvey@quimbaya.udea.edu.co

el campo de la ingeniería este problema se torna más agudo por los requerimientos de laboratorios adecuados para llevar a cabo la experimentación y las prácticas indispensables en la formación. Igualmente a partir de la última reforma curricular, llevada a cabo en la Universidad de Antioquia, se establece la inmersión al mundo práctico en el campo de la ingeniería desde los primeros semestres[1], lo cual presiona la necesidad de disponer de más recursos para la experimentación. Una solución a esta problemática consiste en la incorporación de nuevas tecnologías en la implementación de los laboratorios [2], de tal forma que permita una mayor eficiencia en su uso. Dentro de esta tendencia se encuentra los llamados “laboratorios basados en la WEB”, los cuales han tenido un gran desarrollo en los últimos años, especialmente en el campo del control [3-5]. Sin embargo, en el campo de la electrónica analógica el desarrollo de laboratorios basados en la WEB ha sido casi inexistente.

En este trabajo se plantea una estrategia novedosa para la implementación de un laboratorio basado en la WEB orientado a la enseñanza de la electrónica analógica. Con base en esta estrategia, se diseñó y construyó un sistema constituido de hardware y software que permite la integración de un laboratorio de electrónica analógica a la WEB. Este laboratorio consta de un conjunto de equipos de medición y generación de señales conectados en red; y de dispositivos y sistemas electrónicos que conforman los experimentos que se desean realizar. De esta forma los experimentos pueden programarse a partir de comandos enviados remotamente. El usuario ingresa al laboratorio mediante una página WEB en la que se especifica el tipo de experimento que va realizar, estableciendo que instrumentos va a utilizar, el esquema circuital que va a probar, las polarización de los circuitos, la frecuencia y tipo de las señales a aplicar. También establece qué medidas se efectuarán y cuáles son los instrumentos que deben conectarse para obtenerlas. El resultado del experimento es enviado al usuario por medio de otra página WEB generada dinámicamente que incluye gráficas y tablas con los valores de las señales de salida medidas en los circuitos bajo prueba. El estudiante de esta manera está realizando físicamente las experiencias y las medidas son hechas sobre los circuitos configurados con instrumentos reales. Precisamente una de las grandes ventajas de este desarrollo es que los experimentos se llevan a cabo

realmente y no se trata de simulaciones

El laboratorio remoto también le permite al estudiante realizar diferentes experiencias variando los parámetros del experimento configurado.

En la implementación de esta solución, el *software* se desarrolló usando *Java Servlets* y *Java Server Pages (JSP)* como tecnologías base para el desarrollo de aplicaciones WEB dinámicas del lado del servidor [10-11], en contraposición del uso de CGIs (*Common Gateway Interface*) ya que estos últimos son menos eficientes, menos seguros y poco portables. Los Servlets establecen un mecanismo de interfaz para la ejecución de aplicaciones en el servidor ante peticiones de los usuarios y JSP permite separar adecuadamente los procesos de diseño de las páginas, de la programación WEB del lado del servidor, ya que permite la mezcla de HTML estático con contenido dinámico generado por Servlets. Para el desarrollo del experimento se utilizó un servidor Linux corriendo el servidor Web Apache integrado con el contenedor de Servlets Tomcat y una máquina MS-Windows a la que se conectan los equipos del laboratorio.

Este trabajo ha sido estructurado de la siguiente forma: en la sección 2 se describe la arquitectura general de laboratorio remoto. En la sección 3 se muestra la estructura del software desarrollado en Java. En la sección 4 se describe la arquitectura del hardware concebida para llevar a cabo los experimentos. En la sección 4 se muestra también el diseño de un circuito integrado para ampliar las experiencias sobre electrónica integrada en el laboratorio remoto. En la sección 5 se muestran algunos resultados obtenidos en el uso de la primera versión de esta tecnología y finalmente en la sección 6 se describen las conclusiones y los trabajos que se están realizando para segunda versión de esta solución.

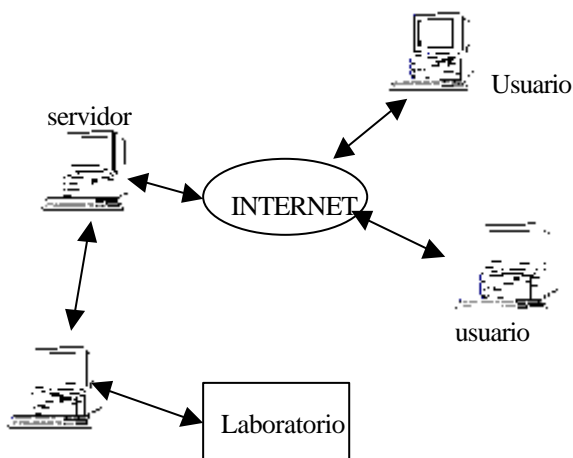


Fig. 1. Esquema de conexión del laboratorio remoto de electrónica básica a la Internet.

II. ESTRUCTURA GENERAL DEL LABORATORIO REMOTO

El laboratorio (los instrumentos y circuitos) se encuentra conectado a la Intranet de la Universidad a través de un servidor de laboratorio que provee servicios HTTP específicos para el manejo de los equipos. Este servidor recibe conexiones de otro servidor de la Universidad que tiene acceso a la Internet y que almacena las páginas principales del laboratorio. (su dirección es <http://microe.udea.edu.co/~virtualab>). Este esquema se adoptó por seguridad, para que el servidor del laboratorio no fuera accesible directamente. En la figura 1 se muestra esquemáticamente la disposición de los servidores empleados.

El laboratorio conectado, en esta primera versión, está orientado a prácticas de electrónica analógica. Los instrumentos utilizados dentro del laboratorio están conectados en red mediante una interfaz GPIB. Los dispositivos y circuitos electrónicos, que puede ser usados para realizar las experiencias, se pueden configurar en una disposición específica mediante la acción de un microcontrolador de 8 bits que es controlado desde la interfaz serial del servidor del laboratorio. Este microcontrolador establece la conexión entre los dispositivos comandando conmutadores analógicos CMOS. En la sección 4 se realiza una descripción detallada de este subsistema.

El servidor de laboratorio se encuentra conectado, a través de la intranet de la Universidad, a un servidor con acceso a Internet. Ambos servidores tienen instalados el paquete Jakarta Tomcat, que permite la ejecución de Servlets y ofrece servicios WEB básicos. En la sección 3 se describe con más detalle la estructura de la conexión del software desarrollado en este trabajo.

III. ESTRUCTURA DEL SOFTWARE

El sistema para el manejo de los laboratorios se dividió en dos partes principales:

La primera consiste en el control de acceso de los usuarios al laboratorio remoto en el servidor WEB y la segunda en el control de los instrumentos y equipos para la realización de cada experimento en el servidor del laboratorio.

- Sistema de control de acceso

Consta de la página principal del laboratorio remoto que llama a un Servlet que controla el uso del laboratorio, autorizando o denegando el acceso de acuerdo a la disponibilidad de los equipos. Cuando el usuario es autorizado a realizar un experimento remoto, recibe una página WEB con la lista de experimentos disponibles, que actualmente son: Amplificador de Pequeña Señal, Caracterización de un MOSFET, Caracterización de un diodo y Caracterización de un

BJT. En esta página el usuario selecciona el experimento que desea realizar y recibe una página web con un formulario en el que se le solicitan los parámetros de configuración del experimento. Algunos de estos parámetros son: Tipo de onda (senoidal, cuadrada, triangular etc), frecuencia de la señal en Hz, valores de los resistores en el circuito y voltajes de polarización de los componentes activos. Cuando el usuario hace *click* sobre el botón de medir, los parámetros son enviados a un JSP (uno diferente por cada experimento). El JSP

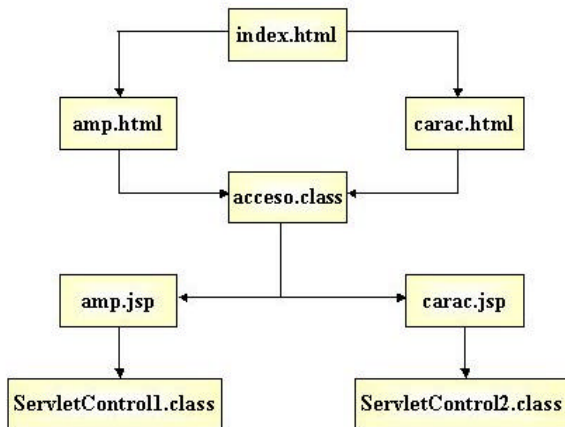


Fig. 2. Estructura del software implementado para el laboratorio remoto procesa los parámetros verificando que sean válidos para el experimento en cuestión y retorna una página que contiene una gráfica con la respuesta medida en el circuito. Para generar los gráficos de resultado el JSP de cada experimento llama a un Servlet de control de instrumentos correspondiente, al cual se le envían todos los parámetros de configuración del experimento enviados por el usuario pero ya validados y verificados.

El Servlet de acceso y los JSPs de los experimentos están localizados en el servidor WEB. Los Servlets para el control de los instrumentos están ubicados en el servidor del laboratorio. La comunicación entre ambos se da por HTTP a través de la red local[8] [9]. En la figura 2 se muestra la relación entre páginas WEB, Servlets y JSPs.

- Control de instrumentos

Para la realización de los experimentos de electrónica básica se requiere de instrumentos tales como: un osciloscopio digital, un generador de señales programable y varias fuentes de corriente y voltaje también programables.

El control de estos instrumentos se realiza por medio de la interfaz GPIB que permite interconectarlos en red con un PC de control (servidor del laboratorio). La comunicación entre el servlet de control y los instrumentos se realiza mediante un *driver* del puerto GPIB el cual fue desarrollado en Java. Por medio de este *driver* se envían los parámetros al instrumento adecuado de acuerdo con la configuración del experimento. Cada experimento tiene un Servlet de control que contiene el

llamado a los *drivers* de los instrumentos que son requeridos. El Servlet de control procesa el orden de configuración de cada instrumento y recibe respuestas sobre el resultado de las acciones solicitadas.

Cada experimento requiere de una interconexión propia de instrumentos y circuitos, por lo cual se implementó un mecanismo de conmutación eléctrico manejado por un microcontrolador. Este microcontrolador obtiene la información de las conexiones mediante el puerto serial del servidor del laboratorio. El Servlet de control de cada experimento envía las órdenes al puerto serial del servidor. Esta interfaz se desarrolló usando el API de comunicaciones de Java: JavaComm [13].

IV. ESTRUCTURA DEL HARDWARE

Desde el punto de vista del hardware, el laboratorio remoto

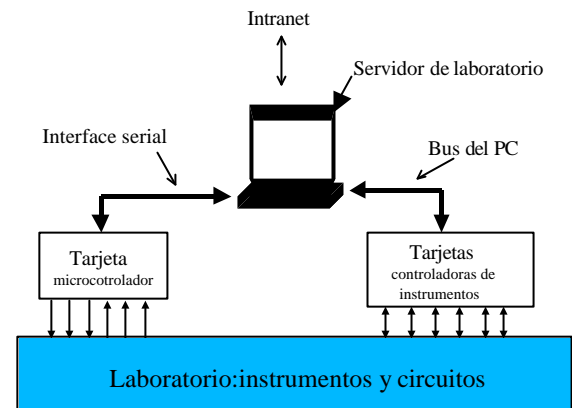


Fig. 3. Conexión de las tarjetas controladoras de los instrumentos y de la configuración de los esquemas experimentales

Instrumento	Función
Multímetro HP 34401	Medidas de voltaje y corriente
Generador de señales HP 33120	Genera señales de diferentes forma hasta 15 MHz ²
Osciloscopio HP 54610 de dos canales	Observación de señales hasta 500 Mhz
Una fuente DC HP 3631	Fuente de voltaje programable para la polarización de los circuitos
Una fuente de voltaje Keithley	Fuente de voltaje programable

posee varios componentes: los instrumentos de medida, los generadores de señales y de potencia, los dispositivos y circuitos utilizados para la configuración de los experimentos y un microcontrolador encargado de generar los comandos para configurar los esquemas experimentales que se desean realizar.

Los instrumentos de medida y el multímetro de potencia son instrumentos típicos encontrados en cualquier laboratorio de electrónica básica, pero cuentan con una interfaz GPIB que hace posible conectarlos en red y al computador. En este

trabajo se utilizaron los instrumentos descritos en la tabla 1.

El osciloscopio y el multímetro se utilizan para realizar medidas sobre el circuito bajo prueba. Las fuentes de potencia son utilizadas para la polarización de los circuitos. El voltaje DC de estas fuentes puede ser establecido por el usuario remotamente. También, el generador de señales permite realizar experimentos con etapas amplificadoras de pequeña señal. Este instrumento puede generar varias formas de señales con diferente amplitud y frecuencia desde unos pocos hertzios hasta 15 Mhz. Los parámetros de estos instrumentos pueden

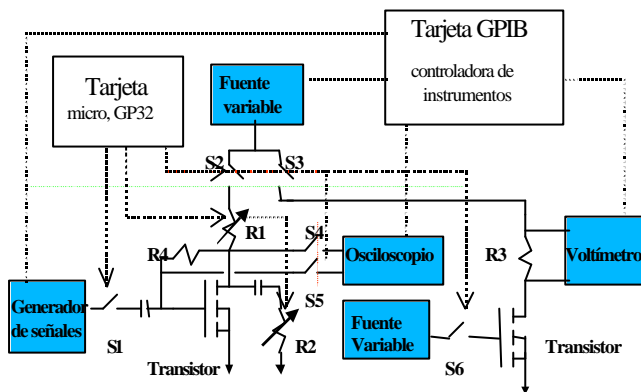


Fig. 4. Configuración de dos esquemas experimentales: a) una etapa amplificadora con un transistor MOSFET canal N, b) Caracterización de un transistor MOSFET canal N

ser establecidos remotamente por el usuario. De acuerdo con esta estrategia de conexión del laboratorio, se utilizaron dos tarjetas conectadas al servidor de laboratorio: una que contiene el microcontrolador conectada a la interfaz serial y otra tarjeta, controladora de los instrumentos, conectada al bus del servidor. En la figura 3 se muestra esquemáticamente la disposición de estas dos tarjetas.

El microcontrolador seleccionado para esta aplicación fue el 68HC08GP32 [6], debido a que posee suficientes puertos de entrada y salida para el control de los diferentes esquemas circuitales.

Para llevar a cabo la configuración de estos esquemas se utilizaron conmutadores para señales analógicas que pueden ser comandadas por señales digitales. Estos conmutadores permiten la conexión o desconexión de los instrumentos de acuerdo con las señales enviadas por el microcontrolador. En la figura 4 se muestra, como ejemplo, la disposición de dos experimentos implementados en el laboratorio: una etapa amplificadora con un transistor MOSFET canal N y un transistor MOSFET independiente al cual se le puede extraer la característica de voltaje corriente. La resistencias R1 y R2 son variables y su valor es establecido por un tren de pulsos digitales. De acuerdo con la figura 3, si se desea efectuar el experimento con el amplificador, el microcontrolador envía las señales digitales que efectúan el cierre de los conmutadores S1, S2, S4 y S5, conectando el generador de señal, la fuente

variable de polarización y el osciloscopio en la entrada y en la salida del amplificador. Igualmente el microcontrolador envía un tren de pulsos digitales para establecer el valor de la resistencia de polarización R1 y la resistencia de carga R2. Sus valores pueden variar de 1 a 100 KOhmios. Los valores deseados son establecidos por el usuario remotamente. Una vez, configurado el esquema circuital a probar, por intermedio de la interfaz GPIB, se configuran las fuentes y los instrumentos de medida. Cada instrumento posee una dirección que lo identifica y se controla desde un programa escrito en Java. De igual manera, para la caracterización del transistor, también mostrada en la figura 4, el procedimiento consiste en cerrar los conmutadores S3 y S6 para conectar las fuentes de polarización. Luego el usuario programa los rangos

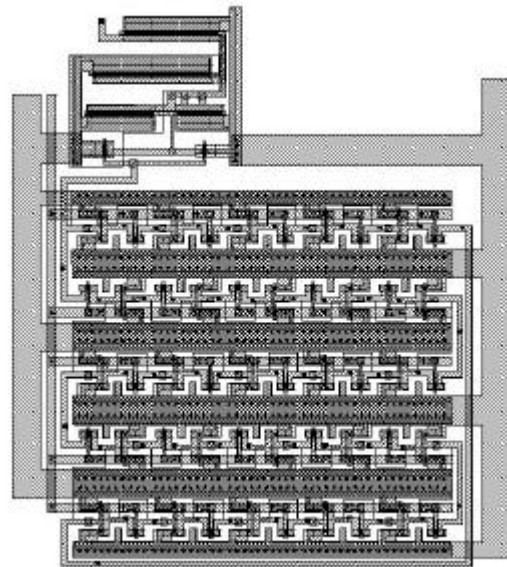


Figura 5. Layout de un oscilador en anillo de 25 etapas

de voltaje que se deben aplicar desde ambas fuentes. De esta forma un programa en Java automáticamente configura los instrumentos para aplicar una secuencia de voltajes a la puerta y al drenaje del transistor de acuerdo con rangos establecidos por el usuario. La medida de corriente de drenaje es realizada midiendo el voltaje a través de una resistencia utilizando el multímetro. Una vez obtenidos los valores de voltaje y corriente se construye el gráfico de las características de voltaje-corriente del transistor. El programa es ejecutado en el servidor de laboratorio y el usuario recibe las medidas de forma gráfica. Dentro de esta primera versión del laboratorio se han implementado esquemas experimentales para la caracterización de diodos, transistores bipolares, y etapas de amplificadores simples con transistores de efecto de campo y bipolares a partir de dispositivos discretos.

Para efecto de ampliar la posibilidad de experimentación con esquemas circuitales orientados al entendimiento de la electrónica integrada, se diseñó un circuito integrado con un conjunto de esquemas básicos que pueden ser seleccionadas

para realizar diversos experimentos. En la sección V se describe este circuito.

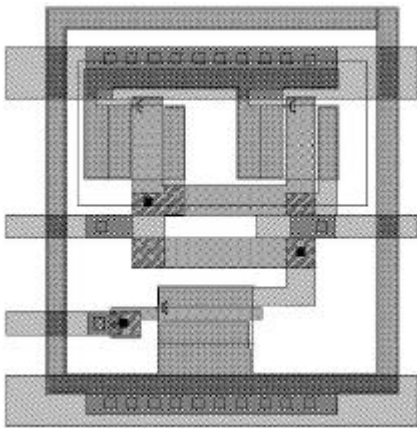


Figura 6. Layout del amplificador básico de una etapa

V. ESQUEMAS CIRCUITALES PARA LA ENSEÑANZA DE ELECTRONICA INTEGRADA

Con el objetivo de integrar en el laboratorio la experimentación con circuitos diseñados hasta nivel de layout Se concibió un circuito integrado con el propósito de disponer de un medio de

experimentación y análisis necesario para la enseñanza nivel de pregrado del proceso de diseño de amplificadores de señal con tecnología MOS [7].

De esta forma, se han implementado varios bloques básicos con los cuales los estudiantes podrán realizar experiencias teniendo acceso a toda la información de la tecnología que fue empleada en su fabricación y al diseño de las máscaras del layout del circuito. Siguiendo esta estrategia se diseñaron e implementaron amplificadores diferenciales, en fuente común y fuente seguidor. También se diseñaron otros subsistemas como osciladores en anillo, conmutadores analógicos, algunos transistores con diferentes geometrías y un filtro capacitivo conmutado de primer orden, lo cual brinda la posibilidad de la experimentación con cada uno de estos subsistemas.

Los circuitos diseñados se implementaron considerando que el chip también será usado dentro del esquema de los laboratorios remotos accesibles usando Internet. La arquitectura del circuito integrado tiene definida una programabilidad que permite al usuario definir, mediante la aplicación de una señal digital en algunos pines, la selección del subsistema con el cual se desea trabajar, dando lugar a la posibilidad de programar remotamente la conexión de los instrumentos de medida al subsistema deseado. De igual modo es posible variar la ganancia de los diferentes amplificadores,

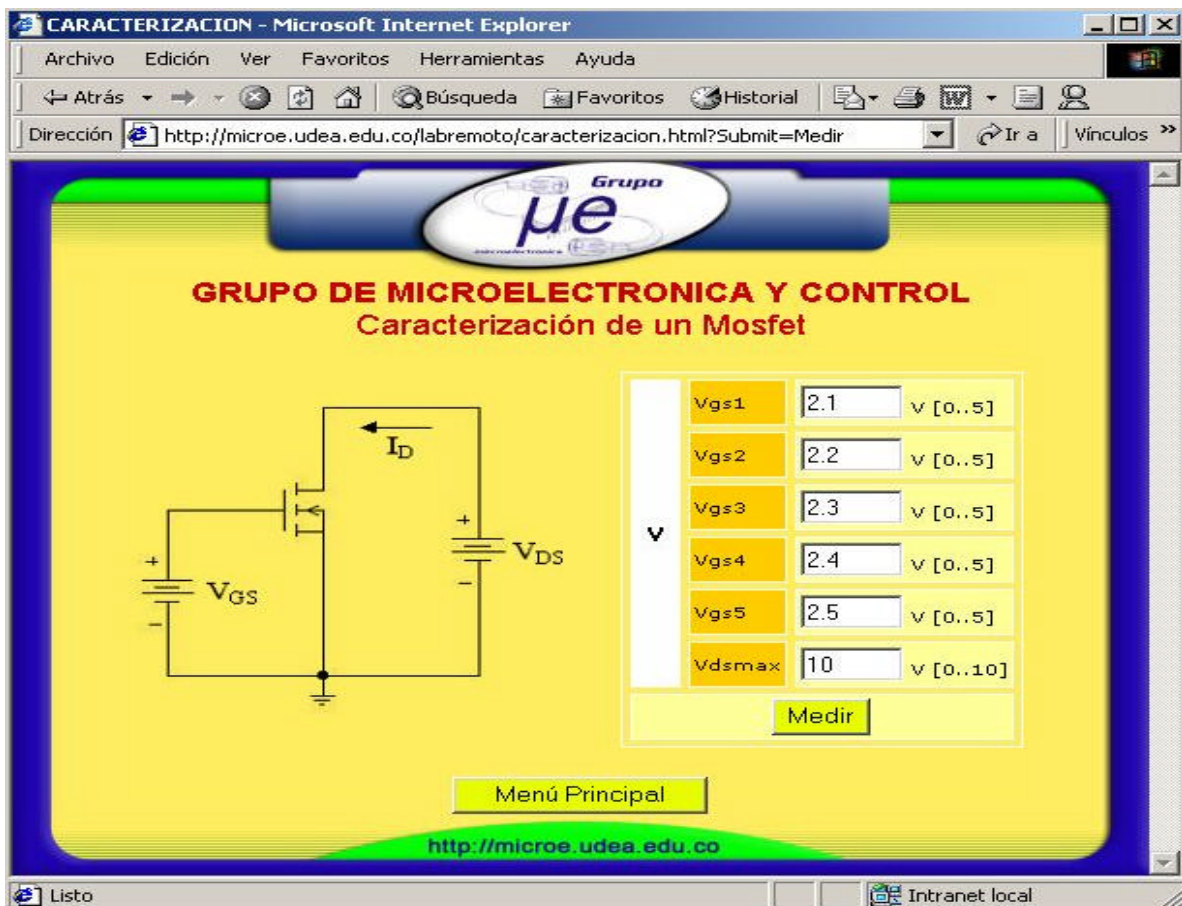


Fig. 7. Página para programar la configuración de la caracterización del transistor MOSFET canal N

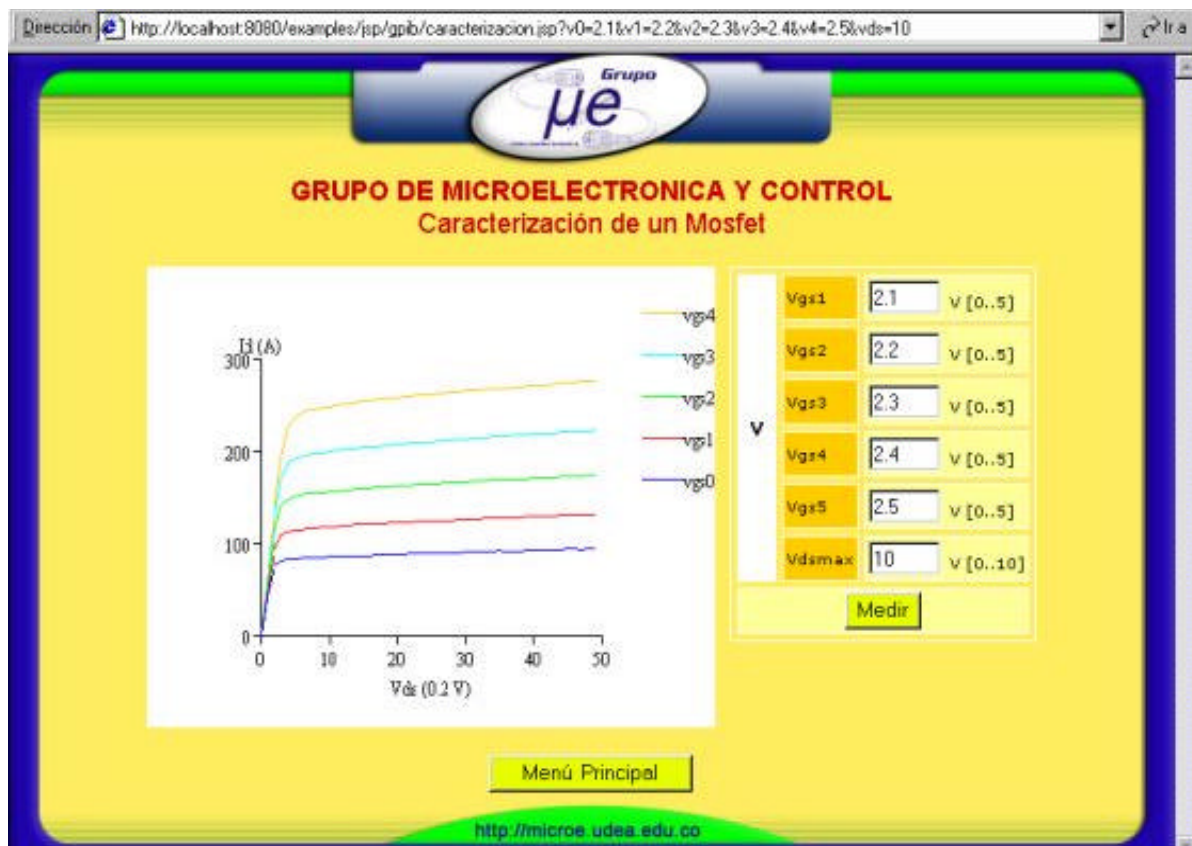


Fig. 8. Resultados entregados por el sistema de la caracterización del transistor MOSFET canal N

permitiendo, por ejemplo, en la etapa de amplificación de voltaje, ganancias entre 15dB y 38 dB, de acuerdo a la carga conectada, así como la variación de su respuesta a la frecuencia [12].

En la figura 6 se muestra el *layout* de una etapa amplificadora simple en la figura 5 se muestra el oscilador en anillo con 25 etapas de inversores. El circuito integrado fue diseñado empleando la herramienta Cadence, en una tecnología de 0.6 micras CMOS con dos niveles de metal. El *chip* posee un área aproximada de 3,5 mm² y ha sido enviado para su fabricación a la "Silicon Foundry" AMS a través del MPC (*Multiproject Chip*) Francés.

VI. RESULTADOS

El laboratorio remoto ha sido puesto en funcionamiento para realizar una prueba piloto con estudiantes de quinto semestre de ingeniería electrónica con el fin de evaluar el impacto de la tecnología desarrollada. En esta primera versión, el sistema cuenta con una interfaz simple donde el usuario selecciona la práctica a desarrollar y establece los parámetros que desea en su experimento. A partir de allí se inicia el experimento dando un *click* en el botón de medir. En la figura 7 se muestra la página correspondiente a la caracterización del transistor MOSFET.

Una vez ejecutado el programa de caracterización del transistor son enviados los datos al usuario. En la figura 8 se

muestra un ejemplo de los resultados de la caracterización.

En la actualidad el sistema se encuentra bajo evaluación con los estudiantes del curso de Semiconductores de Ingeniería Electrónica. Las prácticas básicas de caracterización de dispositivos y de amplificadores de pequeña señal las están realizando de forma remota. Las prácticas con sistemas más complejos serán realizadas en el laboratorio de forma presencial.

VII. CONCLUSIONES

En este trabajo fue planteada y desarrollada una tecnología para la conexión de laboratorios básicos de electrónica a la WEB. El sistema desarrollado está conformado por una componente de *hardware* y otra de *software*. Ambas componentes fueron implementadas y se puso en funcionamiento un laboratorio con los circuitos básicos de electrónica analógica. Pruebas del sistema han mostrado que esta tecnología es efectivamente eficiente para optimizar la disponibilidad de recursos de laboratorio especialmente para la realización de los experimentos más simples, debido a que permite una disminución apreciable en el tiempo que los estudiantes emplean para llevar a cabo este tipo de experiencias y además el laboratorio puede tener una disponibilidad de 24 horas.

Desde el punto de vista del diseño todo el *software* del

sistema de laboratorios remotos fue desarrollado usando una metodología orientada a objetos con Java, lo cual lo hace portable y facilita la ampliación a otros esquemas experimentales. La parte del *software* incluye la utilización de Servlets y JSPs, el sistema de comunicación con el puerto serial (API JavaComm) y el software de comunicación con los instrumentos GPIB (API GPIB). De esta manera el *software* desarrollado usa un solo lenguaje de programación lo que permite una mayor integración de las aplicaciones, además de tener la posibilidad de portabilidad entre plataformas y servidores.

Como trabajos futuros se podrá a disposición el circuito integrado concebido para este fin y se mejorará la interfaz gráfica al laboratorio para hacerla más amigable .

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias por su apoyo para la presentación de este trabajo. Igualmente agradecen a los auxiliares Carolina Mora, Marcela Zuluaga, Sebastian Izasa y Juan Manuel Castaño por su ayuda en la implementación de los Servlets para el manejo de los instrumentos y en el diseño de la interfaz gráfica. También al profesor Gustavo Patiño por su colaboración el diseño del circuito integrado.

REFERENCIAS

- [1] G. Posada y Al, "Reforma curricular para ingeniería Electrónica" Reporte interno, Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad de Antioquia, Medellín, Mayo 2002..
- [2] C. C. Ko, B. M. Chen, J. Chen, Y. Zhuang and K. Chen, Tan, "Development of a Web-based laboratory for control Experiments on a couple Tank apparatus" IEEE Trans. on Education Vol. 44, No.1, February 2001, pp. 76–86.
- [3] C.C. Ko, B. M. Chen, S. H. Chen, V. Ramakrishnan, R. Chen, S. Y. Hu and Y. Zhuang, "A large scale web-based virtual oscilloscope laboratory experiment", Inst. Elect. Eng Sci. Edu. J., vol. 9, no. 2, pp.69-76., 2000.
- [4] M Shor and Bhandari, "Access to an instructional control laboratory experiment through the Word Wide Web", in Proc. 1998 Amer. Contr. Conf., Philadelphia, PA., pp. 1319-1325. 1998.
- [5] "Web-based virtual laboratory, Nat. Univ. Singapore", <http://vlab.ee.nus.edu.sg/vlab>
- [6] MC68HC08GP32 Technical data. HCMOS Microcontroller Unit. Motorola Semiconductor Product Sector.
- [7] D. J. Comer and D. T. Comer. U. "Teaching MOS Integrated Circuit Amplifier Design to Undergraduated", IEEE Trans. on Education, vol. 44, pp. 232–238, August. 2001.
- [8] Reuven MLerner, "Server-Side Java with Jakarta-Tomcat". Linux Journal.Abril 2001.
<http://www.linuxjournal.com/article.php?sid=4576>
- [9] Petr Sorfa, "Using and Writing Java Servlets" , Linux Journal, Enero 2002. <http://www.linuxjournal.com/article.php?sid=4819>
- [10] Marty Hall. "Servlets y Java Server Pages". Guía Práctica. Pearson Educación. México 2001.
- [11] Herber Schildt. Java 2. Manual de referencia. Cuarta edición. Mc Graw Hill. Madrid 2001.
- [12] G. A. Patiño y J. E. Aedo, "Implementación de un circuito integrado orientado a la enseñanza del proceso de diseño de circuitos analógicos básicos con tecnología CMOS", Aceptado para

publicación en el EITI-2002, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, Oct. 2002.

[13] Java Communication API <http://java.sun.com/products/javacomm/>