

# Diseño e Implementación de un Laboratorio de Control a Distancia

Edgar A. PUENTE

Departamento de Sistemas de Control. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes  
Mérida, 5101, Venezuela

y

Addison Y. RÍOS

Departamento de Sistemas de Control. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes  
Mérida, 5101, Venezuela

## RESUMEN

Mediante aplicaciones WEB, en este trabajo se presenta la construcción y puesta en funcionamiento de un Laboratorio a Distancia para el estudio práctico de los sistemas de control. Fundamentalmente, el Laboratorio a Distancia está soportado por una estructura física, donde se ejecutan ciertos procesos dinámicos típicos para la enseñanza de la teoría de control, y unos sistemas computacionales que soportan las comunicaciones vía Internet, a partir de la cual se realizan los trabajos prácticos. Este sistema permite el aprovechamiento continuo del laboratorio y la aplicación de novedosas técnicas de enseñanza-aprendizaje.

**Palabras Claves:** Educación a distancia, Sistemas de control, Educación Asistida, Laboratorio Virtual, Laboratorio WEB, Procesos Enseñanza-Aprendizaje.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, sobre la base de las nuevas tecnologías, han surgido novedosos métodos y procedimientos para el aprendizaje y la enseñanza. Estas nuevas tecnologías, tales como las telecomunicaciones y los sistemas informáticos, permiten desarrollar herramientas alternativas para los procesos de enseñanza-aprendizaje donde el tiempo y el espacio no sean restricciones. Una de estas herramientas es la *Educación a Distancia*, la cual ha mostrado mayor efectividad al romper las barreras de tiempo y espacio [8].

La *Educación a Distancia* ofrece métodos, técnicas y recursos que hacen más efectivo y flexible el proceso enseñanza-aprendizaje, haciendo uso de tecnologías como la radio, la televisión, el vídeo, los sistemas de información y los software interactivos, con el gran adelanto en las telecomunicaciones, siendo el principal protagonista la INTERNET.

El objetivo de la educación a distancia no es reemplazar las instituciones tradicionales, sino incorporar nuevas formas organizativas para mejorar su acción cuando ésta sea insuficiente. Una integración de la educación formal y la informal puede optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje, ampliando sus ventajas al promover modificaciones en las orientaciones metodológicas y maximizar el aprovechamiento de los recursos materiales disponibles [5,14].

En el caso particular de la educación en ingeniería, uno de los aspectos importantes a considerar es el que se refiere a la realización de trabajos prácticos orientados a soportar los conceptos teóricos que se enseñan. Es allí, en los trabajos de laboratorio donde el tiempo y el espacio físico pueden constituirse en limitaciones en el desarrollo educativo. Así, es importante dirigir esfuerzos a objeto de disponer los recursos de laboratorio el tiempo suficiente para que el trabajo práctico sea efectivo.

De los aspectos anteriores se parte para introducir el objetivo principal de este trabajo, el cual es elaboración de un software que permita el aprovechamiento del *Laboratorio de Control de la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Los Andes* en horas no laborables, permitiendo que los usuarios puedan elaborar *prácticas con sistemas reales* a través de Internet.

El usuario podrá interactuar, de manera sencilla, a través de una página WEB, la cual lo guiará a través de todo el proceso, desde una pequeña explicación de la planta objeto de estudio, hasta la obtención de los resultados.

El trabajo está estructurado de la siguiente manera: en la primera parte se presentan los conceptos básicos tales como: Educación a Distancia, Laboratorios Virtuales y Control Remoto. Allí, también se explica, grosso modo, la población a la que está dirigida la herramienta, los elementos informáticos de soporte, y se presentan los elementos y/o equipos disponibles en el laboratorio para esta primera fase de desarrollo del sistema. Luego se presenta la arquitectura de un laboratorio básico a distancia, para, posteriormente, mostrar el diseño e implementación del laboratorio a distancia de la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Los Andes. El trabajo finaliza con las conclusiones.

## 2. DEFINICIONES BÁSICAS

**Educación a Distancia (EaD):** Cuando se habla de la Educación a Distancia, normalmente nos referimos a un sistema de educación en el cual los alumnos y los profesores no están el mismo lugar. Por lo que no se establecen barreras debido al espacio físico.

La educación a distancia puede ser soportada por elementos comunicacionales: teléfono, correo postal, fax, redes (internet).

**Laboratorio a Virtual (LaV):** Muchas aplicaciones para el trabajo práctico en EaD se basan en simulaciones, las están soportadas por un computador, en el cual se disponen de programas que emulan dinámicamente las distintas actividades que se pueden hacer en el laboratorio. Esta solución es la más empleada puesto que únicamente necesita del computador para funcionar. Sin embargo los datos y medidas están generados por el programa. No son procedentes de una medida real. En este caso se habla de un laboratorio virtual, donde todo el trabajo práctico está basado en simulaciones.

**Laboratorio a Distancia (LaD):** Cuando el trabajo práctico en un laboratorio es soportado por sistemas hipermedios, tecnologías de información y de comunicación, donde los procesos se basan en sistemas reales, se habla de un laboratorio a distancia.

El laboratorio virtual y el laboratorio a distancia no son excluyentes, ellos pueden ser complementarios en el sentido de que los resultados de una simulación pueden ser verificados, estableciendo comparaciones, con los resultados de un proceso real. Esto fortalece la enseñanza y el aprendizaje.

En el caso particular de este trabajo, se diseña e implementa un Laboratorio de Control a Distancia (**LcD**). El trabajo práctico está orientado a reforzar los aspectos fundamentales de la teoría de control de procesos. Para ello se recurre a la simulación remota para el estudio de la dinámica de los modelos de los procesos, el cual se corrobora mediante la experimentación, remota también, sobre los procesos reales. Todo ello soportado por medios de comunicación y tecnologías de información. Esto es, el instrumento o equipos que se muestran en la pantalla de un computador, corresponde a un equipo real, sobre el cual se realiza la fase experimental. De esta forma los datos que en pantalla aparecen son exactamente los que los dispositivos físicos han medido.

**Arquitectura Cliente-servidor Tradicional:** La arquitectura cliente/servidor es un modelo para el desarrollo de sistemas de información, en el que las transacciones se dividen en procesos independientes que cooperan entre sí para intercambiar información, servicios o recursos. Se denomina cliente al proceso que inicia el diálogo o solicita los recursos y servidor, al proceso que responde a las solicitudes [7].

La visión tradicional en dos niveles de la arquitectura cliente-servidor, involucra una aplicación cliente que se ejecuta en una estación de trabajo y un sistema de gestión de bases de datos que se ejecuta en un servidor [2,3].

Es evidente que Internet esta teniendo un profundo impacto en la forma de desarrollar sistemas. Todo el mundo solía contemplar la arquitectura cliente-servidor como basada en la existencia de una red de área local que permitía la comunicación entre las aplicaciones cliente y los servidores de bases de datos. Internet ha permitido a los desarrolladores crear complejas aplicaciones cliente-servidor accesible desde cualquier parte del mundo a través de una conexión a Internet.

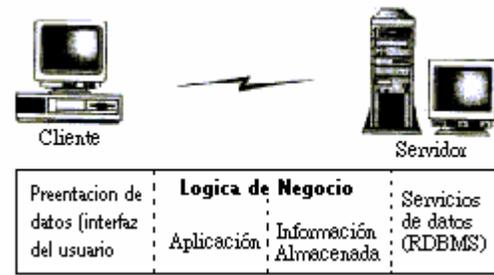


Figura 1. Arquitectura Cliente Servidor

### Planteamiento del Problema

En la Escuela de Ingeniería Sistemas se tiene un Laboratorio de Control donde se realizan prácticas tanto para estudiantes de pregrado como de postgrado.

Dos limitantes fundamentales restringen el uso del laboratorio: el tiempo, solo es posible el uso en horarios de oficina. La otra limitante es el espacio físico y la capacidad en equipos. Así, se plantea el diseño de herramientas y mecanismos que permitan una mayor disponibilidad en el tiempo del laboratorio, además de ampliar su capacidad de uso. Entonces, lo fundamental es desarrollar un software que ofrezca los servicios del laboratorio sin la necesidad de estar presente físicamente en él. Este software tiene todas las características de un Laboratorio a Distancia, donde su objetivo principal es realizar, por un lado, simulaciones sobre modelos dinámicos de los procesos, y por otro, realizar emulaciones sobre sistemas reales a través de Internet. De esta forma los usuarios obtienen resultados tomados directamente por instrumentos. La presentación de los resultados al usuario debe ser bien sencilla pero con la información necesaria para que los alumnos puedan generar análisis y conclusiones satisfactorias.

El segundo objetivo, pero no menos importante, es diseñar un control PID digital generalizado para cada uno de los procesos incluidos en el Laboratorio a Distancia.

### Requerimientos de funcionamiento

El sistema debe ser tal que el usuario debe interactuar con una página Web donde se le presentan datos teóricos de los procesos. Los procesos a evaluar se deben seleccionar a partir de un banco de modelos simples. Al seleccionar cualquiera de ellos, se debe permitir la escogencia del tipo de experiencia: "Lazo Abierto o Lazo Cerrado". Dependiendo de su selección se le presentará un formulario donde se deben indicar los puntos de ajustes para el comportamiento del proceso, tiempo de duración de la experiencia entre otros. Estos datos son tomados por el servidor Web, el cual deberá invocar la ejecución del proceso seleccionado. El usuario y el servidor Web deben esperar, de acuerdo al tiempo de la experiencia, que el proceso físico culmine a objeto de poder disponer de los resultados, los cuales deberán ser posibles de graficarlos y presentarlos al usuario.

Un requerimiento importante se refiere a la seguridad de la experiencia, en el sentido de que no se permite la simultaneidad en la ejecución de experiencias sobre un mismo proceso físico.

### Selección de los procesos factibles para ser controlados a distancia.

La escogencia de los procesos se basa en:

- Plantas con dinámica sencilla ya que el usuario que no tendrá contacto visual con ellas, entonces así, se le facilite entender lo que representan los resultados.
- Existen una variedad de ejercicios teóricos resueltos para estos procesos, de este modo el estudiante puede comparar estos resultados con los reales.
- La razón más importante es la seguridad, ya que estas plantas han sido diseñadas para trabajar en un lazo de tiempo prolongado y en caso de falla poseen un sistema de protección para el corte de energía.

Los procesos que cumplen las condiciones citadas anteriormente fueron: Compresor, Servo Motor y el Circuito basado en resistencias, inductancias y capacitancias (RLC).

**Descripción del Circuito RLC:** Es un circuito en serie conformado por una inductancia  $L = 0.46$  Henrios, un capacitor  $C=11,1\mu\text{f}$  y una resistencia  $R=100\Omega$ , donde el valor de salida es el voltaje en el capacitor, el cual es un modelo típico en el análisis de sistemas de control. El circuito se ilustra en la Figura 2.

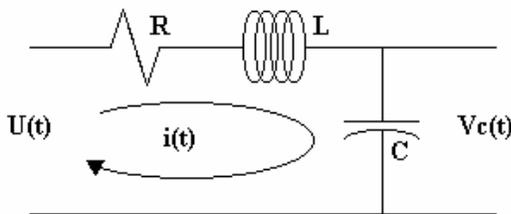


Figura 2. Circuito RLC

**Descripción del Servo Motor :** Consiste en un motor de Corriente Continua, que puede ser controlado por armadura, y esta constituido por las siguientes partes [1]:

**Fuente de Poder:** Es la encargada del suministro de voltaje el cual es de  $-15\text{VCC}$  y  $+15\text{VCC}$

**Servo Amplificador:** Es el encargado de acondicionar el voltaje y corriente que se utiliza para el control del motor.

**Reóstato:** Realiza una caída de tensión que se le suministra en los extremos Rojo y gris obteniendo como salida el ping negro con respecto a tierra.

**Amplificador:** Este es un amplificador de voltaje, que solo se le debe suministrar una diferencial de potencial a las entradas y se obtiene un voltaje de salida amplificado, esta ganancia se puede ajustar con una perilla de calibración.

**Servomotor:** Este motor es de corriente continua, con un voltaje máximo de  $+24\text{VCC}$  y mínimo de  $-24\text{VCC}$ , con un consumo de 1,5 amp y 6000RPM.

**Taco Generador:** Este es un dispositivo es un transductor que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

**Descripción del Compresor:** Dicha unidad consta de un deposito y un compresor accionado por un motor eléctrico, cuya función es la de suministrar gas (en este caso aire) necesario para obtener cierto nivel de presión estable [1]. El actuador está constituido por una válvula proporcional controlada eléctricamente y montada en la línea de descarga; mientras que el transductor de presión, cuya función es suministrar una señal eléctrica relacionada con la presión de “feedback” (o de realimentación), se encuentra al lado del depósito. La unidad también está provista de un manómetro para la medición de la magnitud controlada.

Una válvula estranguladora, controlada manualmente, (colocada también al lado del depósito) permite producir

variaciones de “carga” de presión. Por último, posee también una válvula de máxima presión (montada en la línea de suministro del aire) que impide que la presión alcance valores peligrosos dentro del depósito y del bloque del compresor. El campo de presiones admitidas por esta unidad (TY35/EV) es de: 0 a 2 Bar (1Bar=14.5 Psi).

**Descripción de la Tarjeta de adquisición de datos PC30GA (TAD):** El objetivo principal de esta tarjeta es digitalizar (transformar en variables binarias) mediciones de voltajes suministrados por elementos externos al computador que la contiene, para que puedan ser procesadas por el computador. El proceso inverso también es posible que el computador envíe una señal binaria y la tarjeta entregue un voltaje analógico. La tarjeta PC30GA es compatible con la serie de computadores personales IBM, esta tarjeta esta compuesta por 3 subsistemas que son [4]:

- Subsistema Analógico-Digital.
- Subsistema Digital- Analógico.
- Subsistema Entrada-Salida Digital.

### 3. ARQUITECTURA BÁSICA DEL LABORATORIO DE CONTROL A DISTANCIA

Basándonos en la arquitectura típica Cliente-Servidor de Internet, nos permitimos agregar un componente más que es el proceso, entonces, el sistema funcionara de la siguiente manera: “Permitir que un programa (cliente), a través de Internet, se comuniquen con el programa (servidor) que está en contacto directo con el proceso a controlar. De esta forma ya se pueden transmitir órdenes en sentido cliente-servidor-proceso, y devolver resultado de medidas en el sentido proceso-servidor-cliente”. En la siguiente figura se ilustra el funcionamiento de esta arquitectura

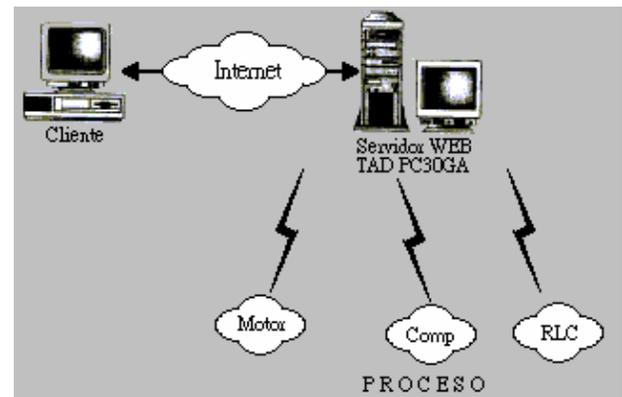


Figura 3. Arquitectura Cliente ↔ Servidor ↔ Proceso

**Definición de CGI's:** Un CGI es un programa que, básicamente, acepta unos datos por entrada estándar y devuelve una página html. Se puede escribir en prácticamente cualquier lenguaje como: C, PASCAL, Shell, PERL, etc.

Debemos tener presente que un CGI es un programa que se invocará cada vez que alguien visite la página Web asociada a ese CGI, y por lo tanto, ese programa se lanzará, ejecutará y terminará. Ahora conviene aclarar un punto acerca de los formularios html y los métodos de invocación de CGI's, POST y GET. En el método GET, quizás el más sencillo, los

parámetros pasados por el formulario se pasaran al CGI a través de una variable de entorno llamada QUERY\_STRING, y los parámetros serán visibles en la misma URL. Tiene una limitación de tamaño.

**Esquema para la Comunicación:** En la Figura 4 se ilustra cada uno de los pasos de la comunicación, la cual se establece en ambos sentidos: Cliente ↔ Servidor ↔ Proceso.

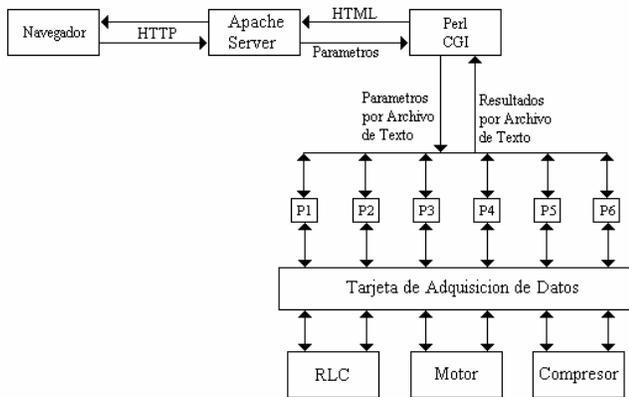


Figura 4 Esquema Detallado de Comunicación

El usuario inicia su programa para navegar por Internet, a través del cual solicita la página Web <http://labdista.ing.ula.ve>. De esta manera se accede a la página principal, la cual consta de dos partes: una donde explica detalladamente cada uno de los procesos que compone el laboratorio y se permite aplicaciones de experiencias virtuales a través de simulaciones, y el otro que es un algoritmo que guía al usuario a desarrollar la experiencia práctica que se desee, de acuerdo a los soportes del sistema.

La comunicación comienza cuando el usuario termina el formulario final donde se suministra el valor de referencia y el tiempo que desea realizar la experiencia. En el caso de la experiencia en lazo cerrado, se debe suministrar las constantes correspondientes al algoritmo de control Proporcional-Integral-Derivativo (PID), mismo que se implementa en forma digital. El siguiente paso corresponde a que el servidor Web toma, por medio del CGI, los datos suministrados por el usuario y los convierte en un archivo de texto. Al mismo tiempo se invoca la ejecución del programa correspondiente al proceso que el usuario ha seleccionado. La experiencia práctica para proceso real se ejecuta. Los datos de salida correspondientes a los resultados, una vez finalizada la experiencia, se almacenan en un archivo de texto. A partir de entonces, el CGI toma el archivo de datos y ordena al programa Gnuplot que grafique los datos y elabora la página de salida con la gráfica y los datos, la cual es presentada al usuario. Como ejemplo, la Figura 5 muestra el portal principal del Laboratorio de Control a Distancia, a partir del cual se desarrollan todas las experiencias.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado el diseño e implementación de un Laboratorio de Control a distancia, el cual permite a los usuarios realizar prácticas, referidas a los sistemas de control, a cualquier hora desde cualquier lugar del planeta. El diseño se basa en la estructura y metodologías de aplicaciones WEB, particularmente lo referente a los sistemas cliente-servidor, la cual permite manejar todos los recursos de aplicados

hipermedias. El diseño consta de dos partes, una se refiere al desarrollo de las herramientas de software de comunicación, interfaz y control digital de procesos basados en simulaciones; la otra se refiere al desarrollo de requerimientos de hardware y de mecanismos de protección de equipos. Este sistema de educación a distancia permite el trabajo práctico de manera interactiva y de acuerdo a las necesidades de tiempo y de ubicación física de los usuarios.



Figura 5. Portal principal del LCD.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] Pérez Tovar Yarelis. "Control de Presión en un Sistema Neumático. Selección de Algoritmos de Control-Pruebas de Sensores y Actuadores". **Proyecto Grado**, Universidad los Andes. 2000.
- [2] Alonso Amo y Morales Lozano. "**Problemas de Programación**", Paraninfo, 1.989.
- [3] Nathan Meyers, "**Programación Java en Linux**". Prentice Hall. 2001.
- [4] **User Manual for the PC30G**, Series Bords. Eagle technology. 1990.
- [5] Rodrigo Peñarrocha y Vicent Miquel, "**Realización de Medidas de Laboratorio a través de Internet**". 2001.
- [6] Ogata Katsuhiko, "**Sistemas de Control en Tiempo Discreto**". Prentice Hall, 1986.
- [7] Márquez Fernández Gregorio, "**Sistemas de Seguridad Soportado en Internet**". 2002.
- [8] J. Sánchez, F. Morilla, S. Dormido, J. Aranda y P. Ruipérez. "Virtual and Remote Control Labs Using Java: A Quality Approach". **IEEE Control Systems Magazine**, Vol. 22, No. 2, 2002.

#### Páginas Web

- [9] <http://aimlab.unik.no/experiments>
- [10] <http://chem.engr.utc.edu>
- [11] <http://jersey.uoregon.edu/vlab/Piston/index.html>
- [12] <http://osse.org>
- [13] <http://quark.fe.up.pt/ApachES/manual-es/windows.html>
- [14] <http://utp.ac.pa/seccion/topicos/educacion-distancia/definiciones.html>
- [15] <http://recolab.umh.es>
- [16] <http://staffweb.itsligo.ielstaff/bmulligan/EdTech2001/flyer.doc>