

# INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL APLICADA AL DISEÑO DE SISTEMAS DIGITALES DE CONTROL

IÑIGO J. OLEAGORDIA AGUIRRE<sup>1</sup>, JOSÉ JAVIER SAN MARTÍN DÍAZ<sup>2</sup>, JOSÉ IGNACIO SAN MARTÍN DÍAZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao. Universidad del País Vasco UPV/EHU  
ij.oleagordia@ehu.es*

<sup>2</sup>*Departamento de Ingeniería Eléctrica. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Eibar. Universidad del País Vasco UPV/EHU  
josejavier.sanmartin@ehu.es*

<sup>3</sup>*Departamento de Ingeniería Eléctrica. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Eibar. Universidad del País Vasco UPV/EHU  
joseignacio.sanmartin@ehu.es*

*En este trabajo se describe la operatividad de un libro electrónico que de forma interactiva, como hipertexto, permite desarrollar una metodología específica orientada al diseño e implementación, en el entorno LabVIEW, de diversas topologías de reguladores digitales aplicadas en el ámbito industrial. Los diversos aspectos significativos se resumen en los siguientes puntos: I) Realizar una introducción, planteamiento y justificación del procedimiento a seguir en el problema de la discretización de los reguladores continuos. II) Enumerar los diferentes métodos de discretización centrandó el problema en la discretización por integración numérica. III) Aplicar el método de integración numérica a la discretización de distintos reguladores, PID, redes de adelanto-retraso, etc. IV) Aplicación a un sistema de control y comprobación operativa del mismo mediante simulación o actuación sobre un sistema real.*

## 1. Introducción

La paulatina implantación del formato ECTS (European Credit Transfer System), aunque se basa en el precepto que, a partir de ahora, un crédito será equivalente a 10 horas teóricas y unas 15 horas prácticas, desde el punto de vista docente, la consecuencia es la reducción de las horas de clase presencial en favor de prácticas tutorizadas por el personal docente. Su aplicación supone un aprendizaje basado en la adquisición de competencias, habilidades y destrezas. Por lo tanto la implantación del ECTS no es un simple cambio en la forma de computar los créditos que deben cursar los estudiantes para obtener una determinada titulación oficial, sino que ha de conducir necesariamente a una renovación sustancial de la metodología docente.

Se trata, por tanto, de un sistema de enseñanza-aprendizaje basado en la adquisición de competencias, entendidas como un conjunto de conocimientos, capacidades, habilidades y destrezas que expresan lo que el estudiante sabe, comprende y es capaz de hacer después de completar un proceso de aprendizaje. En este contexto, en general, son tanto o más importantes las aptitudes que el alumno adquiera durante su etapa de formación que los contenidos meramente técnicos. La respuesta a todo esto viene de la mano de las teorías constructivistas que recientemente se están implantando en la didáctica moderna. Se trata de cambiar la tarea del docente: de ser un mero transmisor de conocimientos ha de convertirse en un elemento activo que facilite el aprendizaje y su puesta en práctica en la medida de lo posible, es decir un aprendizaje activo e integral. Ha de ser el alumno quien aprenda, y ello conlleva un

esfuerzo que el profesor ha de gestionar. De esta forma, aprenderá a ser autosuficiente en el futuro, y por ende a saber adaptarse a la situación cambiante del mundo técnico actual.

En este contexto, se desarrolla este trabajo con el cual se pretende colaborar en la formación y difusión de los sistemas digitales de monitorización y control de procesos. Como profesores ponemos a disposición de la comunidad estudiantil este material teórico-práctico para que en el contexto del EEES y desde diversas asignaturas de amplia componente tecnológica, como actividad personal semipresencial, el estudiante interesado aborde su estudio en el desarrollo y adquisición de competencias propias de su especialidad.

## 2. Metodología empleada

La metodología empleada y demás cuestiones operativas sigue, de forma resumida, las directrices marcadas en otro trabajo presentado que lleva por título “*Maqueta Didáctica aplicada a la Domótica*”, por lo que en este apartado se indican los objetivos específicos que se pretende obtener mediante el aprendizaje activo con este material didáctico presentado.

- Estudiar los elementos y bloques constructivos de un sistema automático de control.
- Modelar las funciones de transferencia asociadas a todo sistema de control.
- Estudiar la operatividad, funcionalidad y diseño del regulador más adecuado para una aplicación específica.
- Estudio de la instrumentación de medida y control de la instalación empleando instrumentación virtual. Comparativa instrumentación tradicional vs instrumentación virtual.
- Desarrollo de software para el control del sistema completo desde el entorno LabVIEW.
- Como ampliación, se propone estudiar las distintas alternativas de implementación de un sistema de control en tiempo real, por ejemplo empleando la plataforma CompactRIO o LabVIEW Real Time.

Como herramientas software se han empleado: para la implementación del hipertexto el programa de autor Toolbook 3.0, [1] y para el desarrollo de la instrumentación virtual el entorno de programación LAbVIEW 8.5.

En la implementación del libro electrónico, en formato hipertexto, se han tenido en cuenta los siguientes aspectos metodológicos:

- Que en todo momento sea visible el estado del libro electrónico. El usuario debe saber siempre dónde está y qué pasa a partir de sus acciones.
- Que exista equivalencia entre el hipertexto y el mundo real de forma que todo lo que aparezca debe ser familiar al usuario.
- Que el usuario tenga libertad para controlar la operatividad del hipertexto.
- Que exista coherencia.
- Que dé la posibilidad de prevenir errores, además de incluir mensajes que informen de cómo evitar a volver cometer uno.
- Que haya reconocimiento más que recuerdo. El usuario no debería tener que recordar informaciones de una parte de los diálogos a otra.
- Que haya flexibilidad y eficacia en el uso.
- Que el usuario pueda reconocer, diagnosticar y recuperarse a partir de un error cometido.
- Que exista una adecuada ayuda y documentación complementarias.

Los hipertextos [2], es decir, los textos interactivos que a diferencia de un libro convencional incorporan elementos no lineales, facilitan el proceso de aprendizaje permitiendo acceder a un punto determinado de la documentación sin pasar por los capítulos precedentes.

### 3. Desarrollo de la aplicación

Esta aplicación consta básicamente de dos secciones como se muestra en la figura 1. La primera parte corresponde al desarrollo teórico de los sistemas automáticos de control y en la segunda, formada por un programa de simulación y control de procesos por ordenador, se explica la programación del mismo y características del software utilizado.

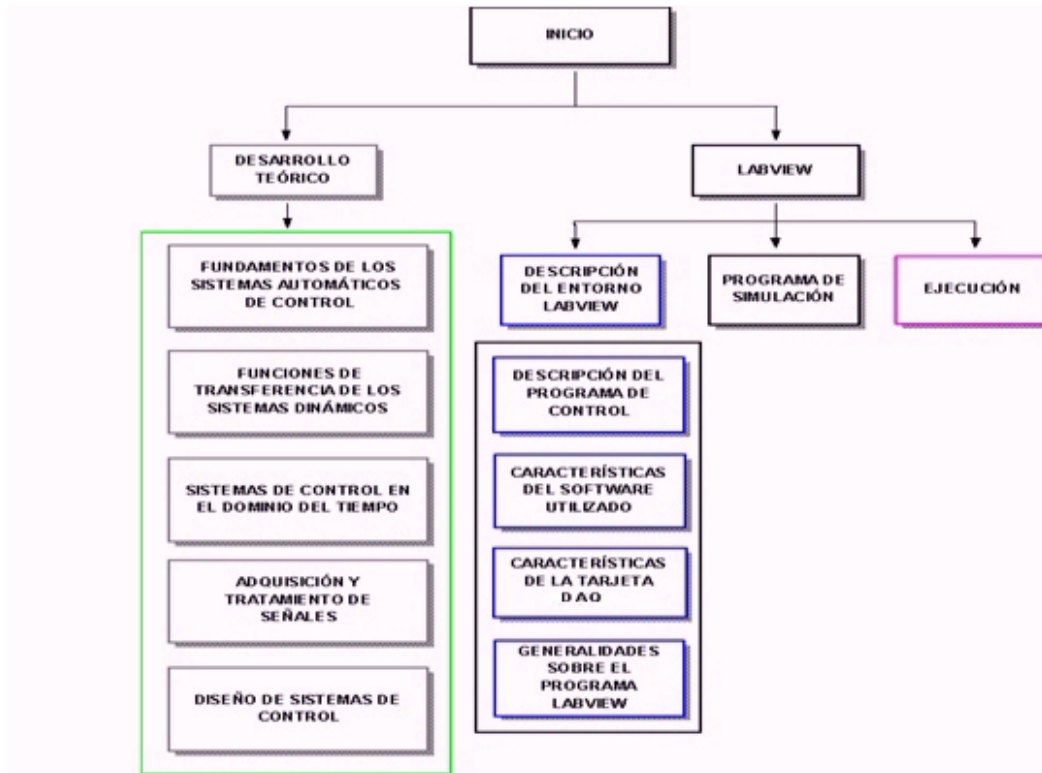


Figura 1. Esquema en bloques de la aplicación.



#### 3.1. Desarrollo teórico de los sistemas de control

Esta sección está planteada como texto de ayuda para la comprensión y asimilación de los conceptos que posteriormente se desarrollarán sobre los diferentes métodos de estudio de los sistemas automáticos de control.


- *Fundamentos de los sistemas automáticos de control.*
- *Funciones de transferencia de los sistemas dinámicos.*
- *Sistemas de control en el dominio del tiempo.*
- *Adquisición y tratamiento de señales.*
- *Diseño de sistemas de control.*

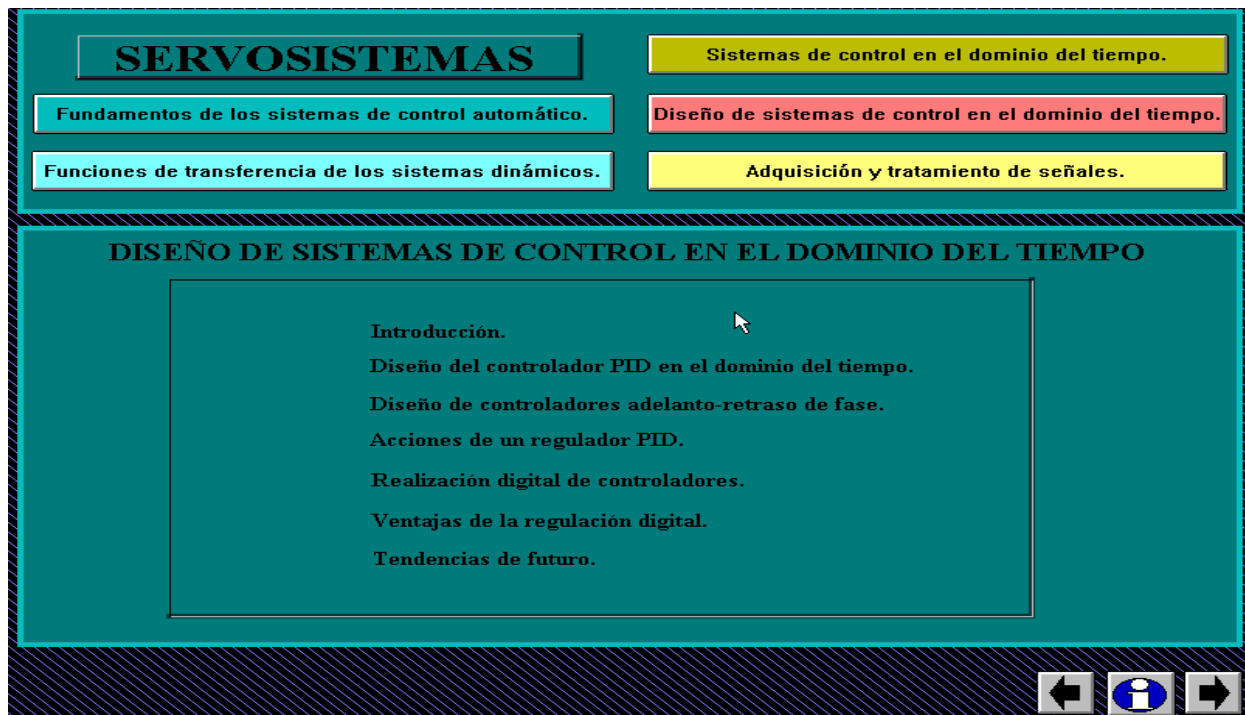
Cada unidad temática está compuesta por diferentes temas, que se harán visibles al seleccionar la unidad como se muestra en la pantalla principal de presentación del tema general SERVOSISTEMAS, figura 2. La forma en que pueden seguirse estas unidades temáticas es mediante:

*Lectura secuencial o lineal.* Se puede seguir el desarrollo teórico de forma secuencial, es decir, sin salir a la pantalla principal se puede navegar por las distintas páginas, según las opciones que se nos presenten, o bien seguir la secuencia natural hasta terminar el desarrollo teórico, ya que hay un enlace entre el final y el

principio de las diferentes unidades temáticas. Para avanzar página a página se pulsa el botón  mientras que para retroceder de la misma manera se opera con el botón .

*Lectura no lineal*, Otra forma de seguir las unidades temáticas es, una vez terminado o no el tema seleccionado, si se desea acceder a otro tema implementado en una unidad distinta, se pulsa el botón de **índice** para volver de nuevo a la pantalla de presentación y a partir de ahí seleccionar el tema deseado. El

Botón de consulta del índice general es: .



**Figura 2.** Pantalla de acceso al hipertexto

A lo largo de las unidades temáticas irán apareciendo palabras o frases activas. Pulsando sobre ellas con el botón izquierdo del ratón se desplegarán figuras, aclaraciones, incluso se navegará por el programa dependiendo de la palabra o frase en cuestión.

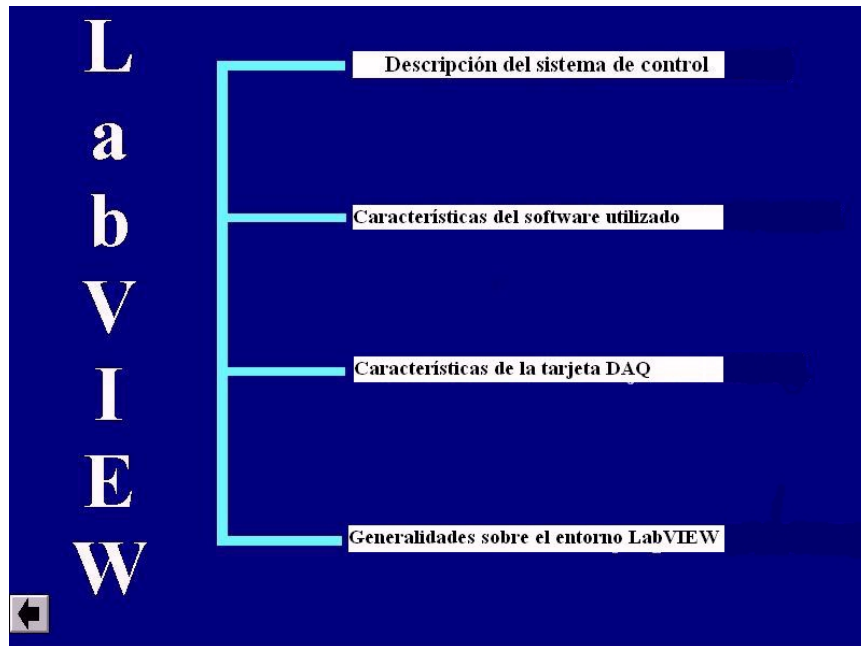
Una vez aparezca la figura, aclaración, etc, para ocultar dicha zona y seguir el proceso normal de lectura, será necesario volver a pulsar el botón izquierdo del ratón, pero esta vez en la zona desplegada. La flexibilidad inherente al hipertexto con estructura jerárquica permite acceder de un tema a otro desde cualquier ítem o palabra activa en la estructura jerárquica del mismo.

En esta sección se ha intentado que el usuario siga un proceso lógico de lectura sin que pierda la noción de su situación y sepa en todo momento el lugar que ocupa en el hipertexto.

### 3.2. Instrumentación Virtual.

La segunda parte del libro electrónico consiste en dar a conocer el lenguaje de programación LabVIEW para plataforma Microsoft Windows de National Instruments. LabVIEW es un entorno de programación gráfica para adquisición, análisis y presentación de datos y para el control de instrumentación. Por ello ofrece una metodología innovadora de programación en la cual gráficamente se unen módulos de software llamados instrumentos virtuales ( VIs ), aunque también existe la posibilidad de programación textual mediante Fórmula Node o Mathscript. Esta sección consta a su vez de dos apartados denominados *Descripción del entorno LabVIEW* y *Programa de simulación y control*.

*Descripción del entorno LabVIEW.* En este apartado se describen los fundamentos de programación. El desarrollo se hace en base a los cuatro ítems reflejados en la figura3.

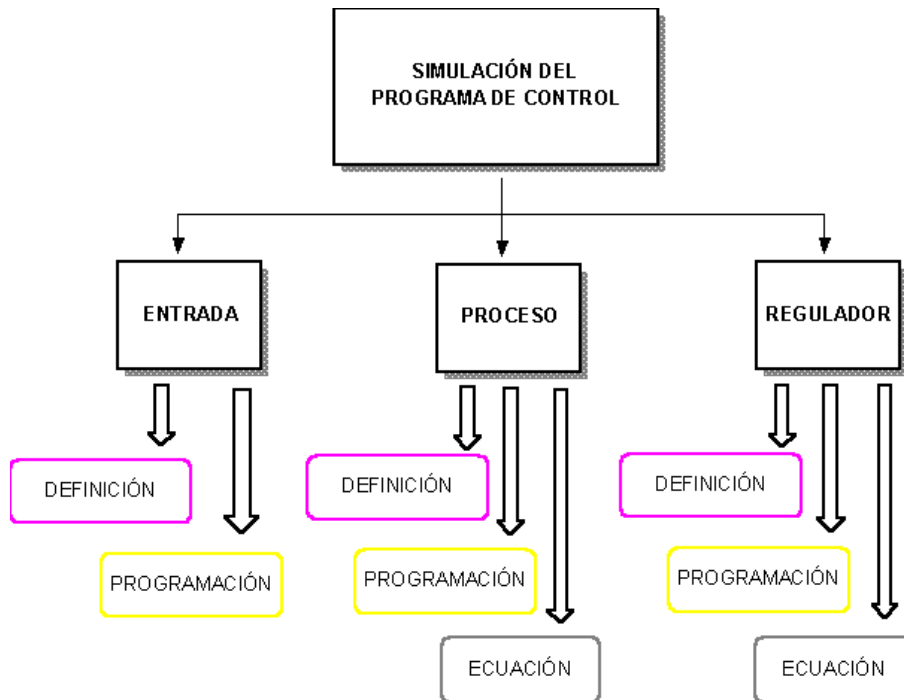


**Figura 3.** Interfase de acceso al Programa LabVIEW

- *Descripción del programa de control.* Se analiza el funcionamiento del programa de control y se explican los algoritmos que han sido necesarios implementar para la realización del mismo. La comprensión de los mismos se facilita mediante diagramas de flujo.
- *Características del software utilizado.* Se enumeran la operatividad del software LabVIEW como puede ser adquisición y tratamiento de señales, almacenamiento de datos en ficheros, conectividad con el puerto serie y paralelo y control de instrumentación.
- *Características de la tarjeta DAQ.* La tarea fundamental de un sistema de adquisición de datos es la toma de muestras y la generación de señales que activarán diversos elementos existentes en un sistema de regulación y control. Los programas desarrollados son lo suficientemente versátiles para poder trabajar con diferentes tipos de tarjetas de adquisición DAQ. Entre las utilizadas cabe citar la 6024 E, PCI 6221 o la USB 6211.
- *Generalidades sobre el software LabVIEW.* En este punto se dan a conocer las dos partes fundamentales, panel de control y diagrama de bloques, de que consta un programa desarrollado en el entorno LabVIEW. El panel de control es la interface entre el usuario y el proceso a controlar,

mientras que el diagrama de bloques corresponde al entorno donde se implementa el programa que controla el proceso y que se desarrolla mediante bloques que van unidos por medio de conexiones.

*Programa de simulación y control de procesos.* En este apartado se presenta la programación de los distintos elementos que componen el sistema automático de control, figura 4. La programación de los distintos elementos ha sido desarrollada con LabVIEW y es importante señalar que esta es una de las características que le diferencia de otros lenguajes de programación de alto nivel, ya que no hace uso de códigos crípticos como otros y si de una programación gráfica en la cual se unen distintos módulos de software llamados instrumentos virtuales (VIs) o funciones, dando al programador una mayor legibilidad y comprensión del programa. Como se puede apreciar el sistema automático de control consta de los siguientes apartados: *Entrada*, *Proceso* y *Regulador*.



**Figura 4.** Diagrama en bloques del programa de simulación y control

Cada elemento tiene una función específica dentro del sistema automático de control y por ello cada uno de los elementos anteriormente citados es una zona activa.

- **Entrada.** El sistema automático de control dispone de 4 entradas de referencia, todas ellas típicas en el diseño de sistemas, cuando se trata de hacer un análisis temporal. Estas entradas son: *Rampa*, *Pulso Parábola* y *Escalón*. Todas ellas pueden ser desplazadas o no en el tiempo, según las necesidades del usuario. Cada entrada se asocia a un programa específico y de una breve explicación del mismo. Para la simulación de las entradas de referencia es necesario la introducción de una serie de parámetros de entrada los cuales vienen claramente identificados en el programa y en la explicación adicional.
- **Comparador.** En los sistemas de regulación automática realimentados, se necesita disponer de un elemento que compare la señal de referencia o de consigna  $r(t)$ , con la señal regulada o de salida  $y(t)$ , y genere una señal de error  $e(t)$  proporcional a la diferencia entre ellas. Esta operación se realiza mediante el comparador.

- **Regulador.** El programa de control dispone de 2 clases de reguladores. Por una parte están los reguladores PID (Proporcional Integral Derivativo) y por otra las redes de compensación.
- **Reguladores PID.** Dentro de los algoritmos de control PID, hay 3 grupos de controladores PID (no interactivo, interactivo, y paralelo). A su vez dentro del controlador PID no interactivo se pueden implementar los algoritmos de control de 3 formas distintas, cuyas estructuras son: PID, I-PD, PI-D. En las gráficas adjuntas, figuras 5, 6, 7, 8, se muestra el diagrama en bloques de las distintas arquitecturas.

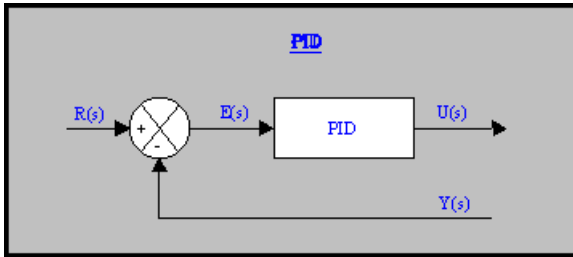


Figura 5. Estructura de control del algoritmo no interactivo PID

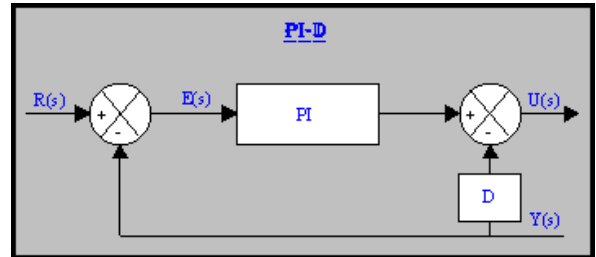


Figura 6. Estructura de control del algoritmo no interactivo PI-D

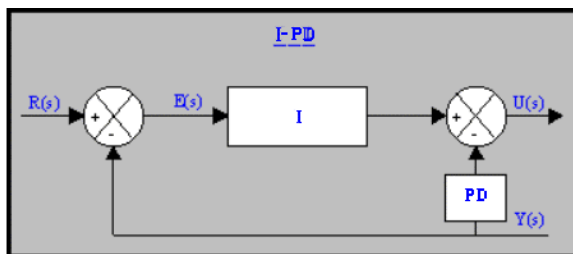


Figura 7. Estructura de control del algoritmo no interactivo PI-D

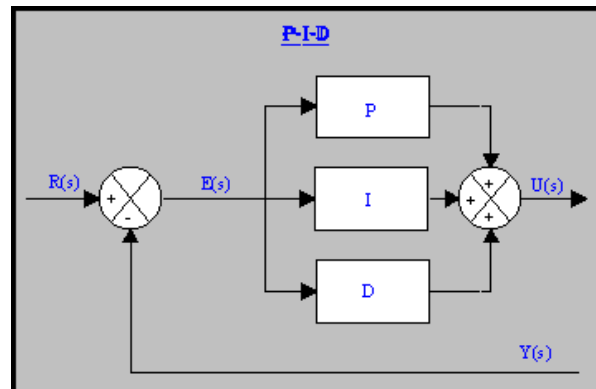


Figura 8. Estructura de control del algoritmo en paralelo PID

- **Redes de compensación.** Las redes de compensación de que dispone el elemento regulador son cuatro. De la misma forma que para los reguladores con estructura PID, las redes de compensación se clasifican atendiendo a su estructura propia de funcionamiento. Estas son: Red adelanto de fase, red retraso de fase, red adelanto - retraso de fase, red en T, figuras 9, 10, 11, 12.

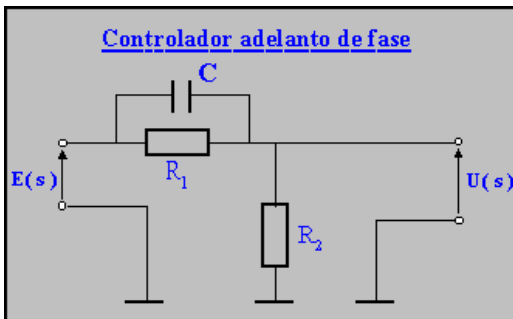


Figura 9. Estructura de control en adelanto de fase

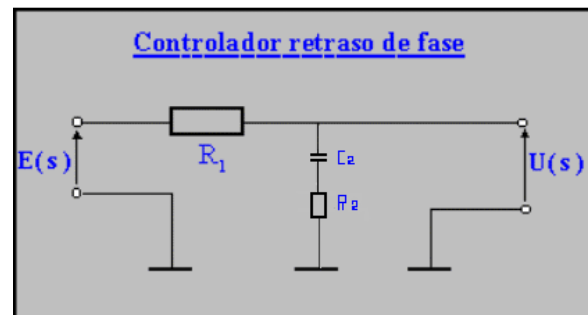


Figura 10. Estructura de control en retraso de fase

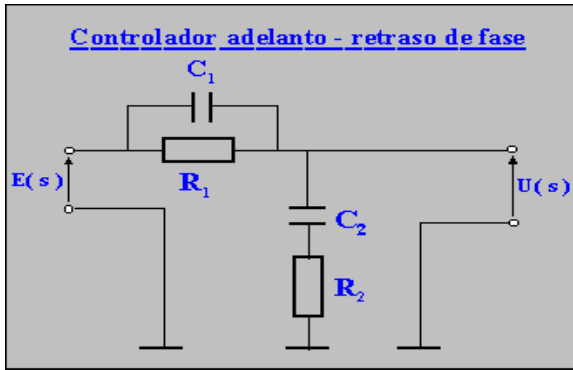


Figura 11. Estructura de control en adelanto-retaso de fase

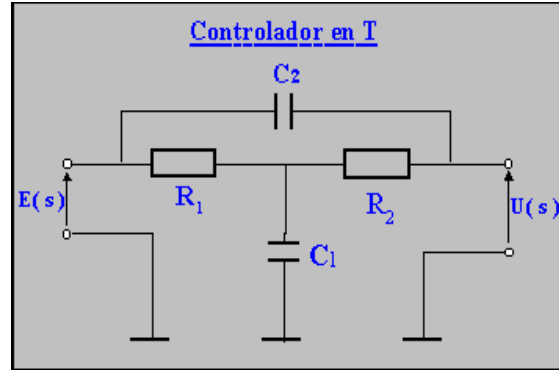


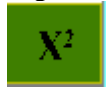
Figura 12. Estructura de control con red en T

El usuario puede acceder tanto al análisis del algoritmo de control como a su posterior programación en LabVIEW. Para observar la programación del regulador se pulsa con el botón



izquierdo del ratón en el correspondiente icono de programación

Para observar el algoritmo de control del regulador se pulsa con el botón izquierdo del ratón el



botón del icono

Una vez consultada la programación o ecuación del regulador seleccionado, si se desea analizar otro regulador distinto hay que retroceder hasta encontrar el icono del regulador deseado. Para obtener la acción de los reguladores en el programa de simulación y control de procesos es necesario efectuar la correspondiente parametrización.

- **Proceso.** Este ítem tiene implementados 5 procesos industriales de distinta naturaleza denominados: *Proceso 1*, *Proceso 2*, *Proceso 3*, *Proceso 4* y *Proceso 5*. Para el desarrollo de estos procesos en el ordenador se ha partido de sus funciones de transferencia y mediante su discretización en dominio del tiempo se han obtenido sus diferentes algoritmos los cuales se han implementado en el PC. Para la simulación de los correspondientes procesos industriales es necesario parametrizar sus entradas en el panel frontal del programa de simulación y control de procesos.

Para observar la programación del proceso se pulsa con el botón izquierdo del ratón el botón en el



icono de programación

Así mismo para analizar el algoritmo de implementación del



proceso seleccionado se debe pulsar con el botón izquierdo del ratón icono ecuación. Una vez consultada la programación o ecuación del proceso seleccionado, si se desea consultar otro proceso distinto hay que retroceder hasta encontrar el icono del proceso deseado, para lo cual es



necesario pulsar el icono volver

La principal características del programa es la flexibilidad que tiene debido a las características intrínsecas de cualquier aplicación desarrollada en un entorno multimedia.



#### 4. Control de procesos.

En este programa de simulación y control de procesos el usuario puede elegir entre los distintos elementos que componen el sistema automático de control, tipos de entradas, reguladores y procesos industriales. Una vez elegida la composición del sistema se parametrizan una serie de variables de entrada tales como anchura del pulso, tiempo de retardo, constantes del regulador y proceso, tiempo de muestreo, etc para que mediante la simulación se represente en una gráfica la señal de entrada, acción del regulador y salida del proceso observando si éste es estable o inestable.

De la solución obtenida el usuario ha de evaluar los datos de entrada y elección de los mismos ya que para un proceso industrial en concreto y una entrada determinada la salida depende de la topología del regulador seleccionado. De esta forma puede estudiar experimentalmente el sistema, y siguiendo un proceso lógico deductivo asimilar su comportamiento dinámico.

##### 4.1. Composición del panel frontal.

El panel frontal consta de un display gráfico en el dominio del tiempo donde se representa la evolución temporal de la señal de entrada, acción del controlador, y salida del proceso. Además dispone de un grupo de botones para el cambio de la representación de gráficas; escala horizontal, vertical, borrado de datos, etc, figura 13.

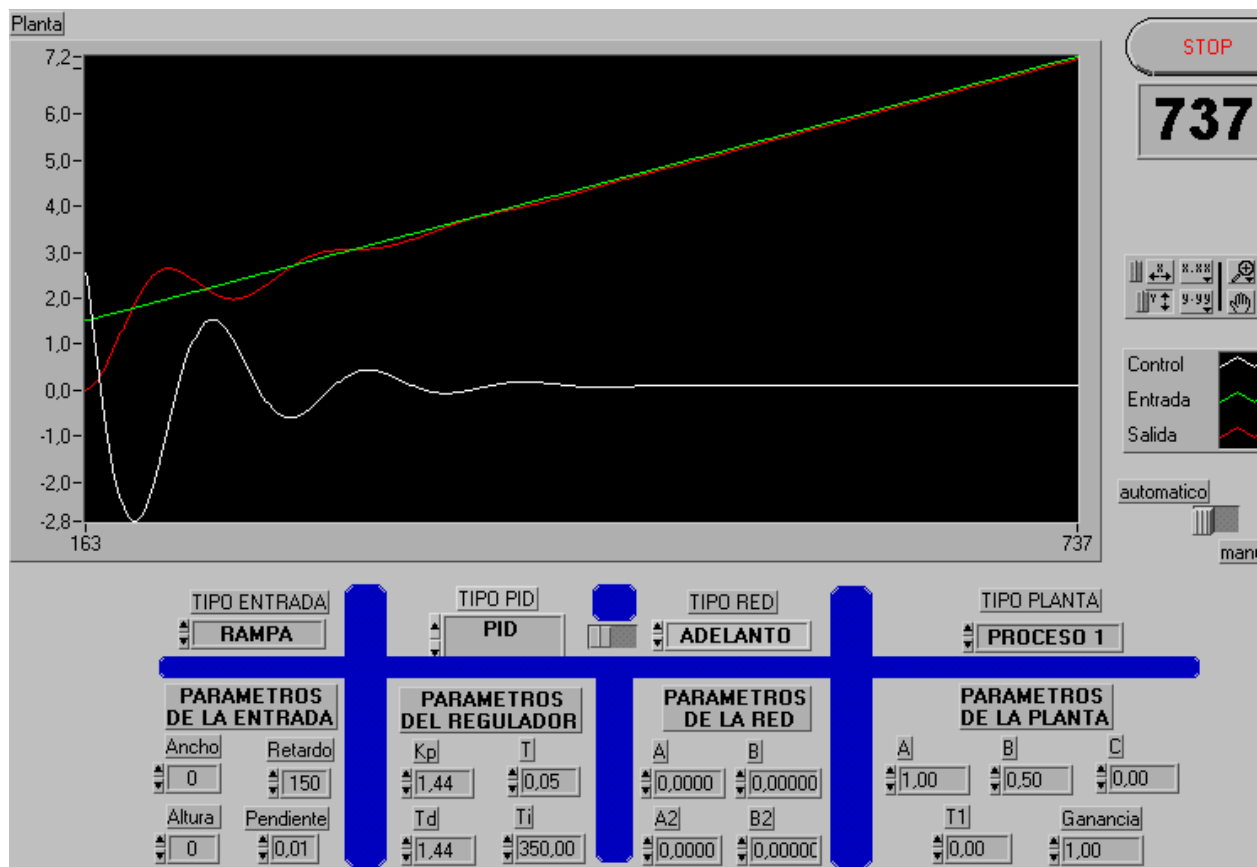
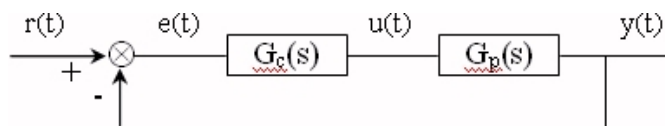


Figura 13. Panel frontal correspondiente al control de procesos

Otros elementos significativos son:

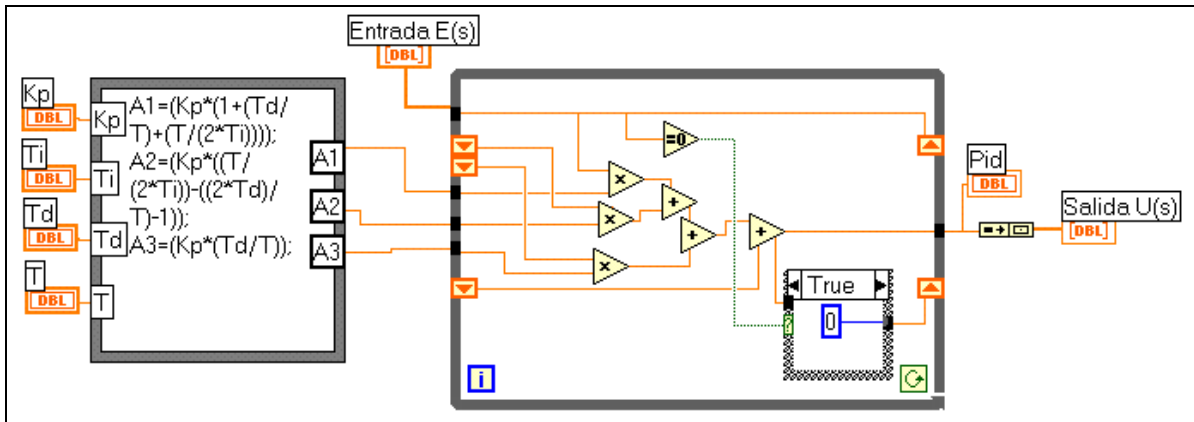
- **Conjunto de displays** para la introducción de los valores de la entrada de referencia necesarios para el proceso. Para seleccionar una determinada entrada, pulsar en cualquiera de los botones situados a la izquierda del display que indica el tipo de entrada y a continuación introducir los valores de los parámetros de cada entrada.
- **Selector** entre las dos clases de controladores existentes; reguladores estructura PID y redes de compensación. Este selector tiene 2 posiciones: con el cursor posicionado en la izquierda, el controlador es un regulador estructura PID y con el cursor posicionado en la derecha el controlador tiene las funciones de una red de compensación.
- **Conjunto** de displays para la introducción de los valores del controlador con estructura PID. Una vez elegido este tipo de regulador, se pueden elegir distintos tipos de estructura. Para ello se pulsa en cualquiera de los botones situados a la izquierda del display que indica la arquitectura del mismo. Elegido un regulador determinado se pasará a introducir los valores que caractericen al mismo.
- **Conjunto** de displays para la selección e introducción de los valores de las redes de compensación. Su operatividad es semejante al caso anterior.
- **Conjunto** de displays para la introducción de los valores que caracterizan al proceso.
- **Selector** entre los dos modos de funcionamiento, Automático / Manual. El programa dispone de dos modos de funcionamiento Automático/Manual. El modo control manual se utilizará cuando se desee controlar un proceso real de forma que la señal de control, set-point (SP), se varíe desde el panel frontal. En este caso, mediante la tarjeta de adquisición DAQ se introducen en el ordenador las distintas variables que una vez procesadas, fundamentalmente por el regulador, se generan las correspondientes señales de salida que nuevamente, a través de la DAQ, actúan sobre el sistema manteniendo bajo control la evolución temporal del mismo. El control automático se utilizará en aquellos casos en que se desee que el proceso simulado responda según unas condiciones prefijadas de antemano por el usuario. En la figura 14 se muestra el diagrama de bloques del sistema.



**Figura 14.** Diagrama en bloques del sistema simulado

La función de transferencia de la planta es  $G_p(s) = \frac{1}{s(s+0.5)}$ . El comportamiento de un regulador PID analógico es  $u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) \cdot dt + T_d \frac{de(t)}{dt}]$  cuya función de transferencia es  $G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p [1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s]$  que una vez discretizado se modela por la función de transferencia  $\frac{U(z)}{E(z)} = K_p [1 + \frac{T}{2 \cdot T_i} \cdot \frac{1+z^{-1}}{1-z^{-1}} + \frac{T_d}{T} (1-z)^{-1}]$  siendo T el periodo de muestreo. Esta última ecuación es la que se implementa en el correspondiente instrumento virtual con los valores indicados en el panel frontal.

En la figura 15 se muestra la programación en el entorno LabVIEW del regulador PID con estructura no interactiva



**Figura 15.** Implementación en el entorno LabVIEW del algoritmo no interactivo PID

## 5. Conclusiones

Respecto de la evaluación de la aplicación, a lo largo de dos cursos académicos se han involucrado a diferentes grupos de alumnos en el desarrollo y depuración de la misma, realizando la correspondiente evaluación parcial de los distintos módulos. Durante este curso académico se está utilizando como material docente al final del cual se realizará una evaluación final. Desde la perspectiva técnica se ha realizado un trabajo multidisciplinar donde se integran conocimientos pedagógicos como son los modelos educativos, la edición de material docente innovador empleando las TICs, teoría de control e instrumentación virtual. Una ampliación del entorno es su operatividad a través de una página web.

## Referencias

- [1] E. Alvarez Saiz, J.I. Alvaro Gonzalez, "Toolbook crear multimedia con PC", Paraninfo. Madrid (1996).
- [2] J. Nielsen, "Multimedia and hypertext", AP. Profesional. CA (1995).
- [3] D. Schwarte "El gran libro de Visual C++" Editorial Paraninfo Madrid (1998).
- [4] J.R Lajara, J Pelegrí, "LabVIEW. Entorno gráfico de programación" Ed. Marcombo. Barcelona (2007)
- [5] J. Travis, J. Kring "LabVIEW for Everyone". Ed. Prentice Hall. San Francisco (2006).

