

Escudo de la UCM



UNIVERSIDAD  
**COMPLUTENSE**  
MADRID

Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente

Convocatoria 2015

Nº de proyecto: 206

Título del proyecto: Laboratorios Virtuales de Sistemas de Control de Procesos en  
Labview y en Matlab-Simulink

Nombre del responsable del proyecto: Pedro Yustos Cuesta

Centros: Facultad Ciencias Químicas\* y Facultad Ciencias Físicas\*\*

Departamentos: Departamento de Ingeniería Química\* y Laboratorio de  
Electrónica\*\*

## **1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto (Máximo 2 folios)**

El objetivo general de este proyecto es desarrollar unas prácticas de laboratorio de control de procesos en un entorno virtual, que permita a los alumnos interactuar con el mismo de manera activa y cercana a situaciones reales que se pueden encontrar en su vida laboral o profesional. Los objetivos específicos que se pretenden alcanzar son los siguientes:

1. Integrar y aplicar de forma práctica conocimientos teóricos adquiridos por el alumno en la asignatura de control con el fin de alcanzar una mejor adecuación entre la teoría y la práctica del control.
2. Incrementar la motivación e implicación del alumnado en las asignaturas de control, introduciendo a los estudiantes en el uso de herramientas virtuales que le permita interactuar con problemas prácticos reales.
3. Fomentar el análisis y el debate de casos prácticos.
4. Introducir e integrar en el curso actividades académicas de carácter presencial y en grupos reducidos, complementando la realización de prácticas que no se pueden realizar por diferentes razones, sean de espacio, financieras u otras
5. Establecer un sistema de evaluación y control continuo que permita detectar las dificultades que los estudiantes encuentren a la hora de concluir de forma exitosa sus prácticas en la asignatura para poder actualizar y mejorar este material

## 2. Objetivos alcanzados (Máximo 2 folios)

- 1) (Objetivo 1) Se ha recopilado la información más esencial de procesos industriales que, a priori, son de interés para el alumno, posibles sistemas a controlar, y en especial, las variables que puedan resultar interesantes para proponer el modelo dinámico más adecuado y la elección del lazo de control. Se ha decidido que la temperatura, la presión y la medida de nivel son variables muy recurrentes y constantes en cualquier proceso donde se plantee un control sencillo de una variable por efecto de una variable manipulada (single input – single output), en entornos circunscritos a procesos industriales conocidos.

Se han desarrollado nuevos materiales docentes en un entorno virtual, para modelos de control de temperatura, nivel y presión. Para ello, se ha usado un software basado en el lenguaje de programación visual gráfico Labview que permite realizar toda clase de simulaciones referentes a procesos controlador mediante estrategias PID. Con este soporte se preparará una práctica virtual consistente en la sintonización de un controlador de temperatura en lazo cerrado, con acción proporcional, diferencial e integral. De la misma forma se ha preparado otra práctica que completa a la anterior ya que la metodología y la búsqueda de resultados es la misma, pero en este caso para la variable de presión. En la práctica de presión se plantea una alternativa didáctica que se basa en la sintonización del controlador de modo virtual, empleando diferentes procedimientos como el de “Ultima ganancia” o de Ziegler-Nichols. Se prepara también una tercera práctica para estudiar la sintonización de un controlador de nivel.

Las prácticas de laboratorio se han preparado para alumnos con diferentes grados de estudios técnicos, con la posibilidad de incrementar el grado de complejidad para aquellos grados en los que el control está más arraigado o resulta ser más necesario para la formación del alumno.

- 2) (Objetivos 2 y 3) Siguiendo los pasos de la tarea anterior, y con el mismo software, se implementa la solución anterior en diversos tipos de plantas que simularán control de presión, nivel, caudal y otras, con el objetivo de aumentar las capacidades demostrativas y didácticas. En todos los casos se simulará diversos tipos de situaciones que se puede encontrar el alumno en un proceso industrial en la vida real.

Se persigue con todo esto un doble objetivo: por un lado incrementar la motivación e implicación del alumnado en las asignaturas de control, introduciendo a los estudiantes en el uso de herramientas virtuales que le permita interaccionar con problemas prácticos reales. Por otro, introducir e integrar en el curso actividades académicas de carácter presencial y en grupos reducidos, complementando la realización de prácticas que no se pueden realizar por diferentes razones, sean de espacio, financieras u otras.

- 3) (Objetivos 3 y 4) El software permite la adquisición y grabación a fichero compatible de los valores de las variables involucradas en cada proceso estudiado. Esto permite al alumno tratar los datos posteriormente y sacar conclusiones de la labor realizada, fomentando el análisis y el debate de casos prácticos.
  
- 4) (Objetivo 5) Se establece un sistema de evaluación y control continuo para detectar las dificultades que los estudiantes encuentren a la hora de concluir de forma exitosa sus prácticas en la asignatura para poder actualizar y mejorar este material. Esto se ha llevado a cabo con cuestionarios cuyos resultados supondrán la elaboración de nuevo material docente o mejora del presente. Se ha preparado el material didáctico de las prácticas que consistirá en guiones de prácticas que contengan el fundamento teórico y la información necesaria para que el alumno maneje las prácticas virtuales, y comprenda que hace en cada momento en el proceso de aprendizaje

### **3) Metodología empleada en el proyecto (Máximo 1 folio)**

El grupo del proyecto se ha dividido en equipos de trabajo, cada uno de los cuales ha tenido unas tareas asignadas para la consecución de todos los objetivos del proyecto.

Como se ha comentado anteriormente se han preparado tutoriales o guiones de cada una de las prácticas o casos que se propongan con el fin de fomentar el autoaprendizaje del alumno. Para ello, se empleará software licenciado por la UCM como Labview y Matlab. Se va a llevar a cabo una amplia difusión del curso elaborado entre los estudiantes de los cursos de grado y master que tengan relación con asignaturas que traten del control de procesos, para que lo conozcan y lo puedan emplear en cualquier momento. También se pretende implementar el aprendizaje autónomo del estudiante basado en el empleo de nuevas herramientas y soportes actuales de fácil acceso. Se utiliza para ello el campus virtual de las correspondientes asignaturas. De esta forma, el proyecto emplea las tecnologías de la información y la comunicación para la consecución de sus objetivos. Por último, se ha elaborado unos cuestionarios que permitan establecer un sistema de retroalimentación y mejora continua.

#### **4) Recursos humanos (Máximo 1 folio)**

El PIMCD se ha llevado a cabo entre los profesores del Departamento de Ingeniería Química y un miembro del Taller de Electrónica de la UCM.

Para la recopilación de materiales y para la puesta en común de la información obtenida, así como en los trabajos preparatorios, todos los miembros del Grupo han contribuido en su ejecución.

Preparación de los laboratorios virtuales con Labview: Los miembros del Grupo con una mayor experiencia en áreas de control y el responsable del Taller de electrónica de la UCM (Taller que forma parte de la red de Talleres de apoyo a la Investigación de la UCM), se han encargado de la preparación del software de Labview aplicado a la sintonización de controladores de las variables propuestas y de las pruebas y mejoras necesarias para el buen funcionamiento del laboratorio.

Para la elaboración de la Autoevaluación y seguimiento del proyecto, se ha formado un grupo de trabajo de docentes que se ha encargado de redactar cuestionarios de autoevaluación y seguimiento, de acuerdo con la amplia experiencia previa de los miembros decentes del grupo. Estos formularios se realizarán en el formato o formatos más adecuados

## **5) Desarrollo de las actividades (Máximo 3 folios)**

Las actividades se han desarrollado, de forma general, de acuerdo al cronograma indicado en la solicitud de este PIMCD, con reuniones periódicas de seguimiento de todos los miembros del grupo innovador, especialmente al inicio del periodo de realización del proyecto.

La organización del curso, creación de los equipos de trabajo, reparto de tareas y elaboración del material se ha llevado a cabo según las fechas programadas inicialmente en la propuesta del proyecto.

Como resultados más interesantes que se han obtenido y a modo de ejemplo, se puede destacar lo siguiente:

La práctica que se ha preparado es un símil de un sistema scada de control de temperatura, presión y nivel por separado. El ejemplo que se expone a continuación es el que se propone y se ha preparado para la temperatura: el sistema scada tiene dos configuraciones diferentes, y con un algoritmo de control tipo PID que es el más empleado en la industria (3), donde el alumno realiza un análisis de la respuesta temporal de un sistema dinámico lineal de segundo orden cuando la entrada es una señal en forma de escalón.

La identificación tiene como objeto obtener un modelo matemático que reproduzca con exactitud el comportamiento del proceso manejando las variables dinámicas. El objetivo es que el alumno aprenda obtener la función de transferencia de un sistema en funcionamiento.

Conocido el comportamiento dinámico del proceso se lleva a cabo la sintonización del controlador PID para cada una de las dos configuraciones.

Los paneles de control se muestran en las Figuras 1 y 2:

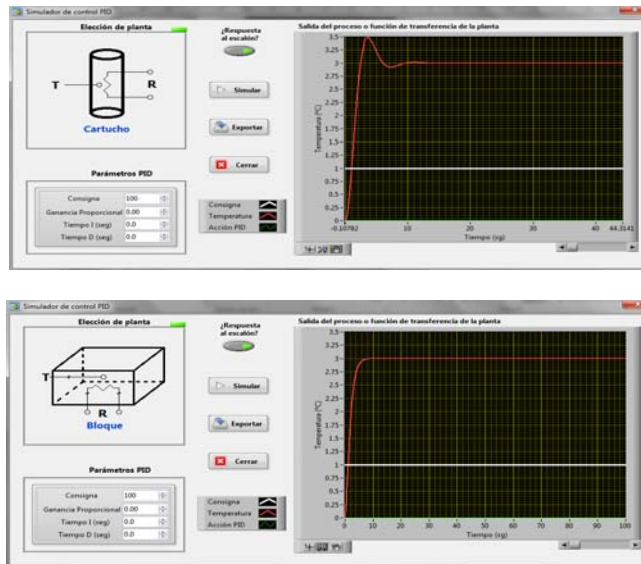


Figura 1: Identificación. Configuración a) Cartucho b) Bloque

En la Figura 1 se muestra la práctica para la IDENTIFICACIÓN del sistema: se realiza el análisis de la respuesta temporal de un sistema dinámico lineal de segundo orden cuando la entrada es una señal en forma de escalón. Se analizan conceptos como ganancia, coeficiente de amortiguamiento y constante de tiempo. El objetivo es que el alumno aprenda obtener la función de transferencia de un sistema en funcionamiento y conozca la influencia de estos parámetros dinámicos.

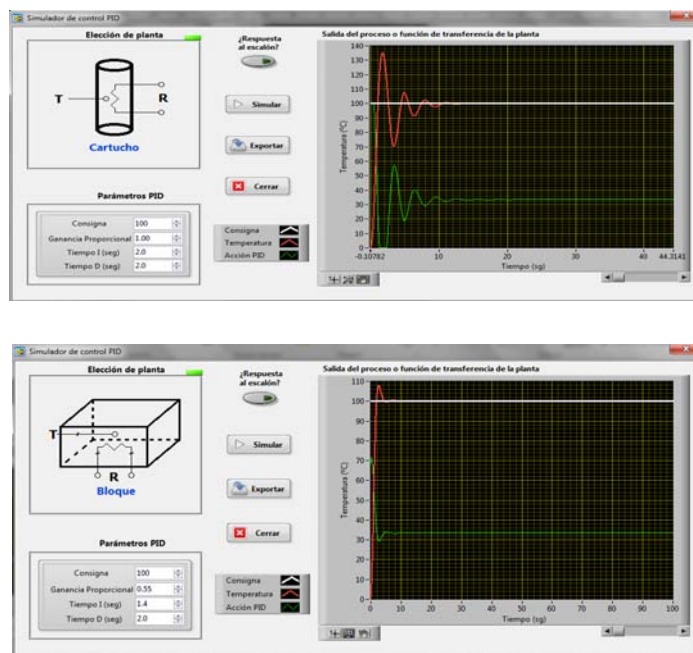
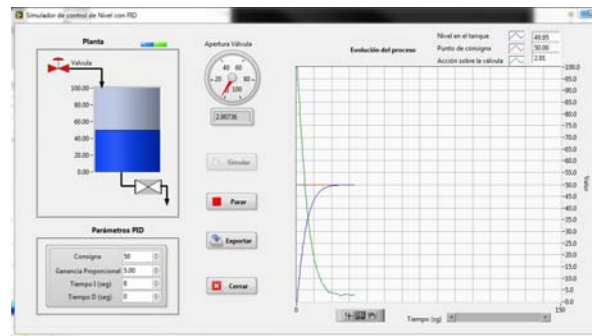


Figura 2: Sintonización. Configuración a) Cartucho b) Bloque



En la Figura 2 se muestra la práctica para la SINTONIZACIÓN del sistema: La sintonización del controlador PID de Temperatura se realiza mediante el método de prueba y error. Determinación de los parámetros, ganancia (KP), tiempo integral (TI) y tiempo derivativo (TD). Esto se realiza en dos elementos distintos, Bloque y Cartucho del igual modo que en la identificación.

En la figura 3 se muestra un ejemplo de práctica para la variable de nivel.



**Figura 3. Ejemplo de práctica de nivel.**

## **6) Anexos**

### A) Difusión de los resultados:

Durante el periodo de ejecución del PIMCD se ha llevado a cabo una labor de difusión del mismo y de algunos de los resultados que se han ido obteniendo. De este modo, se han presentado las siguientes dos comunicaciones tipo póster a dos congresos:

1. "Laboratorios virtuales de sistemas de control de procesos en Labview, variable temperatura". P. Yustos, M.I. Guijarro, V.E. Santos J.M. Toledo, V. Alonso, J.C. Domínguez, M. Oliet, A. Curto. Comunicación tipo póster. XXXIII Jornadas de Ingeniería Química. Del 23 al 25 de septiembre 2015, Malaga.

2. "Laboratorios virtuales de sistemas de control de procesos en Labview". M.I. Guijarro, P. Yustos, V.E. Santos E. Díez, R. Miranda, J.C. Domínguez, M. Oliet, V. Alonso, A. Curto. Comunicación tipo póster. III Congreso de Innovación Docente en Ingeniería Química. 21-23 de Enero de 2016.

Para la elaboración de los materiales elaborados, se ha contado con la inestimable ayuda de Andrés Curto, miembro del Taller de Electrónica que forma parte de la red de Talleres de apoyo a la Investigación de la UCM.

## B) Diagramas de Labview empleados:

Para la preparación de los sistemas virtuales se han planteado y usado los siguientes diagramas (A, B y C) de control en lenguaje Labview.

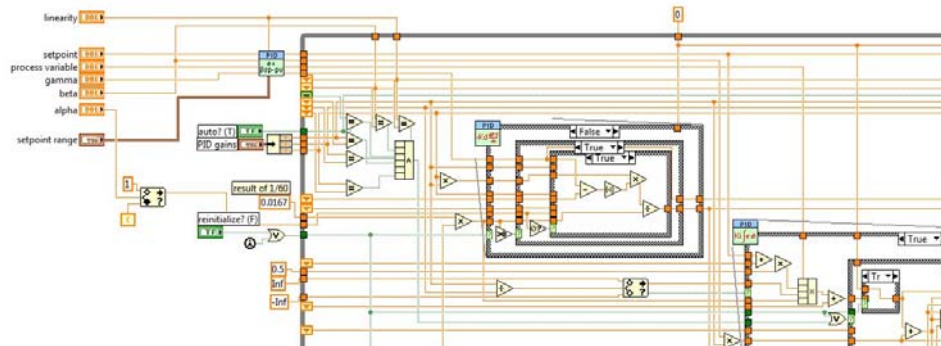


DIAGRAMA A

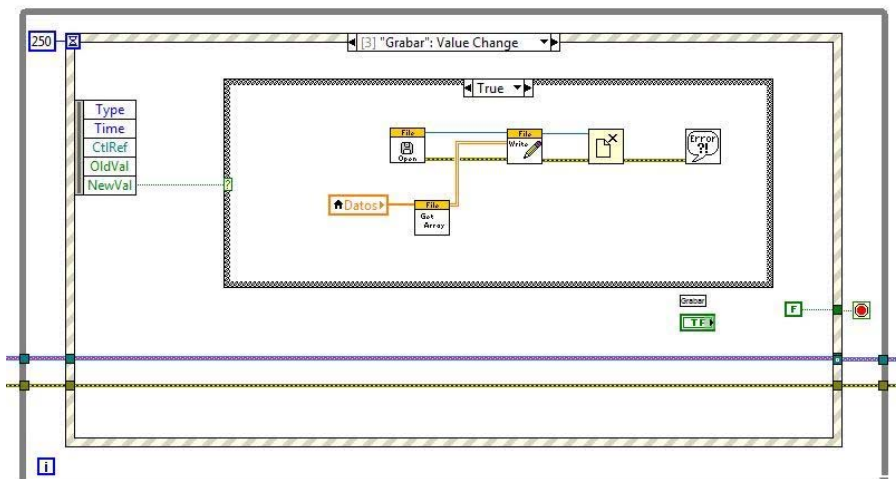


DIAGRAMA B

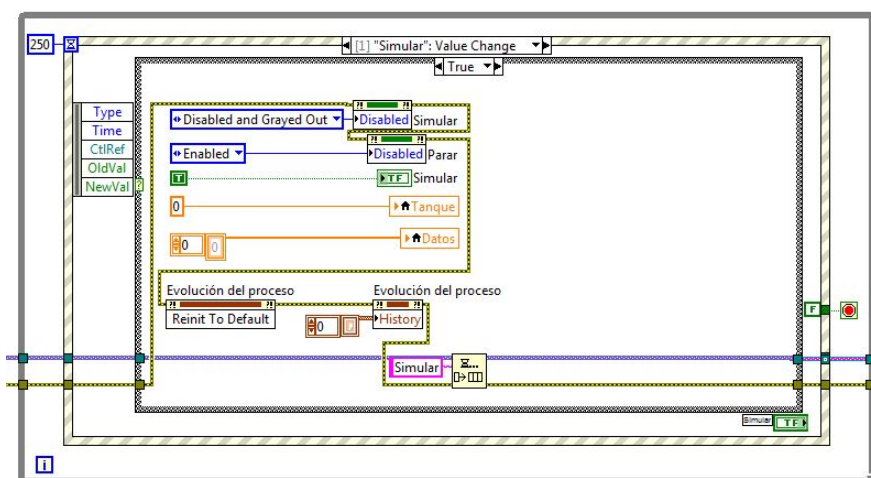


DIAGRAMA C

**C) Ejemplo de un guión de laboratorio preparado para la práctica en entorno virtual con Labview:**

**LABORATORIO DE CONTROL E INSTRUMENTALIZACIÓN DE LOS PROCESOS QUÍMICOS.**

**PRÁCTICA EN LABVIEW**

**Introducción**

El objetivo de esta práctica es el alumno compruebe y aplique los conocimientos teóricos sobre la teoría de control profundizando en el conocimiento de la estructura del control PID, muy utilizado en el mundo industrial, en el entorno de programación LabView

**Descripción de la práctica**

La planta a controlar está constituida por dos sistemas térmicos

**1.- Identificación de la función de transferencia de cada uno de los procesos:**

Una parte importante en el diseño un controlador es la identificación que tiene como objeto obtener el modelo matemático que reproduzca con suficiente exactitud el comportamiento del proceso.

La identificación se llevará a cabo a partir de un método experimental de la respuesta a un escalón unitario en lazo abierto. De la representación de la variable de salida con respecto al tiempo se puede deducir de forma exacta la naturaleza de la misma, así como las características dinámicas.

**2.- Diseño del controlador.**

Una vez realizada la identificación de la planta se realizara la sintonización del controlador mediante el método de prueba y error.

En el método de sintonización de prueba y error, se inicia la sintonización con los tiempos integral ( $T_I$ ) y derivativo ( $T_D$ ) nulos, dando valores a la constante de proporcionalidad  $K_P$  hasta lograr una oscilación con la menor amplitud posible en torno al punto de ajuste, y a partir de ahí, se regulan los valores de  $T_I$  y  $T_D$  en forma iterativa hasta lograr la exactitud deseada. Si es necesario, se varía también  $K_P$ , de acuerdo con los aportes de la acción integral y derivativa.

**Cuestionario**

1. ¿Cómo influye la ganancia del sistema en la estabilidad y en el offset del controlador proporcional?
2. ¿Cómo influye en el offset y en la estabilidad la acción integral?
3. ¿Cómo influye la acción derivativa en el offset y en la estabilidad?
4. ¿Cuál es la influencia de la acción derivada sobre la velocidad de actuación del controlador?.
5. ¿Qué otras conclusiones podrían extraerse de los resultados obtenidos?  
Comparare para los dos sistemas las diferentes influencias

D) Ejemplo de encuesta dirigida a los alumnos para establecer un sistema de evaluación y control continuo que permita detectar las dificultades que los estudiantes encuentren a la hora de concluir de forma exitosa sus prácticas en la asignatura para poder actualizar y mejorar este material.

## CUESTIONARIO PARA LA MEJORA DE LA DOCENCIA

Encuesta del curso 2015 2016.

ASIGNATURA: SIMULACION Y CONTROL DE PROCESOS

Responda a cada una de las siguientes afirmaciones con un valor numérico: 1, 2, 3, 4:

1: nada de acuerdo 2: poco de acuerdo 3: algo de acuerdo 4 muy de acuerdo

### Planificación de la Asignatura

	1	2	3	4	NS
<b>1</b> Los objetivos de aprendizaje de la asignatura					
.... están claramente definidos					
....se adecuan a mis conocimientos previos					
<b>2</b> La secuencia de presentación de los contenidos es adecuada					
<b>3</b> He conocido desde un primer momento cual iba a ser la metodología de trabajo a emplear					
<b>4</b> He conocido el método de evaluación con suficiente tiempo					

### Material Didáctico y Recursos

	1	2	3	4	NS
<b>1</b> El uso de presentaciones de power-point					
.... mejora la comprensión de las clases					
....ha sido adecuado					
<b>2</b> El material autodidáctico complementa las clases teóricas					
<b>3</b> Los ejemplos propuestos					
Engloban todos los contenidos de la asignatura					
<b>4</b> Su nivel de dificultad es adecuado para los objetivos propuestos					

**Sistema WEB de apoyo a la docencia (propuesta de ejemplos en el campus virtual, grupos de datos, etc).**

	1	2	3	4	NS
<b>1</b> Me parece una herramienta útil para los alumnos					
<b>2</b> Estoy satisfecho con el uso que hace el profesor de esta herramienta					
<b>3</b> Me parece una herramienta útil para obtener el material didáctico					
<b>4</b> Me parece una herramienta útil para corresponder con el profesor					

### Sistema de evaluación y resultados alcanzados

		1	2	3	4	NS
1	El guion es lo suficientemente claro en la propuesta					
2	Los objetivos generales son claros, comprensibles y adecuados respecto al resto de la asignatura					
3	Los objetivos concretos son alcanzables					
4	El sistema de evaluación propuesto es adecuado					

### Trabajo en equipo

		1	2	3	4	NS
1	Estoy de acuerdo con el método de elección del grupo de trabajo					
2	El tiempo de trabajo en equipo ha sido suficiente para lograr los objetivos de aprendizaje planteados					
3	El trabajo en equipo ha sido favorecido por el profesor de las prácticas					

### Valoración general de la asignatura

		1	2	3	4	NS
1	Estoy satisfecho con los contenidos aprendidos					
2	Estoy satisfecho con el profesor					
3	Estoy satisfecho con el sistema de evaluación					
4	Me siento capaz de profundizar en el manejo de los programas aprendidos					
5	El ritmo al que se desarrolla la clase es satisfactorio					
6	Hubiera necesitado un mayor apoyo por parte del profesor					
7	Considero valiosos los conocimientos aprendidos para aplicarlos a otras asignaturas					
8	Además del profesor creo que mis compañeros también me han enseñado cosas					

### Evaluación del profesor

		1	2	3	4	NS
1	La puntualidad del profesor ha sido satisfactoria					
2	El profesor se expresa claramente					
3	La calidad del profesor es mayor que la media de los profesores (>3), igual (3) o menor (<3)					
4	Resulta agradable asistir al laboratorio					
5	El profesor resuelve las dudas a los alumnos					
6	La atención del profesor en tutorías es satisfactoria					
7	El ritmo al que se desarrolla la clase es satisfactorio					

### SUGERENCIAS QUE HARÍAS PARA LA MEJORA DE LA ASIGNATURA