

Control y telemanipulación a distancia de un sistema multivariable

Ernesto Cornieles

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta.
Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

Correo electrónico: cornieles.ernesto@gmail.com

Recibido: 14-11-2019

Aceptado: 18-01-2020

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo, la manipulación a distancia vía Internet de elementos e instrumentos electromecánicos, hidráulicos y electroneumáticos de un proceso industrial en tiempo real. En general en este tipo de manipulación los usuarios pueden acceder a sistemas, laboratorios y a bancos de prueba. Diversos algoritmos nos permiten realizar el estudio comparativo de diferentes técnicas de ajustes de los controladores para un sistema multivariable, que en este caso es nuestra investigación. En el desarrollo de la investigación se ha puesto en marcha un banco de prueba para el control de nivel y temperatura de un tanque de agua. La estructura del sistema de control multivariable se ha implementado con la ayuda del software LabView®. Esta estructura utiliza dos(2) lazos de control: un lazo de control para la regulación de nivel y otro lazo para la regulación de la temperatura. Un desacoplador estático se ha implementado y permite minimizar las interacciones entre los dos(2) lazos de control, la acción de control y las variables a controlar. La metodología empleada permite la telemanipulación del estudiante o el usuario del sistema real, en este caso de un banco de prueba hidráulico donde existen equipos e instrumentos de prototipos industriales. Esta metodología permite constituir el aula de clase clásica en un laboratorio virtual utilizando la red Internet que permite minimizar la utilización de costosos equipos para una gran cantidad de estudiantes, es importante señalar que el banco de prueba se puede acceder desde cualquier sitio, constituyendo una novedad, el sitio virtual. Los resultados permiten concluir que la manipulación a distancia ha permitido con éxito la posibilidad de utilizar Internet como medio de aprendizaje y enseñanza de la Ingeniería de Control

Palabras clave: Internet, tiempo real, banco de prueba, sistema multivariable, LabView®

Control and remote accessing of a multivariable system

Abstract

This paper concerns synchronous remote accessing of electro-mechanical, electro-pneumatic or hydraulic devices as well as the control of industrial process in real time and from via the Internet network. An experimental workbench is designed to complete teaching of continuous and discrete control. Users, students or professors can reach the laboratory facilities to participate to one or several manipulations of laboratory work or use the system from afar to get any help about the course material. Using this laboratory, we tested a certain number of algorithms that permitted us to do a comparative survey of different techniques of multivariable system controllers. The workbench allows the regulation of the level and the temperature of a water reservoir in real time. The structure of the multivariable control system was implemented using LabView® software. This structure uses two control loop. The first is for the regulation of level and second for the regulation of temperature. A static decoupling was also used between the two loops and the action of control as well as the process variable. The telemanipulation in synchronous mode and the process control was implemented to achieve real time experimentations. It is accessible via the Internet network. The manipulation permitted from afar to test, with success, the relevance to use the Internet as a training tool.

Keywords: Internet, real time, workbench, multivariable system, LabView®

Introducción

Después de algunos años, el control industrial asistido por computador es el más utilizado para obtener resultados que garanticen la calidad y el mantenimiento de un proceso. Esta evolución tecnológica permite actualmente acceder a distancia vía la red Internet el proceso y manipular los parámetros asegurando la calidad deseada. El laboratorio virtual es un elemento de este aprendizaje a distancia con el objetivo de permitir a los usuarios realizar trabajos de manera similar a los experimentos realizados en el laboratorio convencional.

Este artículo presenta un caso de ese acceso a distancia para controlar un sistema multivariable con una estructura de regulación con un controlador proporcional-integral-derivativo (PID). Esta misma estructura es ilustrada para diferentes tipos de control donde el usuario puede realizar una serie de experimentos con las diferentes técnicas explicadas más adelante. Los otros parámetros (señales de referencia, período de muestreo, entre otros) son accesibles a distancia y pueden ser compartidos por los mismos miembros de un mismo equipo físico distante.

La utilización del controlador PID es muy clásico y numerosos trabajos se han desarrollado con el objetivo de obtener un mejor ajuste de las ganancias del PID. Nichols [1] ha utilizado la respuesta en lazo abierto para obtener las ganancias del controlador. Cohen y Coon [2] han propuesto técnicas utilizando la respuesta en lazo abierto del proceso. Ogunnaike et Seborg [3] igualmente proponen técnicas similares basado en el modelo del proceso. García y Morari [4] proponen la técnica del control interno para obtener las mejores ganancias del controlador PID. El control multivariable se ha estudiado por los mismos autores utilizando la estructura del control interno. Bristol [5], ha analizado el efecto de las interacciones y las perturbaciones de un sistema multivariable y se comenzó a visualizar la utilización de un desacoplador. Häggblom [6] efectuó el estudio no lineal de un sistema multivariable para la regulación del nivel y la temperatura, luego Camacho y Rojas [7] presentaron un algoritmo general de un controlador en modo deslizante para procesos químicos. Ellos también proponen la utilización de un desacoplador estático para un sistema de control multivariable.

Todos estos años de investigación han conducido a proponer un banco de prueba multivariable para analizar las diferentes técnicas de control moderno en tiempo real. Se presenta una comparación experimental de las diferentes técnicas de control moderno en tiempo real. Se presenta una comparación experimental de las diferentes técnicas de ajuste del controlador PID.

Descripción del banco de prueba

El tanque utiliza una capacidad de 0.27 m^3 y su secciones constante, 0.38 m^2 . Este tanque es alimentado por dos(2) entradas de agua. Una entrada es la alimentación de agua fría y la otra alimentación es agua caliente. Los flujos de las dos entradas son controlados por dos válvulas independientes. Sobre estos dos elementos del sistema es que el usuario va a poder regular el nivel y la temperatura. El tanque dispone de una válvula que permite ajustar manualmente el flujo de salida (ver figura 1). Se dispone de un medidor para obtener la evolución de la temperatura a la salida del tanque. El sistema está equipado igualmente de un medidor de presión fijado en la parte inferior del tanque. Este medidor suministra la información del nivel del agua (medida hidrostática del nivel).

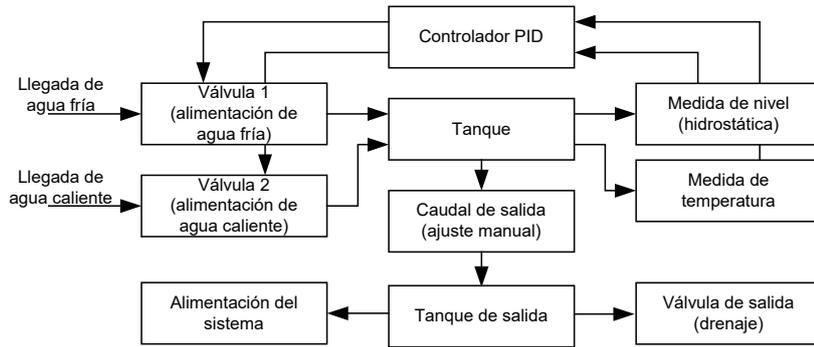


Figura 1. Presentación funcional del sistema

El controlador se implementó con la ayuda de un computador equipado de un microprocesador Intel. Para interpretar las señales analógicas del sistema (nivel y temperatura) y controlar las válvulas, el computador utiliza una tarjeta entrada-salida de la compañía National Instruments®. Esta tarjeta dispone de dos canales numéricos/analógicos y 16 canales analógicos/numéricos. La tarjeta suministra al controlador las señales relativas al nivel y a la temperatura. Esta funcionalidad es programada en lenguaje de tipo LabView®.

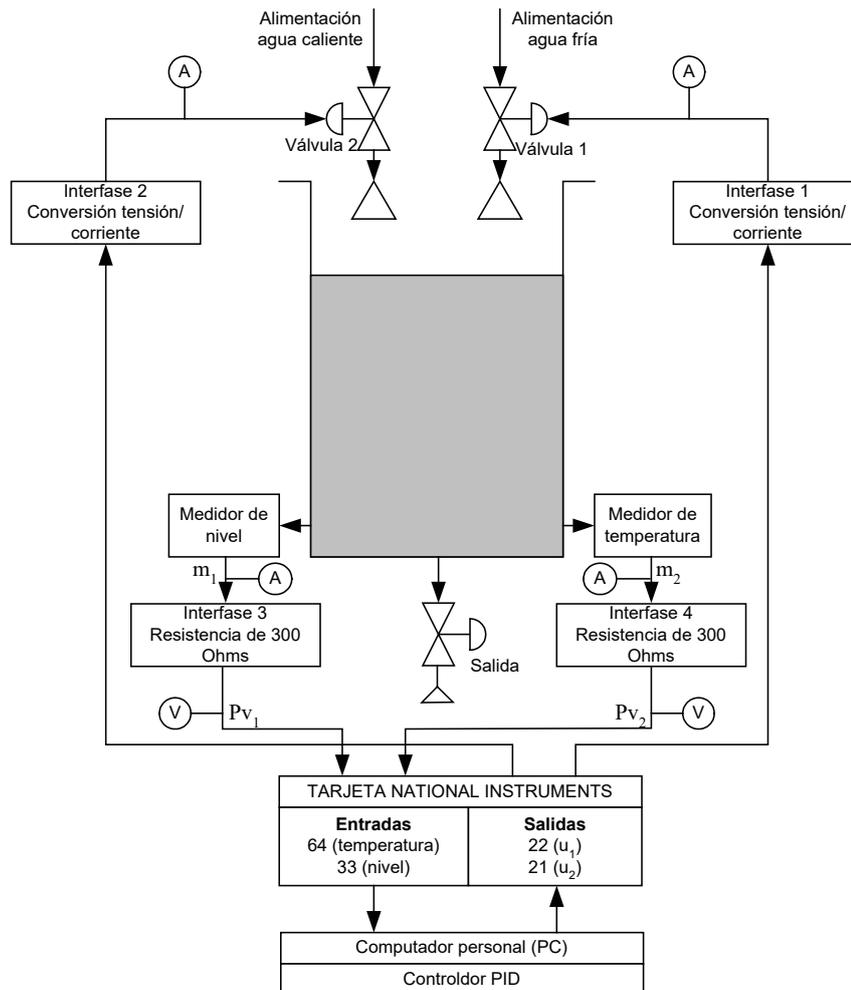


Figura 2. Representación del sistema de control.

Se designa P_{v1} la variable nivel y P_{v2} la variable temperatura (ver Figura 2). Para actuar en el sistema el controlador utiliza los canales numéricos/analógicos la tarjeta que permite controlar las válvulas de alimentación. Se designa la acción de control de la primera válvula (agua fría) y u_2 la acción de control de la segunda válvula (agua caliente). Se utiliza una resistencia de 300Ω para medir el nivel y la temperatura en voltios. El sistema de control utilizando los dos lazos de control es presentado en la figura 5. Esta representación global del sistema permite visualizar los diferentes componentes del banco de prueba.

Telemanipulación a distancia

La Figura 3 ilustra la arquitectura utilizada. El servidor se comunica localmente con el proceso utilizando un protocolo de comunicación serie (RS232 o RS485) o una tarjeta de adquisición de datos.

El usuario puede acceder a los equipos y aplicaciones informáticas desarrolladas en tiempo real con una conexión de tipo TCP/IP. La selección de esta arquitectura permite evitar todo problema que pueda surgir por retardos e interrupciones momentáneas en la red de Internet.

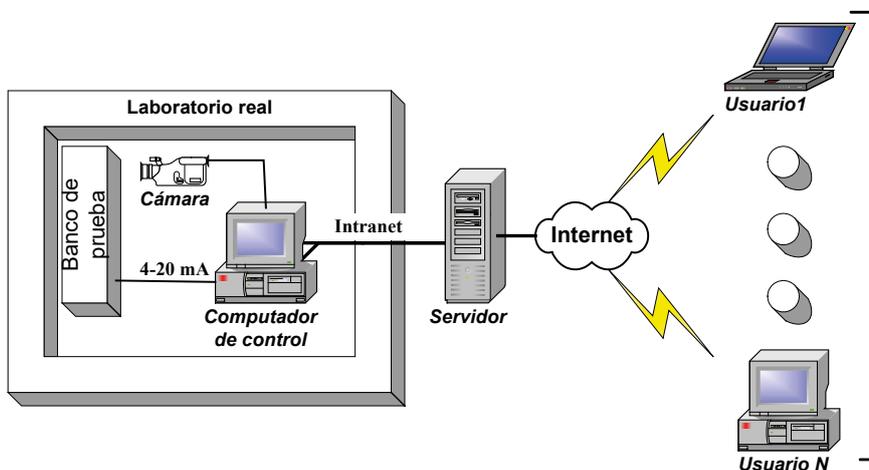


Figure 3. Representación de la arquitectura del laboratorio virtual:

Estructura del controlador PID

La estructura del controlador a utilizar para la regulación del nivel y la temperatura es programado en lenguaje LabView® y corresponde a un PID clásico y un PID Dual Loop.

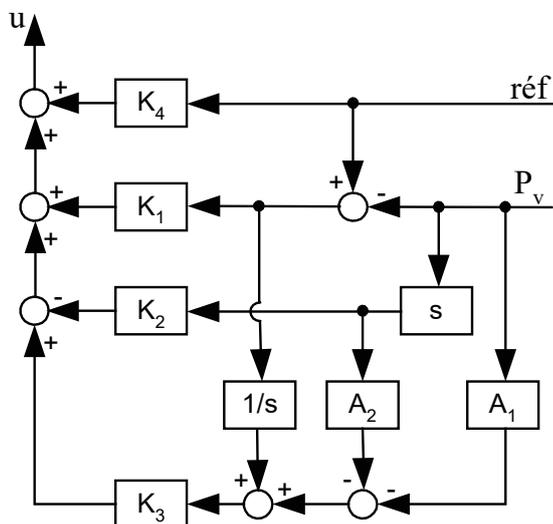


Figura 4. Estructura del PID Dual Loop

La ecuación del controlador viene dada por:

$$u = K_1(\text{ref}-P_v) - K_2 SP_v + K_3 \left[\frac{(\text{ref}-P_v)}{S} - A_1 P_v - A_2 SP_v \right] \quad (1)$$

donde,

K_1 = ganancia proporcional,

K_2 = ganancia derivada,

K_3 = ganancia integral,

K_4 = ganancia anticipativa,

A_1 y A_2 = parámetros de la función de segundo orden.

réf = referencia deseada

La estructura del controlador PID clásico puede ser obtenido anulando los factores A_1 y

$$A_2 (A_1 = A_2 = 0)$$

Ajuste del controlador PID dual loop

Dado que el sistema identificado precedentemente es de primer orden, se debe determinar la mejor respuesta del sistema con un controlador proporcional de manera de obtener un régimen transitorio satisfactorio. La respuesta temporal del sistema se almacena y esta respuesta se aproxima a una función de segundo orden. Si el régimen transitorio obtenido es satisfactorio con la aproximación precedente, los valores siguientes son obtenidos:

$$A_1 = \frac{2\zeta}{w_n} \text{ et } A_2 = \frac{1}{(w_n)^2}$$

donde ζ y w_n son el coeficiente de amortiguamiento y la frecuencia natural de la aproximación de segundo orden. La etapa siguiente consiste en aumentar K_3 evitando el deterioro del régimen transitorio, y reducir la sensibilidad del sistema en presencia de perturbaciones. El ajuste del controlador PID Dual Loop es explicado en la referencia [8].

Sistema de control multivariable

Para poner en funcionamiento óptimo el sistema de control multivariable, se utilizan dos controladores de tipo PID y un desacoplador para minimizar las interacciones entre las variables del proceso a controlar. Dos lazos de control se utilizan. Los dos lazos con el desacoplador nos ofrecen las tres opciones siguientes: el control de nivel, el control de temperatura, y el control multivariable en nivel y temperatura. El esquema del sistema de control es representado en la figura 5. El parámetro α del desacoplador es seleccionado en función de la relación de la proporción agua fría/agua caliente y también en función de las características de las válvulas (válvula agua caliente y válvula agua fría). Para las experiencias se ha seleccionado $\alpha = 2$, que representa .66% de agua fría y 33,33% de agua caliente. Esta repartición garantiza la economía de agua caliente, es el caso del control de nivel para lo cual se utiliza mas agua fría que agua caliente. Los parámetros β_1 y β_2 son utilizados para el control de la temperatura sola y, de nivel y temperatura, caso multivariable. El valor de β_1 debe ser negativo y el de β_2 positivo ya

que se debe utilizar más agua caliente para el control de temperatura sabiendo que algunas veces el agua fría es bien fría para ciertos períodos del año (en la región de Montreal, Canadá).

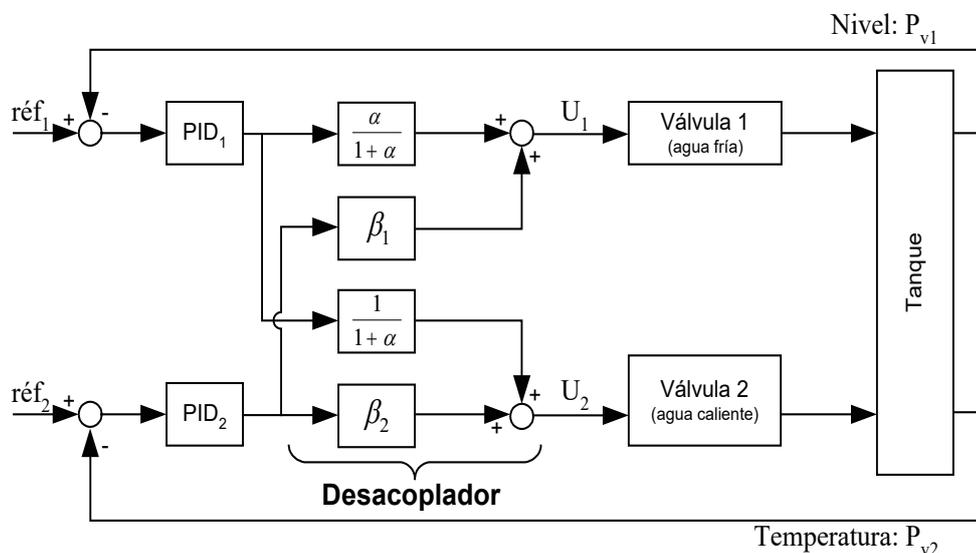


Figura 5. Sistema de control multivariable.

Resultados Experimental

En esta sección se presentan las experiencias realizadas para verificar el algoritmo de control y el buen funcionamiento del banco de prueba. La interfase de comunicación LabView®-usuario presenta dos controladores.

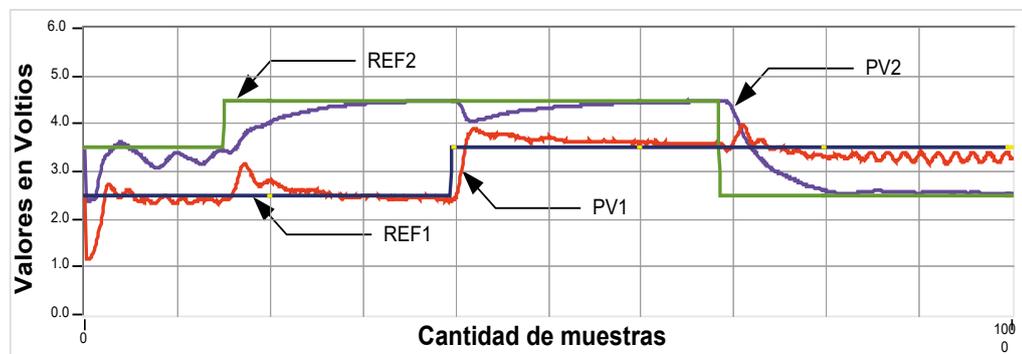


Figura 6. Control de nivel y temperatura : Técnica del PI Dual Loop

Todas las experiencias se realizaron con un nivel correspondiente al estado de reposo de 0 cm (1.2 voltios), una referencia en nivel de 2.5 voltios (34 cm), la referencia de la temperatura es de 3.5 voltios (35 grados Celsius). La válvula de salida abierta a una posición fija a 45%. PV1: nivel en voltios, PV2: Temperatura en voltios, REF1: referencia del nivel en voltios y REF2: referencia de la temperatura en voltios

Conclusión

El objetivo del proyecto, la puesta en marcha de un banco de prueba multivariable y la concepción de dos lazos de control con la ayuda de LabView® para la regulación de nivel y temperatura se ha logrado con éxito. El banco de prueba ha permitido efectuar experiencias que ilustran bien las diferentes técnicas de ajuste y su comportamiento. En nuestro caso, los dos lazos de control con un desacoplador estático han permitido tener un sistema de control con dos controladores de tipo PID. La técnica Dual Loop para

el caso multivariable permiten obtener controladores bastantes robustos en presencia de perturbaciones de tipo cambio de referencia. Es importante señalar que el banco de prueba real se puede convertir en un banco de prueba virtual que contribuye a la manipulación a distancia y el control del mismo. La red Internet ha demostrado la poderosa herramienta para la enseñanza y la transmisión de conocimientos en el área de la Ingeniería de Control, rama sumamente importante dentro de la ciencia y la tecnología. Esta herramienta facilita que los equipos del laboratorio real se puedan compartir de una manera simple y sencilla constituyéndose en una forma elegante para transmisión de los conocimientos en cualquier área del saber

Referencias Bibliográficas

- [1] Nichols, 1914-1997. *Automatica. A Journal of IFAC the International Federation of Automatic Control*. Vol. 33, N.º 12, December 1997, pp. 2.101-2.102.
- [2] Cohen y Coon citado en Identificación y sintonización de controladores PID para procesos de integración, por Henrique y Martinez, 2019, pp.35-36
- [3] B. Ogunnaike, and W.H. Ray, *Process Dynamics, Modeling and Control*, Oxford University, 1994
- [4] C.E. Garcia, and M. Morari, "Design Procedure for Multivariable Systems", *American Chemical Society*, 472-484, 1985
- [5] Bristol, E. H. 1966. On a New Measure of Interaction for Multivariable Process Control. *IEEE TransactionsonAutomatic Control*, 11, 133-134.
- [6] K. E. Häggblom, "Experimental Comparaisoof Conventional and Nonlinear Model Based Control of a Mixing Tank", *American Chemical Society*, 1993
- [7] O. Camacho, and R. Rojas, "A General Sliding Mode Controller for Nonlinear" , *Chemical Process. Transaction of the ASME*, Vol. 22, December 2000
- [8] E. Cornieles, and C. Bougeret, "Comparaison expérimentale de différentes techniques de réglage du régulateur PID et PID Dual Loop ", *Rapport officiel R97*, EPM, 1997
- [9] R. M. De Santis, "A Novel PID configuration for a Speed and Position Control", *Transaction of the ASME*, vol.116, pp. 542-549, September 1994