

## SISTEMA DE MONITOREO DE LA DOSIFICACIÓN VIRTUAL DE NUTRIENTES NPK PARA RIEGO AUTOMÁTICO

Montoya-Hernández, Arnoldo<sup>1,\*\*</sup>. Valderrama-Chairez, José<sup>2,\*</sup>. Rincón-Martínez, Ernesto Jesús<sup>3,\*</sup>. López-Villalobos, José de Jesús<sup>4,\*</sup>, Ramírez-Sosa Moran, Marco Iván<sup>5,\*</sup>. Montoya-Mejía Jessica R.<sup>6,\*\*</sup>

Programa de Posgrado en Ingeniería Mecatrónica I.T. Nuevo León., \* Profesores y \*\* Alumnos

Instituto Tecnológico de Nuevo León.

Av. Eloy Cavazos 2001, Guadalupe, N.L.

+52 (818)157 0500,

Correo-e: <sup>1</sup>[montoya.arnoldo@ieee.org](mailto:montoya.arnoldo@ieee.org), <sup>2</sup>[jose.valderrama@ieee.org](mailto:jose.valderrama@ieee.org), <sup>3</sup>[ernesto.rincon@itnl.edu.mx](mailto:ernesto.rincon@itnl.edu.mx), <sup>4</sup>[jjlopez@itnl.edu.mx](mailto:jjlopez@itnl.edu.mx),  
<sup>5</sup>[mi.ramirezrosa@ieee.org](mailto:mi.ramirezrosa@ieee.org), <sup>6</sup>[jessica.montoya@ieee.org](mailto:jessica.montoya@ieee.org)

### RESUMEN.

Este artículo está enfocado a describir el proceso de la simulación de tres válvulas que controlan el flujo de tres diferentes fertilizantes: NPK en un flujo de agua limpia. A través de una simulación en LabView, con controlador PID, las válvulas son monitoreadas y se evalúa su desempeño. Cada una de las válvulas es modelada como un sistema de primer orden para mantener la simplicidad de la simulación sin comprometer la precisión de la concentración final de la solución. Además del desempeño de las válvulas, el sistema de monitoreo, puede determinar la tasa de error de la dosificación debido a la inestabilidad causada por diferentes perturbaciones, incluyendo el aumento de flujo en el sistema de tuberías. La interfaz creada puede comunicar acciones de control a través de una computadora y al mismo tiempo almacenar datos acerca del desempeño de cada válvula por separado.

Palabras Clave: Control PID, Dosificación, LabView, NPK, Válvula proporcional.

### ABSTRACT.

This article is aimed at describing the process of simulating three valves that control the flow of three different fertilizers: NPK in a flow of clean water. Through simulation LabView, and PID control, the valves are monitored and their performance is evaluated. Each of the valves is modeled as a first order system to maintain the simplicity of the simulation without compromising the accuracy of the final solution concentration. In addition to the valve performance monitoring system, the error rate of dosing, can be determined, due to the instability caused by various disturbances, including increased flow in the pipe system. The created interface control actions can communicate through a computer while storing data about the performance of each valve separately.

Keywords: PID Control, Dosage, LabView, NPK, Proportional valve.

### 1. INTRODUCTION

La dosificación de nutrientes es un proceso que involucra la incorporación de elementos disueltos en una solución para obtener una concentración particular deseada, donde se controlan parámetros como las partes por millón de partículas disueltas, la concentración molar, o simplemente el porcentaje de soluto respecto del solvente, por mencionar algunas. Hospitales, procesos farmacéuticos, de manufactura, en la agricultura, por ejemplo, son áreas donde la dosificación está presente.

En este trabajo, se desarrolla una interfaz para el control y monitoreo de nutrientes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (NPK) en un caudal de agua limpia que será destinado para el riego agrícola. Sin embargo, no es una limitante para el campo de acción de esta interfaz, ya que puede ser ajustada para que pueda desempeñarse en las otras áreas mencionadas, con parámetros de operación particulares en cada caso. El objetivo principal del sistema de dosificación es mantener el nivel deseado de NPK en solución acuosa en el caudal de agua para riego.

Si se realiza una dosificación descontrolada, diversos resultados negativos pueden presentarse, como la contaminación de los suelos [1;2], la contaminación de los mantos acuíferos [3], efectos no deseados en los cultivos regados [4;5] y como un particular problema de salud, enfermedades causadas por el uso indiscriminado de químicos en el agua de uso humano cerca de las zonas de cultivo, problemas como la metahemoglobina [6;7] y desarrollo de enfermedades en la piel así como en problemas de gestación son el resultado de la dosificación en exceso (manual o automática) sobre los cultivos.

Este trabajo se divide en 6 secciones determinadas como sigue: En la sección 2, se describe el diagrama de instrumentación del dosificador propuesto, en la sección 3 se muestra la interfaz de monitoreo, la descripción de la operación del dosificador. En la sección 4, se describe el diseño del controlador PID, incluyendo la identificación del sistema y la sintonía; en la sección 5 se muestran los desempeños de los controladores sobre las válvulas con cambios de referencia de niveles de dosificación. Finalmente en la sección 6 se presentan las conclusiones obtenidas de este trabajo.

### 2. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN, DIAGRAMA PI&D.

En la actualidad, los sistemas agrícolas tienen destinados esquemas de dosificación de nutrientes propios de cada cultivo y en constante evolución para la mejora de los

productos.

El sistema dosificador propuesto en este trabajo es un dosificador con una válvula para cada elemento nutriente. De esta manera se tiene un sistema conformado por tres válvulas independientes, controladas cada una con un controlador PID, y monitoreadas a través de una interfaz que muestra el desempeño de cada válvula.

Las válvulas controladas son del tipo proporcional, y consideradas de accionamiento neumático; aunque esta característica no es de relevancia en la simulación, es importante mencionar el tipo de accionamiento ya que puede representar un elemento a considerar en futuros trabajos.

En el diagrama de la figura 1 se muestra un esquema de instrumentación del tipo “Piping and Instrumentation Diagram” PI&D, donde se observa cada uno de los componentes del sistema dosificador NPK, sus relaciones interactivas con la instrumentación de la tubería y los componentes del equipo.

Símbolo	Descripción	Parámetros.
Caudal H <sub>2</sub> O	Flujo volumétrico H <sub>2</sub> O	Lts/min
Caudal H <sub>2</sub> O + N <sub>2</sub> + P + K	Flujo volumétrico H <sub>2</sub> O+N <sub>2</sub> +P+K	Lts/min
I/P FIC	Transductor corriente-presión Indicador y controlador de flujo.	4-20 mA/3-15 psi Tipo PID
FIS	Indicador y sensor de flujo	Transducción 4-20 mA
PI	Indicador de presión.	3-15 psi
TK	Contenedor presurizado.	3-15 psi

Tabla 1. – Descripción de los instrumentos en el diagrama.

En la tabla 1 se muestran los detalles de los instrumentos propuestos del sistema y así como el tipo de señal que utilizan.

### 3. ANÁLISIS DE OPERACIÓN.

#### 3.1. Instrumentación y monitoreo.

La operación del dosificador inicia cuando la válvula manual *v1* operada por el usuario, permite el flujo de agua limpia a través de la tubería principal *p1*. El flujo de agua limpia a la entrada, es monitoreado por el sensor *FIS 04*, y de manera similar, el flujo de salida es monitoreado por el sensor *FIS 05*. Cuando el controlador principal del dosificador registra a través de las lecturas de ambos sensores, un caudal de operación adecuado, el sistema puede iniciar operaciones de dosificación.

La tarea de la dosificación la realizan tres válvulas

proporcionales de accionamiento neumático, de baja histéresis y de alta repetitividad: *EV 01*, *EV 02*, *EV 03*, que corresponden a las soluciones acuosas de *N<sub>2</sub>*, *P* y *K*, respectivamente.

Estas tres válvulas tienen controladores *FIC 01*, *FIC 02*, *FIC 03* respectivamente, que emiten una señal de corriente del rango de 4-20 mA, y que posteriormente es transformado a presión neumática de 3-15 psi. Con el efecto de la transducción, la señal eléctrica de cada controlador *FIC 0X* a señal neumática, se regula el porcentaje de apertura de la válvula proporcional, permitiendo que se inyecte al caudal principal, el nutriente en solución acuosa.

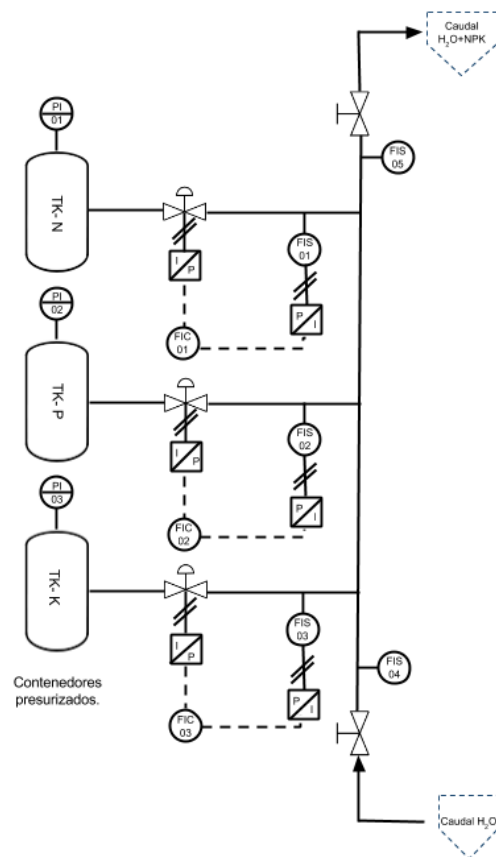


Fig. 1. – Diagrama PI&D del dosificador NPK.

La señal de error es generada cuando los *FIS 01*, *FIS 02*, *FIS 04*, registran el flujo volumétrico que circula por la tubería de inyección y retransmite esta información a cada controlador *FIC 0X*; dentro de él se compara la señal medida de flujo volumétrico, respecto de la señal deseada de setpoint del sistema y se actualiza una nueva señal de control que se envía a las válvulas *v0X*. Con ello se cierra el lazo de control de la inyección del dosificador.

Finalmente, el dosificador a través del sensor de flujo **FIS 05** instalado a la salida del sistema, monitorea el flujo de agua adicionada en proporción con los nutrientes NPK y envía información que es almacenada y monitoreada en la interfaz principal de dosificación.

### 3.2. Operación de interfaz en LabView.

En este trabajo se utiliza un controlador tipo PID para controlar cada una de las válvulas dosificadoras, logrando integrar un esquema de dosificación, donde la concentración de nutrientes en el caudal de agua es controlada a través de las válvulas proporcionales.

Las válvulas consideradas son de accionamiento neumático y de respuesta proporcional, lo que acompañado con un análisis donde se consideran de respuesta lineal (según hoja de datos de diferentes fabricantes), puede asegurarse la precisión de la dosificación de los nutrientes a través de la correcta operación de los controladores PID sobre cada válvula.

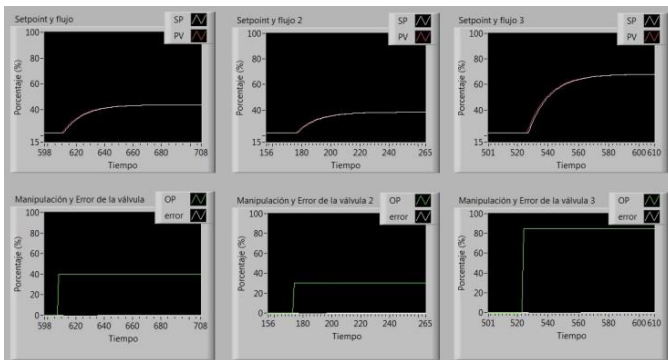


Fig. 3.- Pantallas de monitoreo de dosificación. Arriba: setpoint y flujo dosificado. Abajo: manipulación

La interfaz del sistema consta de seis pantallas en total de monitoreo, dos para cada válvula donde se registran el setpoint de dosificación junto con el flujo, y además el porcentaje de manipulación de la válvula junto con el error, figura 3. La interfaz también cuenta con controles de para cambios de referencia y almacenamiento de datos, figura 4.



Fig. 4.- Controles principales del sistema dosificador.

Con los controles descritos, el usuario puede determinar cuál es el flujo de dosificación que deben administrarse al caudal de agua, teniendo una respuesta rápida para generar nuevas concentraciones de nutriente en el flujo principal.

Para lograr que el panel de control desarrollado en LabView, pueda controlar la apertura y cierre de las válvulas proporcionales es necesario diseñar el controlador PID, quien finalmente mantiene el nivel de inyección de nutrientes fijado por el usuario o por la programación de las necesidades del sistema a irrigar, en cuyo caso pueden ser variables en un período de tiempo finito. Las variables consideradas en el lazo de control son se describen en la tabla 2.

Las variables de interés en el sistema, son el flujo de nutrientes de NPK, como la variable controlada, y el porcentaje de apertura de las válvulas proporcionales, como la variable manipulada.

Elementos del lazo de control	Descripción	Unidades
Variable controlada	Flujo de N <sub>2</sub> ,P,K	Lts/min
Variable manipulada	Apertura de válvula	% de apertura.
Proceso	Dosificación de N <sub>2</sub> ,P,K.	N/A
Sistema	Dosificador de N <sub>2</sub> ,P y K.	N/A
Perturbaciones	Caídas de presión en caudal. Obstrucción de válvula.	N/A

Tabla 2. – Elementos del lazo de control del dosificador Nitrofoska.

## 4. DISEÑO DEL CONTROLADOR.

El desarrollo del análisis del controlador PID para cada válvula proporcional del dosificador Nitrofoska como se menciona en [Citar tesina de Arnoldo Montoya 2012.] se debe realizar un análisis matemático para obtener las ecuaciones del controlador, que representan la variable manipulada y la función de transferencia del sistema.

### 4.1. Identificación del sistema.

El proceso de identificación de la planta sugiere que se trate como un sistema de primer orden con tiempo muerto debido a la naturaleza del proceso, ya que se recomienda aproximar a sistemas de primer orden, los procesos que utilicen control de fluidos por su respuesta lenta ante cambios de referencia [8;9].

Se realizaron varias pruebas para identificar la dinámica de las válvulas de control. En la figura 5 se muestra la respuesta al escalón de una válvula dosificadora, considerando que los tanques de los nutrientes se mantienen en presión constante, y

que las tres válvulas de control son iguales, el modelo de primer orden obtenido es el mismo en los tres casos.

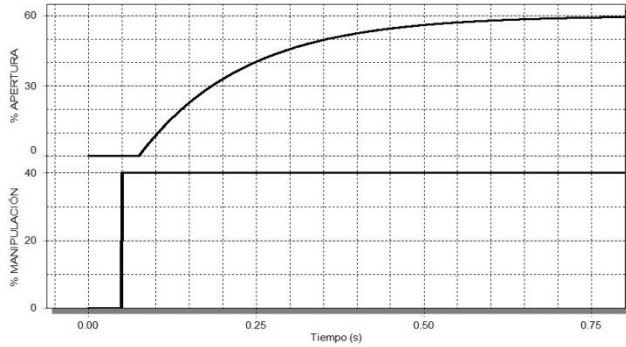


Fig. 5.- Respuesta al escalón de la válvula dosificadora. Manipulación de 40%.

Se realizó un cambio escalón a la manipulación de la válvula y se obtuvo la respuesta en lazo abierto, resultando el proceso de identificación en un modelo de primer orden con tiempo muerto, que se muestra en la ecuación 1.

$$G_p(s) = \frac{K e^{-\theta s}}{\tau s + 1} = \frac{1.5 e^{-0.0249s}}{0.157s + 1} \quad (1)$$

#### 4.2. Controlador PID.

Para el diseño del controlador PID se utilizó una estructura clásica. Los parámetros del controlador fueron estimados por medio de la sintonía por criterios integrales, del tipo ITAE para servocontrol. La estructura clásica se muestra en la ecuación 2,

$$G_c(s) = K_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} \right) \left( \frac{1 + \tau_d s}{1 + \tau_a s} \right) \quad (2)$$

El criterio de integral del valor absoluto del error en el tiempo [10], ITAE para servocontrol calcula los parámetros de sintonización de acuerdo a las ecuaciones 4,5 y 6.

$$\int_0^{\infty} t |e(t)| dt \quad (3)$$

$$K_c = \frac{1.1276}{K} \left( \frac{\theta}{\tau} \right)^{-0.803} = \frac{1.1276}{1.5} \left( \frac{0.0249}{0.157} \right)^{-0.803} \quad (4)$$

$$\tau_i = \frac{\tau}{0.9978} \left( \frac{\theta}{\tau} \right)^{-0.0286} = \frac{0.157}{0.9978} \left( \frac{0.0249}{0.157} \right)^{-0.0286} \quad (5)$$

$$\tau_d = 0.428 * \tau \left( \frac{\theta}{\tau} \right)^{1.0081} = 0.428 * 0.157 \left( \frac{0.0249}{0.157} \right)^{1.0081} \quad (6)$$

Así los parámetros de sintonía del controlador PID son:

$$\begin{aligned} K_c &= 3.29779 \\ \tau_i &= 0.16585 \\ \tau_d &= 0.0104 \end{aligned}$$

Una vez sintonizado el controlador PID se programó en LabView para el control de las válvulas. En la figura 6 se muestra uno de los bloques de programación de un controlador, particularmente el correspondiente a la válvula 3 (K).

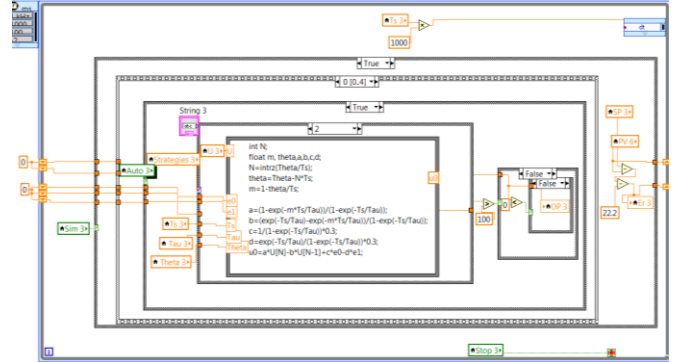


Fig. 6.- Base de programación de uno de los controladores PID en LabView.

## 5. SIMULACIÓN DE DOSIFICACIÓN.

Las pruebas de simulación se muestran a continuación. Se dividieron 2 tipos: aumento de dosificación, disminución de dosificación.

### 5.1. Aumento de la dosificación.

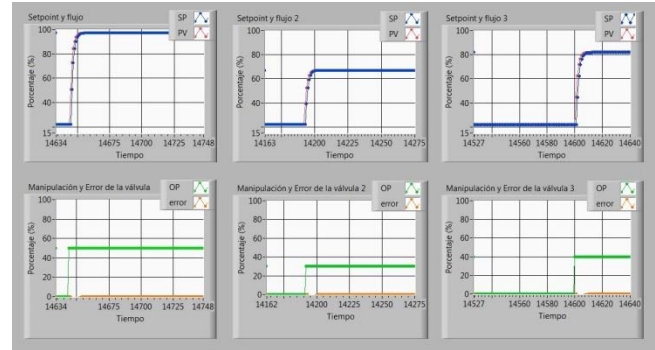


Fig. 7.- N al 90%, P al 67%, K al 82%

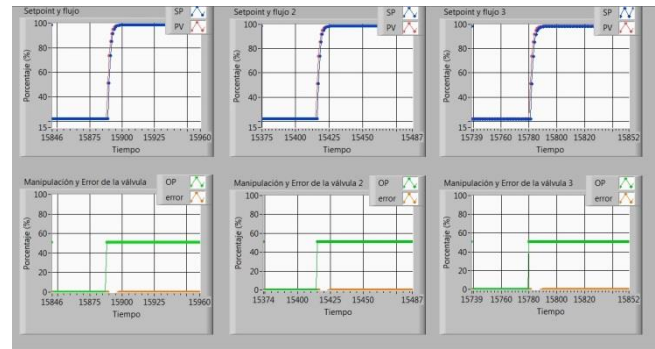


Fig. 8.- N al 98%, P al 98% y K al 98%



## 5.2. Disminución de la dosificación.

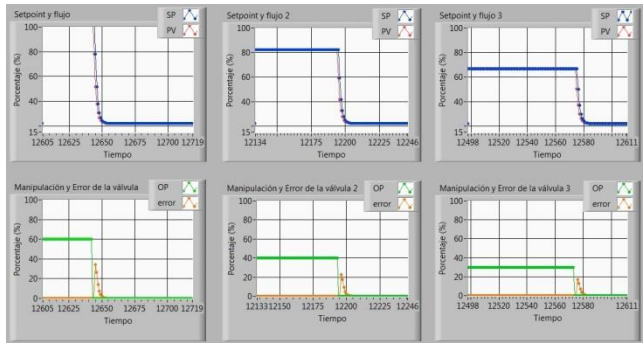


Fig. 9.- N P y K al 22%.

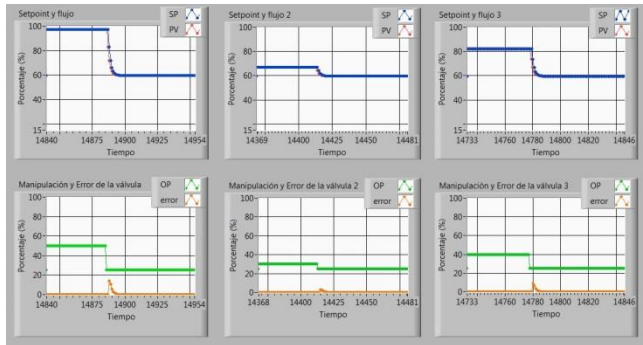


Fig. 10.- N, P y K al 60%

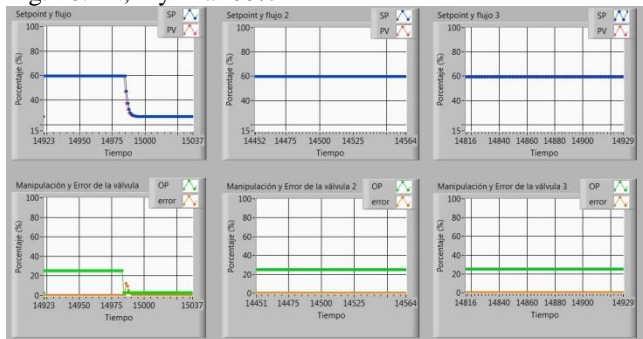


Fig. 11.- N al 22% , P y K al 60%

## 6. CONCLUSIONES.

La dosificación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, tiene un tiempo de respuesta adecuado para asegurar que las dosificaciones de estos nutrientes se incorpore al caudal de agua. La característica de este sistema de simulación de dosificación que permite que sea efectivo es que se utiliza un controlador independiente para cada válvula, por lo que cualquier combinación de dosificación puede ser determinada.

Los cambios de dosificación se realizan dentro de una escala menor a 1 segundo, ya que la planta tiene una constante de tiempo relativamente pequeña debido a la naturaleza dinámica (flujo de agua),  $\tau = 0.157$  segundos.

La configuración del dosificador donde se propone un tanque presurizado para el almacenamiento de los nutrientes permite garantizar la operación del dosificador sin cambios del flujo en la operación de los controladores.

La interfaz desarrollada en LabView es de fácil manejo y no requiere mayor conocimiento técnico de programación, por lo que puede ser utilizado por cualquier usuario que quiera instalar un sistema de control de dosificación como el planteado. Finalmente las condiciones de desarrollo de la interfaz permiten ajustarla a diferentes plantas de dosificación, o procesos distintos a los de NPK, representando una opción flexible para el control de dosificación.

## 7. REFERENCIAS.

- [1] R, Martínez-Viera. B, Dibut. Ríos, Yoania. *Efecto de la integración de aplicaciones agrícolas de biofertilizantes y fertilizantes minerales sobre las relaciones suelo-planta*. Cultivos Tropicales. Sep 2010 31(3):00-00
- [2] Ricardo, Morales Vargas. *Risk analysis methodology for agrochemical contamination*. Revista Costarricense de Salud Pública. Jun 2013 22(1):34-44. 10p.
- [3] Jorge Arturo, Salgado Tránsito et al. *Water quality effect on the Valle de Guadalupe aquifer in the agricultural soils salinity*. Revista mexicana de ciencias agrícolas. Feb 2012 3(1):79-95. 16p.
- [4] Inés, Pino et al. *Efficiency of recovery of N in the plant-soil system on a wheat crop under alternative soil tillage in an Ultisol in the IX Region*. Agricultura Técnica. Apr 2002 62(2):275-283. 8p.
- [5] Baudilio, Herrero. *Agronomic parameters assessment in hydroponic tomato crop*. Horticultura Brasileira. Dec 2014 32(4):385-390. 5p.
- [6] C. Thiran, J. Pauleta, N. Clode, G. Fontes, L. Graça, y M. Bicho. *Association of a Genetic Polymorphism of Endothelial Nitric Oxide Synthase With Methemoglobinemia in Hypertension Disease of Pregnancy*. Hypertension in Pregnancy. 2006 Supplement, Vol. 25, p93-93. 1/2p.
- [7] Campos, Fernanda C. *Systemic toxicity induced by paclitaxel in vivo is associated with the solvent cremophor EL through oxidative stress-driven mechanisms*. In Food and Chemical Toxicology June 2014 68:78-86. 9p
- [8] Šitum, Željko. *Control of a pneumatic drive using electronic pressure valves*. Transactions of the Institute of Measurement & Control. Dec2013, Vol. 35 Issue 8, p1085-1093. 9p.
- [9] Mishra, Puneet et al. *A novel intelligent controller for combating stiction in pneumatic control valves*. Control Engineering Practice. Dec2014, Vol. 33, p94-104. 11p.
- Martins, F.G. *Tuning PID controllers using the ITAE criterion*. International Journal of Engineering Education. 2005, 21 5 I y II p867-873. 7p