

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL INTELIGENTE DE TEMPERATURA UTILIZANDO UN AUTÓMATA PROGRAMABLE

### Design And Implementation Of A System Of Supervision And Intelligent Temperature Control Using A Programmable Automata

Jose Alfredo Mendoza Peñaloza<sup>1</sup>  
Diego Jose Barrera Oliveros<sup>2</sup>

#### Resumen

En éste paper se presenta los avances obtenidos del proyecto de un diseño e implementación de supervisión y control inteligente, utilizando un autómata programable o PLC, en donde veremos en primera medida que autómatas son capaces de recibir un control inteligente ya sea redes neuronales o lógica difusa, luego la comparación entre un control PID convencional con un controlador inteligente y destacar las ventajas de uno sobre el otro; y finalmente realizarle un sistema SCADA a un lazo de control de una planta mediante una interfaz HMI como puede ser el InTouch.

**Palabras clave:** Automatización, redes neuronales, lógica difusa, control PID, PLC, SCADA, Intouch.

#### Abstract

This paper presents advances obtained from the design and implementation of intelligent control and temperature supervision using a PLC, as we can see some automatons are capable of receiving intelligent control and are neural networks or fuzzy logic. On the other hand the comparison between a conventional PID control with an intelligent controller and highlight the advantages of one over the other; and finally make a SCADA system to a control loop of a plant through an HMI designed by InTouch.

**Keywords:** Automation, neural networks, fuzzy logic, PID control, PLC, SCADA, Intouch.

---

<sup>1</sup> Ingeniero. Grupo de Investigación SISMAEA, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona. Correo electrónico: ingmecatronicojose@hotmail.com

<sup>2</sup> Ingeniero. Grupo de Investigación SISMAEA, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona. Correo electrónico: diego.barrera@unipamplona.edu.co

## 1. INTRODUCCION

En el control de procesos industriales son utilizados los controladores lógicos programables conocidos como PLC, que permiten de una manera práctica ejercer control en las variables del proceso a partir de una programación lógica propia(s) de cada dispositivo según características de fabricación (Cera-Martínez et al., 2018; Criollo et al., 2014). El control que se puede ejercer con estos dispositivos varía en robustez de diseño, número de entradas y salidas, naturaleza de las entradas y salidas (análogas o digitales), módulos de comunicación, compatibilidad, entre otros (Cárdenas & Prieto-Ortiz, 2015; Flórez-Solano et al., 2017).

Sin embargo, el uso de los PLC no sólo depende de los parámetros mencionados anteriormente, también es importante resaltar la programación en los diferentes lenguajes que es diseñada para lograr una integración entre la información de entrada y la de salida que, a partir de la retroalimentación, permita imponer la acción más adecuada para el control del proceso (Jiménez & Barrera, 2018; Sánchez-Molina et al., 2012). Debido a que constantemente se busca que el control establecido elimine en mayor medida el margen de error que pueda existir entre el "setpoint" y la señal de salida obtenida, surge el control inteligente con diferentes técnicas que se enfocan en aspectos relevantes del proceso para determinar la acción a realizar (Ruis-Ayala et al., 2018; Gualdrón-Guerrero et al., 2014).

En este trabajo se desea mostrar los avances de un diseño e implementación de un sistema de supervisión y control inteligente con un autómata programable. El proceso se organiza a partir de pasos para tener una metodología de trabajo; en primera instancia se planea seleccionar el dispositivo o en este caso el autómata que reciba controles inteligentes. Al hacer una investigación sobre los autómatas capaces de recibir control inteligente, a partir de las opciones en el mercado, tenemos dos posibilidades: el PLC de marca siemens referencia S7 – 300 y también el PLC construido por la empresa arduino (Stanislav, 2016).

El siguiente factor importante en este trabajo es realizar la comparación entre el control PID (Controlador Proporcional-Integral-Derivativo) y el control inteligente. Al hacer este símil se obtienen las ventajas y desventajas de un controlador sobre el otro, lo cual se hace con el fin de optimizar los distintos procesos industriales a los cuales se les quiera aplicar un tipo de control.

Para finalizar se realiza un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), con una interfaz HMI (Human Machine Interface) (Avila et al., 2012; Riasco-Pareja et al., 2018). En este caso se empleó el InTouch de un lazo de control de una planta, en el cual se trabajó el lazo de temperatura de una caldera pirotubular, que se encuentra en el laboratorio de química de la universidad de pamplona, Colombia.

## 2. MARCO TEORICO

Automatización es el uso de sistemas de control y de tecnología informática para reducir la necesidad de la intervención humana en un proceso (Herrera-Baquero & Prieto-Ortiz, 2018). En el enfoque de la industria, automatización es el paso más allá de la mecanización en donde los procesos industriales son asistidos por máquinas o sistemas mecánicos que reemplazan las funciones que antes eran realizadas por animales (León-Medina & Torres-Barahona, 2016). Mientras en la mecanización los operadores son asistidos con maquinaria a través de su propia fuerza y de su intervención directa, en la automatización se reduce de gran manera la necesidad mental y sensorial del operador (Kouro, 2002; Niño-Vega et al., 2016).

El control inteligente nace como alternativa para el control de diversos procesos, basándose en la aplicación de técnicas inteligentes que buscan optimizar la respuesta del sistema, arrojando valores de salida que cuentan con una disminución del error respecto de los parámetros ingresados o "setpoint" (Pardo-García & Castellanos-González, 2017; Figueroa-Cuello et al., 2017). Esto se logra al emular la toma de decisiones humanas provenientes de un experto en el proceso o actividad que se busca controlar (Mesa-Mesa & Barrera-Lombana, 2013).

Como ejemplos del control inteligente, se encuentran el control difuso que permite establecer un conjunto de reglas para la toma de decisiones denotando las variables de entrada y salida como variables que se pueden expresar de modo cualitativo, estableciendo rangos según cree conveniente el experto a partir de un análisis del comportamiento de cada una de las variables involucradas (Altamirano-Santillán et al., 2017; Pabón-Fernández et al., 2016). El conjunto de reglas sincroniza las entradas y salidas y según el método a aplicar se establece una matemática de conjuntos para arrojar un valor de salida para los actuadores y así controlar el sistema (Torres et al., 2013; Cerón-Correa et al., 2013).

También existen métodos inteligentes de control como las redes neuronales, los algoritmos genéticos y redes de Petri, entre otros (García-Báez, 2010; Sandoval-Ruiz, 2014). Estos se fundamentan en el aprendizaje del sistema a medida que este retroalimenta información, donde existen diversas vías y el sistema selecciona los caminos a seguir a partir del comportamiento que obtuvo previamente a la salida, en busca de una nueva combinación de soluciones que en conjunto logren en cada interacción una mejor respuesta (Larrañaga, 2011).

## 3. OBSERVACIONES

Al utilizar dispositivos nuevos, se ve afectado el trabajo a falta de la disponibilidad de los mismos. En busca de otras opciones, las referencias que se encuentran en el mercado para la implantación de control inteligente en autómatas programables son pocas (Basoqain, 2014). En este sentido, es limitada la información que se puede encontrar así como las investigaciones en este campo, ya que es un ámbito de trabajo relativamente nuevo (Jian-Yu, 2017).

El diseño del controlador usualmente corresponde al PID (Abdullah, 2015). Sin embargo, resulta necesario comparar los tipos de controladores P, PI y PID. Y tomar el que ofrezca un mejor resultado para alcanzar el objetivo deseado (Jin, 2018). Teniendo en cuenta la velocidad de respuesta, así como su oscilación, se selecciona el más adecuado para la aplicación del lazo de temperatura de la planta (Santos, 2011).

#### 4. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Para aplicar control sobre un proceso se necesita indispensable mente un controlador, y para casos industriales salen a relucir los PLC de diversas marcas (Santa, 2012). Sin embargo, pocos de ellos tienen la posibilidad de recibir o contener un controlador sofisticado como puede ser el PID o los tipos de control inteligente, de tal manera que al hacer una búsqueda sobre estos dispositivos, se encuentra muy poca información acerca de estos y dificulta el trabajo.

A realizar las comparaciones, se opta por utilizar el controlador PID que es el que ofrece una mejor respuesta sobre el lazo de temperatura de la caldera pirotubular, de la cual salió la función de transferencia mediante el proceso de identificación en donde se toman los datos del sensor a medida que aumenta la temperatura del sistema. El diseño del controlador se realiza mediante el método heurístico, que consiste en definir las constantes de los controladores mediante el ensayo y el error, también conocido como método sistemático.

Tras hacer el proceso de identificación del sistema mediante el sensor de temperatura, al elevar la temperatura del proceso, se obtuvieron los datos para realizar la función de transferencia en lazo abierto del proceso el cual se ve representado en la gráfica de la figura 1.

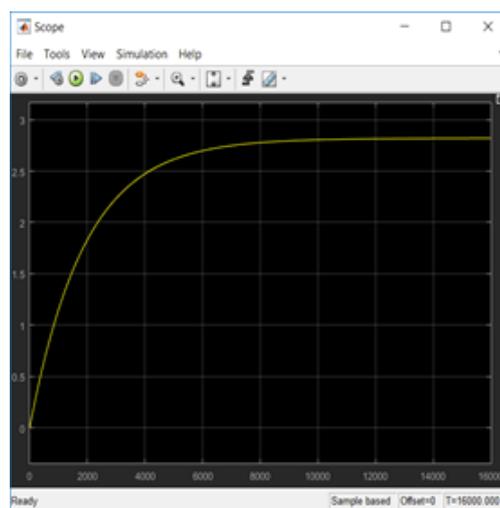


Fig. 1. Graficación de lazo abierto en matlab mediante la herramienta de simulink.

Como se aprecia en la figura 1, en la respuesta del sistema en lazo al paso unitario notamos que este se estabiliza en un valor de 2.8; por tal motivo, es necesario la realización de un controlador para que se estabilice en el set point. De la figura 1 se puede analizar como el comportamiento del sistema de temperatura mencionado, representa o puede ser asumido como un sistema de primer orden, lo cual permite estimar que controladores como PID clásico tienen cabida para ejercer un control fuerte ante perturbaciones, entre otros aspectos.

Como se mencionó anteriormente, el control PID clásico se puede implementar para el sistema de temperatura, para ello se estimaron las constantes para el controlador utilizando método de ensayo y error de modo que la respuesta fuera la más adecuada posible. En la tabla 1 se pueden observar las constantes para controladores P, PI, PID; se hace una comparación entre los controladores designados y discernir cual brinda la mejor respuesta al proceso.

Tabla 1: Tres tipos de valores para siete parámetros.

	<b>Kp</b>	<b>Ti</b>	<b>Td</b>
<b>P</b>	0.000792544	-	-
<b>PI</b>	0.000984	-0.000897	-
<b>PID</b>	0.0047	-0.00009967	32.88

Hecha la comparación de las constantes de la tabla 1, se verifica que el controlador que brinda la mejor respuesta al hacer las pruebas es el PID ya que brinda una respuesta rápida, sin tanta oscilación del sistema al llegar al set point especificado.

Al cerciorarse de que el controlador PID es el más adecuado para este proceso, se pone el controlador en la función de transferencia y se cierra el lazo con la retroalimentación negativa. En la figura 2 se observa la respuesta del sistema a un escalón unitario, generando una buena velocidad de respuesta y su estabilidad es adecuada.

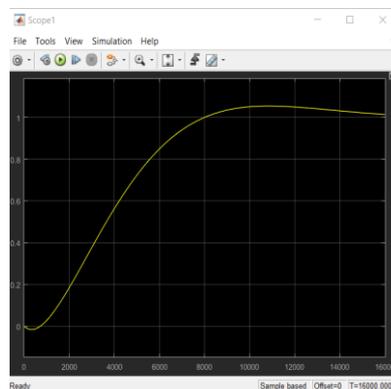


Fig. 2. Grafica de lazo cerrado con controlador PID en matlab mediante la herramienta de Simulink.

El gráfico de la figura 2 muestra que el control en lazo cerrado con el controlador PID brinda un buen resultado, ya que tiene buena velocidad y buena estabilidad ante una entrada paso unitario, por lo tanto el controlador está terminado.

Las interfaces HMI son muy populares en la industria, ya que poseen una alta utilidad, pues brindan al operador información sobre el proceso en tiempo real. Igualmente, dan alertas acerca del estado del proceso o indican si hay fallas e indican donde ocurren. También poseen la característica de realizar el control sobre el proceso en la misma interfaz, con la posibilidad de controlar a distancia el proceso, así como pararlo para hacer mantenimientos o por protocolos de seguridad al momento de una falla en el sistema.

Los sistemas HMI también son conocidos como sistemas SCADA, ya que tienen la posibilidad de hacer una supervisión en tiempo real, control sobre el proceso y la capacidad de almacenar los datos para su posterior análisis. Entre los programas HMI más famosos, se encuentra el InTouch de la empresa Wonderware.

Se realiza la graficación del proceso de una caldera pirotubular en el programa HMI de InTouch, como se observa en la figura 3, para realizar la supervisión y control del proceso.

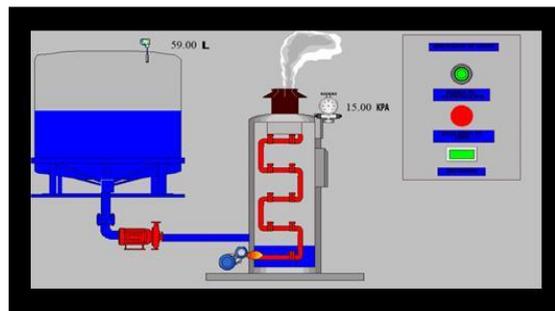


Fig. 3. Entorno HMI InTouch para el montaje del sistema SCADA de la caldera pirotubular.

Al estar la simulación del proceso acoplada con el proceso real, se puede realizar la supervisión en tiempo real y control sobre el proceso; no solo servirá de guía para todos los lazos de control de la caldera sino que también servirá para controlar el proceso a distancia o detenerlo si se hace necesario.

#### 4. CONCLUSIONES

La automatización es muy importante para el desarrollo industrial ya que permite que la producción aumente, se optimicen los procesos, reduciendo la pérdida de material. Además, se omite la posibilidad de los errores humanos a la hora de trabajar en procesos de alta precisión y la seguridad aumenta en gran medida, en aquellos procesos en los cuales el operador está expuesto a sustancias peligrosas, a máquinas de alto rendimiento o mucho peso. En este sentido, se realiza la importancia de los controladores ya que de estos depende la efectividad, la optimización de los procesos y la precisión de los mismos.

Sin embargo, es necesario seguir investigando y profundizando en esta área, para buscar la implantación de nuevas estrategias de control que apoyen y mejoren los controles ya establecidos para mejorar mucho más los procesos industriales. Una de estas estrategias posiblemente sea el control inteligente, como las redes neuronales, o los sistemas expertos como la lógica fuzzy que permiten más alternativas a la hora de hacer control sobre un proceso en busca de una mejora continua.

A pesar que el trabajo no muestra el diseño de un controlador inteligente, se nota que el control proporcionado por el controlador PID es bastante bueno y efectivo al controlar el set point en el punto deseado. Esto satisface el objetivo del trabajo de obtener un controlador óptimo para el lazo de temperatura de la caldera pirotubular. Por ello se hace necesaria una comparación entre un controlador PID y un controlador inteligente, para saber a ciencia cierta cuales son las ventajas de uno sobre el otro, o en que ocasiones conviene utilizar cada uno de ellos.

Los sistemas HMI son muy necesarios en la industria, al permitir la supervisión del proceso en tiempo real, a la vez que alerta acerca de los posibles problemas o fallas que tenga el sistema, para determinar el punto preciso de la falla. Estos sistemas son muy efectivos para poder hacer la pronta reparación y continuar con el proceso.

El control a distancia se hace necesario para los procesos en los cuales es muy peligroso para el operario estar presente en el lugar de la operación, ya que puede conllevar riesgos a la salud. Una herramienta HMI permite la posibilidad de telecontrol. Sin embargo, las comunicaciones para algunos PLC suelen resultar tediosas si estos no traen su propio sistema de supervisión ya que se tiene que recurrir a programas auxiliares, que permitan realizar la comunicación entre el PLC y la HMI.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad de pamplona, Colombia, laboratorio de química, por permitir el análisis sobre la caldera pirotubular que allí poseen.

## REFERENCIAS

Abdullah, J. H. Al Gizi (2015): Integrated PLC-fuzzy PID Simulink implemented AVR system.

Altamirano-Santillán, E., Vallejo-Vallejo, G., & Cruz-Hurtado, J. (2017). Monitoreo volcánico usando plataformas Arduino y Simulink. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7(2), 317-329. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n2.2017.6073>

Ávila, A. A., Flórez-Serrano, E., & Gualdrón-Guerrero, O. (2012). Diseño e implementación de un curso interactivo multimedia para el aprendizaje de los procesos CAM en un centro de mecanizado leadwell v30. *REVISTA COLOMBIANA de Tecnologías de Avanzada*, 2 (20). Recuperado de: [http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RCTA/article/view/188](http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/188)

Basoqain, X. (2014). Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones. Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao.

Cárdenas, J. A., & Prieto-Ortiz, F. A. (2015). Diseño de un algoritmo de corrección automática de posición para el proceso de perforado PCB, empleando técnicas de visión artificial. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 5 (2), 107-118. doi: 10.19053/20278306.3720

Cera-Martínez, D., Ortiz-Sandoval, J. E., & Gualdrón-Guerrero, O. E. (2018). Sintonización de un controlador de temperatura a través de un autómata programable. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 9(1), 177-186. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n1.2018.8513>

Cerón-Correa, A., Salazar-Jiménez, A. E., & Prieto-Ortiz, F. A. (2013). Reconocimiento de rostros y gestos faciales mediante un análisis de relevancia con imágenes 3D. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 4 (1), 7-20. doi: 10.19053/20278306.2563

Criollo, B., Alvarado, J., & Numpaque, H. (2014). Control PID de temperatura y dosificación de ph para la producción de gas metano a partir de la digestión anaeróbica de residuos sólidos orgánicos. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2 (24), 134-141. doi: <https://doi.org/10.24054/16927257.v24.n24.2014.2339>

Figuroa-Cuello, A., Pardo-García, A., & Díaz-Rodríguez, J. (2017). Sistema control supervisor de clientes con acceso remoto para sistemas solares fotovoltaicos autónomos. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7(2), 367-378. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n2.2017.6104>

Flórez-Solano, E., García-León, R. A., & Sánchez-Ortiz, E. A. (2017). Diseño de un sistema alimentador para un horno rotatorio en la producción de fosfato en Norte de Santander. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1 (29). doi: <https://doi.org/10.24054/16927257.v29.n29.2017.2489>

García-Báez, P. (2010). Introducción a las Redes Neuronales y su Aplicación a la Investigación Astrofísica.

Gualdrón-Guerrero, O. E., Durán-Acevedo, C. M., Ortiz-Sandoval, J. E., & Araque-Gallardo, J. A. (2014). Implementación de un modelo neuronal en un dispositivo hardware (FPGA) para la clasificación de compuestos químicos en un sistema multisensorial (nariz electrónica). *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2 (24), 127-133. doi: <https://doi.org/10.24054/16927257.v24.n24.2014.2347>

Herrera-Baquero, L. P., & Prieto-Ortiz, F. A. (2018). Metodología para la inspección de la herramienta en el taladrado de piezas. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 9 (1), 187-200. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n1.2018.7937>

Jian-Yu, Chen (2017): Application of Programmable Logic Controller to Build-up an Intelligent Industry 4.0 Platform.

Jiménez, R., & Barrera, D. (2018). Comunicación OPC para el enlace entre los software de rockwell automation del plc allen bradley micrologix 1000 e intouch. *Infometric@ - Serie Ingeniería, Básicas y Agrícolas*, 1 (1), 184-190. Recuperado de: <http://cienciometrica.com/infometrica/index.php/syh/article/view/26>

Jin, Xin (2018): Design and implementation of Intelligent transplanting system based on photoelectric sensor and PLC.

Kouro, S. (2002). Control Mediante Lógica Difusa. *Técnicas Modernas En Automática*, 1–7.

Larrañaga, P. (2011). Tema 8. Redes Neuronales. In U. del P. Vasco (Ed.), *Departamento de ciencias de la computación e Inteligencia Artificial*.

León-Medina, J. X., & Torres-Barahona, E. A. (2016). Herramienta para el diseño de sistemas de posicionamiento tridimensional usados en fabricación digital. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 6 (2), 155–167. doi: <http://doi.org/10.19053/20278306.4603>

Mesa-Mesa, L. A. & Barrera-Lombana, N. (2013). La robótica educativa como instrumento didáctico alternativo en educación básica. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(22), 59-67.

Niño-Vega, J. A., Martínez-Díaz, L. Y., & Fernández-Morales, F. H. (2016). Mano robótica como alternativa para la enseñanza de conceptos de programación en Arduino. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2 (28), 132-139. doi: <https://doi.org/10.24054/16927257.v28.n28.2016.2476>

Pabón-Fernández, L., Díaz-Rodríguez, J., & Pardo-García, A. (2016). Simulación del inversor multinivel de fuente común como variador de frecuencia para motores de inducción. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7(1), 165-180. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n1.2016.5636>

Pardo-García, A., & Castellanos-González, L. (2017). Automatización de ambientes en invernaderos simulando escenarios futuros. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1 (29).

Riasco-Pareja, C. A., Loaiza-Duque, A. A., & Estrada-Esponda, R. A. (2018). La interacción humano computador en el currículo de las instituciones de educación superior de Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 9 (1), 147-162. doi: <https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n1.2018.7722>

Ruiz-Ayala, D. C., Vides-Herrera, C. A., & Pardo-García, A. (2018). Monitoreo de variables meteorológicas a través de un sistema inalámbrico de adquisición de datos. *Revista de*

investigación, Desarrollo e Innovación, 8 (2), 333-341. doi: 10.19053/20278306.v8.n2.2018.7971

Sánchez-Molina, J., Gelves-Díaz, J. F., & Ramírez, R. P. (2012). Implementación de un sistema tipo SCADA para mejorar los procesos de secado y cocción de la ladrillera Sigma Ltda., Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2 (20), 80-85.

Sandoval-Ruiz, C. (2014). Adaptive Control in VHDL Applied to a Solar Oven, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2 (20), 80-85. doi: <https://doi.org/10.24054/16927257.v23.n23.2014.2323>

Santa, L. P. (2012). El PLC y sus aplicaciones en la industria, revoluciones Industriales. Recuperado de: <http://instruredes.blogspot.com.co/2012/03/el-plc-y-sus-aplicaciones-en-la.html>.

Santos, M. (2011). Aplicaciones exitosas del Control Inteligente a casos reales. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. Rcuperado de: [http://www.ceautomatica.es/sites/default/files/upload/955/files/VII\\_Simposio\\_de\\_Control\\_Intelige\\_nte-2011/07\\_ponencia2\\_Santos.pdf](http://www.ceautomatica.es/sites/default/files/upload/955/files/VII_Simposio_de_Control_Intelige_nte-2011/07_ponencia2_Santos.pdf)

Stanislav, N. Vassilyev (2016): Intelligent Control of Industrial Processes.

Torres, C. J., et al. (2013). Estudio cinemático de una plataforma robótica para agricultura. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2 (22). Recuperado de: [http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RCTA/article/view/421](http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/421)