

# Automatización, herramienta efectiva para la eficiencia energética

Autor : Ing. Manuel Humberto Luque Casanave

Profesor-investigador del Departamento Académico de Ingeniería Aplicada-Facultad de Ingeniería Mecánica  
Universidad Nacional de Ingeniería, Lima- Perú

**Resumen**—En el artículo se hace una presentación de los tipos de control automático, se describe cada uno, se informa y comenta las potencialidades de cada uno como herramienta útil para lograr la eficiencia energética en una planta industrial. Se ilustra con figuras como apoyo a la descripción y presentación de los diversos componentes de los sistemas de control automático descritos. Se presentan a los controladores lógicos programables y a las comunicaciones digitales como una oportunidad de mejora en la eficiencia energética, en la calidad de producto, en la seguridad y confiabilidad operativa por las ventajas operativas que ofrecen. Se enfatiza en la conectividad y en la pirámide de la información para integrar la automatización de planta a las decisiones operativas y estratégicas de la empresa. Se resalta la relevancia de la automatización para reducir el consumo específico de energía, como indicador de eficiencia operativa de la empresa.

**Abstract**—The article makes a presentation of the types of automatic control, it describes each and reports and it is discussed the potential of each as useful tool to achieve energy efficiency in an industrial plant. It is illustrated with figures to support the description and presentation of the various components of the automatic control systems described. It is presented the programmable logic controllers and digital communications as an opportunity to improve energy efficiency, product quality, safety and operational reliability due to the operating advantages presented. It is emphasized the connectivity and the pyramid of information to integrate the plant automation to the operating and strategic plant decisions. The relevance of automation is emphasized to reduce the specific energy consumption, as an indicator of operating efficiency of the company.

**Palabras Clave**—Control Discreto, Control Análogo, Diagrama de Escalera, Lazo de Control, Algoritmo PID, Lazo Simple, Lazo en Cascada, PLC, SCADA, variable controlada, variable manipulada, inalámbrico, consumos específicos de energía.

**Key Words**—Discrete Control, Analog Control, Ladder Diagram, Control Loop, PID Algorithm, Single Loop, Cascade Loop, PLC, SCADA, controlled variable, manipulated variable, wireless, specific energy consumption.

## I. INTRODUCCIÓN

La automatización en los procesos industriales se presenta como una oportunidad de lograr eficiencia energética al mantener bajo control en forma regular y constante los valores deseados de los parámetros de un proceso, evitando con ello excesos de consumo de recursos de energía, de agua, de

materias primas, reduciendo mermas productivas, manteniendo la calidad de la producción, reduciendo la contaminación ambiental, mejorando la seguridad operativa; redundando todo ello en menores costos operativos, con mejoras en la competitividad.

Podemos clasificar los sistemas de automatización en : a) sistemas de control discreto (on-off), que responde a una lógica discreta en la que los parámetros se representan por dos valores (1,0), asignados a dos condiciones operativas opuestas, como por ejemplo en operación, fuera de servicio; en operación normal, en alarma; abierto, cerrado; arriba, abajo; arranque, parada; entre otras condiciones; b) sistemas de control análogo, que responde a una lógica análoga en la que los parámetros asumen valores continuos, como por ejemplo 78,50°C; 0,3m<sup>3</sup>/s; entre otros.- Para la representación iconográfica de los instrumentos y sus señales en los diseños y planos de ambos sistemas de control, se utiliza universalmente la simbología estándar de la Instrument Society of America (ISA)<sup>1</sup>.

## II. TIPOS DE CONTROL AUTOMÁTICO

### A. Sistemas de Control Discreto

Los sistemas de control discreto (on-off) para ejercer el control de los procesos productivos están asociados a un eslabonamiento secuencial de eventos, a una lógica booleana o discreta de respuesta, en el que una actividad del proceso es función de los resultados discretos de la(s) actividad(es) precedente(s).- Se expresa en el diseño del Diagrama de Escalera (Ladder Diagram) en el que se presenta la lógica de control basada en la articulación y conexión de los componentes de entrada : contactos auxiliares de contactores; contactos de relays auxiliares; pulsadores de arranque y de parada, de reset; conmutadores; interruptores de nivel, de flujo, de temperatura, de presión, sensores de alarmas; con los componentes de salida : contactores de motores, contactores de accionamiento de cargas y equipos eléctricos; relays auxiliares, temporizadores, contadores de eventos, programadores, lámparas de indicación o de alarma visual, klaxons de alarma auditiva.

Diseñado en base al criterio de eventos secuenciales, se implementa como un “circuito de control” con lógica cableada en un tablero de control, al que llegan las señales discretas de los componentes de entrada y del que -según la lógica

<sup>1</sup> [www.isa.org](http://www.isa.org)

cableada- salen las señales discretas a los componentes de salida para controlar el proceso.

Ejerciendo una buena práctica operativa el circuito de control se diseña con un conmutador manual/automático para permitir cambiar a operación manual para afrontar algún evento no contemplado o ante una contingencia, de modo que se pueda concluir la secuencia operativa e interactuar con cada equipo individualmente sin poner en riesgo la integridad del proceso productivo.

En la figura 1 se presenta un Diagrama de Escalera, en el que se muestran los elementos de entrada (contactos) y elementos de salida (relays, lámparas indicadoras), así como el tablero en el que se implementa el circuito de control discreto.

Aplicaciones: automatización de procesos de fabricación secuencial, centro de control de motores, central de alarmas, entre otros.

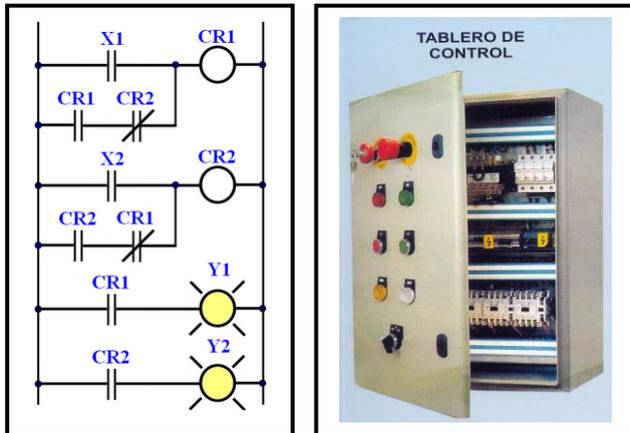


Fig. 1. Diagrama de escalera y tablero en un sistema de control discreto

### B. Sistemas de Control Análogo

Los sistemas de control análogo para ejercer el control de los procesos productivos están asociados a lazos de control en los que participan señales análogas.- En un lazo de control el *transmisor* recibe una señal de un *elemento primario* o sensor, cuyo valor representa al parámetro medido, acondiciona la señal, la convierte en una señal estándar (3-15 psi, 4-20 mA DC, 1-5 V DC, 0-10 V DC) y la envía al *controlador*, el que compara esta señal de medición con el valor deseado o punto de consigna (set point) que ha ingresado el usuario al configurar el controlador, y como señal de salida entrega una señal estándar de control (3-15 psi, 4-20 mA DC, 1-5 V DC, 0-10 V DC) hacia el *actuador* o *elemento final* (válvula de control, posicionador, variador de velocidad <sup>2</sup>, servomotor, motor de pasos).- Esta señal es utilizada para corregir el

<sup>2</sup> Un variador de velocidad (frequency driver) es una opción tecnológica moderna que sustituye a las válvulas de control de flujo con mejora en la eficiencia energética al reducir las pérdidas de presión estática por estrangulamiento de la válvula. Puede ser operado manualmente o automáticamente, en este último caso al integrarse a un lazo de control.

proceso y mantener el valor del parámetro operando en el punto de consigna, cuyo valor se determina en base a la aplicación del algoritmo PID (en lazo de control PID) o del algoritmo de lógica difusa Fuzzy Logic (en lazo de control difuso). Ver figura 2.

La implementación de transmisores basados en microprocesadores y con acceso a redes inalámbricas han revolucionado los sistemas de control industrial, están estandarizados a través de las normas IEEE 802.11, normas europeas EN 50170 y EN 50254, asimismo han sido estandarizados en la norma IEC 61158 Comunicación Digital de Datos para Mediciones y Control.

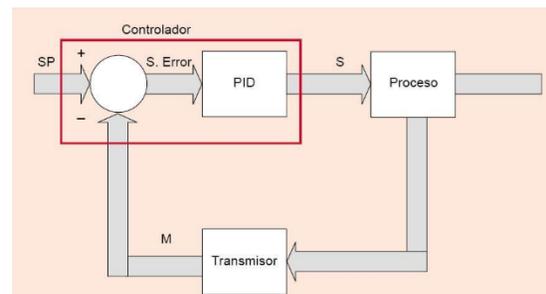


Fig. 2. Lazo de control PID

Para determinar los elementos de un lazo de control, se debe definir la variable controlada del proceso, es decir aquella que desea controlar (p.ej: el nivel de un tanque, la temperatura del tanque, el flujo de agua, etc.) y la variable manipulada, que es aquella sobre la que actúa el actuador final para mantener la variable controlada en el valor deseado o set point (p.ej: el flujo de vapor, etc).

Aplicaciones: automatización de procesos de producción continuos, sistemas de monitoreo y control de la operación de equipos: calderas, hornos, secadores, intercambiadores de calor, variadores de velocidad, molinos, entre otros.

### III. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

Los controladores lógicos programables (PLCs), que están basados en microprocesador, integran en una sola unidad los dos sistemas de control discreto y análogo. Constan de un hardware apropiado con una fuente de energía (Power Supply), un CPU, tarjetas de entradas y salidas, tanto análogas como discretas, así como tarjetas de comunicación para su conectividad con PCs o Lap Tops o con sistemas inalámbricos, posee puertos seriales RS-232 y USB para conectividad con PCs y RS-485 para conectividad con expansiones del mismo PLC, con otros PLCs o con instrumentos de planta, los mismos que pueden estar ubicados hasta 1200 metros de distancia.

Una ventaja técnico-económica es que en el PLC los relays auxiliares del control discreto y los controladores PID o controladores difusos del control análogo son virtuales, así como los temporizadores y los contadores de eventos, ello reduce dramáticamente los costos respecto a la opciones de lógica cableada en el caso de control discreto y de lazos de

control análogo con controladores físicos. Los PLCs tienen un software de configuración con instrucciones de Diagrama de Escalera para el control discreto y de Bloques de programa para el control análogo, asimismo se cuenta con un software de supervisión para el monitoreo y control de los procesos vía una PC o una Lap Top.

En la figura 3 se aprecia un PLC con sus componentes.



Fig. 3 . Vista de un PLC con su CPU y tarjetas de entrada y salida

Las ventajas del control con PLCs para mejorar la eficiencia energética de los procesos industriales son: la flexibilidad operativa, dado que para cambiar de un sistema de control a otro no se necesita recablear, solo se modifica el programa; alta velocidad de procesamiento; gran capacidad de memoria para almacenar data y la conectividad que posee a través de protocolos industriales estándar (Profibus, Fieldbus, HART, CAN bus, DeviceNet, otros).

En la figura 4 se presenta la función de temporizado “Timer On Delay” (TON) con entradas discretas y salidas discretas, expresado en lenguaje de PLC.

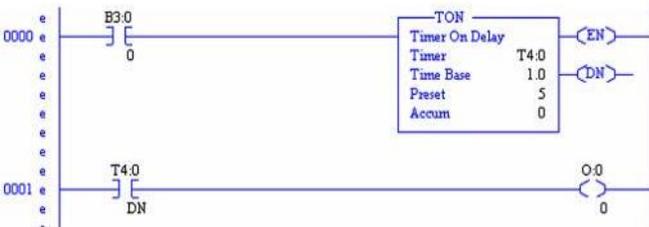


Fig. 4. Instrucciones de control discreto con la función de temporizado en lenguaje PLC

La automatización permite integrar a todas las áreas de la empresa mediante un sistema de supervisión y control (SCADA) para que la información de campo sea distribuida para toma de decisiones específicas en producción -a través de indicadores como los consumos específicos de energía-, para hacer balances de energía y realizar la gestión de la eficiencia energética, para manejo de stocks en logística, decisiones de mantenimiento, de control de calidad y para gerencia; en un sistema piramidal de información en configuraciones de redes LAN, Ethernet, entre otras.

En la base de la pirámide de la información están los dispositivos de campo: transmisores, controladores, válvulas de control. En un segundo nivel están los PLCs, los sistemas

de control distribuido (DCS). En el tercer nivel están los sistemas de control de procesos, en un cuarto nivel los sistemas de gestión de planta y en el nivel superior está la dirección corporativa de la empresa. Ver figura 5.



Fig. 5. Pirámide de la información en una planta industrial

En la figura 6 se presenta el caso de un control automático en lenguaje PLC utilizando el algoritmo PID.

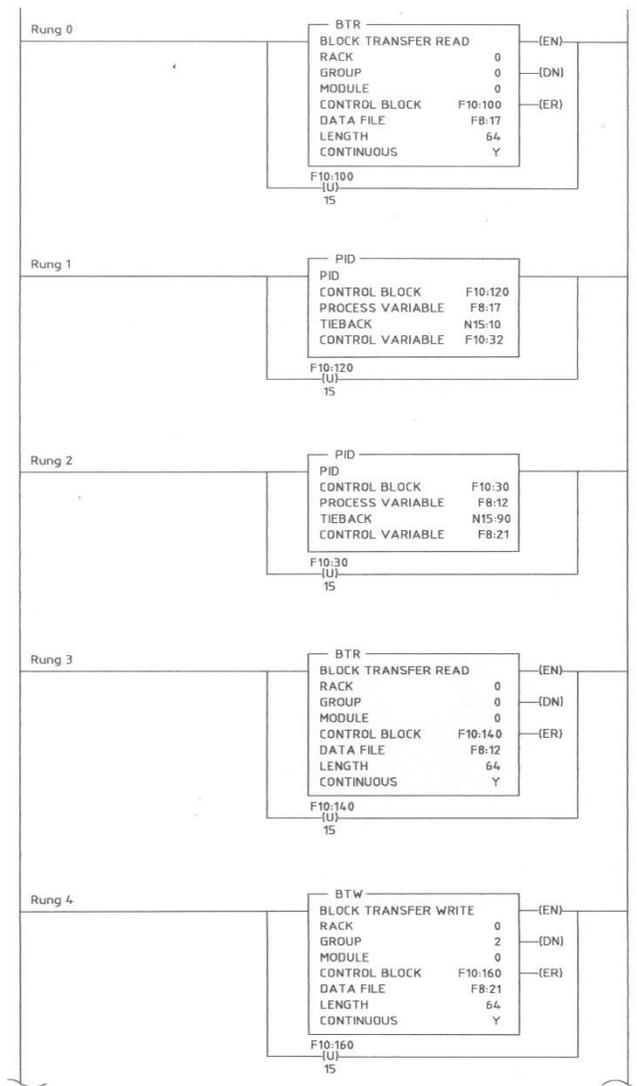


Fig. 6. Control análogo en lenguaje PLC utilizando el algoritmo PID en un lazo de control en cascada

#### IV. COMUNICACIÓN DIGITAL

En el mercado se cuenta con transmisores inteligentes comunicándose digitalmente con los PLCs a través de protocolos estándar de comunicaciones (Profibus, CAN, Modbus, Hart, etc) incluyendo convertidores para hacer la interfaz entre transmisores analógicos y la red digital que opera con protocolos de comunicaciones. Asimismo se cuentan con transmisores que envían los valores de los parámetros medidos vía inalámbrica tanto a los controladores o a los mismos PLCs, mediante el formato estándar para redes inalámbricas IEEE 802.11 (2,4 GHz).- De esta forma se mantiene una conectividad completa en la empresa, incluyendo el acceso remoto a la data de los PLCs vía modem, vía Internet, vía satelital, vía telefonía celular, vía smartphone (Apps, interface SCADAMobile) y a través de otros periféricos inalámbricos (wireless).

técnicos en revistas indexadas. Consultor en temas de energía de organismos internacionales: Banco Interamericano de Desarrollo (BID); Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Agencia Internacional para el desarrollo (USAID); Agencia de Cooperación Alemana (GIZ); Banco Mundial (IFC-World Bank); Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI-Viena); Comisión Europea (CE-Bruselas; CE-Perú). Correo electrónico: [verman@terra.com.pe](mailto:verman@terra.com.pe)

#### V. CONCLUSIONES

Hoy en día con la variedad de equipos de control automático de procesos, las empresas tienen en la automatización una herramienta a costo efectivo para mejorar su eficiencia energética, mantener los estándares de calidad de producto y reducir las emisiones. La automatización otorga seguridad operativa y mejora en la productividad de planta. Se reducen los consumos y costos específicos de energía<sup>3</sup>, de materia prima, de agua, de combustibles; reduciendo el impacto ambiental en las operaciones productivas.

La integración de los sistemas de control automático a través de la red digital de comunicaciones permite optimizar las decisiones estratégicas en todos los niveles de la empresa al contar con información en tiempo real.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] A. Creus, "Instrumentación Industrial", ISBN: 978-84-267-1668-2, 8va. Edición, Edit. Marcombo, pp. 1-90, 2011.
- [2] Douglas O.J. deSá, "Instrumentation Fundamentals for Process Control", ISBN 1-56032-901-7, pp 191-435, 2001.
- [3] M.H. Luque Casanave, "New Regulation System for Turbogenerators in Small Hydroelectric Plants"; IX Latin American Meeting of Small Energy Systems (IX ELPAH), Neuquén, Argentina; Nov. 2001  
[www.bsrec.bg/opet/new/cronograma.pdf](http://www.bsrec.bg/opet/new/cronograma.pdf)

#### VII. RESEÑA AUTOR

**Manuel Humberto Luque Casanave**, ingeniero mecánico-electricista, graduado en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Lima, Perú, con maestría en automatización de procesos en la Universidad de Surrey en Inglaterra, diplomados en gestión energética en los EE. UU y en gestión ambiental en Suecia. Actualmente es profesor e investigador en el Departamento Académico de Ingeniería Aplicada de la Facultad de Ingeniería Mecánica, UNI. Consultor principal en temas energéticos de la empresa VERMAN, con más de veinticinco años de experiencia profesional en proyectos de automatización industrial, en la realización de auditorías energéticas, en la formulación y evaluación de proyectos de eficiencia energética, energías renovables y no convencionales, así como en tecnologías limpias para la industria y minería. Ha publicado más de doscientos artículos

---

<sup>3</sup> El consumo específico de energía es un indicador de eficiencia operativa y representa el consumo de energía por unidad de producto terminado