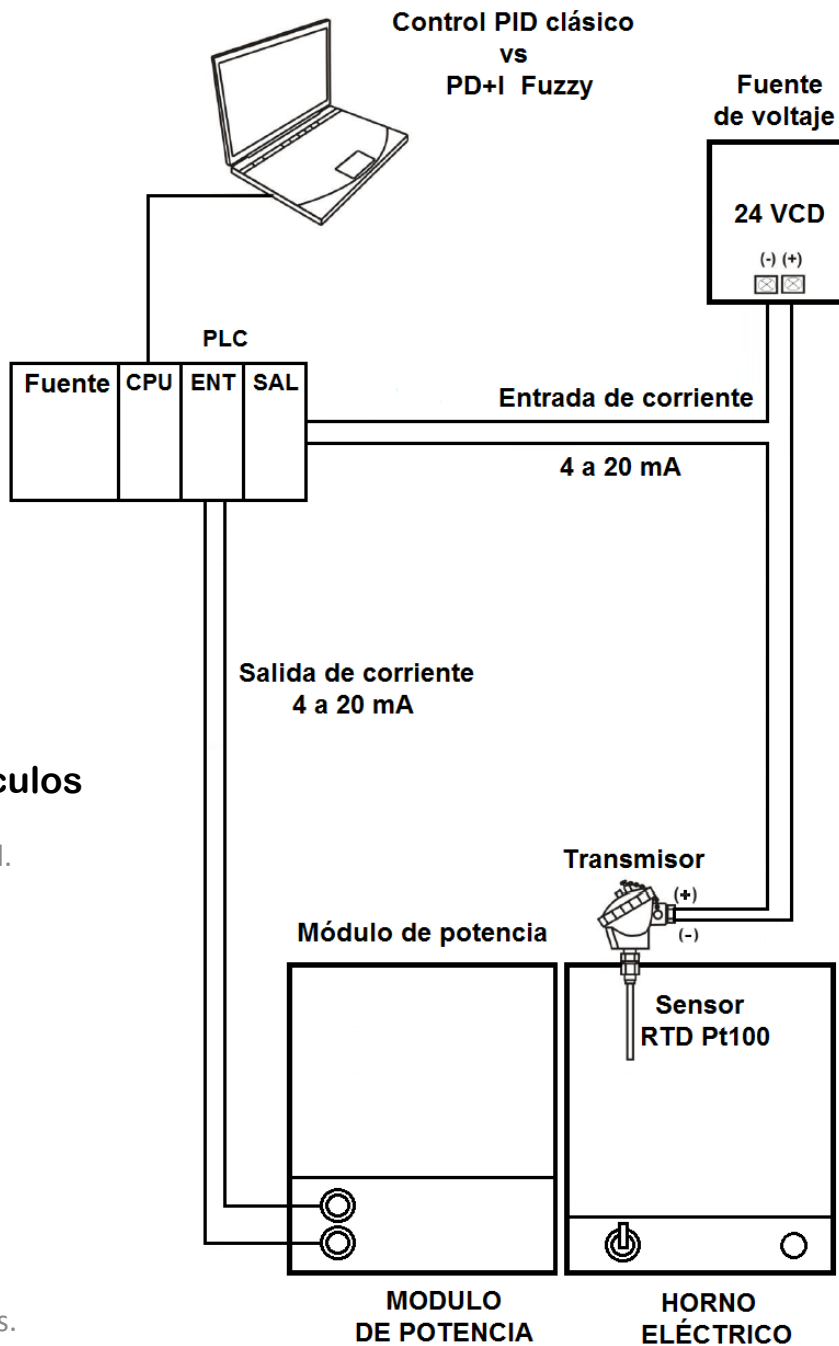


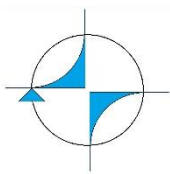
## Revista técnico científica

- Ciencias Exactas.
- Ciencias Naturales.
- Ciencias de la tierra.
- Ingeniería y Tecnología.

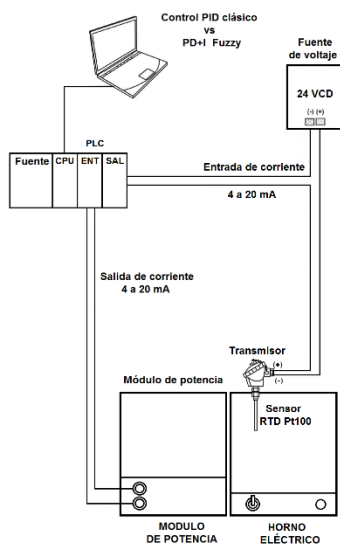


## Temática de los artículos

- Automatización y Control.
- Instrumentación.
- Mecatrónica.
- Robótica.
- Agrícola.
- City Farms.
- Biotecnología.
- Domótica e Inmótica.
- Sistemas Embebidos.
- Electrónica de Potencia.
- Aplicaciones HMI Scada.
- Aplicaciones inalámbricas.



# CONTENIDO



## Nuestra portada:

Lazo cerrado de control de temperatura en el cual se compara el desempeño de un controlador PID clásico y un controlador PD+I Difuso. Los algoritmos de control evaluados se diseñan en el Software LabVIEW. La comunicación con el PLC es a través de OPC. A falla de comunicación con la computadora el PLC toma el control. El algoritmo de control del PLC es un PID clásico.

## 1 Editorial

## ARTÍCULOS

2

### Modelado y Control de la Variable Flujo.

Emmanuel Vega Negrete y otros.

9

### Modelado y control de la variable Nivel.

Ismael E. Vázquez Tirado y otros.

18

### Modelado y control de la variable Presión.

Edgar Asael Martínez Gutiérrez y otros.

25

### Modelado y control PID de Temperatura.

Giovanni Frías Bracamontes y otros.

34

### Formato: "Preparación de Artículos para TRANSACCIONES y PERIÓDICOS de la IEEE".

## Director General

José de Jesús García Cortés

## Consejo Editorial

Héctor Manuel Campos López.

Ramón Bautista Guzmán.

Juan Luis García Huanaco.

Ignacio Avelar Miranda.

José de Jesús García Cortés

## Coordinador administrativo

Luis Francisco García Segura

## Editor

Saúl Solano Vizcaíno

**ID+i Automatización y Control.**

**ISSN en trámite.**

**Año 1, No. 1, Enero 2016.**

**Es una publicación semestral. Domicilio administrativo: Calle Esteban Cibrian No. 2, Fraccionamiento Los Fresnos, Zapotlán el Grande, Jalisco, C.P. 49032. Teléfono: 341 135 34 50.**

**Descarga la publicación en:**

**[www.gsmautomatizacionycontrol.com](http://www.gsmautomatizacionycontrol.com)**

**La responsabilidad del contenido y la sintaxis de los artículos presentados son responsabilidad del autor (es).**

**Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del director general y Editor de esta publicación.**

**ID+i:** Investigación Desarrollo e innovación son los temas centrales de esta publicación.

Iniciamos el primer número de esta revista citando textualmente las palabras del investigador John Eccles (1903-1997) "...la investigación es una aventura apasionante que abre las puertas a nuevos horizontes" y las palabras de Karl Popper, filósofo de la ciencia y catedrático de la universidad de Dunedin Nueva Zelanda: "...la gran fuerza del método científico radica en su capacidad para rebatir hipótesis, es decir, la ciencia avanza mediante una serie de ciclos de conjeturas y refutaciones cada vez más precisas. Algún científico propone una idea sobre la naturaleza y luego otros trabajan para observar hechos que confirman o refutan esa idea". Estas palabras fueron capturadas por Eric Kandel en su libro "En busca de la memoria" y representan la esencia de nuestra publicación. Queremos iniciar una aventura con todos aquellos que quieran proponer nuevas ideas y trabajar en conjunto para observar hechos que verifiquen o refuten las mismas. Y para terminar quisiera volver a citar a John Eccles "...Hay que permitirse especular e imaginar cuando se plantean Hipótesis, pero que después hay que verificarlas con el mayor rigor, recurriendo a todo el conocimiento existente e ideando situaciones experimentales sumamente estrictas que las pongan a prueba".

En este número se presentan cuatro artículos cuyas ponencias fueron presentadas en el Congreso Internacional de Electrónica 2015, del Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán. Hacemos extensa la invitación a publicar a otras instituciones.

Al final de este número puede consultar las normas editoriales para publicar en esta revista. El formato que se presenta puede tomarse como referencia para publicar.

**Consejo editorial**

## Modelado y Control de la Variable Flujo

MIP. José de Jesús García Cortés  
[itcq\\_iesusgc@hotmail.com](mailto:itcq_iesusgc@hotmail.com)

MIE. José Reyes Lucas Núñez  
[reyeslucas66@hotmail.com](mailto:reyeslucas66@hotmail.com)

Ing. Emmanuel Vega Negrete  
[emmanuelvene@hotmail.com](mailto:emmanuelvene@hotmail.com)

### RESUMEN

Este artículo presenta el modelado y control de la variable Flujo para la estación de trabajo “Main Process FLOW Work station” que se encuentra en el laboratorio de instrumentación del instituto Tecnológico de Cd. Guzmán.

La obtención del modelo matemático permitirá en proyectos posteriores probar en ambiente de simulación controladores clásicos inteligentes y avanzados. En el presente artículo se probará y sintonizará un control PID clásico desarrollado en un PLC.

El modelado y control se realizara con un Transmisor indicador de flujo tipo turbina marca GF+, el controlador PID se desarrollara en un Controlador Lógico Programable (PLC) marca Allen Bradley MicroLogix 1100 y una válvula de control con actuador eléctrico tipo servomotor marca Honeywell.

### PALABRAS CLAVE

Modelado de procesos, Control PID, Control de flujo, Sintonización de controladores, PLC's.

**I INTRODUCCION.** La obtención del modelo matemático de las plantas que se requieren controlar y el uso de herramientas de simulación tales como MATLAB-Simulink, o de Software HMI (Human Machine Interface), hace más corto el tiempo de diseño y sintonización de los controladores PID clásicos o los controladores inteligentes PD+I Fuzzy que se utilizan en los lazos de control de un proceso. Estos controladores pueden ser diseñados en PLC's, PC's o microcontroladores.

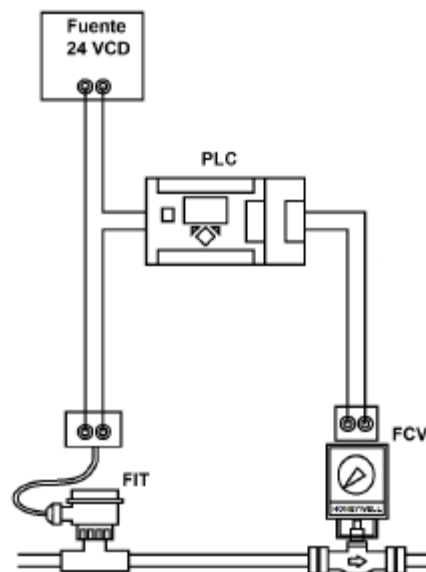


Figura 1. Algoritmo de control PI clásico diseñado en un PLC

Los PLC's o controladores Lógico Programables son sistemas digitales empleados para controlar y automatizar Procesos industriales.

Además de poder realizar las funciones de control secuencial control continuo y tipo Batch, el PLC puede aportar a los proyectos de automatización funciones tales como servidor web, servidor FTP, envío de e-mail y manejo de Bases de Datos Relacionables Internas.

Los PLC's, son cada vez más rápidos y más pequeños. Y como resultado de esto, están ganando capacidades que solían ser dominio exclusivo de los sistemas de control distribuido y de las computadoras industriales. Los PAC's o Controladores Programables para Automatización de procesos son un ejemplo de esto. En la figura 2 se presenta uno de los PAC de la marca Allen Bradley.



**Figura 2.** ControlLogix de Allen Bradley.

Si bien en los PLC's convencionales pueden desarrollarse los algoritmos de control clásicos (P, PI, PID) e inteligentes (controladores borrosos, Fuzzy o difusos); los nuevos PLC's facilitan el desarrollo de los mismos al contar con mayor capacidad de procesamiento.

## II MATERIALES Y METODOS

Los elementos principales del lazo de control de Flujo en el sistema **Main process FLOW work station** son: un transmisor de flujo, un PLC y una válvula de control. Estos instrumentos serán descritos con más detalle a continuación.

### 2.1 Transmisor de Flujo

El transmisor empleado en el lazo de control es un Transmisor indicador de flujo (FIT) tipo turbina de la marca George Fisher (+GF+) modelo Signet 2537, con las siguientes especificaciones: Rango de medición de 0 a 100 LPM, alimentación de 24 VCD. Salida de 4 a 20 miliamperios. Conexión a proceso tipo T de ½ "de diámetro. El cuerpo del medidor es de PVC, servicio: agua de proceso, presión normal de operación: 64 PSI, velocidad del fluido: 0.1 m/s a 6 m/s.



**Figura 3.** Transmisor indicador de flujo marca GF+ Signet 2537.

En la tabla número 2 se presenta la tabla de calibración del Transmisor.

Flujo (L/min)	Salida del FIT (mA)
0.0	4
25	8
50	12
75	16
100	20

**Tabla I** Calibración del Transmisor de Flujo.

## 2.2 Controlador lógico programable

El algoritmo de control PI clásico se desarrolla en un PLC MicroLogix™ 1100 marca AllenBradley Cat. No. 1763-L16BWA (figura 4).



**Figura 4.** PLC MicroLogix 1100

El PLC cuenta con dos entradas analógicas de 1 a 5 VCD, 10 entradas digitales de 24 VCD, seis salidas digitales de RELAY y un módulo de expansión Cat. No. 1763-2IF2OF, con dos entradas y dos salidas analógicas de 4 a 20 miliamperios. El PLC es programado con el Software RSLogix 500 de Rockwell Software y se requiere también de un software de comunicaciones PC-PLC llamado RSLinx. La señal de Presión o variable de proceso (PV) entra en el PLC en el módulo uno, en la entrada I:1.0 y la salida CO del controlador (Control Output) se tiene en el canal O:1.0

## 2.3 Elemento final de control.

El elemento final es una válvula de control con cuerpo tipo globo fabricada bronce. Las conexiones a proceso son de una pulgada de diámetro con rosca NPT hembra.

El actuador de la válvula es un servomotor eléctrico (figura 4), marca Honeywell. El actuador requiere para su operación de una alimentación de 127 Vca y de una señal de control que puede ser un voltaje de 1 a 5 VCD o una corriente de 4 a 20 miliamperios.



**Figura 5.** Válvula de control Honeywell.

En la tabla II se presenta la caracterización de la válvula de control.

Entrada (mA)	Apertura (%)	Flujo (L/min)
4	0	0
5.9	25	11
9.0	50	53
13.4	75	97
13.7	100	100

**Tabla II.** Caracterización de la válvula de control.



### III MODELO MATEMATICO

En este proceso se realizó la lectura de la señal de frecuencia del sensor de flujo con un osciloscopio digital con memoria, lo cual permitió obtener de forma confiable la señal de frecuencia debido al rápido cambio en la variable de flujo, la cual requirió de solo 300 ms para cambiar del valor inicial de 7,6 L/min al valor final de 32,2 L/min.

A continuación se muestran los datos de las señales leídas en la curva de reacción:

Cambio en escalón	Cambio en la frecuencia	Cambio en el flujo
30 %	20 Hz	7,6 L/min
90 %	60 Hz	32,2 L/min

**Tabla III** Frecuencia de salida vs. Flujo, generada por el sensor de flujo.

Los tiempos requeridos para determinar la función de transferencia por el método de curva de reacción son aquellos en que se logran el 28,3 % y el 63,2 %, de cambio en la curva de respuesta, dichos tiempos se muestran en la siguiente tabla

Porcentaje	Tiempo requerido para lograr el valor
28,3 %	$t_2 = 84,9$ ms
63,2 %	$t_1 = 189,6$ ms
100 %	300 ms

**Tabla IV** Tiempos para calcular la constante de tiempo de la planta.

Analizando la curva de reacción de la planta se considera que su respuesta es una función de transferencia de la forma:

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-td \cdot s}}{s + a} \quad (Ec.-1)$$

Para calcular los coeficientes k, ay td, se obtienen con las siguientes ecuaciones:

$$K = a \cdot \Delta y(\infty - o) \quad (Ec.-2)$$

$$a = \frac{1}{\tau} \quad (Ec.-3)$$

$$td = t_1 - \tau \quad (Ec.-4)$$

$$\tau = 1,5 \cdot (t_1 - t_2) \quad (Ec.-5)$$

Donde:

- $\tau$ = Constante de tiempo en (s)
- $t_1$ = Tiempo para lograr el 63,2 % de  $\Delta y(\infty - o)$ , en (s)
- $t_2$ = Tiempo para lograr el 28,3 % de  $\Delta y(\infty - o)$ , en (s)
- $td$ = Tiempo muerto en (s)

$\Delta y(\infty - o)$ = Diferencia entre los valores de estabilización final e inicial del proceso, en unidades de la variable del proceso.

Los datos calculados fueron los siguientes:

Coefficientes	Valor Calculado
$t_1$	189.6 ms
$t_2$	84.9 ms
$\tau$	157.1 ms
$td$	32.6 ms
$a$	6.367 s <sup>-1</sup>
$\Delta y(\infty - o)$	24,6 L/min
$K$	156,6 (L/min)/s

**Tabla IV** Datos para calcular la Función de Transferencia (F.T.) de la planta.

Por lo tanto la función de transferencia del proceso es:

$$G(s) = \frac{156,6 e^{-0,0326 \cdot s}}{s + 6,367} \quad (Ec.-6)$$

$$G(s) = \frac{156,6 - 2,552s}{0,163s^2 + 1,103s + 6,362} \quad (Ec.-7)$$

## IV PROGRAMACIÓN DEL PLC

El control PI clásico fue programado en el lenguaje de lógica de escalera en el Software RsLogix500 de Rockwell Software. En las figura 6, 7 y 8 se presenta el programa desarrollado para el PLC MicroLogix 1100. El controlador diseñado es de acción inversa: **Error= SP-PV** (Ec-7)

Los parámetros del controlador PI son los siguientes:

$$K_p = 1.0$$

$$T_i = 1.0$$



Figura 6. Programa en el PLC para la Medición de la señal de Flujo (PV).

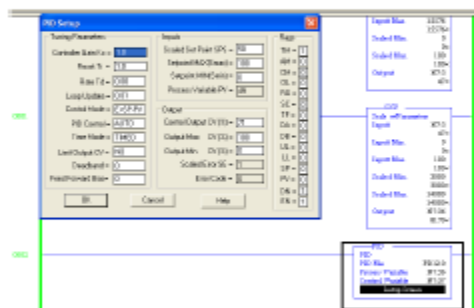


Figura 7. Programa del controlador P+I y ajuste de sus parámetros.

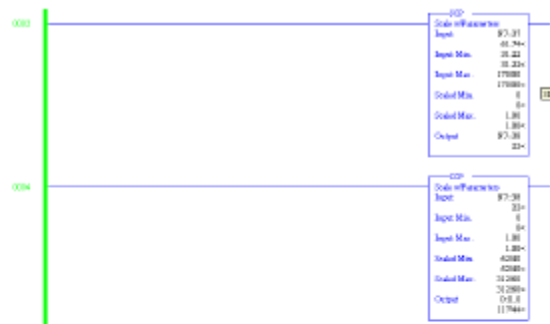


Figura 8. Programa en el PLC para generar la señal de salida (CO) de 4 a 20 miliamperios.

## V RESULTADOS

A continuación se muestra en la figura 9 el proceso de sintonización del controlador PI de flujo.

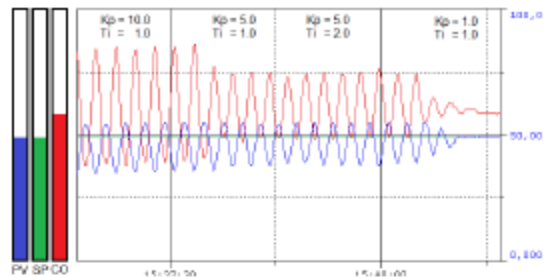


Figura 9. Sintonización del controlador de flujo.

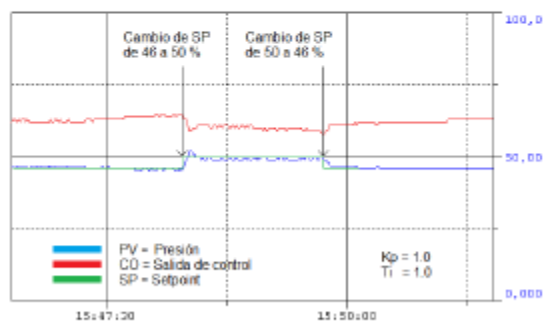


Figura 9. Respuesta del controlador ante cambios de Setpoint.



## VI ANALISIS DE RESULTADOS

La función de transferencia obtenida para la planta en estudio (figura 10) representa un sistema de primer orden con retardo de tiempo (Ec.-6).



Figura 10. Planta.

El algoritmo de control que se utilizó en el PLC es un PID clásico (ecuación 7) con el término derivativo cancelado, es decir es un control Proporcional + Integral (ecuación 8).

$$Sal = Kc * [ (E) + (1/Ti) * \int (E)dt + Td * d(PV)/dt ] + polarización \quad (Ec-8)$$

$$Sal = Kc * [ (E) + (1/Ti) * \int (E)dt ] + polarización \quad (Ec-8)$$

La acción del controlador es de acción inversa ya que si el error es positivo y aumenta, la salida del controlador disminuye.

La respuesta del controlador es diferente ante cambios de Setpoint positivos (solo en este caso se presenta un sobreimpulso) o negativos (figura 9).

## VII CONCLUSIONES

- 1 La caracterización de la planta nos permitió obtener sus constantes de tiempo K, T y td.
- 2 Conociendo las constantes de la planta es posible obtener el modelo matemático del proceso.
- 3 La sintonización del controlador se facilita al contar con el modelo matemático de la planta. En ambiente de simulación se puede encontrar los valores óptimos de los parámetros del controlador.
- 4 La sintonización o ajuste de los parámetros de control también pueden ser calculados utilizando alguno de los diversos métodos que se han desarrollado para este fin (Ziegler and Nichols, QDR, IMC, Broida, etc.,).
- 5 Los valores de los parámetros calculados o encontrados en el ambiente de simulación no son los definitivos. En tiempo real debe hacerse los ajustes finales de estos valores.
- 6 Para evaluar el desempeño del controlador PI clásico deben realizarse al menos las pruebas de cambios de Setpoint, cambios de carga y comportamiento del sistema ante disturbios.
- 7 El algoritmo de control PI clásico ha logrado un excelente desempeño para controlar la variable Flujo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Astrom, Karl; Hagglund, Tore. (2009). **Control PID avanzado**. Pearson Prentice Hall. Madrid, España.
- [2] Luyben, W-L.. (1985). **Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers**. Mc Graw-Hill.
- [3] Mandado-Pérez, Enrique; Marcos-Acevedo, Jorge; Fernández-Silva, Celso; Armesto-Quiroga, José-I.(2010). **Autómatas Programables y sistemas de automatización**. México. Marcombo-Alfaomega.
- [4] Creus, Antonio. (2011). **Instrumentación Industrial**. 8ª Edición. Marcombo-Alfaomega. México.
- [5] Roca-Cusidó, Alfred. (1999). **Control de procesos**. Barcelona, España. Alfaomega.
- [6] Katsuhiko, Ogata. (2003). **Ingeniería de Control Moderna**. Editorial Prentice Hall. Madrid, España.

## INFORMACIÓN DE LOS AUTORES



### MIP. José de Jesús García Cortés

Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. Maestro en Ingeniería de Proyectos por la Universidad de Guadalajara. Miembro del Colegio de Profesionales en Automatización y Control. Miembro del cuerpo académico de Automatización y Control del Tecnológico Nacional de México.



### Ing. Emanuel Vega Negrete

Ingeniero en Electromecánica por el Instituto Tecnológico Superior de Tamazula. Estudiante de la maestría en Ingeniería Electrónica del Instituto tecnológico de Ciudad Guzmán.

## Modelado y Control de la variable Nivel

MIP. José de Jesús García Cortés  
[lfcg\\_jesusgc@hotmail.com](mailto:lfcg_jesusgc@hotmail.com)

ING. Ismael Emmanuel Vázquez Tirado  
[ismael\\_evati@hotmail.com.mx](mailto:ismael_evati@hotmail.com.mx)

ING. Marco Antonio Sosa López  
[sosa107@hotmail.com](mailto:sosa107@hotmail.com)

### Resumen

Este artículo presenta el modelado y control de la variable presión para la estación de trabajo “Main process LEVEL work station” que se encuentra en el laboratorio de instrumentación del Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán.

La caracterización de las plantas a controlar y la obtención de su modelo matemático permiten observar su comportamiento en ambientes de simulación y facilita la sintonización, evaluación y diseño de controladores.

El modelado y control se realizó con un transmisor indicador de Nivel, el controlador PID se desarrolló en un controlador Lógico programable (PLC) Allen Bradley. Como actuador se utiliza una válvula de control con servomotor eléctrico.

#### Palabras Clave:

Modelado, Control de Nivel, Control PID clásico, PLC's.

### I INTRODUCCIÓN

1.1 El PLC es un Sistema digital de control que puede ser programado por el usuario y se utiliza en la industria para resolver problemas de control secuencial en maquinaria o control continuo de procesos.

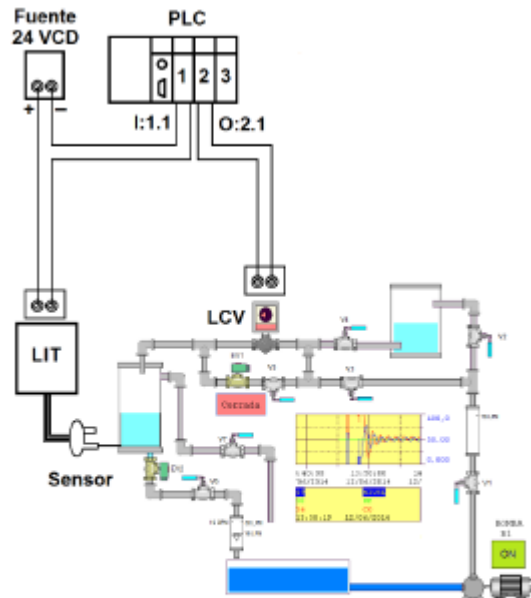


Figura 1. Control de nivel con un Controlador Lógico Programable (PLC).

Los PLC son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto.

## 1.2 PAC's

Los nuevos PLC's también llamados PAC (Programmable Automation Controller) es una tecnología industrial orientada al control automatizado avanzado, al diseño de equipos para laboratorios y a la medición de magnitudes análogas. El PAC está formado por un controlador (una CPU típicamente), módulos de entradas y salidas, y uno o múltiples buses de datos que lo interconectan todo. El ControlLogix de Allen Bradley, el CompactRIO de NI y el S7-400 de Siemens (figura 2) son ejemplos de PAC's Industriales,

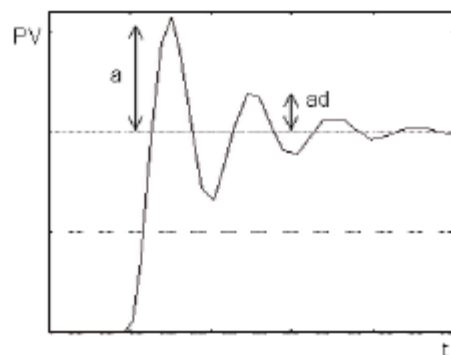


**Figura 2.** PAC Simatic S7 400 de SIEMENS.

## 1.3 Control PID

Un controlador PID es un algoritmo de control por realimentación que es ampliamente usado en sistemas de control industrial. El PID calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado.

El algoritmo del control PID consiste de tres parámetros: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional depende del error actual. El Integral depende de los errores pasados y el Derivativo es una predicción de los errores futuros. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso por medio de un elemento final de control.



**Figura 3.** Respuesta de un sistema controlado con un controlador sintonizado por el método QDR.

Existen varios métodos para ajustar (sintonizar) los parámetros de un controlador PID entre los que pueden mencionarse Ziegler and Nichols, QDR (figura 2), IMC, Broida, etc.



## II MATERIALES Y MÉTODOS

Los elementos principales del lazo de control de Nivel en el sistema **Main process LEVEL work station** son: un transmisor de nivel, un PLC y una válvula de control. Estos instrumentos serán descritos con más detalle a continuación.

### 2.1 Sensor de nivel

El Sensor de presión diferencial (MPX10D) provee una salida de voltaje lineal y preciso directamente proporcional a la presión de entrada.



**Figura 4.** Sensor de nivel MPX10Dv

Para una presión de entrada de 0 a 32 pulgadas de columna de agua, el sensor genera una salida de 35mV a 55mV.

### 2.2 Transmisor de nivel

El transmisor recibe la señal del sensor, la cual es de 32 mVCD a 55 mVCD y nos genera una señal de salida de 4 a 20 miliamperios proporcional a la señal de entrada. En la figura 6 se presenta el transmisor de nivel de la estación de trabajo de Nivel.



**Figura 5.** Transmisor de nivel.

### 2.3 Controlador lógico programable

El algoritmo de control PI clásico se desarrolla en un PLC SLC500™ (figura 4), marca AllenBradley CPU 5/04.



**Figura 6.** PLC Allen Bradley

El PLC cuenta con un módulo de 4 entradas analógicas de 4 a 20 miliamperios, Cat. No. 1746-N4I. un módulo de 4 salidas analógicas de 4 a 20 miliamperios., Cat. No. 1746 NO4I. El PLC es programado con el Software RSLogix 500 de Rockwell Software y se requiere también de un software de comunicaciones PC-PLC llamado RSLinx. La señal de Nivel o variable de proceso (PV) entra en el PLC en el

módulo uno, en la entrada I:1.1 y la salida CO del controlador (Control Output) se tiene en el canal O:2.1.

El PID del PLC Allen Bradley utiliza la ecuación 1 (Ec.-1).

$$Sal = Kc \cdot [ (E) + (1/Ti) \cdot \int (E)dt + Td \cdot d(PV)/dt ] + polarización \quad (Ec-1)$$

## 2.3 Elemento final de control.

El elemento final es una válvula de control con cuerpo tipo globo fabricada en bronce. Las conexiones a proceso son de una pulgada de diámetro con rosca NPT hembra. El actuador de la válvula es un servomotor eléctrico (figura 4), marca Honeywell. El actuador requiere para su operación de una alimentación de 127 Vca y de una señal de control que puede ser un voltaje de 1 a 5 VCD o una corriente de 4 a 20 miliamperios.



Figura 7. Válvula de control Honeywell.

## III MODELADO

La caracterización y el modelado del sistema se realizó mediante el método de los dos puntos de Ziegler and Nichols. La finalidad de la caracterización es obtener de la planta su constante de tiempo " $\tau$ " (ecuación 2), el tiempo muerto " $td$ " (ecuación 3) y su ganancia " $K$ " (ecuación 5).

$$\tau = 1,5 \cdot (t_1 - t_2) \quad (Ec-2)$$

$$td = t_1 - \tau \quad (Ec-3)$$

$$a = \frac{1}{\tau} \quad (Ec-4)$$

$$K = a \cdot \Delta y(\infty - o) \quad (Ec-5)$$

Donde:

- $\tau$  = Constante de tiempo en (s)
- $t_1$  = Tiempo para lograr el 63,2 % de  $\Delta y(\infty - o)$ , en (s)
- $t_2$  = Tiempo para lograr el 28,3 % de  $\Delta y(\infty - o)$ , en (s)
- $td$  = Tiempo muerto en (s)

$\Delta y(\infty - o)$  = Diferencia entre los valores de estabilización final e inicial del proceso, en unidades de la variable del proceso.

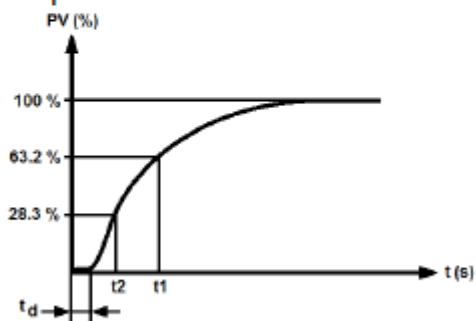


Figura 8. Respuesta de la planta ante una entrada escalón.



De la caracterización de la planta se obtienen los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  (figura 6).

$$t_1 = 0.37123$$

$$t_2 = 0.18845$$

Calculo de la constante de tiempo de la planta:

$$\begin{aligned}\tau &= 1.5(t_1 - t_2) \\ \tau &= 1.5(0.37123 - 0.18845) \\ \tau &= 0.27417\end{aligned}$$

Calculo del tiempo muerto del sistema:

$$\begin{aligned}t_d &= t_1 - \tau \\ t_d &= 0.37123 - 0.27417 \\ t_d &= 0.09706\end{aligned}$$

Calculo de la ganancia del proceso:

$$\begin{aligned}K &= ay(\infty) = (3.647)(103) \\ K &= 375.679\end{aligned}$$

La función de transferencia de un sistema de primer orden con retardo de tiempo es de la forma:

$$G(s) = \frac{Ke^{-tds}}{s + a} \quad (\text{Ec.-6})$$

La función de transferencia de la planta queda como sigue:

$$G(s) = \frac{375.67e^{0.09706s}}{s + 3.647}$$

## IV SINTONIZACIÓN

Las ecuaciones necesarias para sintonizar un controlador PID por el método QDR, son las siguientes:

$$K_C = \frac{1.2 \tau}{K t_0} \quad (\text{Ec.-7})$$

$$T_i = 2 t_0 \quad (\text{Ec.-8})$$

$$T_D = 0.4 t_0 \quad (\text{Ec.-9})$$

Dada las características de la variable flujo se utilizará un algoritmo de control PI para controlar la planta. El término derivativo del algoritmo se omitirá haciendo  $t_d$  igual a cero.

Cálculo de la ganancia proporcional

$$K_C = 1.2 (0.27)/(375.68)(0.097)$$

$$K_C = 5.214$$

Cálculo del tiempo integral del controlador.

$$T_i = 2t_0$$

$$T_i = (2)(0.09706)$$

$$T_i = 0.19412 \text{seg}$$

## V PROGRAMA DEL PLC

El algoritmo de control PI clásico se desarrolla en el Software RSLogix500 de la empresa Rockwell Software. El lenguaje de programación utilizado es el lenguaje de escalera.



**Figura 9.** Medición de la variable de proceso Nivel (PV)



**Figura 10.** Salida de control (CO) del controlador PI Clásico.



**Figura 11.** Conversión de la salida digital del controlador a 4 a 20 mA.

## VI RESULTADOS

El modelo matemático que se obtuvo de la planta es:

$$G(s) = \frac{375.67e^{0.09706s}}{s + 3.647}$$

Una vez sintonizado del controlador se obtuvieron las siguientes gráficas de tendencia:



**Figura 12.** Respuesta de la planta para un cambio de setpoint de 30 0%  
50 %



**Figura 13.** Respuesta de la planta para un cambio de Setpoint de 50 %  
a 75%

## VII ANALISIS DE RESULTADOS

La función de transferencia obtenida para la planta en estudio (figura 15) representa un sistema de primer orden con retardo de tiempo (Ec.-6).



**Figura 14.** Planta.

Dadas las características de la variable nivel y de la caracterización realizada a la planta se se El algoritmo de control que se utilizó en el PLC fue un PID clásico (ecuación 1) con el término derivativo cancelado, es decir es un control Proporcional + Integral (ecuación 10).

$$Sal = Kc * [ (E) + (1/Ti) * \int (E)dt ] + polarización \quad (Ec-10)$$



**Figura 15.** Sintonización del controlador PI clásico.

La acción del controlador es de acción inversa ya que si el error es positivo y aumenta; la salida del controlador disminuye:

**Acción de control = INVERSA**  
**ERROR = SP-PV**

El desempeño del controlador PI clásico sintonizado por el método de Broida mostrado en la figura 13 tiene los dos primeros sobreimpulsos que se espera de la sintonización por dicho método (figura 3).

Se observan algunos sobreimpulsos posteriores que se podrían minimizar con un ajuste adicional de la ganancia proporcional (disminuir la ganancia Kc)

En la figura14 se presenta el desempeño del controlador cuando se cambia el Setpoint de 50 a 75 %. Dado que el proceso es no lineal la respuesta obtenida en 75% es diferente a la que se obtuvo con un Setpoint de 50 %. En esta gráfica de tendencia se puede observar con más claridad que la ganancia proporcional requiere un ajuste adicional (disminuir Kc)

## VIII CONCLUSIONES

- 1 La caracterización de la planta nos permitió obtener sus constantes de tiempo  $K$ ,  $\tau$  y  $t_d$ .
- 2 Conociendo las constantes de la planta es posible obtener el modelo matemático del proceso.
- 3 La sintonización del controlador se facilita al contar con el modelo matemático de la planta. En ambiente de simulación se puede encontrar los valores óptimos de los parámetros del controlador.
- 4 La sintonización o ajuste de los parámetros de control también pueden ser calculados utilizando alguno de los diversos métodos que se han desarrollado para este fin (Ziegler and Nichols, QDR, IMC, Broida, etc.).
- 5 Los valores de los parámetros calculados o encontrados en el ambiente de simulación no son los definitivos. En tiempo real debe hacerse los ajustes finales de estos valores.
- 6 Para evaluar el desempeño del controlador PI clásico deben realizarse al menos las pruebas de cambios de Setpoint, cambios de carga y comportamiento del sistema ante disturbios.
- 7 El algoritmo de control PI clásico ha logrado un excelente desempeño para controlar la variable Nivel.

8 De la caracterización de la planta se obtuvieron los siguientes datos:

Parámetros	Valor Calculado
$t_1$	0.37123 s
$t_2$	0.18845 s
$\tau$	0.27417 s
$t_d$	0.09706 s
$a$	$3.647 \text{ s}^{-1}$
$\Delta y(x=0)$	100
$K$	375.679

**Tabla IV** Datos para calcular la Función de Transferencia (F.T.) de la planta.

9 Con los datos de la tabla IV se obtiene el modelo matemático de la planta:

$$G(s) = \frac{375.67e^{0.09706s}}{s + 3.647}$$

10 Se utiliza para la sintonización del controlador las ecuaciones del método de Broida:

$$T_i = 2t_0$$

$$T_D = 0.4t_0$$

$$K_c = \frac{1.2\tau}{Kt_0}$$

11 Con los datos de la tabla IV y las ecuaciones 7 y 8 se calcularon los parámetros del controlador:

$$K_c = 5.214$$

$$T_i = 0.19412$$

12 La acción del controlador PI de nivel es: **Acción inversa**.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Astrom, Karl; Hagglund, Tore. (2009). **Control PID avanzado**. Pearson Prentice Hall. Madrid, España.
- [2] Luyben, W-L. (1985). **Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers**. Mc Graw-Hill.
- [3] Mandado-Pérez, Enrique; Marcos-Acevedo, Jorge; Fernández-Silva, Celso; Armesto-Quiroga, José-I.(2010). **Autómatas Programables y sistemas de automatización**. México. Marcombo-Alfaomega.
- [4] Creus, Antonio. (2011). **Instrumentación Industrial**. 8ª Edición. Marcombo-Alfaomega. México.
- [5] Roca-Cusidó, Alfred. (1999). **Control de procesos**. Barcelona, España. Alfaomega.
- [6] Katsuhiko, Ogata. (2003). **Ingeniería de Control Moderna**. Editorial Prentice Hall. Madrid, España.

## INFORMACIÓN DE LOS AUTORES



### MIP. José de Jesús García Cortés

Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (ITCG). Maestro en Ingeniería de Proyectos por la Universidad de Guadalajara. Miembro del Colegio de Profesionales en Automatización y Control. Miembro del cuerpo académico de Automatización y Control del Tecnológico Nacional de México. Profesor de la maestría en Ingeniería Electrónica del ITCG del 2002 al 2015.



### Ing. Ismael E. Vázquez Tirado

Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (ITCG). Estudiante de la maestría en Ingeniería Electrónica del ITCG.

## Modelado y Control de la Variable Presión

MIP. José de Jesús García Cortés  
[ltcg\\_jesusgc@hotmail.com](mailto:ltcg_jesusgc@hotmail.com)

MIE. Armando García Mendoza  
[garmen@yahoo.com.mx](mailto:garmen@yahoo.com.mx)

Ing. Edgar Asael Martínez Gutiérrez  
[edgar\\_asael@hotmail.com](mailto:edgar_asael@hotmail.com)

### RESUMEN.

Este artículo presenta el modelado y control de la variable presión para la estación de trabajo “Main process PRESSURE work station” que se encuentra en el laboratorio de instrumentación del Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán.

La caracterización de las plantas a controlar y la obtención de su modelo matemático permiten observar su comportamiento en ambientes de simulación y facilita la sintonización, evaluación y diseño de controladores.

El modelado y control se realizó con un transmisor indicador de presión Yokogawa, el controlador PID se desarrolló en un controlador Lógico programable (PLC) Allen Bradley. Como actuador se utiliza una válvula de control neumática marca Fisher Controls y un transductor I/P marca Moore.

**Palabras Clave:**  
Modelado, Control PID clásico, PLC

### I INTRODUCCION.

Los Controladores Lógicos Programables (PLC's) son computadoras digitales industriales dedicadas a las tareas de automatización y control de procesos.

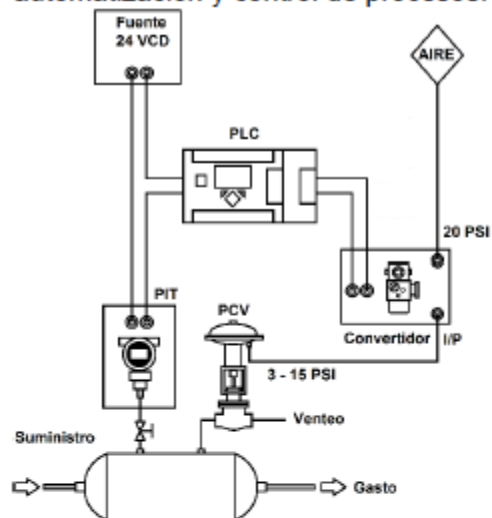


Figura 1. Control de procesos con PLC.

El algoritmo de control PID del PLC está dado por la ecuación 1 (Ec-1):

$$SaI = Kc * [ (E) + (1/Ti) * \int (E)dt + Td * d(PV)/dt ] + polarización \quad (Ec-1)$$



Como su nombre lo indica, el algoritmo de control PID consiste de tres modos básicos, el proporcional, el integral y el derivativo y cuando se usa esta técnica de control clásico, es necesario decidir cuales modos serán usados (P, I, o D) y especificar los parámetros o ajustes para cada uno de esos modos (sintonización). Generalmente los algoritmos básicos usados son P, PI o PID. Cuando se trata de controlar variables cuya respuesta es muy rápida es recomendable utilizar el algoritmo de control PI. El algoritmo de control PID se recomienda para controlar variables de respuesta lenta o procesos con una constante de tiempo de retardo grande. En este artículo se aplicara el algoritmo de control PI clásico para controlar la variable Presión. Otro algoritmo de control que se ha utilizado con éxito es el control inteligente PD+I Fuzzy.

Dependiendo del algoritmo que se desee implementar será necesario analizar el PLC más adecuado. Actualmente los nuevos PLC's, también llamados PAC's o Controladores Programables para automatización son los más adecuados para el diseño de controladores inteligentes PD+I Fuzzy. Ejemplo de PAC's son el CompactRIO de National Instruments (figura 2) y los PAC's CompactLogix y ControlLogix de Allen Bradley con sus respectivos Software (LabVIEW de NI y el RSLogix5000 de Allen Bradley).



**Figura 2.** Controlador PAC CompactRIO de la marca NI

## II MATERIALES Y MÉTODOS

Los elementos principales del lazo de control de Presión en el sistema **Main process PRESSURE work station** son: un transmisor de presión, un PLC, un convertidor I/P y una válvula de control. Estos instrumentos serán descritos con más detalle a continuación.

### 2.1 Transmisor de Presión

El transmisor es marca Yokogawa modelo EJA510A calibrado de 0 a 30 PSI y con salida de 4 a 20 miliamperios.



**Figura 3.** Transmisor de presión marca Yokogawa.

## 2.2 PLC

El algoritmo de control se desarrolla en un PLC MicroLogix™ 1100 marca AllenBradley Cat. No. 1763-L16BWA (figura 4).



**Figura 4.** PLC MicroLogix 1100

El PLC cuenta con dos entradas analógicas de 1 a 5 VCD, 10 entradas digitales de 24 VCD, seis salidas digitales de RELAY y un módulo de expansión Cat. No. 1763-2IF2OF, con dos entradas y dos salidas analógicas de 4 a 20 miliamperios.

## 2.3 Convertidor I/P



**Figura 5.** Convertidor de corriente a presión (I/P) marca Moore.

El convertidor de corriente a presión utilizado es de la marca MOORE

modelo 250-56. El convertidor recibe una señal de entrada de 4 a 20 miliamperios y la convierte a una señal de salida neumática de 3 a 15 PSI proporcional a la entrada. El convertidor necesita para su operación de una fuente de presión constante de aire de instrumentos con una presión regulada a 20 PSI.

## 2.4 Elemento final de control

Como elemento final se utiliza una válvula de control marca Fisher Controls con actuador tipo 667.

El actuador de la válvula es de acción inversa (aire abre), con diafragma opuesto al resorte. El actuador 667 proporciona una carrera máxima de 76 mm.

Este actuador posiciona el obturador de la válvula en respuesta a la presión de entrada aplicada a su diafragma.



**Figura 6.** Válvula de control marca Fisher Controls.

## III MODELADO DE LA PLANTA

En el proceso de modelado se caracterizó la planta aplicando un escalón unitario a la misma y se obtuvo mediante un DataLogger un conjunto de datos (Presión vs tiempo) que permitieron obtener la Función de Transferencia de la planta.

### Función de transferencia:

De la caracterización de la planta se determina que la Función de Transferencia es de la forma.

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-td \cdot s}}{s + a} \quad (\text{Ec-2})$$

Donde los coeficientes  $K$ ,  $a$ , y  $td$  se obtienen con las siguientes ecuaciones:

$$K = a \cdot \Delta y(\infty - 0) \quad (\text{Ec-3})$$

$$a = \frac{1}{\tau} \quad (\text{Ec-4})$$

$$td = t_1 - \tau \quad (\text{Ec-5})$$

$$\tau = 1,5 \cdot (t_1 - t_2) \quad (\text{Ec-6})$$

Para el caso de la función de transferencia de la plantase obtienen los siguientes valores:

$$t_1 = 5,0 \text{ s tiempo para lograr el } 63,2 \% \text{ de } \Delta y(\infty - 0)$$

$$t_2 = 1,7 \text{ s tiempo para lograr el } 28,3 \% \text{ de } \Delta y(\infty - 0)$$

$$\tau = 4,9 \text{ s} = 1,5 \cdot (5,0 \text{ s} - 1,7 \text{ s})$$

constante de tiempo

$$td = 0,1 \text{ s} = (5,0 \text{ s} - 4,9 \text{ s})$$

tiempo muerto

$$a = 0,204 \text{ s}^{-1} = 1/(4,9 \text{ s})$$

coeficiente de la función de transferencia

$$\Delta y(\infty - 0) = 57,0 \text{ psi}$$

diferencia entre los valores de estabilización final e inicial del proceso

$$K = 11,6 \text{ psi/s} = 0,204 \text{ s}^{-1} \cdot 57,0 \text{ psi}$$

ganancia de la función de transferencia

Por lo tanto la función de transferencia del proceso considerado es:

$$G(s) = \frac{11,6 \cdot e^{-0,1 \cdot s}}{s + 0,204} \quad (\text{Ec-7})$$

## IV PROGRAMACIÓN DEL PLC

El control PI clásico fue programado en el lenguaje de lógica de escalera en el Software RsLogix500 de Rockwell Software. En las figura 7, 8 y 9 se presenta el programa desarrollado para el PLC MicroLogix 1100. El controlador diseñado es de acción directa: **Error = PV-SP** (Ec-8)

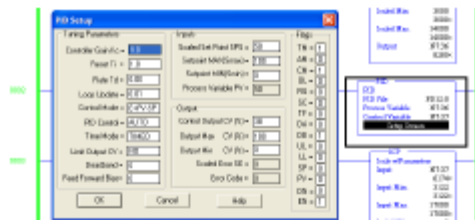
Los parámetros del controlador PI son los siguientes:

$$K_p = 8.0$$

$$T_i = 1.0$$



**Figura 7.** Programa en el PLC para la Medición de la señal de Presión.



**Figura 8.** Programa del controlador PI de Presión y ajuste de sus parámetros.



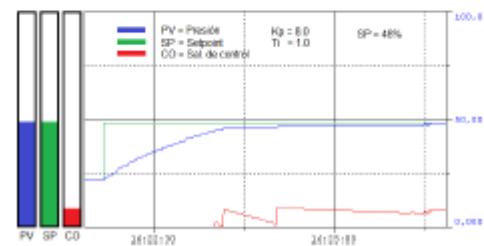
**Figura 9.** Programa en el PLC para generar la señal de salida de 4 a 20 miliamperios.

## V RESULTADOS

A continuación se presentan cuatro pruebas realizadas al sistema para evaluar el desempeño del controlador PI.

### Prueba 1

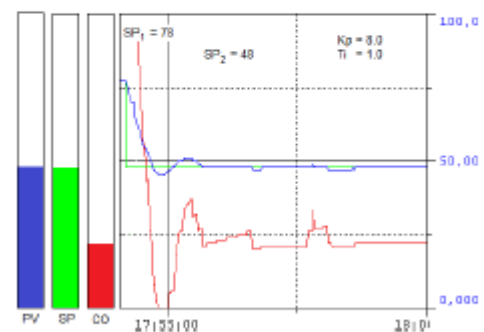
En la figura 10 se presenta el desempeño del controlador PI clásico desarrollado en el PLC para un incremento del Setpoint de 23% a 48%.



**Figura 10.** Cambio de Setpoint del controlador PI de 23% a 48 %

### Prueba 11

En la figura 11 se presenta el desempeño del controlador PI clásico desarrollado en el PLC para decremento del Setpoint de 78 % a 48%.



**Figura 11.** Cambio de Setpoint del controlador PI de 78 % a 48 %.



## Prueba 3

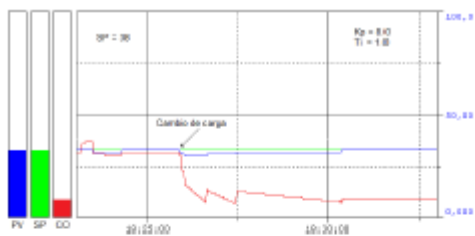
En la figura 12 se presenta el desempeño del controlador PI clásico desarrollado en el PLC para decremento del Setpoint de 48 % a 38%.



**Figura 12.** Cambio de Setpoint del controlador PI de 48 % a 38 %.

## Prueba 4

En la figura 13 se presenta el desempeño del controlador PI clásico desarrollado en el PLC ante un aumento de carga en la planta (se incrementó el gasto de aire).



**Figura 13.** Desempeño del controlador para un incremento de carga.

## VI ANALISIS DE RESULTADOS

El comportamiento del sistema con los valores de  $K_c$  y  $T_i$  obtenidos es diferente cuando se realizan incrementos de Setpoint a cuando se realizan decrementos en el valor del mismo. Ante incrementos no se tiene sobrepaso (figura 11) y ante decrementos de Setpoint si se tienen (figuras 12 y 13).

## VII CONCLUSIONES

- 1 La caracterización de la planta nos permitió obtener sus constantes de tiempo  $K_p$ ,  $T$  y  $t_d$ .
- 2 Conociendo las constantes de la planta es posible obtener el modelo matemático del proceso.
- 3 La sintonización del controlador se facilita al contar con el modelo matemático de la planta. En ambiente de simulación se puede encontrar los valores óptimos de los parámetros del controlador.
- 4 La sintonización o ajuste de los parámetros de control también pueden ser calculados utilizando alguno de los diversos métodos que se han desarrollado para este fin (Ziegler and Nichols, QDR, IMC, Broida, etc.,).
- 5 Los valores de los parámetros calculados o encontrados en el ambiente de simulación no son los definitivos. En tiempo real debe hacerse los ajustes finales de estos valores.
- 6 Para evaluar el desempeño del controlador PI clásico deben realizarse al menos las pruebas de cambios de Setpoint, cambios de carga y comportamiento del sistema ante disturbios.
- 7 El algoritmo de control PI clásico ha logrado un excelente desempeño para controlar la variable Presión.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Astrom, Karl; Hagglund, Tore. (2009). **Control PID avanzado**. Pearson Prentice Hall. Madrid, España.
- [2] Luyben, W-L.. (1985). **Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers**. Mc Graw-Hill.
- [3] Mandado-Pérez, Enrique; Marcos-Acevedo, Jorge; Fernández-Silva, Celso; Armesto-Quiroga, José I.(2010). **Autómatas Programables y sistemas de automatización**. México. Marcombo-Alfaomega.
- [4] Creus, Antonio. (2011). **Instrumentación Industrial**. 8ª Edición. Marcombo-Alfaomega. México.
- [5] Roca-Cusidó, Alfred. (1999). **Control de procesos**. Barcelona, España. Alfaomega.
- [6] Katsuhiko, Ogata. (2003). **Ingeniería de Control Moderna**. Editorial Prentice Hall. Madrid, España.

## INFORMACIÓN DE LOS AUTORES



### MIP. José de Jesús García Cortés

Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (ITCG). Maestro en Ingeniería de Proyectos por la Universidad de Guadalajara. Miembro del Colegio de Profesionales en Automatización y Control. Miembro del cuerpo académico de Automatización y Control del Tecnológico Nacional de México. Profesor de la maestría en Ingeniería Electrónica del ITCG del 2002 al 2015.



### Ing. Edgar Asael Martínez Gutiérrez

Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (ITCG). Estudiante de la maestría en Ingeniería Electrónica del ITCG.



## Modelado y Control PID de la Variable Temperatura

MIP. José de Jesús García Cortés  
[lfcg\\_jesusgc@hotmail.com](mailto:lfcg_jesusgc@hotmail.com)

Ing. Giovanni Frías Bracamontes  
[giovanni.frias@hotmail.com](mailto:giovanni.frias@hotmail.com)

Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán  
Avenida Tecnológico # 100 C.P. 49100  
Cd. Guzmán, Jalisco  
Teléfono: 01 341 5752050

### RESUMEN.

Este artículo presenta el modelado y control de la variable temperatura para la estación de trabajo "Main process temperature work station" que se encuentra en el laboratorio de instrumentación del Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán.

La caracterización de la planta a controlar y la obtención de su modelo matemático permiten observar su comportamiento en ambiente de simulación y facilita la sintonización, evaluación y diseño de controladores.

Las mediciones se realizaron con un sensor de temperatura Rtd Pt100 y un transmisor marca Yokogawa. El controlador PID se desarrolló en un controlador Lógico programable (PLC) marca Allen Bradley.

### Palabras Clave:

Modelado, Control PID clásico, PLC.

### I. INTRODUCCION.

Los Controladores Lógicos Programables (PLC's) son computadoras digitales industriales dedicadas a las tareas de automatización y control de procesos.

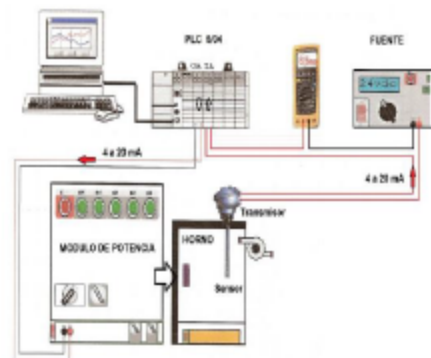


Figura 1. Control de procesos con PLC.

El algoritmo de control PID del PLC está dado por la ecuación 1 (Ec-1):

$$SaI = Kc * [ (E) + (1/Ti) * \int (E) dt + Td * d(PV) / dt ] + polarización \quad (Ec-1)$$

Como su nombre lo indica, el algoritmo de control PID consiste de tres modos básicos, el proporcional, el integral y el derivativo y cuando se usa esta

técnica de control clásico, es necesario decidir cuales modos serán usados (P, I, o D) y calcular los valores para cada uno de esos parámetros (sintonización). Generalmente los algoritmos usados son P, PI o PID.

Cuando se trata de controlar variables cuya respuesta es muy rápida es recomendable utilizar el algoritmo de control PI.

El algoritmo de control PID se recomienda para controlar variables de respuesta lenta o procesos con una constante de tiempo de retardo grande. En este artículo se aplicará el algoritmo de control PID clásico para controlar la variable TEMPERATURA.

Dependiendo del algoritmo que se desee implementar será necesario analizar el PLC más adecuado.

Actualmente los nuevos PLC's, también llamados PAC's o Controladores Programables para automatización son los más adecuados para el desarrollo de controladores inteligentes PD+I Fuzzy. Un ejemplo de PAC es el CompactRIO de la marca National Instruments (figura 2) y los PAC's CompactLogix y ControlLogix de la marca Allen Bradley.

El software para programar el PAC de National Instruments es LabVIEW.

El Software para programar el PAC de Allen Bradley es el RSLogix 5000.



**Figura 2.** Controlador PAC CompactRIO de la marca NI

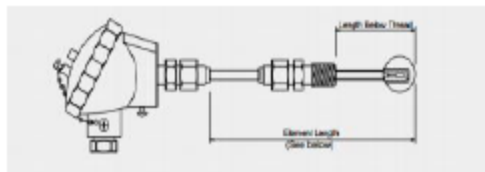
## II. MATERIALES Y MÉTODOS.

Los elementos principales del lazo de control de Presión en el sistema **Main process Temperature work station** son: sensor de temperatura, transmisor de temperatura, PLC modular, módulo de potencia y Horno eléctrico. Estos equipos e instrumentos serán descritos con detalle a continuación.

### 2.1 Sensor de temperatura

El sensor utilizado en este lazo de control es un RTD tipo Pt100, protegido por una funda (termopozo) de SS316 marca Foxboro.

Básicamente el sensor es un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.



**Figura 3.** Sensor de temperatura RTD Pt100 con termopozo SS316

## 2.2 Transmisor

El transmisor recibe la señal de resistencia del RTD Pt100 y la convierte a una señal de 4 a 20 mA (figura 4).



**Figura 4.** Transmisor de temperatura

El transmisor empleado en este proyecto de investigación es de la marca Yokogawa, Modelo YTA70-E/KS2.

## 2.3 PLC modular

El algoritmo de control PID clásico se desarrolló en un PLC Marca AllenBradley familia SLC500, CPU 5/04, Cat. No. 1747-L541 con 16K de memoria (figura 5).

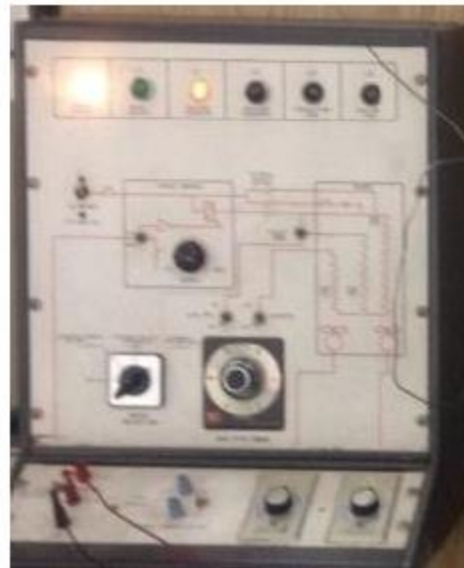


**Figura 5.** PLC Allen Bradley SLC500

El PLC cuenta con un módulo Cat. No. 1746-NI4 de cuatro entradas analógicas de 4 a 20 mA, un módulo 1746-NO4I de cuatro salidas analógicas de 4 a 20 mA y un módulo de 16 entradas digitales de 24 VCD Cat. No. 1746-IV16.

## 2.4 Módulo de potencia

La salida de control CO (Control Output) de 4 a 20 mA generada por el algoritmo de control PID clásico programado en el PLC, es convertida por un módulo de potencia a una corriente de 0 a 10 Amperios. El módulo de potencia (figura 5) es alimentado con un voltaje trifásico de 220 Vca y emplea un triac para regular el flujo de corriente hacia las resistencias eléctricas de un horno eléctrico (figura 5).



**Figura 6.** Módulo de potencia

El controlador acepta entradas de 1 a 5 VCD, de 4 a 20mA y entradas manuales variables. Los controles de entrada dan salida de 0 a 100 Vca, aplicadas al elemento calentador del horno. La salida también puede regularse manualmente sobre la misma gama. Por lo tanto el módulo de potencia es parte del elemento final de control. El circuito consiste de un amplificador operacional 741TC conectado de un modo común con ganancia unitaria, esto suministra una impedancia de entrada de 1 Mega ohm en las terminales de entrada de 1 a 5V. La entrada de 4 a 20 mA es convertida de 1 a 5V por un divisor resistivo de 500 ohms. La entrada es conmutada 1 a 5V a 4 a 20mA.

## 2.5 Horno Eléctrico

Esta estación consiste en un horno de 1000 vatios con capacidad adicional de 1200 vatios de calor instantáneo o carga de choque (figura 7). En el interior del horno hay un anaquel destinado a sostener una masa de 5 kilogramos.



Figura 7. Horno eléctrico

Directamente por encima de la masa térmica, sobre la parte superior del horno, hay un conjunto calentador, que consiste

en una tapa rellena de aislador de lana de vidrio, sobre tres orificios de acceso a través de los cuales pueden insertarse diversos instrumentos. Cada masa térmica posee un orificio de 7/8 de pulgadas de diámetro y taladrado a 3 pulgadas de profundidad para poder insertar instrumentos que midan temperatura interior de la masa. El horno es controlado por un módulo de potencia con triac. Este horno no debe operarse nunca a más de su temperatura de diseño que es 300°C.

## III. MODELADO DE LA PLANTA

En el proceso de modelado se caracterizó la planta para obtener los coeficientes y constantes que nos permitan lograr el modelado de la planta y la sintonización del controlador PID clásico.

### Función de transferencia:

De la caracterización de la planta se determina que la Función de Transferencia es de la forma.

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-td \cdot s}}{s + a} \quad (\text{Ec-2})$$

Donde las constantes y coeficientes  $K$ ,  $a$ , y  $td$  se obtienen con las siguientes ecuaciones:

$$K = a \cdot \Delta y(\infty - o) \quad (\text{Ec-3})$$

$$a = \frac{1}{\tau} \quad (\text{Ec-4})$$



$$td = t_1 - \tau \quad (\text{Ec-5})$$

$$\tau = 1,5 \cdot (t_1 - t_2) \quad (\text{Ec-6})$$

Para el caso de la función de transferencia de la planta se obtienen los siguientes valores:

$t_1$  = 990 s tiempo para lograr el 63,2 % de  $\Delta y(\infty-0)$

$t_2$  = 420 s tiempo para lograr el 28,3 % de  $\Delta y(\infty-0)$

$\tau$  = 855s = 1,5 · (990 s – 420s)

$\tau$  = constante de tiempo

$td$  = 90 tiempo muerto

$a$  =  $0.001169s^{-1} = 1/(855s)$   
coeficiente de la función de transferencia

$K$  = 0.3507 ganancia de la función de transferencia

Por lo tanto la función de transferencia de la planta es:

$$G(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{s + \tau}$$

$$G(s) = \frac{0.3507e^{-90s}}{s + 0.001169}$$

$$e^{-\tau s} = \frac{1 - \frac{\tau ds}{2}}{1 + \frac{\tau ds}{2}}$$

$$G(s) = \frac{0.3507 - 15.77s}{22.5s^2 + 1.052s + 0.001169}$$

(Ec-7)

## IV. PROGRAMACIÓN DEL PLC

El control PID clásico fue programado en el lenguaje de lógica de escalera en el Software RsLogix 500 de Rockwell Software. En las figura 8, 9 y 10 se presenta el programa desarrollado en el CPU 5/04 de Allen Bradley. El controlador diseñado es de acción inversa:

$$\text{Error} = SP - PV \quad (\text{Ec-8})$$

Los parámetros del controlador PID son los siguientes:

$$K_p = 1.125 \quad T_d = 1.6$$

$$T_i = 8.0$$

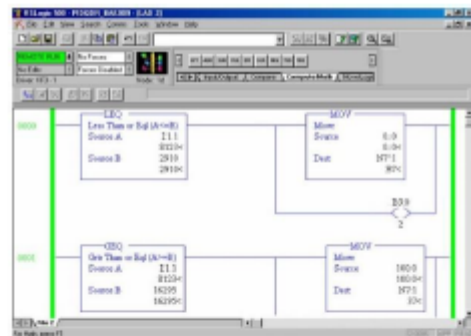


Figura 8. Líneas de programa 0 y 1

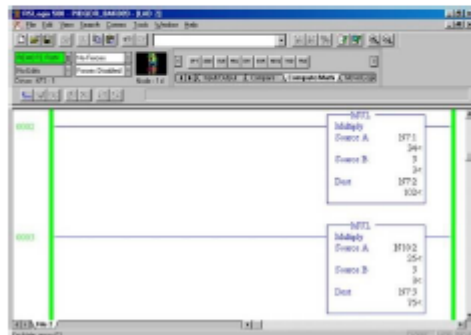


Figura 9. Líneas de programa 2 y 3



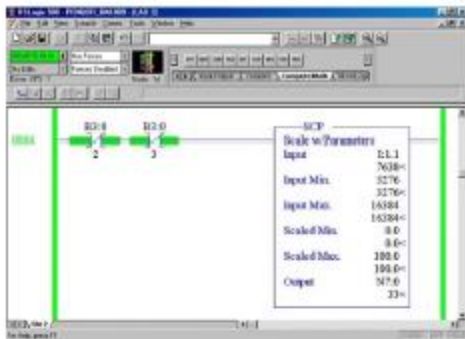


Figura 10. Línea de programa 4



Figura 13. Parámetros del PID



Figura 11. Líneas de programa 5 y 6

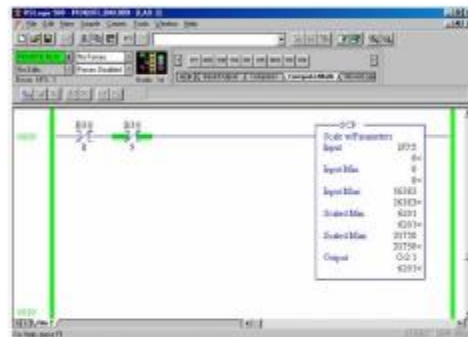


Figura 14. Línea de programa 9

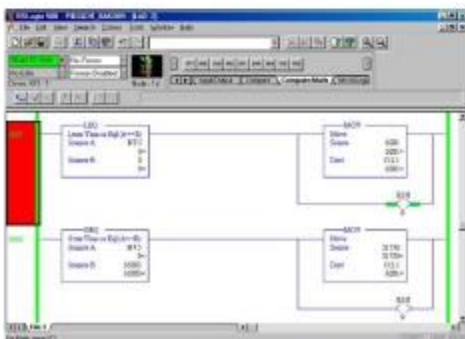


Figura 12. Líneas de programa 7 y 8

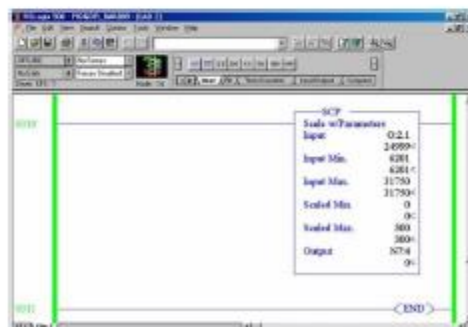


Figura 15. Líneas de programa 10 y 11

## V. RESULTADOS

A continuación se presentan tres pruebas realizadas al sistema para evaluar el desempeño del controlador PID.

### Prueba 1

En la figura 16 se presenta el desempeño del controlador PID clásico desarrollado en el PLC para un incremento del Setpoint de 75°C a 100°C.

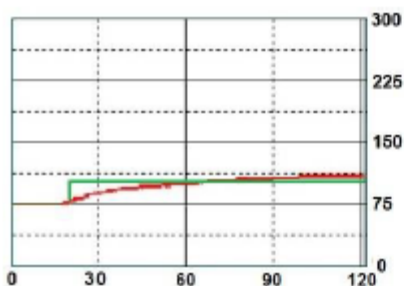


Figura 16. Cambio de Setpoint del controlador PID de 75°C a 100°C.

### Prueba 2

En la figura 17 se presenta el desempeño del controlador PID clásico desarrollado en el PLC para incremento del Setpoint de 100°C a 150°C.

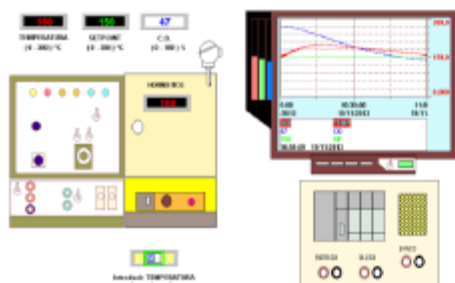


Figura 17. Cambio de Setpoint del controlador PID de 100°C a 150°C.

### Prueba 3

En la figura 18 se presenta la respuesta del sistema ante un cambio de setpoint de 270°C a 100°C.

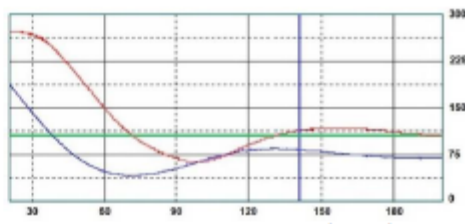


Figura 18. Cambio de Setpoint del controlador PID de 270°C a 100°C.

### Prueba 4

En la figura 18 se presenta el error en estado estable para un Setpoint de 180°C.

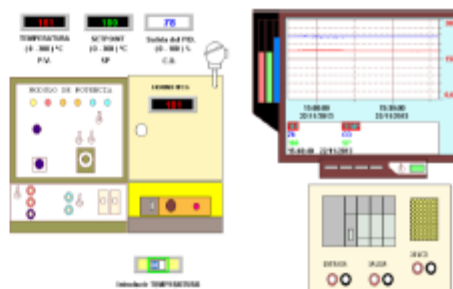


Figura 19. El error en estado estable para un Setpoint de 180°C fue de +1°C (+0.33%).

## VI. ANALISIS DE RESULTADOS

El comportamiento del sistema con los valores de  $K_c$ ,  $T_i$  y  $T_d$  obtenidos es diferente cuando se realizan incrementos de Setpoint a cuando se realizan decrementos en el valor del mismo. Esto se debe a que en el horno se pueden regular los incrementos de temperatura pero no se cuenta con algún sistema de enfriamiento o disipación de calor.

## VII. CONCLUSIONES

- 1 La caracterización de la planta nos permitió obtener sus constantes de tiempo  $K_p$ ,  $T$  y  $t_d$ .
- 2 Conociendo las constantes de la planta es posible obtener el modelo matemático del proceso.
- 3 La sintonización del controlador se facilita al contar con el modelo matemático de la planta. En ambiente de simulación se puede encontrar los valores óptimos de los parámetros del controlador.
- 4 La sintonización o ajuste de los parámetros de control también pueden ser calculados utilizando alguno de los diversos métodos que se han desarrollado para este fin (Ziegler and Nichols, QDR, IMC, Broida, etc.).
- 5 Los valores de los parámetros calculados o encontrados en el ambiente de simulación no son los definitivos. En tiempo real debe hacerse los ajustes finales de estos valores.
- 6 Para evaluar el desempeño del controlador PID clásico deben realizarse al menos las pruebas de cambios de Setpoint, cambios de carga y comportamiento del sistema ante disturbios.
- 7 El algoritmo de control PID clásico ha logrado un excelente desempeño para controlar la variable Temperatura

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Astrom, Karl; Hagglund, Tore. (2009). **Control PID avanzado**. Pearson Prentice Hall. Madrid, España.
- [2] Luyben, W-L.. (1985). **Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers**. Mc Graw-Hill.
- [3] Mandado-Pérez, Enrique; Marcos-Acevedo, Jorge; Fernández-Silva, Celso; Armesto-Quiroga, José-I.(2010). **Autómatas Programables y sistemas de automatización**. México. Marcombo-Alfaomega.
- [4] Creus, Antonio. (2011). **Instrumentación Industrial**. 8ª Edición. Marcombo-Alfaomega. México.
- [5] Roca-Cusidó, Alfred. (1999). **Control de procesos**. Barcelona, España. Alfaomega.
- [6] Katsuhiko, Ogata. (2003). **Ingeniería de Control Moderna**. Editorial Prentice Hall. Madrid, España.

## INFORMACIÓN DE LOS AUTORES



### **Ing. Giovanni Frías Bracamontes**

Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (ITCG). Estudiante de la maestría en Ingeniería Electrónica del ITCG.

### **MIP. José de Jesús García Cortés**

Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. Maestro en Ingeniería de Proyectos por la Universidad de Guadalajara. Miembro del Colegio de Profesionales en Automatización y Control. Miembro del cuerpo académico de Automatización y Control del Tecnológico Nacional de México.



## Preparación de Artículos para TRANSACCIONES y PERIÓDICOS del IEEE

Apellido, Nombre1., Apellido, Nombre2 y Apellido, Nombre3.  
{login1,login2, ...}@xxx.yy.zz  
Nombre Institución

**Resumen**—Estas instrucciones le dan pautas por preparar los documentos para las TRANSACCIONES y PERIÓDICOS del IEEE. Use este documento como una plantilla si usted esta usando Microsoft Word 6.0 o mayor. Por otra parte. Use este documento como un conjunto de instrucciones. El archivo electrónico de su documento se estructurará además por el IEEE. Defina todos los símbolos usados en el resumen. No cite referencias en el resumen. No borre el espacio inmediatamente encima del resumen; ponga la nota de pie de página al fondo de esta columna.

**Índice de Términos**—Cerca de cuatro palabras claves o frases en orden alfabético, separadas por comas. Para una lista de palabras claves sugeridas, envíe un correo electrónico en blanco a [keywords@ieee.org](mailto:keywords@ieee.org) o visite el sitio web de IEEE en: [http://www.computer.org/portal/site/ieeeccs/menuitem.c5efb9b8ade9096b8a9ca0108bcd45f3/index.jsp?&pName=ieeeccs\\_level1&path=ieeeccs/publications/author&file=ACMtaxonomy.xml&xsl=generic.xsl&](http://www.computer.org/portal/site/ieeeccs/menuitem.c5efb9b8ade9096b8a9ca0108bcd45f3/index.jsp?&pName=ieeeccs_level1&path=ieeeccs/publications/author&file=ACMtaxonomy.xml&xsl=generic.xsl&)

### I. INTRODUCCIÓN

ESTE DOCUMENTO ES UNA PLANTILLA PARA MICROSOFT WORD VERSIONES 6.0 O MAYORES. Si usted está leyendo la versión paper de este documento, por favor descargue el archivo electrónico, TRANS-JOUR.DOC, de <http://www.ieee.org/organizations/pubs/transactions/stylesheets.htm> para que pueda usarlo para preparar su manuscrito. Si usted prefiriere usar LÁTEX, descargue el estilo de LÁTEX de IEEE y archivos de muestra de la misma página Web. Use estos archivos LÁTEX para estructurar, pero por favor siga las instrucciones en TRANS-JOUR.DOC o TRANS-JOUR.PDF.

Si su documento esta proyectado para una conferencia, por favor avise a su editor de la conferencia acerca del procesador de texto aceptable particularmente para su conferencia. Cuando usted abre TRANS-JOUR.DOC, seleccione "Botón Esquema" del menú "Ver" en la barra de menú (Ver | Botón Esquema) que le permite ver las notas a pie de página. Entonces

tecleee encima de las secciones de TRANS-JOUR.DOC o corte y pegue de otro documento y entonces use los estilos de encarecimiento. El menú desplegable de estilo está en la izquierda de la Barra de herramientas Formato en la cima de su ventana de Word (por ejemplo, el estilo en este lugar del documento "Texto"). Resalte una sección que usted quiera designar con un cierto estilo, entonces seleccione el nombre apropiado en el menú de estilo. El estilo ajustará su fuente y espaciando de renglones. No cambie el tamaño de la fuente o espaciado de renglones para apretar más texto en un número limitado de páginas. Use las cursivas para el énfasis; no subraye.

Para insertar imágenes en Word, posicione el cursor al punto de inserción y o use Insertar | Imagen | Desde Archivo o copie la imagen al portapapeles de Windows y entonces Edición | Pegado especial | Imagen.

IEEE hará el último formato de su documento. Si su documento esta proyectado para una conferencia, por favor observe el límite de páginas de conferencia.

### II. PROCEDIMIENTO PARA LA SUMISIÓN DEL DOCUMENTO

#### A. Fase de revisión

Por favor verifique con su editor para someter su manuscrito por copia impresa o electrónicamente a revisión. Si la copia impresa, somete fotocopias tal que sólo una columna aparece por la página. Esto le dará lugar suficiente a sus árbitros para que escriban comentarios. Envíe el número de copias especificado por su editor (típicamente cuatro). Si sometió electrónicamente, averigüe si su editor prefiere las sumisiones en el disco o como conexión de correo electrónico.



## B. Última Fase

Cuando usted somete su última versión, después de que su documento se ha aceptado, imprímalo en el formato de dos columnas, incluso las figuras y tablas. Envíe tres impresiones del documento; dos irán al IEEE y una se retendrá por el Jefe de redacción o el presidente de la conferencia de publicaciones.

Usted también debe enviar su manuscrito final en un disco que IEEE usará para preparar su documento para la publicación. Escriba el nombre de los autores en la etiqueta del disco. Si usted está usando un Macintosh, por favor guarde su archivo en un disco formateado de PC, si es posible. Usted puede usar *Zip* o discos de CD-ROM para los archivos grandes, o comprimir archivos usando *Compress*, *Pkzip*, *Stuffit*, o *Gzip*. También envíe una hoja de papel con la información completa de contacto para todos los autores. Incluya la dirección de correo completa, números de teléfono, números de facsímil, y direcciones del correo electrónico. Esta información se usará para enviarle a cada autor una copia del compromiso del periódico en que el documento aparecerá. Además, designe a un autor como el "autor correspondiente." Éste es el autor a quien se enviará la corrección del documento. Sólo se envían las demostraciones al autor correspondiente.

### A. figuras

Se procesarán todas las tablas y figuras como imágenes. Sin embargo, IEEE no puede extraer las tablas y figuras incluidas en su documento. (Las figuras y tablas que usted inserta en su documento sólo están solo para ayudarle a medir el tamaño de su documento, por conveniencia de los árbitros, y para hacerlo fácil para usted distribuir las preimpresiones.) Por tanto, someta, en hojas de papel separadas, versiones agrandadas de las tablas y figuras que aparecen en su documento. Éstas son las imágenes que el IEEE examinará y publicará con su documento.

### B. Archivos electrónicos de Imagen (Opcional)

Usted tendrá mayor control sobre la apariencia de sus figuras si usted puede preparar los archivos electrónicos de imagen. Si usted no tiene las

habilidades de computación requeridas, sólo someta las impresiones de papel como se indicó anteriormente y salte esta sección.

1) *la Manera más fácil*: Si usted tiene un escáner, la manera mejor y más rápida de preparar los archivos de la figura sin color es imprimir sus tablas y figuras en el papel exactamente como usted quiere que ellas aparezcan, escanéelas, y luego guárdelas en archivo en formatos PostScript (PS) o Encapsulated PostScript (EPS). Use un archivo separado para cada imagen. Los nombres de archivo deben ser de la forma "fig1.ps" o "fig2.eps."

## III. LA MATEMÁTICA

Si usted está usando *Word*, use el Editor de Ecuaciones de Microsoft o el complemento *MathType* (<http://www.mathtype.com>) para las ecuaciones en su documento (Insertar | Objeto | Crear Nuevo | Editor de Ecuaciones de Microsoft o Ecuación MathType).

## IV. LAS UNIDADES

Use SI (MKS) o CGS como unidades primarias. (Se prefieren las unidades del SI fuertemente.) Pueden usarse las unidades inglesas como unidades secundarias (en paréntesis). Esto se aplica a los documentos en el almacenamiento de información. Por ejemplo, escriba "15 Gb/cm<sup>2</sup> (100 Gb/in<sup>2</sup>)." Una excepción es cuando se usan las unidades inglesas como los identificadores en el comercio, como "3½ en la unidad de disco." Evite combinar SI y unidades de CGS, como la corriente en los amperios y el campo magnético en oersteds. Esto lleva a menudo a la confusión porque las

ecuaciones no cuadran dimensionalmente. Si usted debe usar unidades mixtas, claramente declare las unidades para cada cantidad en una ecuación.

La unidad del SI para la fuerza del campo magnético  $H$  es A/m. Sin embargo, si usted desea usar unidades de T, o referirse a densidad de flujo magnético  $B$  o la fuerza del campo magnético

simbolizadas como  $\mu_0 H$ . Use un punto en el centro para separar las unidades compuestas, por

ejemplo, "A·m<sup>2</sup>."

## V. INDICACIONES ÚTILES

### A. figuras y tablas

Las figuras grandes y tablas pueden ocupar el espacio de ambas columnas. Ponga los subtítulos de las figuras debajo de las figuras; ponga los títulos de las tablas sobre las tablas. Si su figura tiene dos partes, incluya las etiquetas "(a)" y "(b)" como parte de las obras de arte. Por favor verifique que las figuras y tablas que usted menciona en el texto realmente existan. Por favor no incluya subtítulos como parte de las figuras. No ponga subtítulos en "cuadros de texto" vinculados a las figuras. No ponga bordes externos en sus figuras. Use la abreviación "Fig." incluso al principio de una frase. No abrevie "Tabla". Las tablas se numeran con números romanos.

No use color a menos que sea necesario para la interpretación apropiada de sus figuras. Las etiquetas de los ejes de las figuras son a menudo una fuente de confusión. Use palabras en lugar de símbolos. Como ejemplo, escriba la cantidad "Magnetización," o "Magnetización M," no sólo "M." Ponga las unidades en los paréntesis. No etiquete los ejes sólo con las unidades. Como en la Fig. por ejemplo, 1 escriba "Magnetización (A/m)" o "Magnetización (A·m<sup>-1</sup>)" no sólo "A/m." No etiquete los ejes con una proporción de cantidades y unidades. Por ejemplo, escriba "Temperatura ( K)," no "Temperatura /K."

Los multiplicadores pueden ser sobre todo confusos. Escriba "Magnetización (kA/m)" o "Magnetización (10<sup>3</sup> A/m)." No escriba "Magnetización (A/m) x 1000" porque el lector no sabrá si la etiqueta del eje de arriba en la Fig. 1 significa 16000 A/m o 0.016 A/m. Las etiquetas de la figura deben ser legibles, aproximadamente 8 a 12 tipo punto.

TABLE I

UNITS FOR MAGNETIC PROPERTIES

Symbol	Quantity	Conversion from Gaussian and CGS EMU to SI <sup>a</sup>
$\Phi$	magnetic flux	1 Mx $\rightarrow$ 10 <sup>-8</sup> Wb = 10 <sup>-8</sup> V·s
$B$	magnetic flux density, magnetic induction	1 G $\rightarrow$ 10 <sup>-4</sup> T = 10 <sup>-4</sup> Wb/m <sup>2</sup>
$H$	magnetic field strength	1 Oe $\rightarrow$ 10 <sup>3</sup> /(4 $\pi$ ) A/m
$m$	magnetic moment	1 erg/G = 1 emu  $\rightarrow$ 10 <sup>-4</sup> A·m <sup>2</sup> = 10 <sup>-4</sup> J/T
$M$	magnetization	1 erg/(G·cm <sup>3</sup> ) = 1 emu/cm <sup>3</sup>  $\rightarrow$ 10 <sup>3</sup> A/m
$4\pi M$	magnetization	1 G $\rightarrow$ 10 <sup>3</sup> /(4 $\pi$ ) A/m
$\sigma$	specific magnetization	1 erg/(G·g) = 1 emu/g  $\rightarrow$ 1 A·m <sup>2</sup> /kg
$j$	magnetic dipole moment	1 erg/G = 1 emu  $\rightarrow$ 4 $\pi$ x 10 <sup>-10</sup> Wb·m
$J$	magnetic polarization	1 erg/(G·cm <sup>3</sup> ) = 1 emu/cm <sup>3</sup>  $\rightarrow$ 4 $\pi$ x 10 <sup>-4</sup> T
$\chi, \kappa$	susceptibility	1 $\rightarrow$ 4 $\pi$
$\chi_v$	mass susceptibility	1 cm <sup>3</sup> /g $\rightarrow$ 4 $\pi$ x 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /kg
$\mu$	permeability	1 $\rightarrow$ 4 $\pi$ x 10 <sup>-7</sup> H/m  = 4 $\pi$ x 10 <sup>-7</sup> Wb/(A·m)
$\mu_r$	relative permeability	$\mu \rightarrow \mu_r$
$w, W$	energy density	1 erg/cm <sup>3</sup> $\rightarrow$ 10 <sup>-1</sup> J/m <sup>3</sup>
$N, D$	demagnetizing factor	1 $\rightarrow$ 1/(4 $\pi$ )

No vertical lines in table. Statements that serve as captions for the entire table do not need footnote letters.

<sup>a</sup>Gaussian units are the same as cgs emu for magnetostatics; Mx = maxwell, G = gauss, Oe = oersted; Wb = weber, V = volt, s = second, T = tesla, m = meter, A = ampere, J = joule, kg = kilogram, H = henry.



## B. Referencias

Numere las citas consecutivamente en paréntesis cuadrados [1]. El punto de la frase sigue los paréntesis [2]. múltiples referencias [2], [3] son numeradas con los paréntesis separados [1]–[3]. Al citar una sección en un libro, por favor dé los números de página pertinentes [2].

En las frases, simplemente refiérase al número de la referencia, como en [3]. No use “Ref. [3]” o “referencia [3]” excepto al principio de una frase: “la Referencia [3] muestra... ”

Numere las notas a pie de página separadamente en los exponentes (Insertar | Referencia | Nota a pie de página). Ponga la nota a pie de página actual al fondo de la columna en que se cita; no ponga las notas a pie de página en la lista de referencias (notas del final). Use letras para las

notas a pie de página en la tabla (ver Tabla I). Por favor note que las referencias al final de este documento están en estilo referido preferido. Dé todos los nombres de los autores; no use “el al del” a menos que hay seis autores o más. Use un espacio después de las iniciales de los autores. Documentos que no se han publicado deben citarse como “inédito” [4]. Documentos que se han sometido o se han aceptado para la publicación deben citarse como “sometido a publicación” [5]. Por favor dé afiliaciones y direcciones para las comunicaciones personales [6].

Escriba con mayúscula sólo los primeros términos del título del documento, salvo los nombres propios y símbolos del elemento. Si usted esta corto de espacio, puede omitir los títulos del documento. Sin embargo, los títulos del documento son útiles a sus lectores y se recomiendan fuertemente.

## C. Abreviaciones y Siglas

Defina las abreviaciones y siglas la primera vez que sean usadas en el texto, incluso después de que se hayan definido en la teoría. Las abreviaciones como IEEE, SI, ac, y dc no tienen que ser definidas. Las abreviaciones que llevan puntos incorporados no deben tener espacios: escriba “C.N.R.S.,” no “C. N. R. S.” No use las abrevia-

ciones en el título a menos que ellas sean inevitables (por ejemplo, “IEEE” en el título de este artículo).

## D. Ecuaciones

Numere las ecuaciones consecutivamente con los números de la ecuación en paréntesis contra el margen derecho, como en (1). Primero use al editor de ecuaciones para crear la ecuación. Luego seleccione estilo de encarecimiento “Ecuación”. Presione la tecla tab y escriba el número de la

ecuación en los paréntesis. Para hacer sus ecuaciones más compactas, usted puede usar (/), la función exp, o exponentes apropiados. Use los paréntesis para evitar las ambigüedades en los denominadores. Puntúe las ecuaciones cuando ellos son parte de una frase, como en

$$\int_0^{\infty} \exp(-\lambda |z_j - z_i|) \lambda^{-1} J_1(\lambda r_2) J_0(\lambda r_1) d\lambda. \quad (1)$$

Esté seguro que los símbolos en su ecuación han estado definidos antes de aparecer la ecuación o inmediatamente enseguida. Ponga en cursiva los símbolos (*T* podría referirse a la temperatura, pero *T* es la unidad tesla). Refiérase a “(1),” no a “Eq. (1)” o “la ecuación (1),” excepto al principio de una oración: “la Ecuación (1) es... ”

## E. Otras Recomendaciones

Use un espacio después de los puntos finales y de los dos puntos. Una con guión los modificadores complejos: “campo - cero -refrescando la magnetización.” Evite hacer balancear en el aire los participios, como, “Usando (1), el potencial era calculado.” [No está claro quién o que usó (1).] Escriba en cambio, “El potencial era calculado usando (1),” o “Usando (1), nosotros calculamos el potencial.”

Use un cero antes de los puntos decimales: “0.25,” no “.25.” Use “cm<sup>3</sup>,” no “cc.” Indique las dimensiones simplificadas como “0.1 cm x 0.2 cm,” no “0.1 x 0.2 cm<sup>2</sup>.” La abreviación para “segundos” es “s,” no “sec.” No mezcle los nombres



completos y abreviaciones de unidades: use "Wb/m<sup>2</sup>" o "webers por metro cuadrado," no "webers/m<sup>2</sup>." Al expresar un rango de valores, escriba "7 a 9" o "7-9," no "7~9."

Una declaración en paréntesis al final de una frase se puntúa fuera del paréntesis del cierre (gusta esto). (Una frase en paréntesis se puntúa dentro de los paréntesis.) En inglés americano, los puntos finales y comas van dentro de las comillas, como "este punto." Otra puntuación va "afuera"! Evite las reducciones; por ejemplo, escriba "do not" en lugar de "don't." La coma consecutiva se prefiere: "A, B, y C" en lugar de "A, B y C."

Si usted desea, puede escribir en primera persona singular o plural y puede usar la voz activa ("yo observé que..." o "Nosotros observamos que..." en lugar de "fue observado que..."). Recuerde verificar la ortografía. Si su idioma nativo no es inglés, por favor consiga que un colega angloparlante nativo corrija su documento.

## VI. ALGUNOS ERRORES COMUNES

La palabra "data (datos)" es plural, no singular. El subíndice para la permeabilidad del vacío  $\mu_0$  es cero, no un escriba en letras minúsculas la letra

"o." El término para la magnetización residual es "remanente. Use la palabra "micrómetro" en lugar de "microm." Un gráfico dentro de un gráfico es una "intercalación," no una "inserción." La palabra "alternativamente" se prefiere a la palabra "alternadamente" (a menos que usted realmente quiera decir algo que alterne). Use la palabra "considerando que" en lugar de "mientras" (a menos que usted está refiriéndose a los eventos simultáneos). No use la palabra "esencialmente" para significar "aproximadamente" o "eficazmente." No use la palabra "emisión" como una alusión para "problema." Cuando las composiciones no son los símbolos químicos especificados, separados por-guiones; por ejemplo, "NiMn" indica la aleación Ni<sub>0.5</sub>Mn<sub>0.5</sub> compuesto considerando que "Ni-Mn" indica una aleación de alguna composición Ni<sub>x</sub>Mn<sub>1-x</sub>.

Sea consciente de los diferentes significados de los homófonos "afectar" (normalmente un verbo) y "efecto" (normalmente un nombre), "complemento" y "cumplimiento," "continuo" y

"discreto," "principal" (por ejemplo, "el investigador principal") y "principio" (por ejemplo, "el principio de medida"). No confunda "implicar" e "inferir."

Los prefijos como "non," "sub," "micro," "multi," y "ultra" no son palabras independientes; ellas deben unirse a las palabras que ellos modifican, normalmente sin un guión. No hay ningún período después "et" en la abreviación latina "et al." (también se pone en cursiva). La abreviación "i.e.," significa "es decir," y la abreviación "e.g.," significa "por ejemplo" (estas abreviaciones no se ponen cursiva).

Un excelente manual de estilos y fuente de información para escritores de la ciencia es [8]. Una guía general de estilos IEEE, *Información para Autores*, está disponible en <http://www.ieee.org/organizations/pubs/transactions/information.htm>

## VII. POLÍTICA EDITORIAL

No se requiere sumisión de un manuscrito por la participación en una conferencia. No someta una versión de una nueva presentación de un documento que usted ha sometido o ha publicado en otra parte. No publique datos o

resultados "preliminares". El autor sometido es responsable para estar de acuerdo con todos los coautores y cualquier consentimiento requerido de los patrocinadores antes de someter un documento (paper). IEEE TRANSACTIONS and JOURNALS disuade fuertemente la paternidad literaria de cortesía. Es obligación de los autores citar el trabajo previo pertinente.

Las TRANSACCIONES publican documentos relacionados a conferencias que se han recomendado para la publicación en base a la revisión del par.

Por lo menos se requieren dos revisiones para cada documento sometido. Para los documentos relacionados a conferencias, la decisión para aceptar o rechazar un documento es hecho por los editores de la conferencia y el comité de publicaciones; las recomendaciones de los árbitros sólo son asesorías. Inglés indescifrable es una razón válida para el rechazo. Los autores de documentos rechazados pueden revisar y re-



someter ellos a las TRANSACCIONES como los documentos regulares, después de lo cual ellos se repasarán por dos nuevos árbitros.

## VIII. PRINCIPIOS DE PUBLICACIÓN

El contenido de las TRANSACCIONES y PERIÓDICOS de IEEE son repasados por el par y archivados. Las TRANSACCIONES publican artículos eruditos de valor del archivo así como exposiciones tutoriales y revisiones críticas de asuntos clásicos y temas de interés actual.

Los autores deben considerar los puntos siguientes:

Documentos técnicos sometidos a publicación deben adelantar el estado de conocimiento y deben citar el trabajo previo pertinente.

La longitud de un documento sometido debe ser correspondiente con la importancia, o apropiado a la complejidad, del trabajo. Por ejemplo, una extensión obvia de trabajo previamente publicado no podría ser apropiada para la publicación o podría tratarse adecuadamente en sólo unas páginas.

Los autores deben convencer a ambos críticos del par y los editores del mérito científico y técnico del documento; las normas de prueba son más altas cuando se reportan resultados extraordinarios o inesperados.

Porque la repetición se requiere para el progreso científico, documentos sometidos a la publicación deben proporcionar información suficiente para permitirles a los lectores realizar experimentos similares o cálculos y usar los resultados informados. Aunque no todo necesita ser descubierto, un documento debe contener nueva, usada, e información totalmente descubierta. Por ejemplo, la composición química de un espécimen necesita que no se informe si el propósito principal de un documento es introducir una nueva técnica de la medida. Los autores deben esperar ser desafiados por críticos si los resultados no son soportados por los datos adecuados y los detalles críticos.

Documentos que describen el trabajo contin-

uo o anuncian el último logro técnico que es conveniente para la presentación en una conferencia profesional no pueden ser apropiados para la publicación en TRANSACCIONES o PERIÓDICOS.

## IX. CONCLUSIONES

Una sección de conclusiones no se requiere. Aunque una conclusión puede repasar los puntos principales del documento, no reproduzca lo del resumen como conclusión. Una conclusión podría extender la importancia del trabajo o podría hacer pensar en aplicaciones y extensiones.

## APÉNDICE

Los apéndices, si son necesarios, aparecen antes del reconocimiento.

## RECONOCIMIENTO

La ortografía preferida de la palabra "acknowledgment" en inglés americano es sin una "e" después de la "g." Use el título singular aun cuando usted tiene muchos reconocimientos. Evite las expresiones como "Uno de nosotros (S.B.A.) gustaría agradecer..." En cambio, escriba "F. A. agradecimientos del autor..." reconocimientos a patrocinador y de apoyo

financieros se ponen en la nota a pie de página de la primera página sin numerar.

## REFERENCIAS

- [1] G. O. Young, "Synthetic structure of industrial plastics (Book style with paper title and editor)," in *Plastics*, 2nd ed. vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15–64.
- [2] W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems* (Book style). Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.
- [3] H. Poor, *An Introduction to Signal Detection and Estimation*. New York: Springer-Verlag, 1985, ch. 4.
- [4] J. U. Duncombe, "Infrared navigation—Part I: An assessment of feasibility (Periodical style)," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-11, pp. 34–39, Jan. 1959.



- [5] S. Chen, B. Mulgrew, and P. M. Grant, "A clustering technique for digital communications channel equalization using radial basis function networks," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 4, pp. 570–578, July 1993.
- [6] R. W. Lucky, "Automatic equalization for digital communication," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 44, no. 4, pp. 547–588, Apr. 1965.
- [7] E. H. Miller, "A note on reflector arrays (Periodical style—Accepted for publication)," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, to be published.
- [8] S. P. Bingulac, "On the compatibility of adaptive controllers (Published Conference Proceedings style)," in *Proc. 4th Annu. Allerton Conf. Circuits and Systems Theory*, New York, 1994, pp. 8–16.
- [9] G. R. Faulhaber, "Design of service systems with priority reservation," in *Conf. Rec. 1995 IEEE Int. Conf. Communications*, pp. 3–8.
- [10] W. D. Doyle, "Magnetization reversal in films with biaxial anisotropy," in *1987 Proc. INTERMAG Conf.*, pp. 2.2-1–2.2-6.
- [11] G. W. Juette and L. E. Zeffanella, "Radio noise currents in short sections on bundle conductors (Presented Conference Paper style)," presented at the IEEE Summer power Meeting, Dallas, TX, June 22–27, 1990, Paper 90 SM 690-0 PWRS.
- [12] J. G. Kreifeldt, "An analysis of surface-detected EMG as an amplitude-modulated noise," presented at the 1989 Int. Conf. Medicine and Biological Engineering, Chicago, IL.
- [13] J. Williams, "Narrow-band analyzer (Thesis or Dissertation style)," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Harvard Univ., Cambridge, MA, 1993.
- [14] N. Kawasaki, "Parametric study of thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow," M.S. thesis, Dept. Electron. Eng., Osaka Univ., Osaka, Japan, 1993.
- [15] B. Smith, "An approach to graphs of linear forms (Unpublished work style)," unpublished ed.
- [16] J. P. Wilkinson, "Nonlinear resonant circuit devices (Patent style)," U.S. Patent 3 624 12, July 16, 1990.
- [17] A. Harrison, private communication, May 1995.
- [18] *IEEE Criteria for Class IE Electric Systems* (Standards style), IEEE Standard 308, 1969.
- [19] *Letter Symbols for Quantities*, ANSI Standard Y10.5-1968.
- [20] R. E. Haskell and C. T. Case, "Transient signal propagation in lossless isotropic plasmas (Report style)," USAF Cambridge Res. Lab., Cambridge, MA Rep. ARCRL-66-234 (II), 1994, vol. 2.
- [21] [10] E. E. Reber, R. L. Michell, and C. J. Carter, "Oxygen absorption in the Earth's atmosphere," Aerospace Corp., Los Angeles, CA, Tech. Rep. TR-0200 (420-46)-3, Nov. 1988.
- [22] (Handbook style) *Transmission Systems for Communications*, 3rd ed., Western Electric Co., Winston-Salem, NC, 1985, pp. 44–60.
- [23] [12] *Motorola Semiconductor Data Manual*, Motorola Semiconductor Products Inc., Phoenix, AZ, 1989.
- [24] (Basic Book/Monograph Online Sources) J. K. Author. (year, month, day). Title (edition) [Type of medium]. Volume(issue). Available: [http://www.\(URL\)](http://www.(URL))
- [25] J. Jones. (1991, May 10). Networks (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>
- [26] (Journal Online Sources style) K. Author. (year, month). Title. *Journal* [Type of medium]. Volume(issue), paging if given. Available: [http://www.\(URL\)](http://www.(URL))
- [27] R. J. Vidmar. (1992, August). On the use of atmospheric plasmas as electromagnetic reflectors. *IEEE Trans. Plasma Sci.* [Online]. 21(3). pp. 876–880. Available: <http://www.halcyon.com/pub/journals/21ps03-vidmar>

## Autores

Breve referencias sobre la formación académica del autor y su experiencia.

Traducido por:

Javier A. González C.

Presidente Rama IEEE

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

2002

"Este documento esta diseñado para presentar (en ingles) el desarrollo de proyectos al IEEE. Es solo una guía, el autor debe ajustarlo a su necesidad"