

**DISEÑO DE UN CONTROLADOR ADAPTATIVO BASADO EN LOS
PARÁMETROS DE SINTONIZACIÓN DE ZIEGLER Y NICHOLS PARA
PLANTAS DE PRIMER ORDEN**

JUAN CARLOS CORREDOR CARREÑO

OSCAR ANDRES GONZALEZ TRIANA

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ DC,
2012**

**DISEÑO DE UN CONTROLADOR ADAPTATIVO BASADO EN LOS
PARÁMETROS DE SINTONIZACIÓN DE ZIEGLER Y NICHOLS PARA
PLANTAS DE PRIMER ORDEN.**

JUAN CARLOS CORREDOR CARREÑO

OSCAR ANDRES GONZALEZ TRIANA

**Trabajo de Grado para Título de
INGENIERO ELECTRÓNICO**

DIRECTOR

JHON PETEARSON ANZOLA ANZOLA
Ingeniero de Electrónico

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ DC,
2012

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. Mayo de 2012

DEDICATORIA

Con todo el amor y respeto dedicamos este trabajo de grado a Dios, a nuestros padres y familia, por su apoyo y presencia constante en este paso tan importante en nuestra carrera hacia la profesionalización.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primera instancia a Dios, por darme esta oportunidad de vida, a mis padres, quienes son el motor para cada uno de los proyectos de mi vida. A mis hermanos por siempre estar a mi lado. Para cada una de las personas que me ayudaron en la realización de este proyecto como lo son mis amigos y compañeros de Universidad.

También un gran agradecimiento a nuestro director de tesis, el cual confió en nuestras aptitudes y conocimientos, guiándonos para materializar este proyecto.

OSCAR ANDRÉS GONZÁLEZ TRIANA

Agradezco de corazón el apoyo de mi familia, que es el núcleo fundamental de una buena educación y para todos aquellos que me apoyaron en el logro de esta etapa de mi vida, También agradezco a nuestro director de tesis.

JUAN CARLOS CORREDOR CARREÑO

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	14
1 PROBLEMA	15
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.3 JUSTIFICACION	16
1.4 DELIMITACION	16
1.5 OBJETIVOS	16
1.5.1 Objetivo General	16
1.5.2. Objetivos Específicos	17
2 MARCO REFERENCIAL	18
2.1 MARCO TEORICO CONCEPTUAL	18
2.1.1 Sistema de Control	18
2.1.2 Control Adaptivo	23
2.1.3 Método de Ziegler-Nichols	26
3. METODOLOGIA	33
3.1. ANALISIS Y DISEÑO DE LA IMPLEMENTACION	33
3.1.1 Etapa I. Identificación de Características de la Planta	34
3.1.2 Etapa II. Toma Decisiones Basada en Etapa I	34
3.1.3 Etapa III. Modificación/Acción Basada en Etapa II	34
4. CONCLUSIONES	43
BIBLIOGRAFIA	54
WEBGRAFIA	55

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Representación de un Sistema de Control	19
Figura 2. Sistema de Control en Lazo Abierto	19
Figura 3. Sistema de Control Lazo Cerrado	20
Figura 4. Configuración Básica de un Control Adaptativo	25
Figura 5. Diagrama de Flujo Metodología del Proyecto Control Adaptativo *	35
Figura 6. Diagrama Electrónico para Conversión Análoga Digital	36
Figura 7. Funcionamiento del Conversor Análogo Digital	37
Figura 8. Conversión Digital Análoga (DAC)	39
Figura 9. Diagrama Electrónico Completo para Recepción y Trasmisión de Datos y Realimentación del Sistema	41

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Acción de Control Proporcional	21
Ecuación 2. Acción de Control Integral	21
Ecuación 3. Acción de Control Proporcional Integral	22
Ecuación 4. Acción de Control Derivativo	22
Ecuación 5. Acción de Control Proporcional Integral Derivativo	23
Ecuación 6. . Recta Tangente en el Punto de Inflexión de la Curva	28
Ecuación 7. Controlador PID	30
Ecuación 8. PID Sintonizado Segundo Método	31

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Sobre Impulso Máximo a la Respuesta Escalón	27
Gráfica 2. Primer Método	29
Gráfica 3. Mediciones y Pruebas Planta de Temperatura	34

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Variables de K_p , T_i y T_d con Ziegler y Nichols	29
Cuadro 2. Variables de K_p , T_i y T_d con Ziegler y Nichols	31

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. (Programa para Configuración ADC). Configuración de los Puertos ADC y Rs232	45
Anexo B. Programa para Configuración de Puertos y Comunicación con Matlab	47
Anexo C. Programa para Visualizar los Parámetros de Interfaz	48
Anexo D. Programa para Configuración DAC	50
Anexo E. Programa para Obtención de Datos de Planta para la Identificación de Características de Ziegler y Nichols	52

RESUMEN

Para el desarrollo de este trabajo de grado, se inicia describiendo la problemática que se ha encontrado y sobre la que se establece una pregunta de investigación, para luego justificar el por qué los autores del mismo, han emprendido este proyecto.

Seguidamente se hace la delimitación del problema y se establecen los objetivos a lograr, para poder diseñar un controlador adaptativo, basado en los parámetros de sintonización de Ziegler y Nichols para plantas de primer orden.

A continuación se construye el marco referencial, que comprende los antecedentes y el marco teórico conceptual que apoyará el desarrollo y diseño, seguido de la aplicación de una metodología escogida para hacer el paso a paso del modelo propuesto.

Finalmente se presentan los resultados y conclusiones que describen el logro del objetivo general del trabajo de grado y materializan el camino hacia la obtención del título profesional como ingenieros electrónicos.

PALABRAS CLAVES: Controlador, Sintonización, Ziegler, Nichols, Adaptativo, PID, Conversores, Matlab.

ABSTRACT

For the development of this paper grade, begins by describing the problems found and establishing a research question and then justify why its authors have undertaken this project.

Following is the definition of the problem and set objectives to achieve in order to design an adaptive controller based on the tuning parameters of Ziegler and Nichols first-order plant.

Then construct the frame of reference, including the background and conceptual framework that will support the development and design, followed by application of a methodology chosen to do step by step the proposed model.

Finally, we present the results and conclusions described the achievement of the overall objective of the thesis and materialize the way to gaining the professional electronics engineers.

KEYWORDS: Driver, Tuning, Ziegler, Nichols, Adaptive, PID, Converters, Matlab.

INTRODUCCION

A través de la historia el control ha sido una de las fuentes de mayor trabajo, para toda la rama industrial, debido a que se requiere optimizar alguna variable a controlar, como por ejemplo: Temperatura, caudal, nivel, posición, entre otras.

Una de las desventajas que posee el control clásico, Debe espera que se produzca un error, para luego realizar una acción correctiva, en algunos casos suele generarse un comportamiento oscilatorio alrededor del valor de referencia.

Una de las desventajas de mayor relevancia del control clásico al adaptativo, es que directa o indirectamente se necesita de un modelo matemático que describa la dinámica de la planta.

Una de las ventajas que posee el control adaptativo simple frente al control clásico, es poder caracterizar un sistema de controlar variables internas o externas, las cuales pueden interferir en el funcionamiento ideal del control como se mencionó anteriormente este tipo de control, permite facilitar el proceso matemático y analítico, que no poseía el control clásico.

De todo lo anterior los autores, que ven la necesidad de que la universidad, tenga para el laboratorio de práctica de los estudiantes de la facultad de ingeniería y todos los programas que contempla la misma, proponen el diseño e implementación de un control basado en los parámetros de sintonización de Ziegler y Nichols para plantas de primer orden

1. PROYECTO

1.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

Los autores del presente trabajo de tesis, proyectaron diseñar e implementar un control basado en los parámetros de sintonización de Ziegler y Nichols para plantas de primer orden que se encuentran en el laboratorio de la Fundación Universitaria los libertadores.

Con esa herramienta se lograría una ayuda para el análisis matemático y acertado en el diseñar controladores de tipo PID

1.2. PLANTEAMIENTO PARA EL PROYECTO

Partiendo de lo anteriormente expuesto, los autores del presente trabajo de grado, han formulado el siguiente planteamiento para el alcance de los objetivos, así:

¿Se hace necesario el diseño e implementación de un controlador adaptativo basado en los parámetros de sintonización de Ziegler y Nichols para plantas de primer orden?

De acuerdo a la teoría el control adaptativo, una vez diseñado e implementado el controlador propuesto, se entraría a cuestionar ¿puede garantizar la antelación y auto proceso de eliminación del error producido por la referencia y el sistema de realimentación? Ya que el control clásico siempre depende del proceso de realimentación y no era autónomo para tomar una respuesta inmediata.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El control adaptativo supone, como caso más sencillo, un proceso lineal y variante a controlar porque los coeficientes función de transferencia varían con el tiempo.

El control adaptativo consiste en la identificación de parámetros del proceso y el cálculo de un nuevo regulador, todo ello en tiempo real, siguiendo las variaciones de los parámetros y mientras se realiza el control.

1.4. DELIMITACION

Se limita al estudio de redes neuronales con el modelo feed-forward, que evalúa la posible implementación como controlador y no influye en el estudio de otras configuraciones de redes neuronales. Además las pruebas con esta configuración no cumplieron los parámetros mínimos de control (error > 10%). Se recomienda analizar con otro tipo de configuraciones de redes neuronales.

La recolección de datos (plantas) para las pruebas desarrolladas durante la tesis se delimita a las plantas encontradas en el laboratorio de control (308-sede Caldas).

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivos General

- Diseñar un controlador adaptativo basado en los parámetros de sintonización de Ziegler y Nichols para plantas de primer orden.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Obtener de forma semiautomática los parámetros de sintonización de Ziegler y Nichols.
- Implementar las reglas de sintonización de Ziegler y Nichols mediante el diseño de un algoritmo de control adaptativo para plantas de primer orden.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEORICO O CONCEPTUAL

2.1.1. Sistema de Control. En la vida diaria del hombre se encuentran diversos tipos de controladores y sistemas de control, los cuales son necesarios para funciones complejas de producción, así como para tareas simples y rutinarias.

Un ejemplo sencillo de un sistema de control es el del interruptor que se utiliza para encender y apagar una lámpara, en el cual, la tarea del controlador la realiza una persona, el actuador es la lámpara, la variable manipulada la energía eléctrica, la variable controlada y realimentación la iluminación producida por la lámpara.

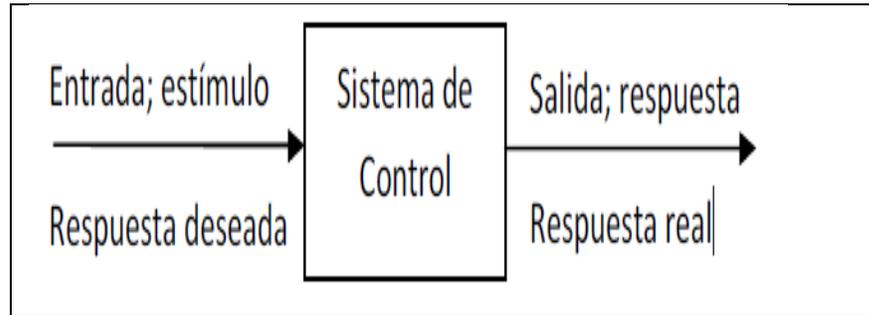
De tal forma que, este sistema de control es de lazo abierto si la persona que acciona el interruptor no pueda percibir la iluminación producida por la lámpara, y de lazo cerrado si la persona percibe ésta.

El motivo principal del uso de un sistema de control es mantener cierta variable o variables de algún tipo de naturaleza (física, mecánica, eléctrica, entre otras), en un valor, o rango de valores previamente definidos.

A través de los componentes de un sistema de control, en lazo abierto o cerrado, o la configuración necesaria, según sea la necesidad de las personas y los procesos de producción.

a. Características de un Sistema de Control. Un sistema de control produce una respuesta a la entrada, como se muestra a continuación. Ver **Figura 1.**

Figura 1. Representación de un Sistema de Control

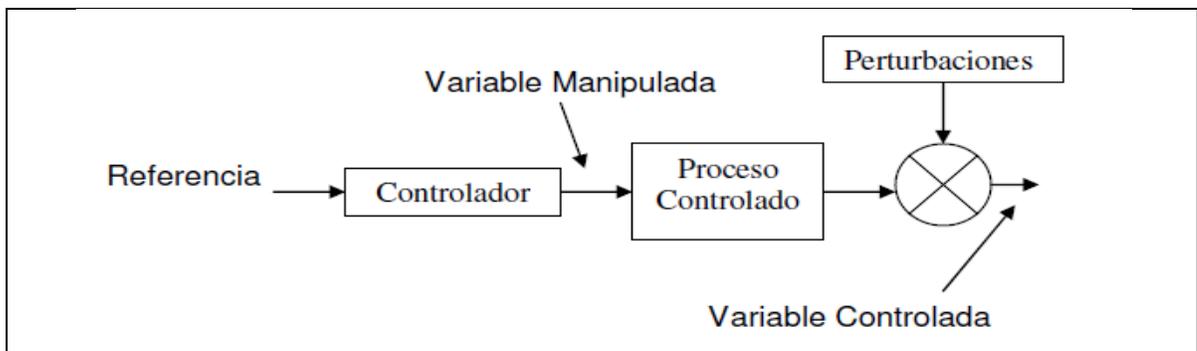


Fuente: Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág. 16

b. Configuraciones de un Sistema de Control. Existen dos tipos de configuración para un sistema de control: Lazo abierto y lazo cerrado, los cuales permiten identificar diferentes parámetros de un sistema de control, como se explicaran a continuación:

- **Sistema de Control en Lazo Abierto.** Este tipo de configuración permite caracterizar una planta, debido a que no contiene señales de realimentación y solo depende de la señal de entrada, como se muestra en la **Figura. 2.**

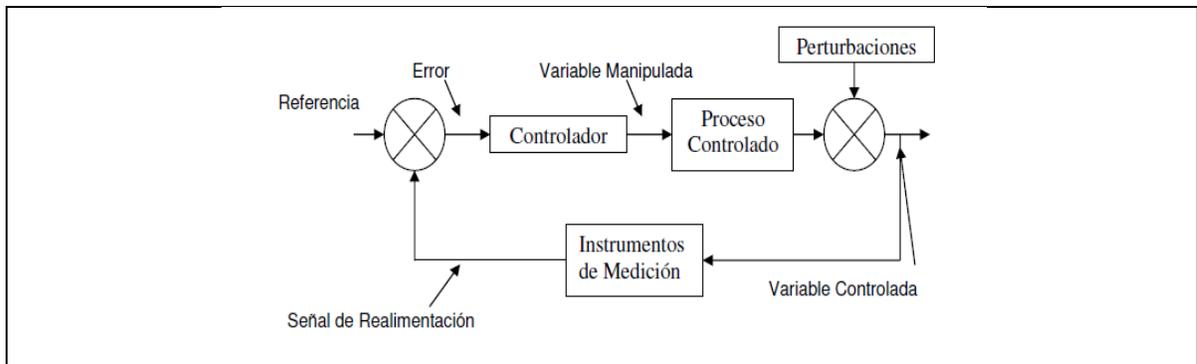
Figura 2. Sistema de Control en Lazo Abierto



Fuente: Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág. 18

- **Sistema de Control en Lazo Cerrado.** Este tipo de configuración es dependiente de una señal de salida con respecto a una señal de entrada, donde se puede comparar la señal de error del sistema. Como se muestra en la **Figura 3**.

Figura 3. Sistema de Control Lazo Cerrado



Fuente: Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág. 19

- c. **Tipos de Sistemas de Control.** Existen diferentes tipos de control, estos pueden ser de acciones proporcionales, integrales, proporcional-integral, proporcional-integral-derivativa. Estos tipos de controles disminuyen el error de estado estable y la respuesta transitoria. Los cuales se pueden modelar por diversos dominios matemáticos y diferentes métodos de análisis de sistemas de control como son: sintonización de PID, análisis y modelamientos bajo criterios de estabilidad. De estos métodos se analiza el método de sintonización de ZIGLER Y NICHOLS.
- **Acción de Control Proporcional.** El controlador de tipo continuo más simple utilizado en los sistemas realimentados es el controlador proporcional (P). Con un controlador proporcional la acción correctiva, o acción de control, es proporcional al error del proceso, es decir, proporcional a la diferencia entre la referencia y la variable medida. Se puede expresar de la siguiente forma en la **Ecuación 1**.

Ecuación 1. Acción de Control Proporcional

$$P = K_p * e(\tau)$$

Fuente: Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág. 27

- d. **Acción de Control Integral.** La acción integral nos permite corregir el error en estado estacionario, con ciertas limitantes, tales como la tendencia a oscilaciones o inestabilidad, y está definida en la **Ecuación 2.**

Ecuación 2. Acción de Control Integral

$$I = K_c \int_0^t e(\tau) dt$$

Fuente: Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág. 28

- e. **Acción de Control Proporcional Integral.** Uno de los métodos para eliminar el error en estado estacionario, en un sistema de control que cuenta únicamente con un controlador proporcional, es agregando una desviación en la salida del controlador. Para que el error del proceso resulte nulo, el valor de esa desviación se ajusta manualmente con el valor nominal de la carga.

Ahora, se debe incluir un término que se encargue del tiempo que dura este error (para generar un reset automático). Si hacemos que un número varíe de acuerdo con el tamaño y el tiempo que dure el error, entonces podríamos sustituir al reset manual.

Por cada unidad de tiempo, agregamos una pequeña cantidad a nuestro valor el cual equivale al área formada entre el tiempo y el error, expresada en la **Ecuación 3**.

Ecuación 3. Acción de Control Proporcional Integral

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) dt$$

Fuente: Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág. 29

- f. **Acción de Control Derivativo.** En un control con acción derivativa se hace una corrección que es proporcional a la derivada del error respecto al tiempo y está expresada en la **Ecuación 4**.

Ecuación 4. Acción de Control Derivativo

$$\text{Accion derivativa} = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Fuente: Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág. 31

Esta acción de control no se aplica debido a que genera una razón de cambio de la señal de error, por las siguientes características:

- Tiene efecto únicamente en la parte transitoria, por eso disminuye las oscilaciones, estabilizándose más rápido “se anticipa al error”.
- Se basa en la pendiente del error.
- En estado estable nunca actúa y por eso nunca se encuentra un control derivativo solo.

- g. Acción de Control Proporcional Integral Derivativo.** Esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La **Ecuación 5.**, demuestra que en un controlador con esta acción combinada se obtiene, de la siguiente manera:

Ecuación 5. Acción de Control Proporcional Integral Derivativo

$$u(t) = K_p e(\tau) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) dt + K_p T_d \frac{d(t)}{dt}$$

Fuente: Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág.35

El control PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es parte de un sistema de control realimentado, cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida del proceso, sea cero de manera asintótica en el tiempo, lo que se logra mediante el uso de la acción integral. Además el controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro a través de la acción derivativa que tiene un efecto predictivo sobre la salida del proceso.

2.1.2. Control Adaptativo. Se tendrá en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Definiciones del Término Adaptativo.** Tenemos tres definiciones y una que se construye a partir de las mismas, así:

- **Definición 1.** El termino de sistema de control adaptativo, tiene una variedad de significados específicos, pero en general implican que el sistema es capaz de acomodarse a modificaciones no predecibles del medio, sean esos cambios internos o externos al sistema. Este concepto tiene una gran dosis de atracción para los diseñadores de sistemas, un sistema altamente adaptable, además de aceptar las modificaciones ambientales, también aceptará errores de

diseño de ingeniería o incertidumbre y compensará las fallas de componentes menores, incrementando así la confiabilidad de los sistemas.

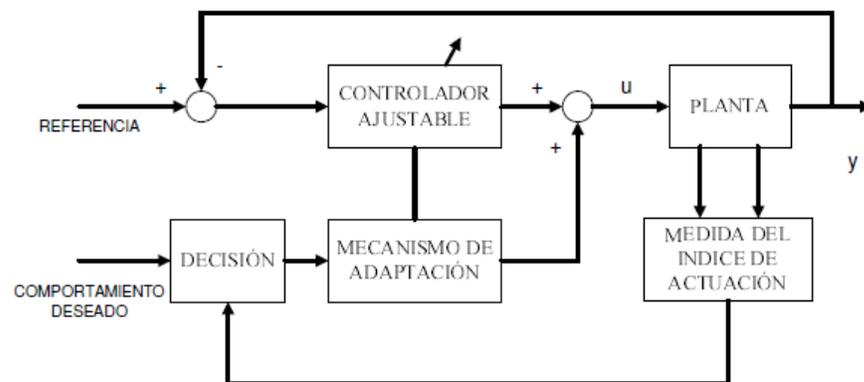
- **Definición 2.** Sistema de control adaptativo, es un sistema que en forma continua y automática, mide las características dinámicas (tales como la función de transferencia o la ecuación de estado) de la planta, las compara con las características dinámicas deseadas, y usa la diferencia para variar los parámetros ajustable del sistema (que suelen ser las características del controlador),o general una señal actual, de modo que se mantenga el desempeño óptimo, independientemente de las modificaciones ambientales; de otra forma el sistema puede medir continuamente su propio desempeño de acuerdo con algún índice de desempeño y modificar, en caso necesario, sus propios parámetros para mantener el desempeño óptimo, independientemente de las modificaciones ambientales.
- **Definición 3”.** Para denominarlo un sistema adaptativo, deben darse características de auto-organización. Si el ajuste de los parámetros del sistema se realiza sólo por medición directa del medio, el sistema no es adaptable.
- **Definición Final.** El termino adaptativo significa cambiar el comportamiento conforme a nuevas circunstancias. El control adaptativo es aquel que puede modificar su comportamiento en respuesta a cambios en la dinámica del sistema y a las perturbaciones. Este mismo objeto es el de la inclusión de la realimentación en el bucle de control.

El control adaptativo es un tipo especial de control no lineal en el que el estado del proceso puede ser separado en dos escalas de tiempo que evolucionan a diferente velocidad. La escala lenta corresponde a los cambios de los parámetros y por consiguiente a la velocidad con la cual los

parámetros del control son modificados, y la escala rápida que corresponde a la dinámica del bucle ordinario de realimentación [9].

La característica fundamental que distingue a los sistemas adaptativos es la presencia de un bucle de control, en el que se compra un índice de funcionamiento como se puede ver en la **Figura. 4**.

Figura 4. Configuración Básica de un Control Adaptativo



Fuente: Cuadrado, Alberto. Prácticas de Diseño de Sistemas Avanzados de Control: Control Adaptativo. Abel

b. Clasificación Sistemas de Control Adaptativo. De una manera general los sistemas de control adaptativo se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- **Controladores Adaptativos por Modelo de Referencia (MRAC).** Los **MRAC** intentan alcanzar un comportamiento en bucle cerrado deseado que viene especificado por un modelo de referencia.

Las ventajas del MRAC pasan por una rápida adaptación y la posibilidad de utilizar formulaciones que garanticen estabilidad (usando métodos de Lyapunov). Sin embargo, la capacidad de adaptación de estas estrategias depende en gran medida de la riqueza dinámica de la señal de control (esto es análogo a lo que ocurre en la idéntica acción de sistemas).

El valor de los parámetros se obtiene buscando entre los posibles valores, aquellos que hacen óptimo un cierto criterio de comportamiento del sistema. Es decir, optimizan un criterio de comportamiento o funcionamiento. En este grupo se estudiara los controladores de mínima varianza. También se puede considerar en este grupo el control predictivo basado en modelo, cuando este tipo de control se utiliza como controlador ajustable en alguno de los esquemas de control adaptativo referidos al principio del tema.

- **Reguladores Autoajustables (STR Sistemas de Tiempo Real).** Por otra parte, los **STR** intentan alcanzar un control lo mejor posible (optimo) a partir de un tipo de controlador prefijado y la información obtenida del proceso (señales de entrada, salida, etc).

Por otra parte, los STR Sistemas de Tiempo Real, se adaptan bien en casi todas las situaciones y son fáciles de implementar pues admiten técnicas de programación modular. Sin embargo, también presentan sus propios inconvenientes como se verá más adelante.

2.1.3. Método de Ziegler-Nichols. En el mismo se refiere:

Si se puede obtener un modelo matemático de una planta, es posible aplicar diversas técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones en estado transitorio y en estado estable del sistema en lazo cerrado. Sin embargo, si la planta es compleja que no es fácil obtener su modelo matemático, tampoco es posible un enfoque analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, debemos recurrir a los enfoques experimentales para la sintonización de los controladores PID.

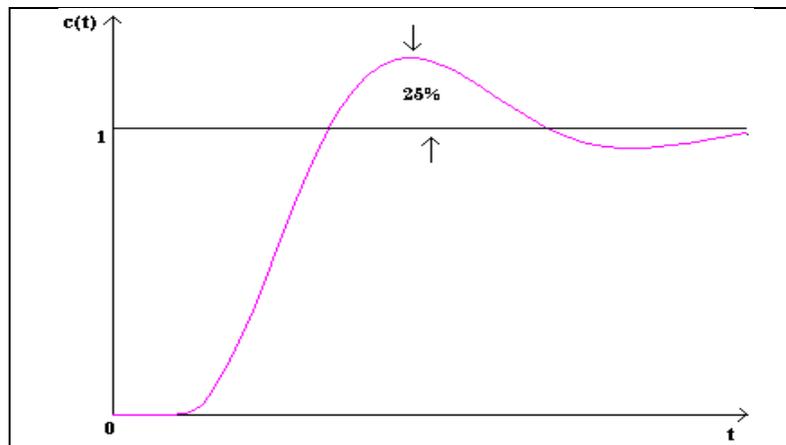
El proceso de seleccionar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de desempeño se conoce como sintonización del controlador Ziegler y Nichols, que sugirieron más reglas para sintonizar los controladores PID (que significa establecer K_p , T_i y T_d) con base en las respuestas escalón experimentales o basadas en el valor de K_p que se produce en la estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional. Las reglas de Ziegler-Nichols son

muy convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas.

- a. **Reglas De Ziegler-Nichols para Sintonizar Controladores PID.** Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización de los controles PID la realizan los ingenieros en el sitio mediante experimentos sobre la planta.

Existen dos métodos denominados reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. En ambos se pretende obtener un **25%** de sobrepaso máximo en la respuesta escalón como vemos a continuación, así: **Ver Gráfica 1.**

Gráfica 1. Sobre Impulso Máximo a la Respuesta Escalón



Fuente: Autor

- **Primer Método.** En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental. Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, Si la respuesta no exhibe una curva con forma de S, este método no es pertinente. Tales curvas de respuesta escalón se generan experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta.

La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T. El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y la línea $c(t)=K$, como se aprecia en la **Ecuación 6.**

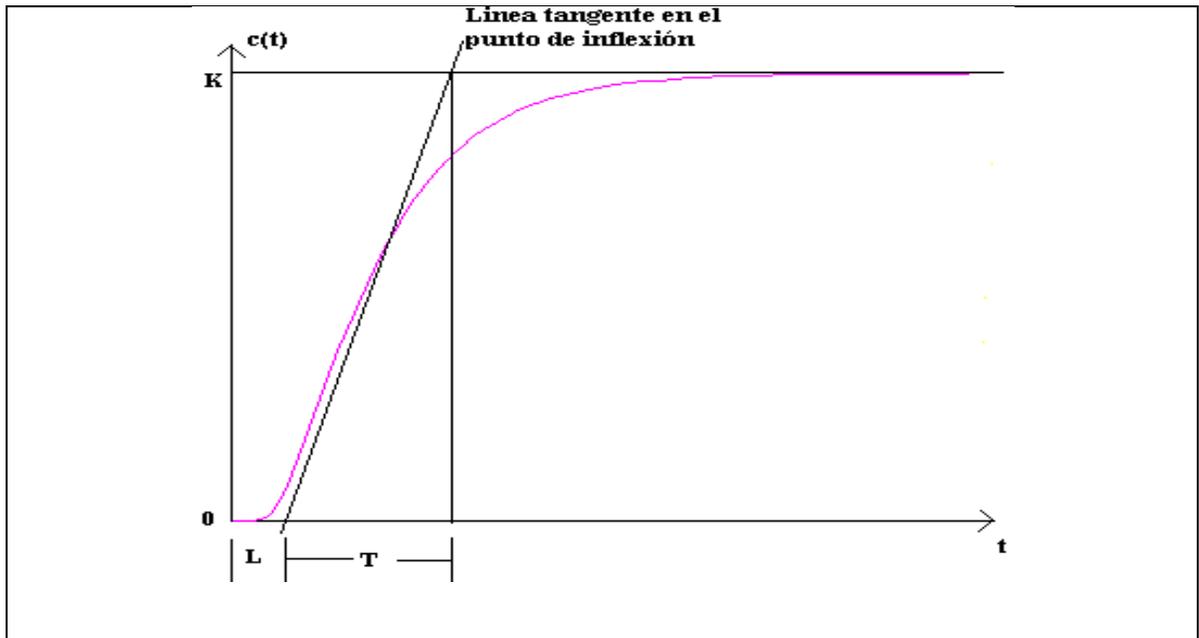
En este caso, la función de transferencia $\frac{C(s)}{U(s)}$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo de transporte. **Ver Gráfica 2.**

Ecuación 6. . Recta Tangente en el Punto de Inflexión de la Curva

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1}$$

Fuente: Control de un Robot Tipo PUMA Utilizando Redes Neuronales

Gráfica 2. Primer Método



Fuente: Autores.

Ziegler y Nichols sugirieron establecer los valores de K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que aparece en el **Cuadro. 1**.

Cuadro 1. Variables de K_p , T_i y T_d con Ziegler y Nichols

Tipo de Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	2L	0.5L

Fuente: Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág. 40

Se observa que el controlador PID sintonizado mediante el primer método de Ziegler-Nichols produce la **Ecuación 7**.

Ecuación 7. Controlador PID

$$G_{c(s)} = K_p \left\{ 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right\}$$
$$G_{c(s)} = 1.2 \frac{T}{L} \left\{ 1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5 Ls \right\} = 0.6T \frac{\left[s + \frac{1}{L} \right]}{s}$$

Fuente: Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág. 43

- **Segundo Método.** En el segundo método, primero establecemos $T_i = \infty$ y $T_d = 0$. Usando sólo la acción de control proporcional, se incrementa K_p de 0 a un valor crítico K_{cr} en donde la salida exhiba primero oscilaciones sostenidas.

Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , no se aplica este método.

Por tanto, la ganancia crítica K_{cr} y el periodo P_{cr} correspondiente se determinan experimentalmente.

Ziegler-Nichols sugirieron que se establecieran los valores de los parámetros K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que aparece en **Cuadro 2**.

Cuadro 2. Variables de Kp, Ti y Td con Ziegler y Nichols

Tipo de controlador	Kp	Ti	Td
P	0.5Kcr	∞	0
PI	0.45Kcr	$\frac{1}{1.2} P_{\sigma}$	0
PID	0.6Kcr	0.5Pcr	0.125Pcr

Fuente: Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág. 45

Se debe observar que el controlador PID sintonizado mediante el segundo método de las reglas de Ziegler-Nichols produce la **Ecuación 9**.

Ecuación 8. PID Sintonizado Segundo Método

$$G_{c(s)} = 0.6K_{\alpha} \left\{ 1 + \frac{1}{2L_{\alpha}S} + 0.5 P_{\alpha}S \right\} = 0.075K_{\alpha}P_{\alpha} \frac{\left[S + \frac{1}{P_{\alpha}} \right]}{S}$$

Fuente: Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág. 46

Por lo tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y cero doble en $s=-4/P_{\alpha}$. Las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols se han usado, junto con otras reglas, ampliamente para sintonizar controladores PID en los sistemas de control de procesos, en los que no se conoce con precisión la dinámica de la planta.

Tales reglas de sintonización han demostrado ser útiles durante muchos años. Por supuesto, las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols se aplican a las plantas cuya dinámica se conoce. En estos casos, se cuenta con muchos enfoques analíticos y gráficos para el diseño de controladores PID, además de las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols.

Si se conoce la función de transferencia de la planta, se calcula la respuesta escalón unitario o la ganancia crítica K_{cr} y el periodo crítico P_{cr} . Sin embargo, la utilidad real de las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols se vuelve evidente cuando no se conoce la dinámica de la planta, por lo que no se cuenta con enfoques analíticos o gráficos para el diseño de controladores” .

3. METODOLOGIA

3.1. ANALISIS Y DISEÑO DE LA IMPLEMENTACIÓN

Si la planta se conoce en forma imperfecta, quizás a causa de la variación aleatoria de los parámetros con el transcurrir de tiempo, o por el efecto de variaciones ambientales en las características dinámicas de la planta, en ese caso, la identificación inicial, decisión y modificación de procedimientos, no serán suficiente para minimizar (o maximizar) el índice de desempeño.

Estos se requieren realizar estos procedimientos, continua o frecuentemente, a intervalos que dependen de la velocidad de variación de los parámetros. Este constante "autor rediseño" u organización de sí mismo, para compensar los cambios impredecibles de la planta, es el aspecto de desempeño considerado al definir un sistema de control adaptable.

Un controlador adaptable está formado por tres etapas:

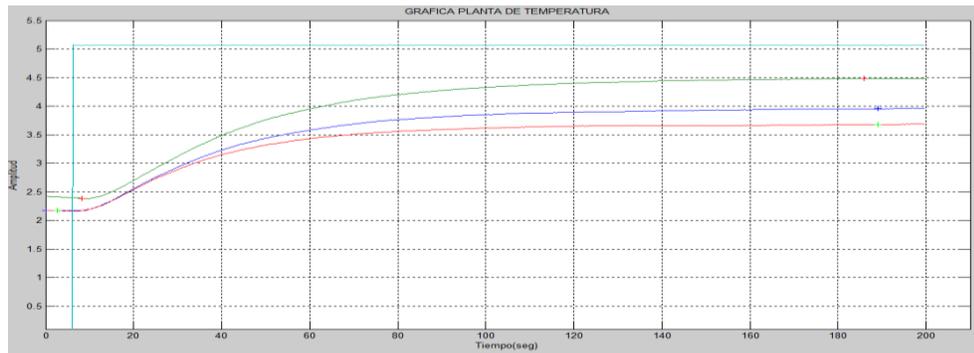
3.1.1. Etapa I. Identificación de las Características de la Planta. Las características dinámicas de la planta se deben medir e identificar. Esto se debe realizar sin afectar el funcionamiento normal del sistema. Para identificar las características del sistema hay que efectuar unas pruebas o medición y analizar los resultados.(En el caso de un sistema de control, esto implica imponer una señal de control a la planta y analizar la respuesta del sistema).

La identificación deseada se puede realizar con base en los datos de funcionamiento normal de la planta, o mediante el uso de señal de prueba, la planta debe encontrarse en funcionamiento normal durante la prueba, de modo que las señales de prueba superpuestas no pueden perturbar las salidas

normales; además las entradas normales y el ruido del sistema no deben afectar o confundir la prueba).

Las entradas normales son señales de prueba ideales, ya que no producen dificultades en cuanto a salidas indeseadas, o entradas que produzcan confusión. Sin embargo, la identificación con entradas normales, sólo es posible cuando tienen característica de señal adecuada (ancho de banda, amplitud y otros), para su correcta identificación. **Ver Gráfica. 3.**

Gráfica 3. Mediciones y Pruebas Planta de Temperatura



Fuente: Autores

3.1.2. Etapa II. Toma de Decisión Basada en la Identificación de la Planta.

Una vez identificada la planta, se compara con las características óptimas y luego se debe tomar una decisión respecto a cómo se deben variar los parámetros ajustables (características del controlador) para mantener el desempeño óptimo. La decisión se logra con un algoritmo para su adaptabilidad.

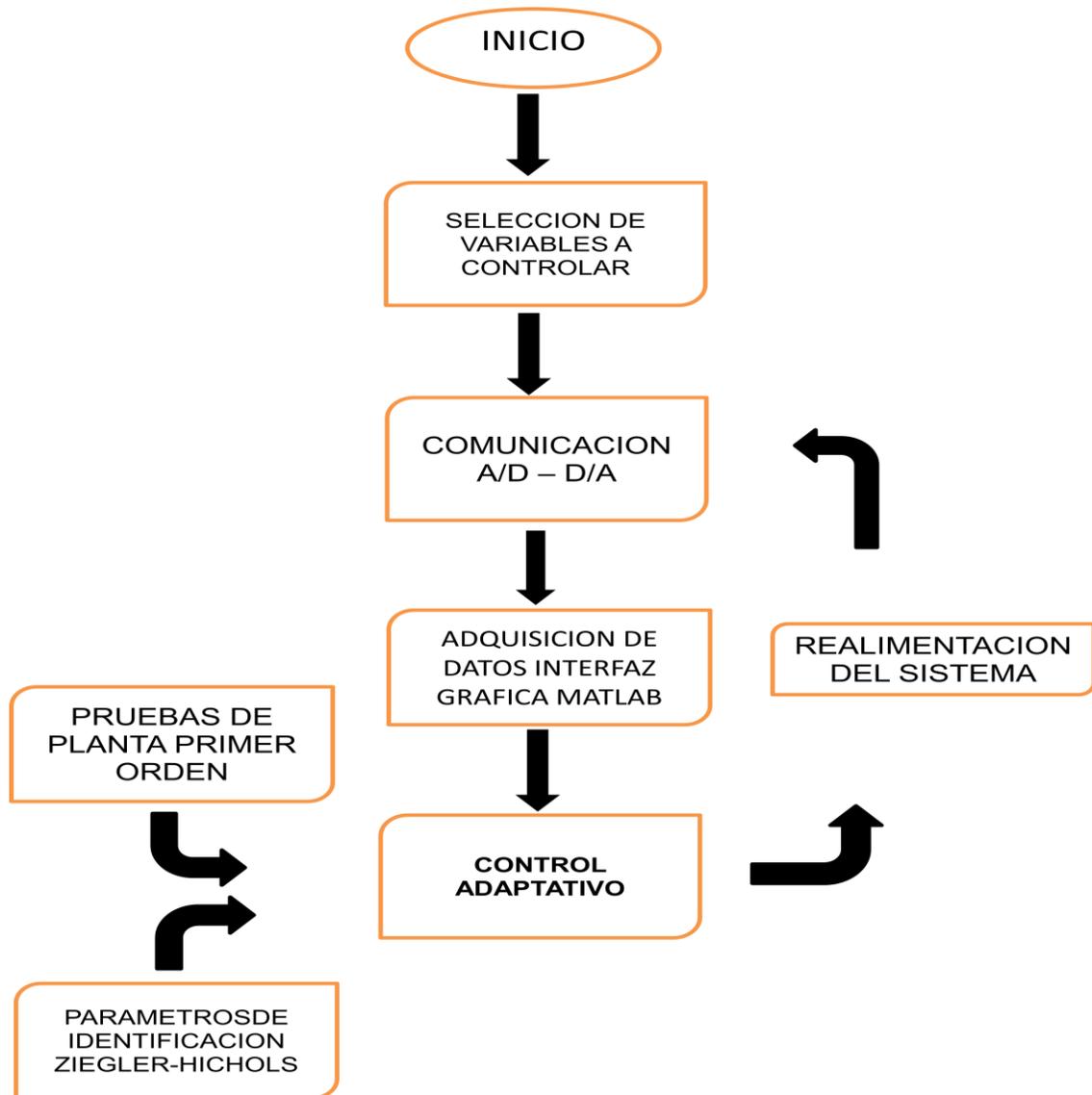
3.1.3. Etapa III. Modificación o Acción Basada en la Decisión Tomada.

La modificación se refiere al cambio de señales de control, de acuerdo con los resultados de la identificación y decisión. En la mayoría de los esquemas de la decisión y modificación son, conceptualmente, una sola operación, que consiste

en una forma de mecanizar la transformación de la señal de decisión de salida en la señal de control (la entrada a la planta).

La implementación para el diseño de un controlador adaptativo basado en métodos de sintonización de Ziegler y Nichols, la describimos en la **Figura 5**.

Figura 5. Diagrama de Flujo Metodología del Proyecto Control Adaptativo *

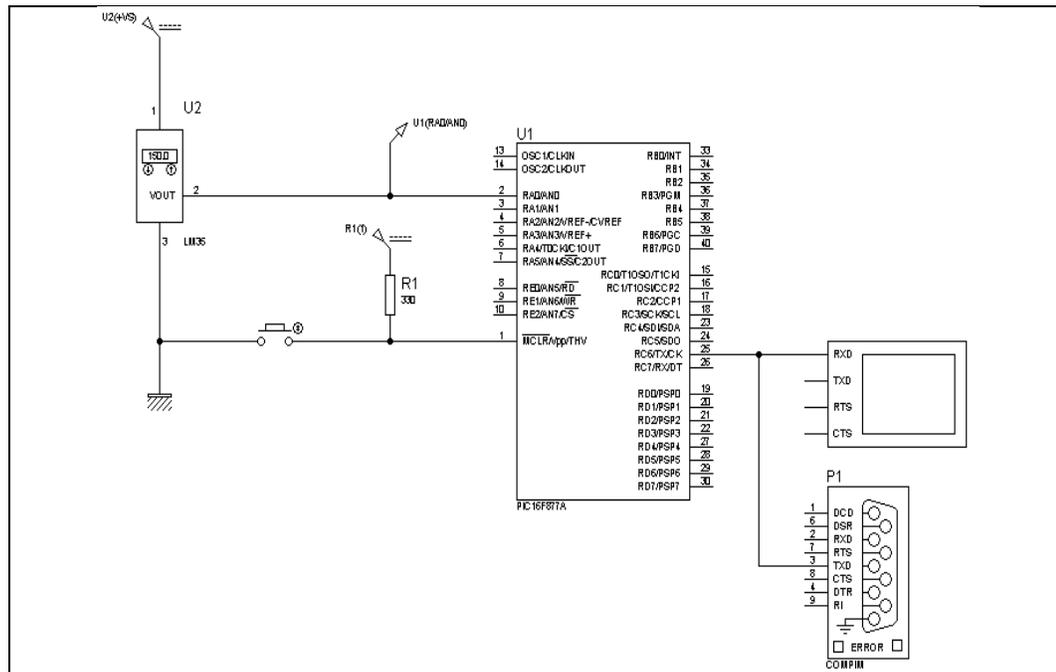


Fuente: Autores

Análisis e Interpretación: * Se explica a continuación de la siguiente manera:

- **Seleccionar Variable a Controlar.** De acuerdo al concepto, es la cantidad o condición que se mide o se desea controlar, en este caso la variable que se desea controlar es temperatura ya que el tiempo de respuesta de esta es lento.
- **Conversión Análoga Digital (ADC).** Identificada ya la variable a controlar iniciamos el proceso de conversión análoga digital, ya que esta planta nos emite datos análogos los cuales, no son percibidos por el micro controlador, donde se debe tener en cuenta que puede tener una relación de **50 hasta 150 °C** y una tensión de referencia para el micro controlador desde **0.5 hasta 1.5 V**. Ver la **Figura 6**.

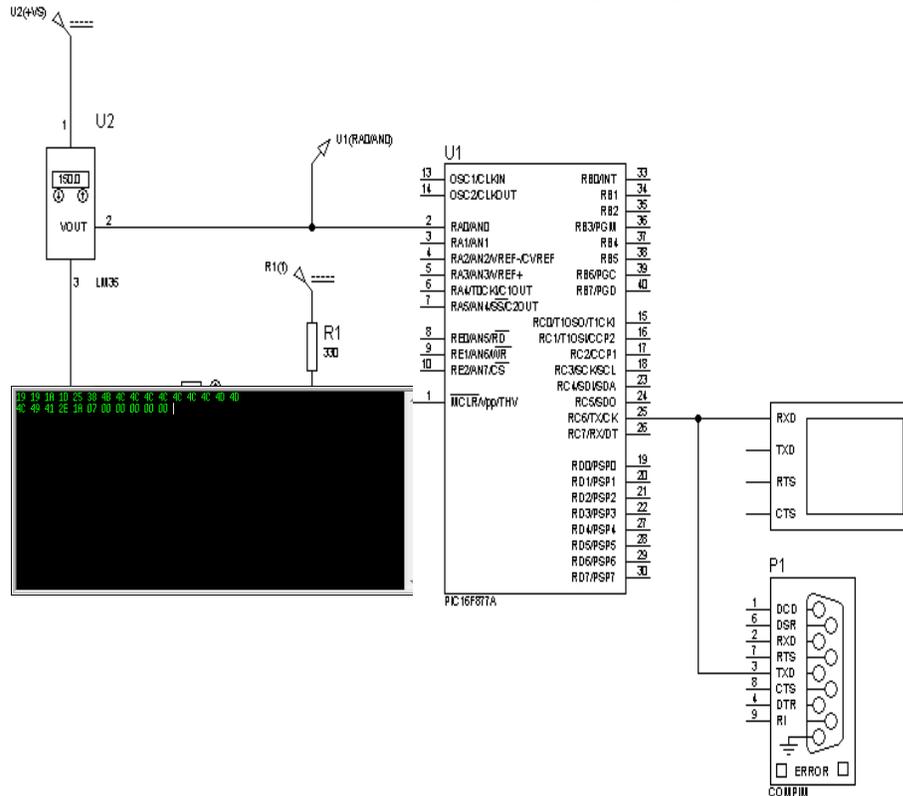
Figura 6. Diagrama Electrónico para Conversión Análoga Digital



Fuente: Autores

Con este paso se verifica el buen funcionamiento del convertor análogo digital, enviando datos análogos y el micro controlador recibiendo estos para digitalizarlos, donde se puedan entregar directamente a la interfaz gráfica en Matlab. **Ver Figura 7.**

Figura 7. Funcionamiento del Convertor Análogo Digital

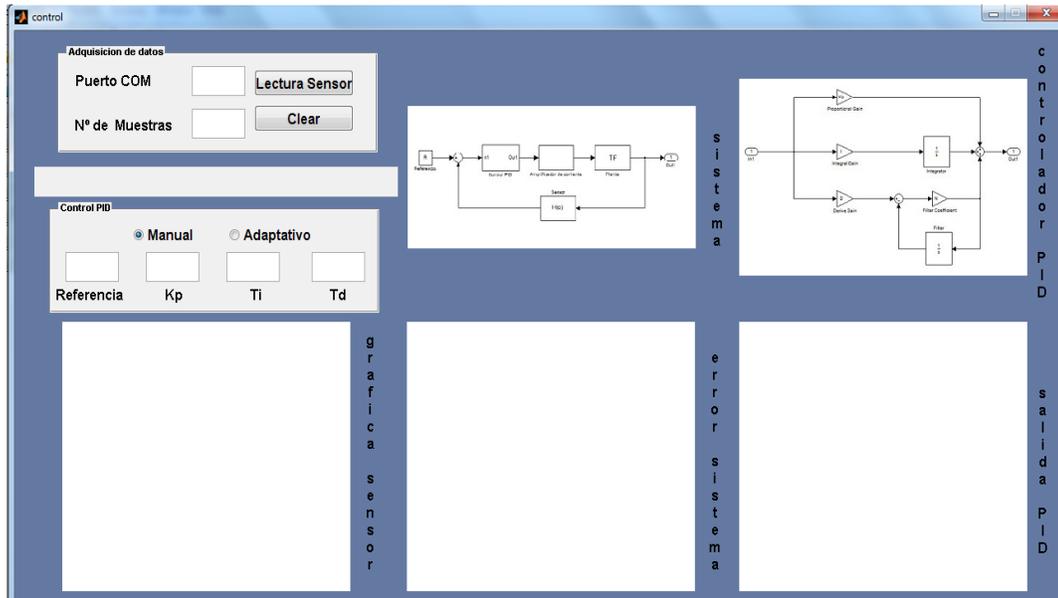


Fuente: Autores

Se puede verificar el **Anexo A.**, donde se encuentra el código del convertor análogo digital.

- **Recepción de Datos Interfaz Matlab.** Después de haber adquirido los datos por el convertor análogo digital, se realiza una comunicación serial y la configuración de los puertos, para acceder a la interfaz gráfica de Matlab. Como se denota en la **Ilustración 1.**

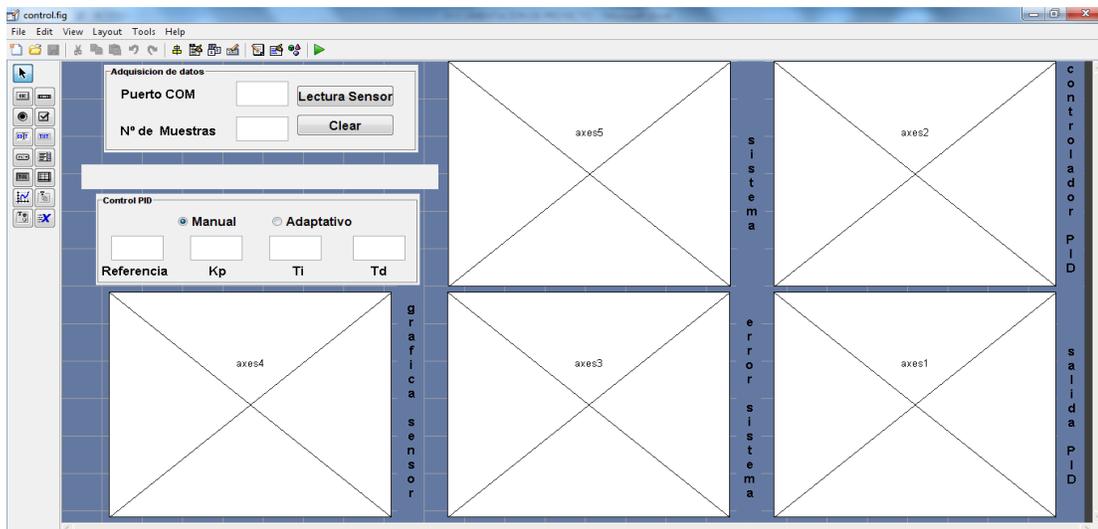
Ilustración 1. . Interfaz Gráfica Matlab



Fuente: Autores

Para la realización de esta interfaz se requirió del Toolbox de Matlab, llamado GUIDE, el que se verificará directamente en la **Ilustración 2**.

Ilustración 2. . Diagrama de la Interfaz Gráfica en Matlab

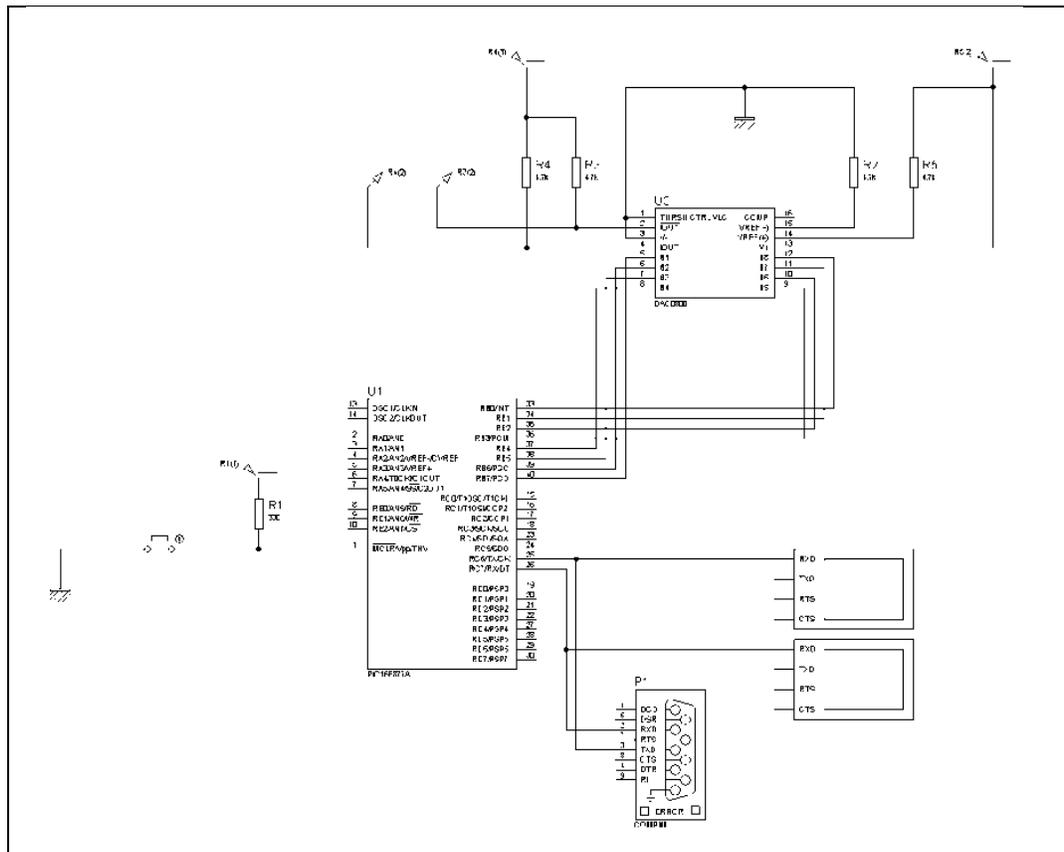


Fuente: Autores

Se puede verificar el algoritmo para configuración de comunicación interfaz gráfica Matlab. **Ver Anexo B** y la configuración de la interfaz se encuentra en el **Anexo C**.

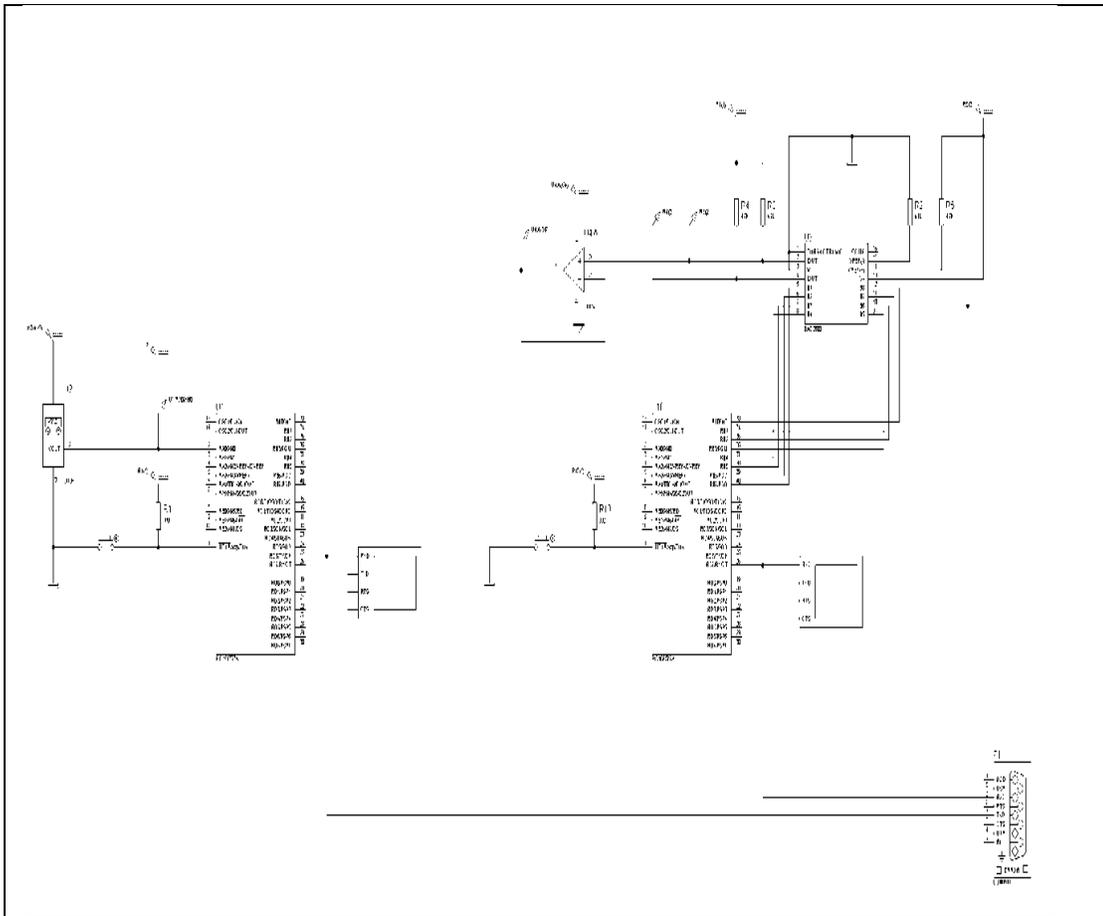
- **Conversión Digital Análoga (DAC).** De acuerdo a que la señal de entrada a la planta es análoga, se implementó un sistema de conversión digital análoga, la cual se realiza un seguidor de corriente, el cual permite garantizar que la corriente que requiere la planta, no dañe los dispositivos conectados antes de ella (Micro Controlador, DAC.) **Ver Figura 12.**

Figura 8. Conversión Digital Análoga (DAC)



Fuente: Autores

Figura 9. Diagrama Electrónico Completo para Recepción y Trasmisión de Datos y Realimentación del Sistema

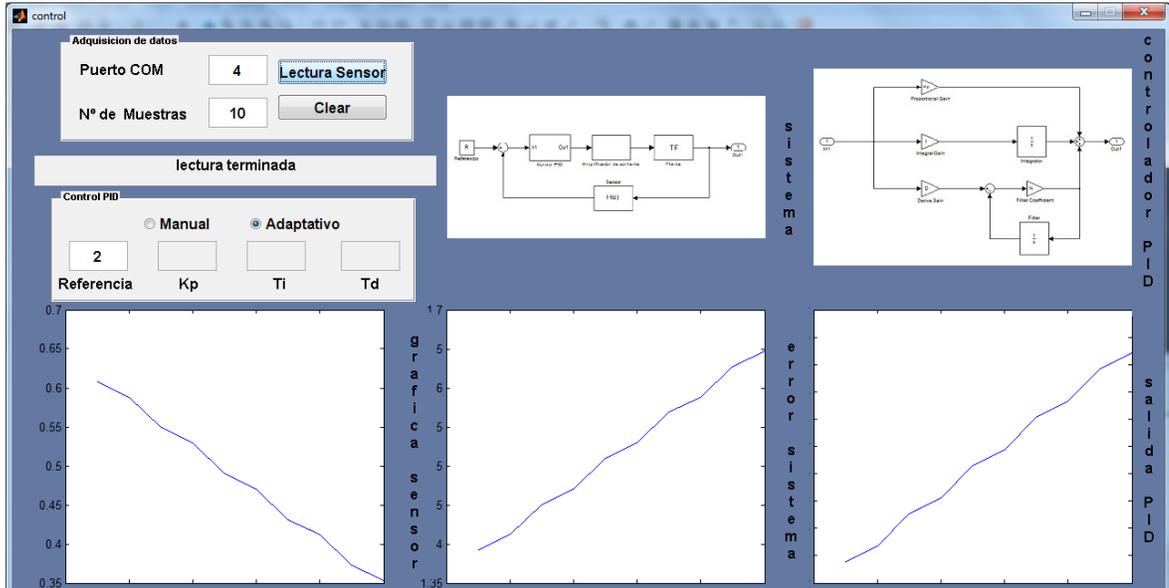


Fuente: Autores

Ya que el objetivo del proyecto es diseñar un controlador de acuerdo a los parámetros de sintonización de Ziegler y Nichols, se realizó las siguientes pruebas con planta en lazo abierto para determinar las características del primer método de la teoría. **Ver Anexo E.**

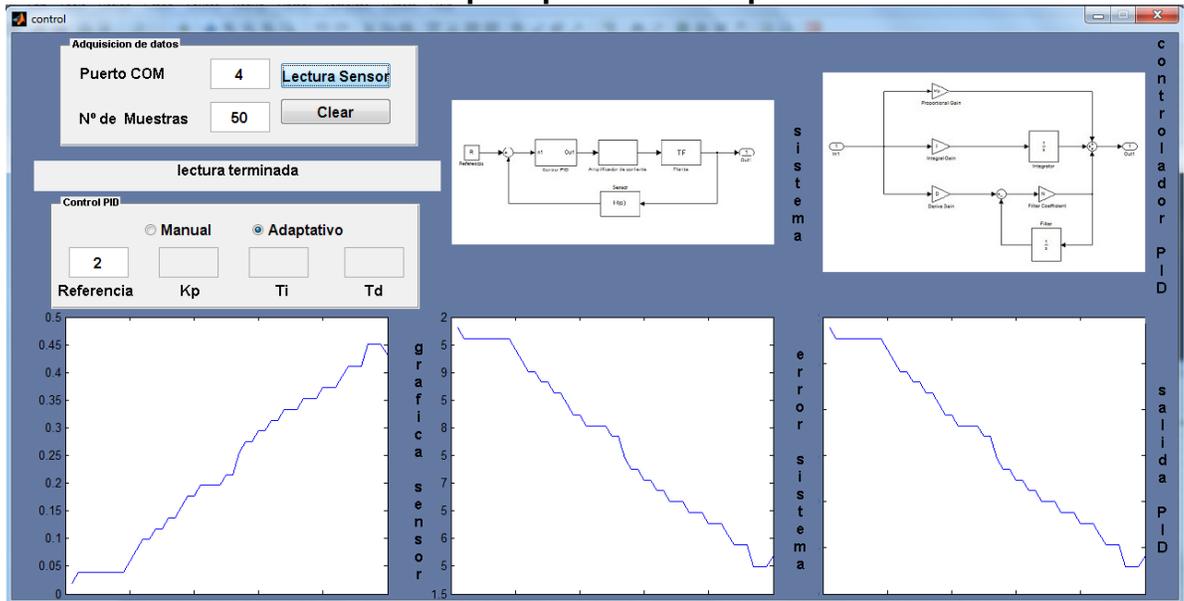
En **las Ilustraciones 4 y 5.**, se puede observar el funcionamiento de la recepción de los datos simulados, se verá reflejada la señal que ingresa a la planta. Donde se denota que es superior al error, debido que se utiliza ya como referencia de datos adquiridos en diferentes pruebas realizadas a los sistemas.

Ilustración 4. Funcionamiento para Planta de Temperatura



Fuente: Autores

Ilustración 5. Funcionamiento para planta de temperatura



Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

Se diseña un control semiautomático que convierte a los autores en pioneros en este tipo de implementación de sistema para operar en el ámbito educativo, porque estos controladores, son herramientas que minimizan los procesos y cálculos matemáticos teniendo una respuesta acertada.

Se determina que el método de sintonización de Ziegler-Nichols, propuesto y desarrollado en este trabajo de grado, es importante para el desarrollo base del algoritmo programado.

Para evitar fallas en la comunicación entre planta e interfaz gráfica (por ancho de banda es de 1Khz y Matlab en modelo desarrollado), se debe utilizar un ancho de banda por debajo del controlador Ziegler-Nichols.

Se debe utilizar dos micros controladores para que no se genere falla de sobre-flujo en la comunicación asíncrona que se propuso implementar y que poder trabajarlos como un Sistema en Tiempo Real. (STR

ANEXOS

Anexo A. (Programa para Configuración ADC). Configuración de los Puertos ADC y Rs232

```

;1 -> pin como entrada // 0 -> pin como salida
port_config
    bsf      status,rp0
    clrf    portb
    movlw  b'10111111'
    movwf  trisc
    bcf      status,rp0
    return

rs232_config
    bsf      status,rp0
    movlw  0x19          ;9600
    movwf  spbrg
    movlw  b'00100100'  ;BRGH=1
    movwf  txsta
    bcf      status,rp0
    movlw  b'10010000'
    movwf  rcsta
    return

adc_config
    bsf      status,rp0
    movlw  b'00001110'  ;justificado a la izquierda,fosc/8, an0

Analogo
    movwf  adcon1      ;configura el pin AN0 como entrada analoga y
                        ;demás pines como digitales
    movlw  b'00000001' ;configura el pin1 del regA como entrada, y
                        ;demás como salidas
    movwf  trisa
    bcf      status,rp0
    movlw  b'01000001'
    movwf  adcon0
    return

retardo      ;960ms
    movlw  .22
    movwf  PDel0

PLoop0
    movlw  .54
    movwf  PDel1

PLoop1
    movlw  .201
    movwf  PDel2

```

Fuente: Autores

Anexo A. (Continuación)

```
PLoop2
    clrwdt
    decfsz PDeI2,1
    goto PLoop2
    decfsz PDeI1,1
    goto PLoop1
    decfsz PDeI0,1
    goto PLoop0
    PDeIL1      goto PDeIL2
    PDeIL2      clrwdt
    return
inicio
    clrf porta
    clrf portb
    clrf portc
    call port_config
    call rs232_config
    call adc_config
    call retardo
    call retardo
    call retardo
dos
    bsf      adcon0,2
uno
    nop
    nop
    btfsc adcon0,2
    goto uno
    movfwadresh
    movwfporth
    movfwportb
    movwftxreg
    call retardo
    goto dos
end
```

Fuente: Autores

Anexo B. Programa para Configuración de Puertos y Comunicación con Matlab

```
clear all
clc

temperatura = [];

%-----recepción serial-----

%configuramos el puerto de recepción
s=serial('COM5')           ;en este caso el puerto queda de libre uso para
                           ;configurar en la interfaz.
set(s,'BaudRate',9600); la velocidad de trasmision
set(s,'DataBits',8);
set(s,'Parity','none');
set(s,'StopBits',1);
set(s,'flowcontrol','none');
set(s,'requesttosend','off')
set(s,'timeout',5)
set(s,'inputbuffer',1)

%abre el puerto
fopen(s)

%lee y almacena los datos de entrada al buffer (toma 10 muestras)

for i=1:30

    temperatura(1,i)=fread(s);
end

%cierra el puerto
fclose(s)

%eliminamos puerto
delete(s)
clear s

%graficamos resultado
temperatura=(temperatura/255)*5;
plot(temperatura)
```

Fuente: Autores

Anexo C. Programa para Visualizar los Parámetros de Interfaz

```
% --- Executes on button press in sensor.
function sensor_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes on button press in sensor.
clc

com = str2num(get(handles.com,'String'))
nm = str2num(get(handles.n_muestras,'String'))
ref = str2num(get(handles.referencia,'string'))
kp = str2num(get(handles.kp,'string'))
ti = str2num(get(handles.ti,'string'))
td = str2num(get(handles.td,'string'))
man=get(handles.manual,'Value')
ada=get(handles.adaptativo,'Value')

temperatura=[];
flag=0;

%-----
if (man == 1) && (ada == 0)

if length(com) == 0

    set(handles.warning,'String','ingrese N° de puerto COM');

elseif length(nm) == 0

    set(handles.warning,'String','ingrese numero de muestras a tomar');

elseif length(ref) == 0

    set(handles.warning,'String','ingrese el nivel de referencia del sistema')

elseif length (kp) == 0

    set(handles.warning,'String','ingrese constante proporcional')

elseif length (ti) == 0

    set(handles.warning,'String','ingrese constante integral')

elseif length (td) == 0

    set(handles.warning,'String','ingrese constante derivativa')
```

Fuente: Autores

Anexo C. (Continuación)

```
elseif (length(com)~= 0) && (length(nm) ~= 0) && (length(ref) ~= 0) && (length(kp)
~= 0)    % --> si es manual

    set(handles.warning,'String','espere..... adquiriendo muestras')
    flag=1;

end

end

%-----

if (man == 0) && (ada == 1)

if length(com) == 0

    set(handles.warning,'String','ingrese N° de puerto COM');

elseif length(nm) == 0

    set(handles.warning,'String','ingrese numero de muestras a tomar');

elseif length(ref) == 0

    set(handles.warning,'String','ingrese el nivel de referencia del sistema')

elseif (length(com)~= 0) && (length(nm) ~= 0) && (length(ref) ~= 0)

    set(handles.warning,'String','espere..... adquiriendo muestras')
    flag=1;

end

end
```

Fuente: Autores

Anexo D. Programa para Configuración DAC

```

port_config      bsf          status,rp0
                  clrf      portb
                  movlw b'10111111'
                  movwf trisc
                  bcf          status,rp0
                  return
rs232_config     bsf      status,rp0
                  movlw      0x19          ;9600
                  movwf      spbrg
                  movlw b'00100100'      ;BRGH=1
                  movwf txsta
                  bcf      status,rp0
                  movlw      b'10010000'
                  movwf      rcsta
                  return
adc_config       bsf          status,rp0
                  movlw b'00001110'      ;justificado a la izquierda,fosc/8,
an0 Analogo      movwf adcon1              ;configura el pin AN0 como
                  entrada analoga y demás pines como digitales
                  movlw b'00000001'      ;configura el pin1 del regA como
                  entrada, y demás como salidas
                  movwf trisa
                  bcf          status,rp0
                  movlw b'01000001'
                  movwf adcon0
                  return

retardo          movlw      .22          ;960ms
                  movwf      PDel0
PLoop0          movlw      .54
                  movwf      PDel1
PLoop1          movlw      .201
                  movwf      PDel2
PLoop2          clrwdt
                  decfsz    PDel2,1
                  goto      PLoop2
                  decfsz    PDel1,1
                  goto      PLoop1
                  decfsz    PDel0,1
                  goto      PLoop0

```

Fuente: Autores

Anexo D. (Continuación)

```
PDeIL1      goto  PDeIL2
PDeIL2      clrwdt
            return
inicio
            clrf  porta
            clrf  portb
            clrf  portc
            call  port_config
            call  rs232_config

            call  retardo
            call  retardo
            call  retardo
uno
            btfss pir1,rcif
            goto  uno

            movfwrcreg
            movwfportb

dos
            btfsc  pir1,rcif
            goto  dos

            goto  uno

            end
```

Fuente: Autores

Anexo E. Programa para Obtención de Datos de Planta para la Identificación de Características de Ziegler y Nichols

```
Clc
C= xlsread('Datos prueba de planta de temperatura.xlsx', 'A4:C1004');
F= xlsread('Datos prueba de planta de temperatura.xlsx', 'F4:H1004');
P= xlsread('Datos prueba de planta de temperatura.xlsx', 'K4:M1004');
%primera grafica
[cual,donde]=min(C)
w =donde(:,3);
TiempominA = C(w,1)
corteminA = C(w+4,3)
TiempominA = TiempominA+TiempominA*0.03%tiempo minimo mas un
porcentaje de tolerancia
[cual,donde]=max(C);
j =donde(:,3);
TiempomaxA = C(j,1);
cortemaxA = C(j-26,3)
TiempomaxA = TiempomaxA-TiempomaxA*0.04% tiempo maximo menos un
porcentaje de tolerancia
J = C(:,3);
W = C(:,1);
A = C(:,2);
% segunda grafica
[cual,donde]=min(F)
r =donde(:,3)
Tiempomin = F(r,1)
cortemin = F(r+7,3)
Tiempomin = Tiempomin+Tiempomin*0.03%tiempo minimo mas un
porcentaje de tolerancia
[cual,donde]=max(F);
e =donde(:,3);
Tiempomax = F(e,1);
cortemax = F(e-26,3)
Tiempomax = Tiempomax-Tiempomax*0.04% tiempo maximo menos un
porcentaje de tolerancia
q = F(:,3);
s = F(:,1);
%A = F(:,2);
```

Fuente: Autores

Anexo E. (Continuación)

```
%tercera grafica
[cual,donde]=min(P);
o =donde(:,3);
T3 = P(o,1);
corteminx = P(o+4,3)
T3 = T3+T3*0.03%tiempo minimo mas un porcentaje de tolerancia
[cual,donde]=max(F);
e =donde(:,3);
Tmax3 = P(e,1);
cortemaxx = P(e-26,3)
Tmax3 = Tmax3-Tmax3 *0.04% tiempo maximo menos un porcentaje de
tolerancia
m = P(:,3);
n = P(:,1);
% grafica
plot
(s,q,Tiempomin,cortemin,'b+:',Tiempomax,cortemax,'b+:',W,J,TiempominA,c
orteminA,'r+:',TiempomaxA,cortemaxA,'r+:',n,m,T3,corteminx,'g+:',Tmax3,cor
temaxx,'g+:')% Grafica
axis([0 210 0.1 5.5]); % Ejes
xlabel('Tiempo(seg)'); % Etiquetado del eje horizontal
ylabel('Amplitud'); % Etiquetado del eje vertical
title('GRAFICA PLANTA DE TEMPERATURA'); % Nombre del gráfico
```

Fuente: Autores

BIBLIOGRAFIA

Alique, José Ramó. Control Adaptativo Inteligente para la Optimización de los Procesos de Fresado..

Control de un Robot Tipo PUMA Utilizando Redes Neuronales.

Desarrollo de un Sistema de Control Adaptativo Tipo Programador de Ganancia para la Regulación del Nivel en un Tanque Esférico. Revista Ingeniería UC, VOL. 16, NO. 3, Diciembre (2009) 34 44

Integración del Control Adaptativo Predictivo Expertos en los Sistemas de Control Disponibles en el Mercado

Medina, Pablo. Estudio del Desempeño del Motor de Inducción, pág. 7.

Cuadrado, Alberto. Prácticas de Diseño de Sistemas Avanzados de Control: Control Adaptativo. Abel.

Mendiburu, Díaz Henry Antonio. Sistemas de Control, pág. 17.

WEBGRAFIA

www.angelfire.com/electronic/jagp/sem7/pidcont1.html

www.buenastareas.com/ensayos/Reglas-De-Sintonizacion-Para-Controladores-Pid/1389228.html

[http://es.scribd.com/doc/36927413/Control Adaptativo y Robusto.](http://es.scribd.com/doc/36927413/Control-Adaptativo-y-Robusto)

[Http://es.scribd.com/doc/60680156/Diseno y Ajuste-de Controladores - Pid.](http://es.scribd.com/doc/60680156/Diseno-y-Ajuste-de-Controladores-Pid)

<http://proton.ucting.udg.mx/materias/moderno/u54.htm>

www.slideshare.net/balzasbravas/control-adaptativo