

reset-UTS

ISSN 1909-259X

Revista Especializada en Sistemas Informáticos y Electrónicos de Telecomunicaciones

Revista de las Unidades Tecnológicas de Santander

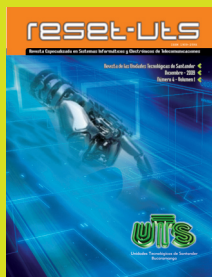
Diciembre - 2009

Número 4 - Volumen I



UTS

Unidades Tecnológicas de Santander
Bucaramanga



RESET UTS. Número 4. Volumen 1. Diciembre de 2009.
Unidades Tecnológicas de Santander.
Oficina de Investigaciones
Centro de Investigaciones de Ciencias Naturales e Ingenierías
Bucaramanga, Colombia, 2009

Apoyo Institucional U.T.S

Rector: Víctor Raúl Castro Neira
Vicerrector: Alfredo Reyes Serpa
Decano Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías:
Rafael Osorio Thomas
Jefe Oficina de Investigaciones:
Fabio Alfonso González
Coordinador Centro de Investigaciones en Ciencias Naturales e Ingenierías:
Carlos Andrés Guerrero Alarcón

Grupo editorial RESET-UTS

Director: Jeison Marín Alfonso
Coordinador Académico: Carlos Andrés Guerrero Alarcón
Coordinador Editorial: Carlos Andrés Guerrero Alarcón

Comité Editorial

Glenn Elmer Hernández Camelo
Marco Fidel Flórez Franco
Jorge Gerardo Concha Sánchez
Luz Elena Gutiérrez López

Comité Científico

Universidad Politécnica de Catalunya, España
Diego Alexander Tibaúiza Burgos
diego.tibaúiza@upc.edu

Universidad Santo Tomás, Colombia

Luis Omar Sarmiento Álvarez
decano.teleco@gmail.com

Universidad Francisco José de Caldas, Colombia

Jimena Vásquez Escamilla
jimena_sistemas@hotmail.com

Universidad Industrial de Santander, Colombia

Edwin Alberto Silva Cruz
edwins@minatec.inpg.fr

Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

Fernando Duran Flórez
fernando.duran@upbga.edu.co

Maat Colombia Ltda, Colombia

Omar Javier Tijero Rojas
otijero@gmail.com

Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

Raúl Restrepo Agudelo
raul.restrepo@upbga.edu.co

Universidad La Salle, Colombia

Edwin Francisco Forero García
edwin.forero@hotmail.com

Universidad Industrial de Santander, Colombia

Rodrigo Correa
rcorrea@uis.edu.co

Gestión de la Publicación

Antonio Alexi Anteliz Jaimés
Jorge Virgilio Rivera Gutiérrez

Corrección ortográfica y de estilo

María Carolina Jaúregui Paz
Oscar Mauricio Pabón Serrano
Jeison Marín Alfonso

Diseño de Impresión

Impregráficas

ISSN 1909-258X

RESET-UTS Es una publicación de la Oficina de Investigaciones.
Unidades Tecnológicas de Santander.
Calle de los Estudiantes No 9-82
Ciudadela Real de Minas
Teléfono: 6413000 Ext.: 214
Bucaramanga- Colombia
Web: <http://www.uts.edu.co/reset/>
E-mail: reset@uts.edu.co

Contenido

2

EDITORIAL

3



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DEL ENFRIADOR DE LEVADURA CERCERA EN LA PLANTA BAVARIA S.A. BUCARAMANGA.

Carlos Andrés Carrillo Quintero, Hernando González Acevedo, Diego Rolando Mahecha Capacho
Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia

8



FUENTE DE CORRIENTE DE ALTO VOLTAJE, DISEÑADA PARA APLICACIONES MÉDICAS.

Carlos Humberto Esparza Franco
IONIX, Colombia

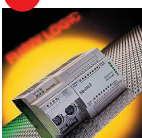
15



SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE LOCACIONES, BASE PARA LA GENERACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA.

Laura Cristina Quiroga Ardila, Diego Rolando Mahecha Capacho, Hernando González Acevedo
Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia

21



IMPLEMENTACIÓN Y ESTUDIO COMPARATIVO DE TÉCNICAS DE CONTROL PID Y FUZZY EN CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES.

Diego Fernando Ordoñez Cañón, Maiger Jacome Solano, Fabio Alfonso González
Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia

28



PROTOTIPO DE PRÓTESIS PARA LA MANO DERECHA.

Eyercid Gelvez Estevez, Fabio Alfonso González
Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia

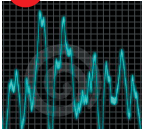
37



ESPECTRO DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS EN UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO Y SU APLICACIÓN EN EL DIAGNÓSTICO DE FALLAS.

Antonio Alexi Anteliz Jaimés
Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia

42



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SENSOR DE VIBRACIÓN CON CONEXIÓN ETHERNET QUE INCORPORA TÉCNICAS DE COMPRESIÓN DE DATOS.

Bernardo Andrés Acero Ruiz, Erwin John Saavedra Mercado, Jaime Freddy Ricardo Barrera
Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia

48



CARACTERIZACIÓN DE ANTIPATRONES EN EL PROCESO DE DESARROLLO WEB.

Luz Elena Gutiérrez López.
Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia

53



IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL DE LOS RECUBRIMIENTOS EXPUESTOS A ATMÓSFERAS CORROSIVAS POR MEDIO DE TRATAMIENTO DE IMÁGENES.

Úrsula Andrea Ordoñez Caicedo, Robinson Geovany Vesga Latorre, Marco Fidel Flórez Franco
Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia



© Derechos Reservados Unidades Tecnológicas de Santander

Cada artículo es responsabilidad de su autor y no refleja la posición de la revista. Para la publicidad parcial o total de algunos de los artículos, deberá solicitarse autorización a las Unidades Tecnológicas de Santander o directamente al autor.



IMPLEMENTACIÓN Y ESTUDIO COMPARATIVO DE TÉCNICAS DE CONTROL PID Y FUZZY EN CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

Diego Fernando Ordoñez Cañón

Ingeniero en Control Electrónico e Instrumentación
Grupo de Investigación en Control Avanzado. GICAV
Unidades Tecnológicas de Santander
diorcaf@gmail.com
Colombia

Maiger Jacome Solano

Ingeniero en Control Electrónico e Instrumentación
Grupo de Investigación en Control Avanzado. GICAV
Unidades Tecnológicas de Santander
maiger20@yahoo.es
Colombia

Fabio Alfonso González

Ingeniero Electricista
Magíster en Potencia Eléctrica
Grupo de Investigación en Control Avanzado. GICAV
Unidades Tecnológicas de Santander
cinv@uts.edu.co
Colombia

RESUMEN. Este documento presenta una comparación experimental de desempeños de un controlador convencional PID y un controlador experto FUZZY, evaluados tanto en seguimiento a referencias como en rechazo a perturbaciones, implementados en un controlador lógico programable (PLC) y aplicados en el control de un prototipo de levitación neumática, caracterizado por ser de dinámica no lineal y sensible a perturbaciones. Con este trabajo se puede confirmar por una parte, la superioridad que otorga el controlador FUZZY como técnica de control avanzado sobre los controladores clásicos PID en sistemas no lineales, y por otra parte la alta potencialidad de los PLC en aplicaciones de control continuo y no solo secuencial.

Palabras claves. PLC, Fuzzy, Levitador, PID.

ABSTRACT. This paper present, an experimental comparison of performances between a controller conventional PID and an expert controller FUZZY, evaluated as much as setpoint following and attenuation of load disturbances, implemented in a Programmable Logic Controller (PLC) and applied in a prototype of pneumatic levitation, this is characterized for has an dynamic nonlinear and sensitive a disturbance. This job confirm the superiority of the controller FUZZY as like technical of controller advanced, on the controllers classic PID in nonlinear systems, and on the other hand the high potential of the PLC in applications of continue control and not only sequential control.

Keywords. PLC, Fuzzy, Levitador, PID.

INTRODUCCIÓN

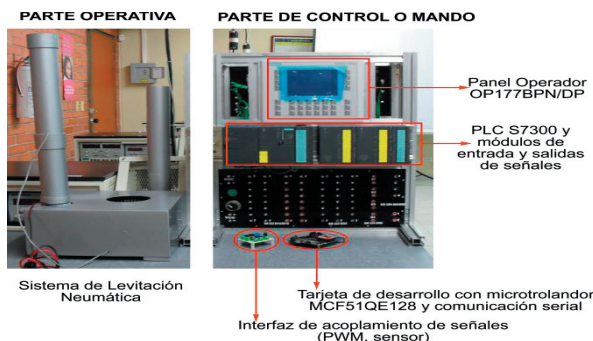
Más de la mitad de los controladores industriales que se implementan hoy en día utilizan esquemas de control PID [4], particularmente los procesos que pueden ser descritos por dinámicas de primer y segundo orden [1], ya que proporcionan tiempos de respuesta rápidos. Sin embargo, cuando la dinámica de los sistemas a controlar es no lineal, el control debe tener la capacidad de compensar esta no-linealidad, y aunque el control PID asume relaciones lineales, éste puede mejorar su desempeño ante sistemas no lineales con una sencilla pero muy eficiente técnica conocida como “Ganancia Tabulada” [2].

Por otra parte, dicha no-linealidad difícilmente puede ser caracterizada por una ecuación, por lo que en la mayoría de los casos es tratada de manera subjetiva por el operador del proceso [5]. Esta subjetividad tiene implicaciones profundas para poder modelar este tipo de sistemas a través de la lógica difusa, pues esta permite capturar estrategias cualitativas de control e implementar un comportamiento de control altamente flexible. Con esto se puede lograr que sistemas altamente no lineales puedan ajustarse a condiciones cambiantes que son muchas veces imposibles de predecir, tales como los cambios ambientales o las condiciones de desgaste en los componentes físicos de la plantas.

Por tanto, se realizó un estudio comparativo entre un control clásico PID y un controlador experto Fuzzy, aplicados a un prototipo de levitación neumática (sistema monovariable, inestable, con una dinámica no lineal y sensible a perturbaciones), con el objetivo de determinar cual desempeño es superior en cuanto a perturbaciones, tiempo de respuesta y estabilidad aplicados a un sistema no lineal.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL

La estructura de un sistema automatizado se divide por lo general en dos partes: por un lado la parte operativa, formada por los elementos que constituyen el conjunto mecánico del sistema; y por otro lado la parte de control o mando [3], la cual independientemente de su implementación tecnológica (electrónica, neumática, hidráulica etc.), es la unidad encargada de coordinar las diferentes operaciones orientadas a mantener bajo control la parte operativa, como se muestra en la Figura 1.



Tomado de: Autores
Figura 1. Componentes del sistema automatizado del prototipo de levitación neumática.

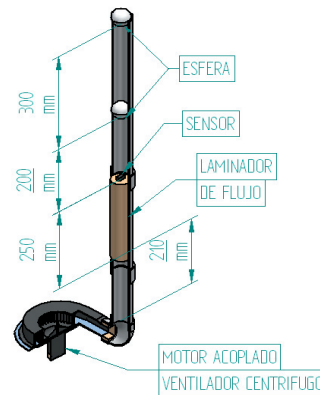
1.1 ETAPA DE CONTROL O MANDO

La etapa de control o mando quedó estructurada por tres componentes básicos: un PLC S7-300 como maestro, el cual realiza la lectura del sensor y ejecuta los algoritmos de control PID y FUZZY; un PLC S7-200 como esclavo, el cual aplica la acción de control por la facilidad que éste brinda en la parametrización de salidas por modulación de ancho de pulsos (PWM); y una interfaz hombre máquina (HMI) para visualizar tanto la variable del proceso como la controlada; todos interconectados mediante una red PROFIBUS.

1.2 ETAPA OPERATIVA

El sistema de levitación neumática consiste en tener un control de flujo de aire constante a través de un ventilador que está ubicado en la base de un tubo que contiene, comúnmente, una esfera; con el propósito de mantener una igualdad entre la fuerza del aire y el peso del cuerpo (esfera) dentro del “túnel”.

El sistema lo constituye un ventilador centrífugo accionado por un motor de corriente directa (DC), conectado a través de una interfaz todo-nada de aislamiento galvánico a una salida PWM del controlador esclavo del sistema. El ventilador centrífugo tiene un tubo acoplado a su salida por el cual se desplaza la esfera, y dentro del cual se encuentra un laminador de flujo que mejora las características del aire circulante; justo encima de éste se halla el instrumento encargado de medir la posición de la esfera.



Tomado de: autores

Figura 2. Prototipo de levitación neumática.

1.2.1 Respuesta Característica del Sistema de Levitación Neumática ante una Entrada Rampa.

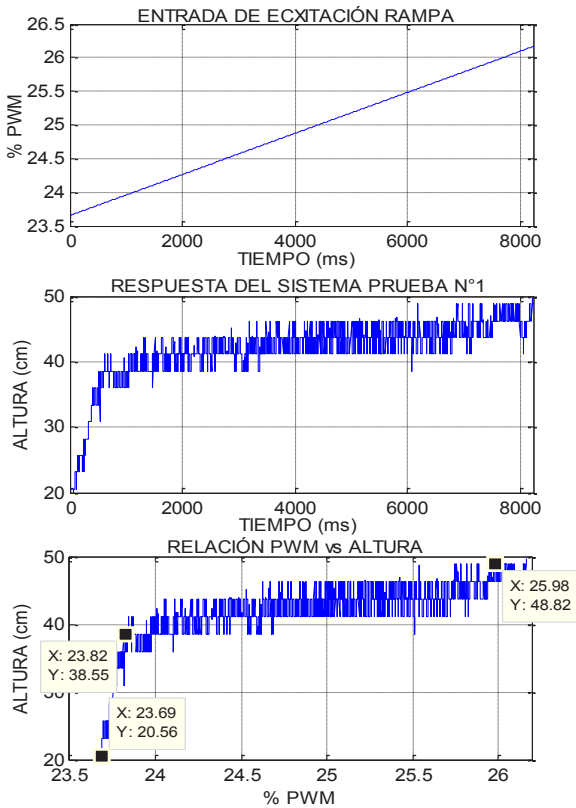
Con el fin de conocer la respuesta característica de la planta, y determinar patrones que faciliten la implementación de las estrategias de control sobre el mismo, se aplicó una señal de tipo rampa a la entrada.

La respuesta de la planta permite determinar la no linealidad del sistema. En la figura 3 se puede observar que el cambio de porcentaje de PWM que se aplica al actuador, se hace de manera lineal ascendente y a velocidad moderada; a pesar de esto la esfera experimenta un cambio súbito en su posición, pasando de aproximadamente 20,56 (cm), a 38,55

(cm), con una razón de cambio en el porcentaje de PWM mínima de 0,13 %; mientras que en un cambio de posición de 38,55 cm a 48,82 cm el porcentaje de cambio de PWM es de 2,16 %, siendo la primera la zona mas exigente para los controladores.

2. IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR PID

En situaciones donde es mas complejo obtener un modelo matemático de la planta que represente su comportamiento real, tal como sucede con el levitador neumático, no es posible aplicar un método analítico que precise los parámetros del controlador. Por tanto, se recurrió a procedimientos experimentales para la sintonía del controlador PID [4].



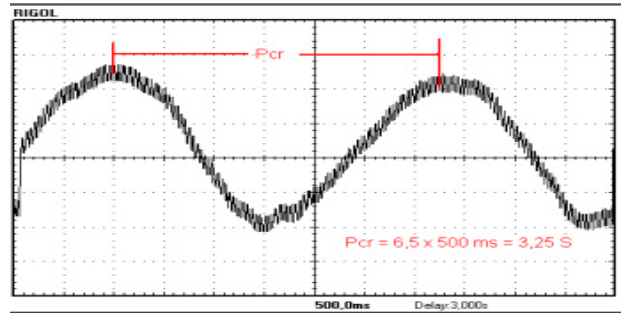
Tomado de: Autores
Figura 3. Entrada rampa, respuesta del Sistema de Levitación Neumática y curva de relación entre el porcentaje PWM de entrada y la altura correspondiente a ubicación de la esfera

Para la sintonización del sistema se utiliza el “Método de Ciclo Continuo” basado en los siguientes parámetros.

1. Se fija $K_P = 1$, $K_I = \infty$, Y $K_D = 0$.
2. La ganancia proporcional se incrementa hasta encontrar un valor de K_P que haga oscilar la respuesta del sistema sostenidamente. El valor de ganancia proporcional crítico que ocasionó una oscilación constante de la respuesta del sistema fue de $K_{cr} = 6.5$

3. Se mide el período de oscilación del sistema para dicha ganancia K_{cr} , denominado período crítico P_{cr} .

Una vez medidos experimentalmente los valores de K_{cr} y P_{cr} , son aplicadas las ecuaciones sugeridas por Ziegler – Nichols (Tabla 1), y se calculan los parámetros de sintonía para el PID K_p, T_i, T_d .



Tomado de: Autores
Figura 4. Oscilaciones sostenidas a una $K_{cr} = 6,5$ y $P_{cr} = 3,25$ S.

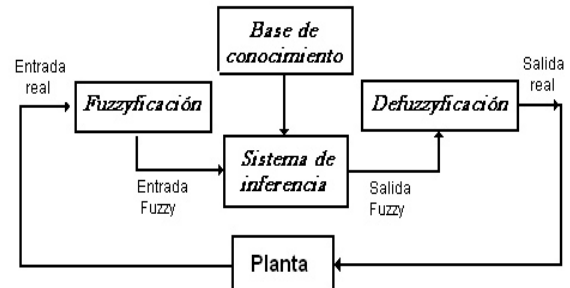
Tipo de controlador	K_P	K_I	K_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$0.833P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Tomado de: Autores
Tabla 1. Reglas de sintonización de Ziegler-Nichols basadas en la ganancia crítica

Obtenidos los parámetros de sintonización del controlador PID, estos se fijaron al DB (Bloque de datos) correspondiente a la función de control PID.

3. IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR FUZZY

Se programó un controlador difuso de dos entradas y una salida en lenguaje FUP (diagramas de funciones).



Tomado de: Autores
Figura 5. Etapas del controlador difuso

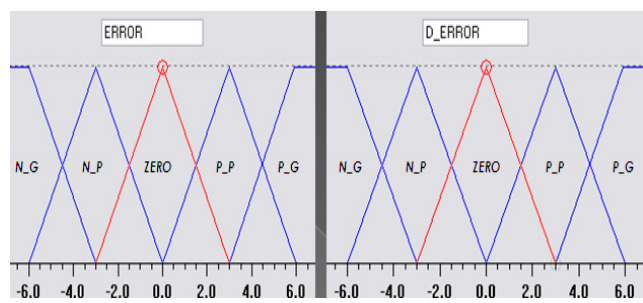
3.1 FUZZIFICACIÓN

En esta etapa se realiza la conversión de una variable no Fuzzy a un valor Fuzzy, es decir, la traducción del valor numérico de las variables de entrada en términos de variable lingüísticas.

Las funciones de pertenencia utilizadas en el controlador fueron de forma triangular y trapezoidal, considerando que se buscaba tener un error mínimo para el sistema. Se estableció al realizar varias pruebas y analizar el error de estado estable para el controlador PID, que los límites que permiten obtener un mejor desempeño al sistema, ubicaban a las funciones de pertenencia en un rango de "error" comprendido entre -6 y 6.

En la elección del número de particiones, es decir, el número de términos lingüísticos, se utilizó la verbalización; esta se basa exclusivamente en descripciones verbales de los operadores acerca de su actuación, por lo que este tipo de controlador, también es conocido como control experto. Se estableció una división de 5 particiones: dos funciones trapezoidales ubicadas en los extremos, donde para errores mayores que 6 y menores que -6 su fuzzyficación aporta el máximo valor de error dado por el término lingüístico Error Negativo grande o Error positivo grande; y tres reglas triangulares posicionadas teniendo su máximo valor en -3, 0 y 3, como se observa en la Figura 6.

Este controlador cuenta con dos entradas que están definidas como "error" y la "derivada del error". La razón primordial por lo cual la segunda entrada del controlador Fuzzy es la derivada del error, se deduce en el concepto matemático de la derivada, siendo esta la herramienta adecuada para medir la rapidez con que se produce el cambio de una magnitud o situación, en este caso la tasa de cambio del error.



Tomado de: Autores
Figura 6. Reglas de membresía.

3.2 INFERENCIA (BASE DE REGLAS LINGÜÍSTICAS)

Es el conjunto de reglas lingüísticas que modela el sistema, las cuales se obtuvieron a partir del comportamiento observado en el controlador PID. Este controlador consta de conjuntos difusos tanto de entrada como de salida, la representación geométrica de salida es de tipo singleton (peso concentrado o discreta); el conjunto de reglas difusas que modelan el problema son proposiciones de tipo: IF error is NEG_P AND d_error is ZERO THEN PWM is NEG_P.

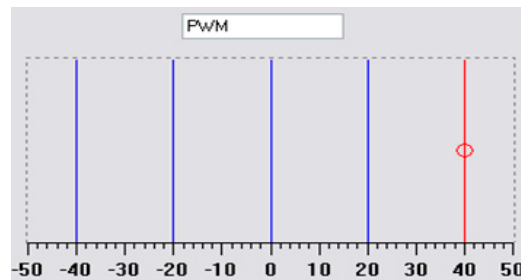
	D_ERROR				
	N_G	N_P	ZERO	P_P	P_G
N_G	PWM_N_G	PWM_N_G			
N_P	PWM_P_G	PWM_N_P	PWM_N_P		
ZERO		PWM_P_P	PWM_ZERO	PWM_N_P	
P_P			PWM_P_P	PWM_P_P	PWM_N_G
P_G				PWM_P_G	PWM_P_G
ERROR					

Tomado de: Autores
Tabla 2. Matriz de reglas lingüísticas que constituyen la base de conocimiento del controlador experto.

3.3 DEFUZZIFICACIÓN

Esta etapa se encarga de entregar al proceso acciones de control deterministas a partir de salidas Fuzzy resultantes de la inferencia composicional de las reglas, es decir, convertir un valor no Fuzzy determinado por la combinación de las reglas en el motor de inferencia a una variable numérica de control.

El conjunto difuso de salida tiene como representación geométrica las funciones de membresía tipo "Singleton", los cuales en esencia designan un único valor para la salida por función de membresía. El método de inferencia composicional utilizado para este tipo de geometría es diferente que el usado en modelos basados en regiones Fuzzy. Aquí en vez de realizar una combinación de las regiones Fuzzy de salida, los singleton son proporcionalmente modificados, por cada regla que aporta a un conjunto de salida.



Tomado de: Autores
Figura 7. Funciones de membresía de salida, tipo Singleton.

Cada Singleton de salida, al igual que los términos lingüísticos de los conjuntos Fuzzy de entrada, son identificados por un título. El conjunto difuso de salida se denominó PWM_OUT, dividido en 5 Singleton ubicados de izquierda a derecha; los valores de dominio para los Singleton de este sistema son el valor de operación de cada setpoint más un -40%, -20%, 0%, 20%, y 40% respectivamente.

4. EVALUACIÓN COMPARATIVA DE DESEMPEÑOS, ENTRE LOS CONTROLADORES PID Y FUZZY

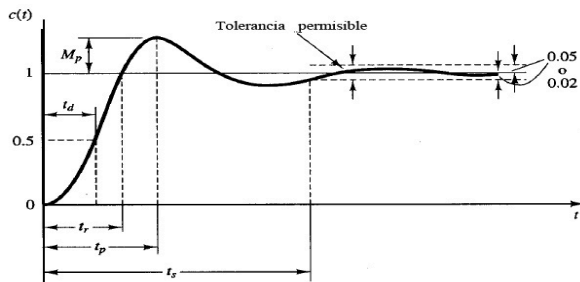
El desempeño de un controlador, generalmente es evaluado en el seguimiento a referencia y/o en el rechazo

a perturbaciones, según el objetivo principal con que se aborde la solución del problema de control; ya sea que se busque que el sistema alcance más rápido el valor final o que se recupere prontamente ante perturbaciones, es importante una evaluación de las restricciones principales de la planta como son, dinámica del sistema, no linealidades, perturbaciones, incertidumbre del proceso, entre otras [2].

Tanto para el seguimiento a referencia como en el rechazo a perturbaciones, se exigen algunas especificaciones, las cuales pueden ser expresadas en diferentes maneras; como en, características de tiempos de respuesta para una entrada típica, características de respuesta en frecuencia o en funciones de transferencia.

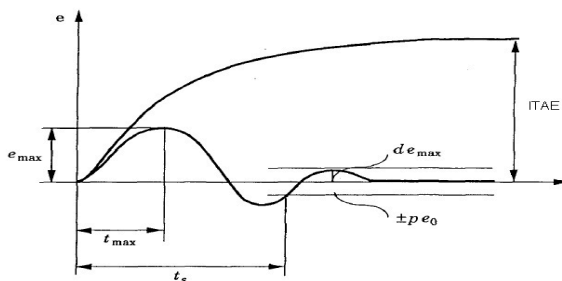
Para la comparación de las estrategias de control PID y Fuzzy aplicadas al prototipo de levitación neumática, se optó por examinar el seguimiento a referencia del controlador por las características de tiempo de respuesta, el cual se mide por los parámetros, de la respuesta transitoria y el error de estado estable.

Generalmente cuando los sistemas alcanzan el estado estable y permanecen allí por mucho tiempo, se suelen presentar Perturbaciones, es decir, acciones que afectan la variable de proceso, orientándola fuera del valor deseado. Estas pueden entrar a los sistemas de diferentes maneras por bajas frecuencias, ruidos, condiciones atmosféricas, entre otras. Las especificaciones con las que se caracterizó el error y se mide el rechazo a perturbaciones son e_{max} , tiempo en que logra el máximo error t_{max} , razón de amortiguamiento d , y la Integral del valor absoluto del error ponderado en el tiempo ITAE.



Tomado de: Autores

Figura 8. Especificaciones al "Seguimiento de Referencia" basados en los tiempos de respuesta a una entrada escalón en el Setpoint.



Tomado de: Autores

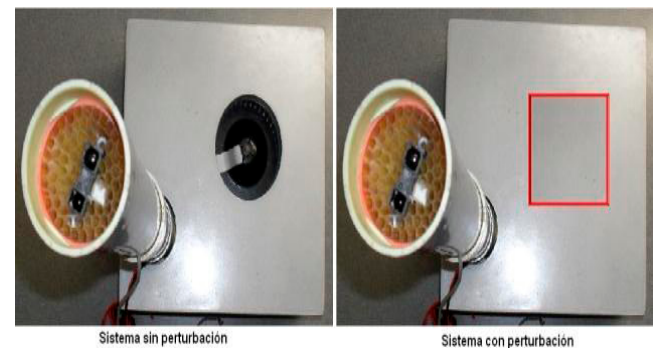
Figura 9. Especificaciones del Error debido a perturbaciones

4.1 CARACTERIZACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS DEL EXPERIMENTO REALIZADO PARA LAS TÉCNICAS DE CONTROL PID Y FUZZY, APLICADO EN UN SISTEMA DE LEVITACIÓN NEUMÁTICA

El desempeño del sistema fue medido para cuatro referencias de posición de la esfera, 30, 35, 40 y 45 (cm). Se registraron datos para sesenta y cuatro (64) pruebas realizadas al sistema, los cuales fueron la base del estudio comparativo entre las técnicas de control PID y FUZZY

Las muestras experimentales se establecieron de la siguiente manera: Cuatro (4) pruebas de seguimiento a referencia por cada posición (30, 35, 40 y 45 cm), tanto para el controlador PID como para el FUZZY, todas partiendo desde el reposo, para un total de treinta y dos (32) pruebas.

La perturbación aplicada al sistema se provocó por obstrucción total del paso de aire al ventilador centrífugo, por un tiempo aproximado de 5 S, como se muestra en la figura 10.



Sistema sin perturbación

Sistema con perturbación

Tomado de: Autores

Figura 10. Sistema con obstrucción total del flujo de aire

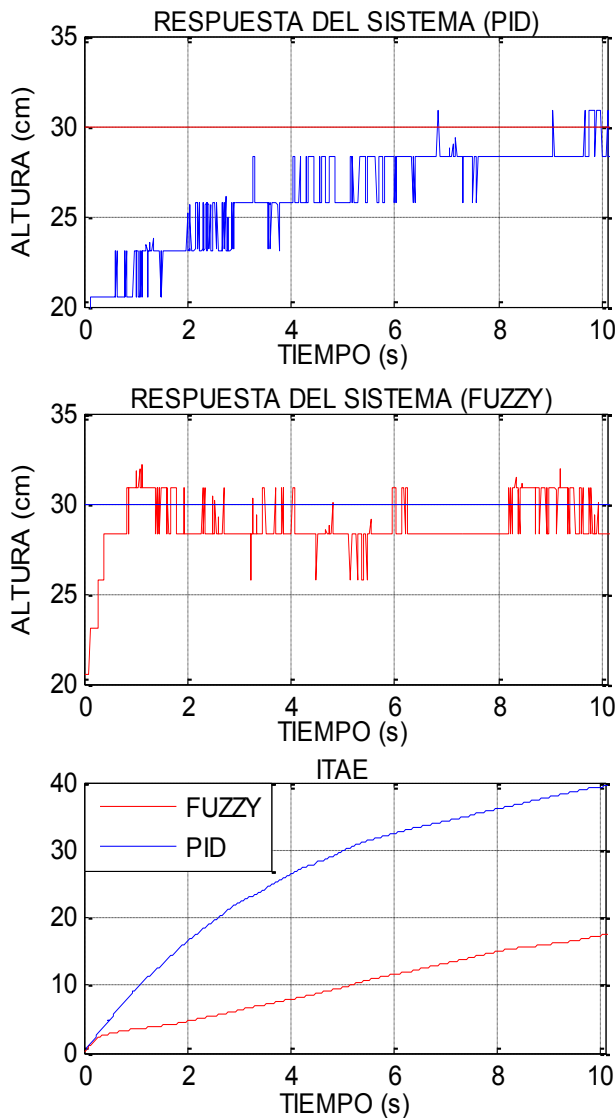
Cuatro (4) pruebas de rechazo a la primera perturbación por cada posición (30, 35, 40 y 45 cm), tanto para el controlador PID como el FUZZY, todas partiendo del estado estable de cada referencia, para un total de treinta y dos (32) pruebas.

La medición de la respuesta del sistema fue implementada con el microcontrolador MCF51QE128 de Freescale, a un tiempo de muestreo de 10 ms, el cual se comunica serialmente a un PC, utilizando como interface de adquisición de datos MATLAB®. Esto fue necesario debido a las restricciones presentadas por el software WinCC, el cual a pesar que es flexible para el almacenamiento de datos, con capacidad de muestrear y presentar variables en Interface Máquina a 100 (ms), sólo es capaz de almacenar datos cada 1 (s), por lo que se pierde información valiosa en lo que respecta a la respuesta del sistema.

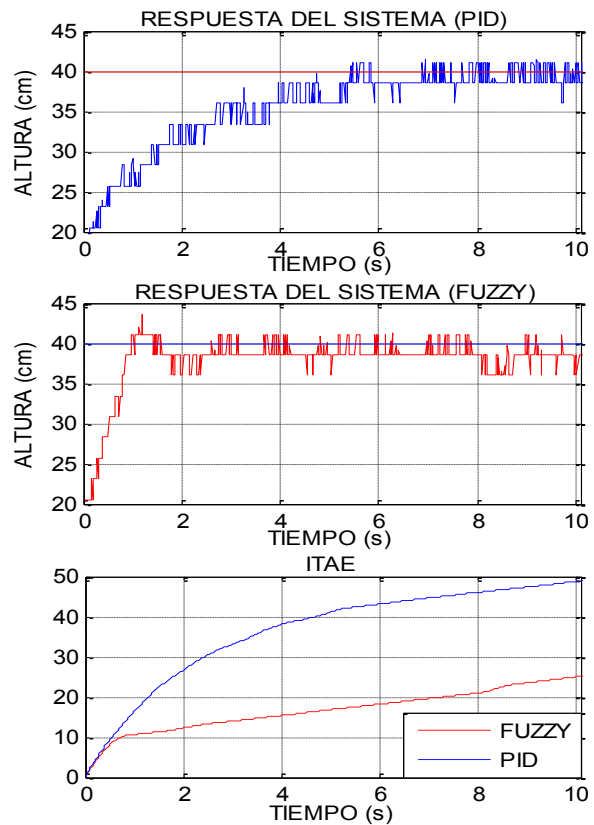
Bajo los parámetros mencionados se procedió a responder por comparación y análisis de los resultados, a la pregunta de investigación: "¿Es superior el desempeño de un controlador Fuzzy, en cuanto a rechazo a perturbaciones y seguimiento a referencia aplicados a un sistema no lineal, en comparación con el de un controlador clásico PID?"

4.2 EVALUACIÓN COMPARATIVA AL “SEGUIMIENTO DE REFERENCIA” Y EL CRITERIO DE LA INTEGRAL DEL VALOR ABSOLUTO DEL ERROR PONDERADO EN EL TIEMPO “ITAE”

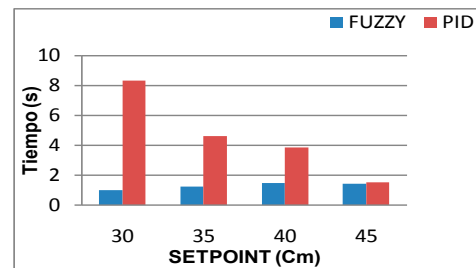
La integral absoluta del error en el tiempo (ITAE) para el controlador Fuzzy, es considerablemente menor a la del controlador PID. Dicho criterio está relacionado directamente con los tiempos de la respuesta transitoria, pues es allí donde es más pronunciada la rapidez del sistema difuso para alcanzar el valor final (setpoint), y por tanto el valor de error acumulado es significativamente menor al ocasionado por la lentitud con que el PID sigue las referencias.



Tomado de: Autores
Figura 11. Comparación de desempeño de los controladores PID y FUZZY en el seguimiento a referencia, con un setpoint de 30 cm.

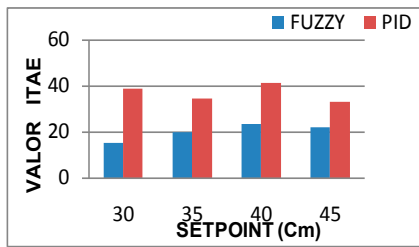


Tomado de: Autores
Figura 12. Comparación de desempeño de los controladores PID y FUZZY en el seguimiento a referencia, con un setpoint de 40 cm.

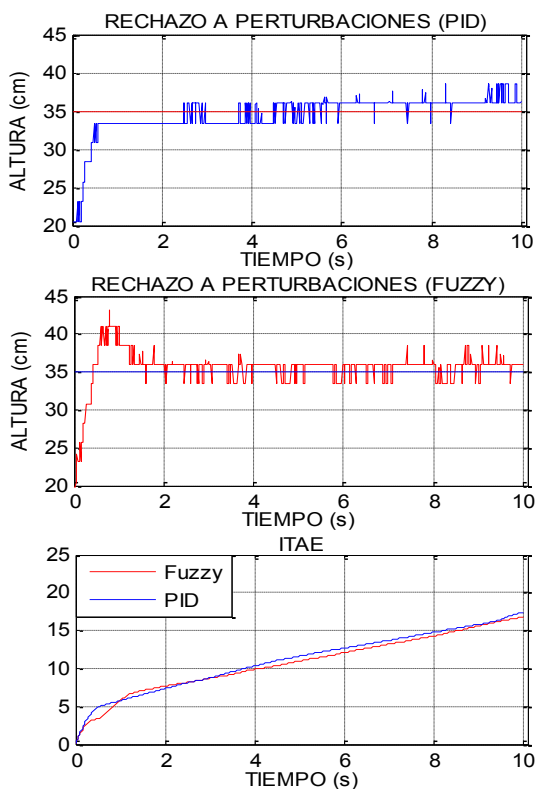


Tomado de: Autores
Figura 13. Comparación del valor promedio del tiempo de asentamiento (ts), en el “seguimiento a referencia”

Aunque ambos controladores logran mantener el error de estado estable en la banda de tolerancia del 5%, el control difuso consigue mayor precisión en la mayoría de los casos, esto es más evidente al observar la Figura.13. Una vez transcurrido el transitorio, la inclinación de la pendiente del ITAE depende directamente del error de estado estable (ESS), lo que significa que las oscilaciones del controlador Fuzzy dentro de la banda de tolerancia son más reducidas respecto a las del PID, obteniendo una menor acumulación del error, por tanto menor pendiente, característica que destaca mayor probabilidad de obtener mejores resultados con dicha técnica de control.



Tomado de: Autores
Figura 14. Comparación de valores promedio ITAE, en el “seguimiento a referencia”

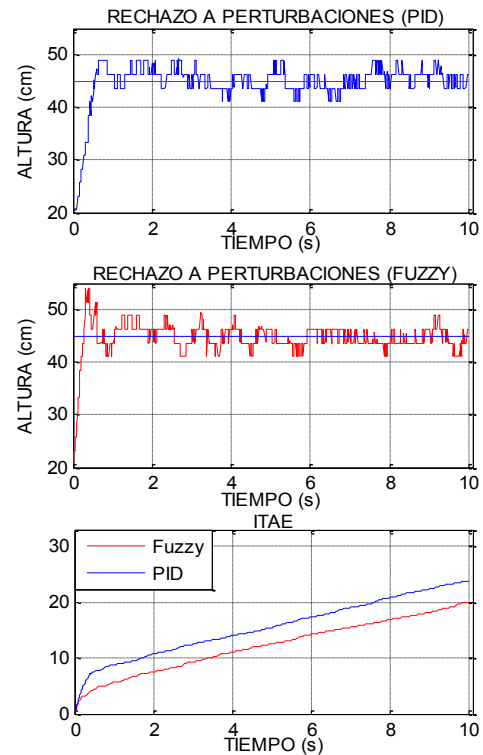


Tomado de: Autores
Figura 15. Comparación de desempeño de los controladores PID y FUZZY en el Rechazo a perturbaciones, con un setpoint de 35 (cm)

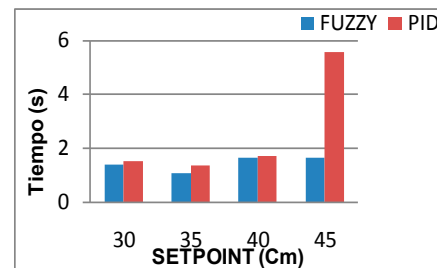
En cuanto al rechazo a perturbaciones, el control Fuzzy presentó tiempos de recuperación inferiores respecto al controlador PID. Esta característica puede atribuirse a las reglas de inferencia programadas a dicho controlador, las cuales orientan el sistema al siguiente comportamiento: si el error es positivo y demasiado grande (esfera muy por debajo del setpoint) y la derivada del error es positiva pero pequeña (esfera muy por debajo del setpoint, pero ascendiendo muy lentamente), entonces hay que acelerar el actuador lo más rápido posible (aumentar el % de PWM al motor), de igual forma sucede con la regla número trece

con la única diferencia de que el ascenso de la esfera ha venido siendo más rápido.

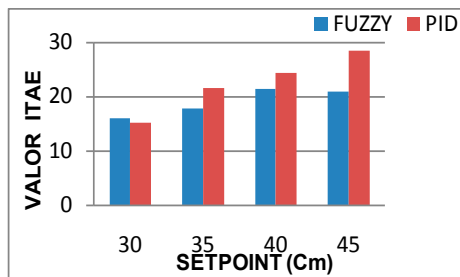
De la misma manera que sucede en el seguimiento a referencia, los tiempos de la respuesta transitoria inciden directamente en la acumulación del error, por tanto el control Fuzzy aún es superior en el rechazo a perturbaciones que el control PID.



Tomado de: Autores
Figura 16. Comparación de desempeño de los controladores PID y FUZZY en el Rechazo a perturbaciones, con un setpoint de 45 (cm).



Tomado de: Autores
Figura 17. Comparación del Valor promedio de los tiempos de asentamiento (ts) en el “rechazo a perturbaciones”



Tomado de: Autores

Figura 18. Comparación del valor promedio del ITAE, en rechazo a perturbaciones para los controladores PID y FUZZY.

5. CONCLUSIONES

El construir una plataforma experimental como el Sistema de Levitación Neumática, que tiene características dinámicas no lineales, y que por tanto establece mayores exigencias en el diseño de los controladores, fue fundamental en el estudio comparativo entre el control PID y FUZZY, a su vez se constituye en una herramienta útil en aplicaciones de investigación dentro del área del control automático, donde se puede experimentar otros métodos clásicos y modernos de diseño de ingeniería en control.

La primera técnica de control que se implementó fue el PID, la cual se sintonizó utilizando un procedimiento experimental - método de ciclo continuo- de Ziegler – Nichols, demostrando su alcance y efectividad para determinar los parámetros del controlador cuando no se cuenta con el modelo matemático del sistema y por tanto, no es posible emplear un método de diseño analítico; El conocer el comportamiento del levitador neumático ante el controlador PID, resultó ser la clave para la implementación del control experto - Fuzzy-, ya que se obtuvo una comprensión heurística del sistema, lo cual permitió formular las reglas de conocimiento del motor de inferencia para tal controlador. El cual se programó en lenguaje de funciones (FUP) e implementó modularmente en cuatro bloques de funciones (Fuzzyficador, Base de reglas, Motor de inferencia, Defuzzyficador), característica que facilitó su simulación y comparación de resultados con la aplicación demo de Siemens Fuzzycontrol++.

Una vez implementados dichos controladores se probó que para sistemas de dinámica no lineal como lo es el prototipo de levitación neumática, el desempeño de un controlador Fuzzy es superior tanto en seguimiento a referencias, como rechazo a perturbaciones que un controlador clásico PID, puesto que en relación al “seguimiento a referencias” los tiempos de levantamiento (t_r) del controlador experto fueron cinco coma seis (5.6) veces menores respecto a los del controlador clásico, es decir que el primero presentó mayor rapidez para alcanzar por primera vez el valor final partiendo desde reposo, lo cual implica que las demás especificaciones de la respuesta transitoria también fueron inferiores.

Se estableció de igual forma que el control difuso, retoma y se asienta en su valor de referencia 1,75 veces más rápido que el control PID, lo cual indica que también en el “rechazo a perturbaciones” el control experto es mejor.

Aunque el control PID es bastante estable, el control difuso presenta una precisión mayor, esto se evidenció gráficamente al observar el criterio de la integral absoluta del error acumulado (ITAE), pues no es solo por el error debido a los tiempos de la respuesta transitoria que este criterio aumenta su valor, sino también una vez transcurrido dicha parte de la respuesta, el error de estado estable es quien determina la inclinación de la pendiente del ITAE.

6. REFERENCIAS

- [1] AMÉSTEGUI Mauricio Moreno. Apuntes de Control PID. [En línea]. Enero, 2001. [Citado 21 Marzo, 2009]. Disponible en: <http://www.alumnos.usm.cl/~ignacio.morande/descargas/apuntes_de_control_pid.pdf>.
- [2] ASTROM Karlj, HÄGGLUND Tore. PID Controllers: Theory, Design and Tuning: 1994. 121 - 248 p.
- [3] MANDADO Pérez Enrique, ACEVEDO Jorge Marcos, SILVA Fernández Celso, Quiroga Armesto José, López Pérez Serafín. Autómatas Programables Entorno y Aplicaciones, pág. 344.
- [4] OGATA Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna, Madrid, Pearson Educación S.A, 2005, 151, 681 p.
- [5] RATCHO Ivanov. Fuzzy Control Compared With Digital PID Control. [En línea]. 1999. [Citado 21 marzo, 2009]. Disponible en: <<http://ecad.tu-sofia.bg/et/1999/Statii%20ET99-I/Fuzzy%20Control%20Compared%20with%20Digital%20PID%20Control.pdf>>
- [6] KILIAN T. Christopher. Modern Control Technology components & Systems. 470 SIEMENS. FuzzyControl++V5 User's Manual. 4-11 P.