

INVESTIGACIÓN

Diseño y Construcción de un Chopper ElectromecánicoYesid Enrique Castro Caicedo¹ y Gerardo Antonio Idrobo Pizo^{2,3}¹Departamento de Física, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.²Facultad de Ingeniería, Universidad de Brasilia, Brasilia, Brasil³Grupo de Ingeniería y Tecnologías Cuánticas, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colombia

Recibido: 3 de Marzo de 2007; Revisado: 9 de Abril de 2007; Aceptado: 10 de Junio de 2007

Resumen— Este artículo muestra una alternativa para utilizar fuentes de luz continua en forma modulada mediante la intervención de un chopper electromecánico el cual fue diseñado y construido para estabilizar la frecuencia de modulación requerida ajustando la velocidad de un motor híbrido utilizando un control difuso proporcional derivativo integral embebido en un microcontrolador que permitió realizar algunas observaciones en efectos fotoeléctricos y que abre la posibilidad de profundizar en aspectos de la óptica y la física en general en campos tan importantes como lo son la espectrometría, la metrología y procesos de transmisión de ondas térmicas en materiales.

Palabras Clave: Choper, Electromecánico. Control Difuso

Abstract— This article shows an alternative to use continuous light sources in form modulated by means of the intervention of chopper electromechanical which was designed and constructed to stabilize the required modulating frequency fitting the speed of a hybrid motor using proportional a diffuse control absorbed integral derivativo in a microcontroller who allowed to make some observations in photoelectric effects and that the possibility opens of deepening in aspects of the optics and the physics in general in as important fields as they are the spectrometry, the metrología and processes of transmission of thermal waves in materials.

Keywords: Chopper, electromechanical, Fuzzy Control.

I. INTRODUCCIÓN

El Chopper Electromecánico se lanza como una herramienta de apoyo para fortalecer la infraestructura investigativa en los laboratorios de Física de la Universidad del Cauca ya que hasta el momento no cuenta con fuentes de luz modulada mecánicamente. Existen muchos métodos para modular luz (moduladores acusto-ópticos, conmutación Q switching, moduladores por polarización, etc.) pero es la conmutación externa la técnica más utilizada por que no interfiere en lo absoluto con la electrónica propia de las fuentes de luz y además por su versatilidad en el sentido en que no se restringe a tipos particulares de luz, cualquier tipo de luz que cumpla con los requerimientos propios del sistema podrá ser modulada.

La luz modulada es ampliamente utilizada en la caracterización térmica de materiales, se sabe que cuando se excita un material con una fuente de luz modulada se generan diversos fenómenos en el material tales como: ondas térmicas,

ondas termo elásticas, ondas acústicas, emisión infrarroja, expansión de la superficie, cambios en el índice de refracción, etc., y dependiendo del sistema de detección de estos fenómenos las técnicas de caracterización reciben su nombre (Espectroscopia fototérmica, espectroscopia fotoacústica, espectroscopia fotopiroeléctrica, etc.) [8]. Por lo tanto se debe garantizar que haya cierto grado de precisión en la modulación de luz para que los resultados sean totalmente confiables.

La explicación y predicción de las propiedades de los sólidos apartir de los átomos que lo constituyen es uno de los principales objetivos de la física de materia condensada, existen muchos métodos para lograr caracterizar un material pero ha sido la utilización de mediciones ópticas una de las formas más tradicionales para lograr un entendimiento de las propiedades de los átomos ya que en general son técnicas de tipo no destructivas que se han convertido en una herramienta poderosa para obtener las propiedades ópticas y electrónicas de los semiconductores mediante el estudio de la interacción de fotones a electrones ó viceversa.

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El Chopper Electromecánico (Figura 1) está conformado por dos unidades: la unidad de acción y la unidad de control.

La unidad de acción consta de un motor híbrido PD60ER003 decopal electronics de 7900 rpm. Existen tres tipos de motores paso a paso: de imanes permanentes, de reluctancia variable e híbridos. En los motores de imanes permanentes, el rotor, que posee una polarización magnética constante, gira para orientar sus polos de acuerdo al campo magnético creado por las fases del estator; en los motores de reluctancia variable, el rotor está formado por un material ferromagnético que tiende a orientarse de modo que facilite el camino de las líneas de fuerza del campo magnético generado por las bobinas de estator; los motores híbridos son motores que combinan el modo de funcionamiento de los dos tipos anteriores estos motores [9].

Esta unidad cuenta también con cuatro discos removibles con los cuales se pueden alcanzar diferentes frecuencias tal como se muestra en la tabla 1, estos discos fueron cortados con láser en la empresa Metalsur S.A. para garantizar la calidad del corte, el corte con láser presenta ventajas adicionales sobre métodos tradicionales de corte tales como bordes muy finos que no necesitan de post tratamientos, rapidez, la pieza no necesita ser sujeta por el operario ni se

necesitan implementos adicionales, por lo tanto la pieza esta libre a esfuerzos de tipo mecánico, el proceso es muy flexible y se pueden realizar cortes en cualquier dirección.

Un optoacoplador de herradura EESX11115A sensa el número de cortes del disco por vuelta y entrega su señal a la unidad de control para su posterior procesamiento, tanto el motor como el optoacoplador se encuentran soportados sobre una base extensible en una longitud de 15 cm, lo cual permite fijar la altura a la cual es necesario que se haga incidir el rayo de luz a modular.

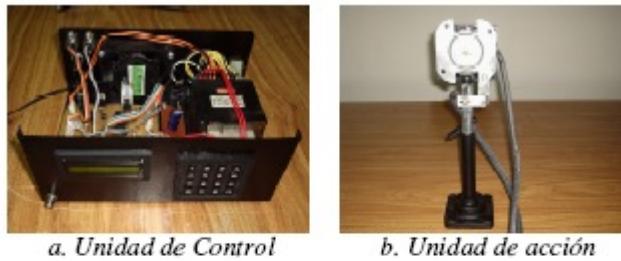


Fig. 1. Constitución del Chopper electromecánico

El sistema solicita en la LCD la frecuencia de estabilización (SP), el número de aberturas que tiene el disco escogido y realiza un filtro donde verifica si la frecuencia escogida está en el rango del disco, si lo está entonces actúa el control difuso, si no vuelve a solicitar los datos de entrada.

III. CONTROLADOR DIFUSO PROPORCIONAL DERIVATIVO INTEGRAL (CDPDI)

Antes de realizar cualquier tipo de controlador sea clásico ó difuso, se debe tener completamente caracterizada la planta a controlar, en este caso la planta es el motor híbrido. Para caracterizar el motor se observó la variación de la frecuencia de modulación frente a la variación del PWM en el microcontrolador, en los motores la modulación de ancho de pulso consiste en variar el ciclo de trabajo del motor, estas variaciones se traducen en variaciones del voltaje promedio aplicado a la armadura del motor y por tanto variando la cantidad de potencia transferida al mismo.

Como se ve en la Figura 2 el sistema es un sistema no lineal de primer orden, lo que indica que un controlador difuso es apropiado ya que se sabe que los controladores difusos

presentan un mejor comportamiento frente a este tipo de sistemas.

Todos los controladores difusos en general mantienen una estructura similar, pero es la forma en la que se realice los mecanismos de fuzificación, base de conocimiento, máquina de inferencia y defuzificación lo que los diferencia. la estructura del CDPDI se muestra en la figura 2.

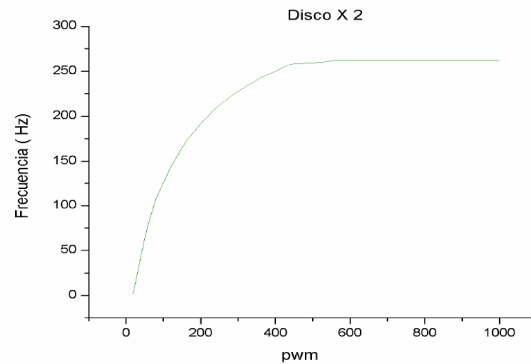


Fig.2. Respuesta del motor híbrido frente a variaciones de PWM

Una vez el usuario digita la frecuencia de modulación en (Hz), el microcontrolador realiza la función de tomar el dato que le entrega el sensor y calcular el error y el delta del error mediante las relaciones:

$$e = SP - \text{Sensor} \quad (1)$$

$$\Delta e = e - e_{\text{ant}} \quad (2)$$

donde e es el error en estado actual y e_{ant} es el error en el estado anterior.

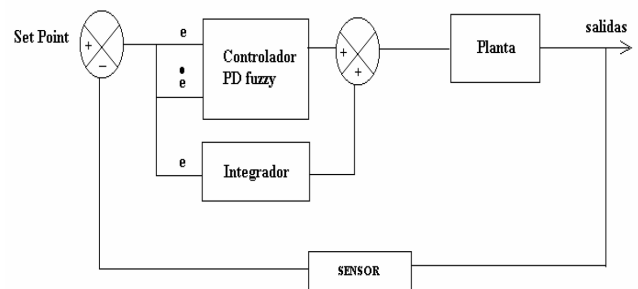


Fig.3. Diagrama de bloques del controlador difuso del Chopper

En el bloque PD fuzzy (Fig. 3) se realiza el proceso de fuzificación, para ello se escogieron siete conjuntos difusos para el error y siete conjuntos difusos para el delta del error (Fig. 4). Los conjuntos difusos se denominan Negativo Grande (NG), Negativo Medio (NM), Negativo (N), E (Estabilidad), Positivo (P), Positivo Medio (PM) y Positivo Grande (PG).

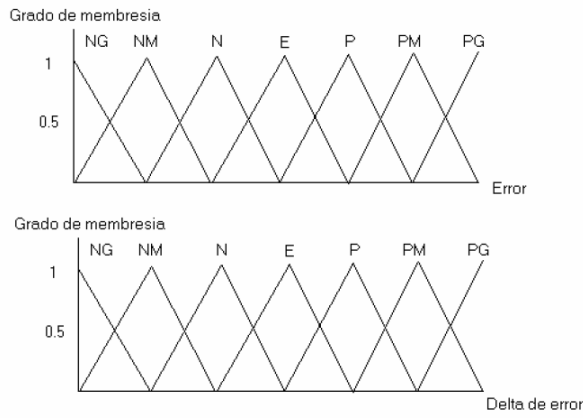


Fig. 4. Conjuntos difusos para el error y el delta del error

Para la base de reglas del controlador difuso, se empleo el método de la Lock Up Table, esto quiere decir que se crea una matriz cuyas columnas corresponden a los conjuntos difusos del error y las filas corresponden a los conjuntos difusos del delta del error, lo que trae como consecuencia la generación de 49 reglas difusas, las cuales a su vez activan 6 singletons de salida I = 16 , II = 214, III=411, IV=607, V=804, VI=1024, estos son valores de pwm escogidos de la tabla de datos de caracterización del motor híbrido.

TABLA I
UNIDADES PARA PROPIEDADES MAGNÉTICAS

Symbol	Cantidad	Conversion de Gaussianas and CGS EMU a SI ^a
Φ	magnetic flux	1 Mx $\rightarrow 10^{-8}$ Wb = 10^{-8} V·s
B	magnetic flux density, magnetic induction	1 G $\rightarrow 10^{-4}$ T = 10^{-4} Wb/m ²
H	magnetic field strength	1 Oe $\rightarrow 10^3/(4\pi)$ A/m
m	magnetic moment	1 erg/G = 1 emu $\rightarrow 10^{-3}$ A·m ² = 10^{-3} J/T
σ	specific magnetization	1 erg/(G·g) = 1 emu/g $\rightarrow 1$ A·m ² /kg

Finalmente para defuzificar y calcular una señal de salida específica que este en condiciones de modificar el estado actual del sistema, se aplica la relación de centro de gravedad para singletons [2] dada por:

$$\text{Salida PD fuzzy} = \frac{\sum w_i \mu_i}{\sum \mu_i} \quad (3)$$

Debido a que no es posible implementar la parte integral en un sistema difuso con las técnicas ni tablas que dan en los libros de lógica difusa, se implementó un integrador sencillo discreto por fuera del PD difuso, el cual en ecuaciones de diferencias y utilizando el método de Tustin está dado por la relación:

$$Int = \frac{h(Int_{ant} + e + e_{ant})}{2T_i} \quad (4)$$

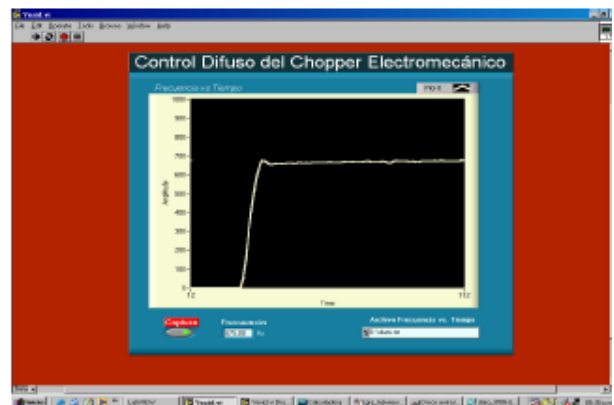
Donde Int es el integrador en el estado actual, Int_{ant} es el integrador en el estado anterior, h es el tiempo de muestreo y T_i es la constante de integración [3].

Luego la salida total del controlador difuso está dada por:

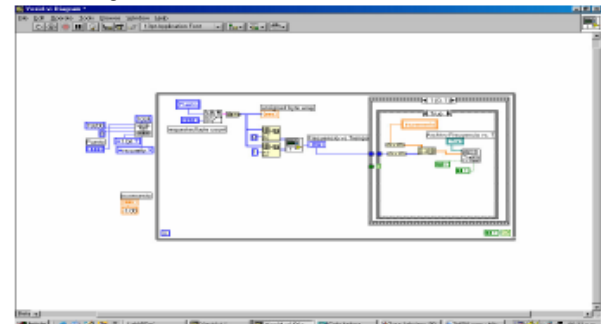
$$\text{Control} = \text{PD Fuzzy} + Int * e \quad (4)$$

IV. RESULTADOS

Para monitorear el comportamiento del controlador difuso del chopper electromecánico se realizó una interfase serial RS232 con el computador, para ello se utilizó la señal de frecuencia de referencia del chopper que es enviada a otro microcontrolador PIC18F452, este mide la frecuencia y mediante el protocolo de comunicación USART asíncrono envía los datos al PC. Se desarrolló un software en Labview 6i de Nacional Instruments para recibir los datos enviados por el PIC, este software grafica directamente la variación de la frecuencia en el tiempo (Figura 4).



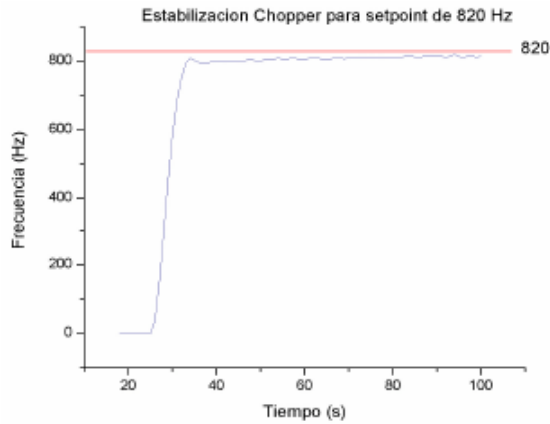
a. Interfase grafica usuario - PC



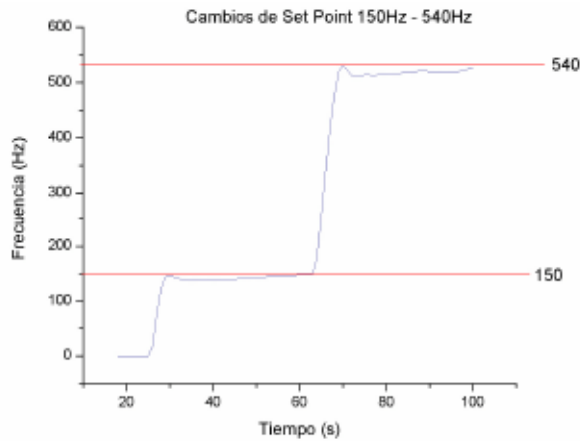
b. Diagrama Electrico del Software

Fig 5. Software Labview 6i para monitoreo de la señal de control del chopper.

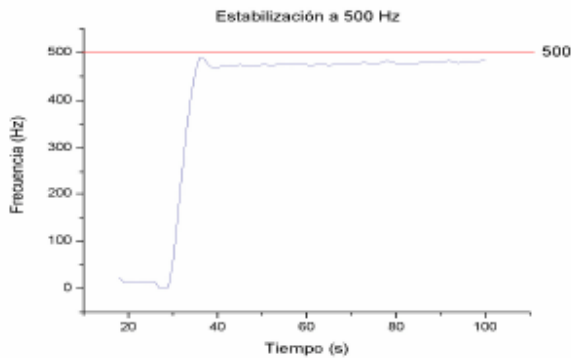
El software tiene un botón llamado captura, en el momento en que este es oprimido se realiza una captura de los datos de frecuencia entregados por el PIC, estos son tabulados y guardados en un archivo *.txt lo que permite exportar los datos para tratarlos en otros programas más adecuados como Excel u Origin. En la figura 6 se muestran las gráficas de los datos exportados y tratados en Origin 7.0.



a. Estabilización del control difuso a un SP DE 820 Hz



b. Cambio de SP de 150 Hz a 540Hz



c. Estabilización del control difuso a un SP de 500 Hz

Fig. 6. Respuesta del controlador difuso a diferentes frecuencias de modulación.

También se observó la respuesta de un sensor de luz CI6504A de Pasco cuyo elemento sensor es un fotodiodo *Pin de Si* a una excitación modulada con un láser de He_{Ne}, el montaje experimental se muestra en la Figura 7.

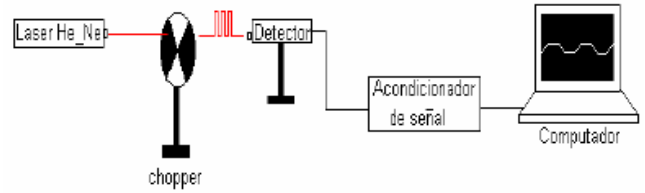


Fig. 7. Montaje experimental para observar el comportamiento de un fotodiodo a excitación modulada.

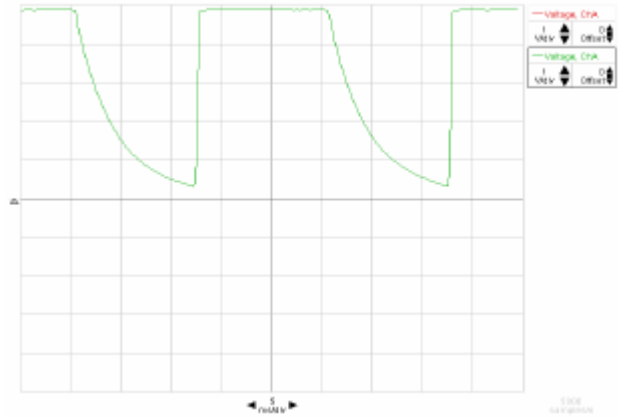


Fig.8. Respuesta de un fotodiodo PIN de Si a la excitación con un láser He_{Ne} modulado con el chopper

Este sensor de luz viene con una interfase serial propia, con conexión al computador y con un software llamado Studio Max, donde la Figura 8 fue obtenida con este software. Dado que en el foto diodo existen zonas no desiertas (*pn*) y una zona desierta o zona de agotamiento (*i*) cualquier tensión aplicada a las zonas no desiertas es también aplicada a la zona desierta, donde se crea una campo eléctrico, luego toda radiación absorbida produce pares electrón hueco que bajo la acción de dicho campo se acumulan en las zonas n y p produciendo así una tensión. Cuando se aplica un pulso de luz modulada las cargas generadas en la zona de agotamiento son barridas rápidamente y son responsables de la rápida respuesta inicial, las cargas producidas fuera de esa zona migran lentamente y son responsables de la parte lenta como se muestra en la Figura 8. [8]

V. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un chopper electromecánico que cubre un rango de frecuencias entre 2 – 3144 Hz, rango que puede ser ampliado si se utilizan discos que contengan un mayor número de agujeros, a bajo costo y con los niveles de precisión y calidad requeridos para garantizar mediciones confiables a la hora de realizar estudios relacionados con la generación de ondas térmicas en materiales y la generación de señales eléctricas por acción de la interacción de la luz con la materia los cuales contienen información específica de la misma. Los dispositivos lógicos programables (microcontroladores PIC) son y seguirán siendo la herramienta más utilizada y completa para realizar tareas de control a bajo

costo, contribuyendo también con la disminución de hardware y con la optimización por software de algoritmos que compensan dicha acción. La implementación de técnicas actuales de control como la lógica difusa se convierten en una gran alternativa de ejecución teniendo en cuenta el grado de complejidad implicado en las teorías clásicas de control, mediante la utilización de variables lingüísticas que se adaptan mejor a la manera de pensar del ser humano.

REFERENCIAS

- [1] E. Duque, Edison C. Curso avanzado de microcontroladores, PIC, CEKIT.
- [2] MUÑOZ, Elena. Especialización en informática industrial: Control inteligente. Editorial Unicauca. Popayán, 2000.
- [3] M. Sugeno. "Theory of Fuzzy Integrals and its application," Ph.D. dissertation, Tokyo Ins. Technol., Japan, 1974.
- [4] C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller , part I", IEEE Trans. Systems, Man, Cybernet, vol. 20, no. 2, pp. 404-418, 1990.
- [5] G. Franklin and J. D. Powell, Digital Control of Dynamic Systems, Addison Wesley, 1980.
- [6] W. Xie, D. C. Grillo, R. L. Gunshor, M. Kobayashi, G. C. Hua, and N. Otsuka, Appl. Phys. Lett. 60, 463 (1992).
- [7] G. M. Haugen, S. Guha, H. Cheng, J. M. DePuydt, M.A. Haase, G. E. Hofler, J. Qiu, and B. J. Wu, Appl. Phys. Lett. 66, 358 (1995).
- [8] HETCH Eugene, Optica. Tercera Edición. Addison Wesley Iberoamericana, Madrid, 2002.
- [9] BARRIENTOS, Antonio, Fundamentos de Robótica. Mc Graw Hill. Madrid, 1998.
- [10] [TOCCI, Ronald J. Sistemas Digitales: Principios y Aplicaciones. Sexta Edición. Prentice-Hall Hispanoamericana. México, 1996.

Yesid Enrique Castro Caicedo es ingeniero Físico de la Universidad del Cauca. En la actualidad es estudiante de la maestría en ingeniería electrónica en la Universidad de Brasilia, Brasil.

Gerardo Antonio Idrobo Pizo es ingeniero Físico de la Universidad del Cauca e investigador del grupo de ingeniería y tecnologías cuánticas de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. En la actualidad cursa sus estudios de maestría en ingeniería electrónica en la Universidad de Brasilia, Brasil.