

# **Controlador Difuso Analógico Aplicado a Convertidores DC/DC**

***Edgar López Delgadillo***

Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad 940 Col. Cd. Universitaria, (449) 9108422  
*elopezd@correo.uaa.mx*

***Alfonso Vela Rivera***

Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad 940 Col. Cd. Universitaria, (449) 9108422  
*avela@correo.uaa.mx*

***Luis Alejandro Flores Oropeza***

Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad 940 Col. Cd. Universitaria, (449) 9108422  
*lflores@correo.uaa.mx*

***Luis Enrique Arámbula Miranda***

Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad 940 Col. Cd. Universitaria, (449) 9108422  
*arambula@correo.uaa.mx*

***Felipe de Jesús Rizo Díaz***

Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad 940 Col. Cd. Universitaria, (449) 9108422  
*frizo@correo.uaa.mx*

## **Resumen**

En este artículo se presenta la implementación de un controlador difuso analógico en modo voltaje aplicado a convertidores DC/DC conmutados. La síntesis de cada uno de los bloques se realiza mediante una descripción de alto nivel basada en verilogA. Se describe cada una de las etapas de diseño del controlador y se analiza su desempeño mediante simulaciones de transitorio comparando los resultados con controladores

convencionales. Esto con el objetivo de establecer la viabilidad del desarrollo de dichos controladores en una tecnología CMOS estándar.

**Palabras Claves:** Convertidor DC/DC, lógica difusa, controlador analógico.

## 1. Introducción

Los convertidores de DC/DC son sistemas electrónicos de potencia que transforman un nivel de voltaje en su entrada, en otro nivel de voltaje en su salida, mediante conmutaciones de dispositivos de estado sólido. Estos convertidores son usados en una gran variedad de aplicaciones como son: fuentes de poder para computadoras personales y portátiles, adaptadores de dispositivos electrónicos de consumo, sistemas de potencia aeroespaciales, entre otros [1, 2, 3]. En [1, 4] se presenta una descripción de los modelos matemáticos de las topologías de convertidores de DC/DC Buck (reductor) y Boost (elevador), que se encuentran entre los más sencillos y utilizados.

Tal como se muestra en las Fig. 1 y Fig. 2, un convertidor Buck y convertidor Boost, básicamente se componen de un interruptor de estado sólido S el cual transforma la energía de una fuente de voltaje de entrada  $V_{in}$ , un diodo D, un filtro LC que reduce los armónicos de alta frecuencia, y una resistencia  $R_L$  que representa la carga conectada al convertidor.

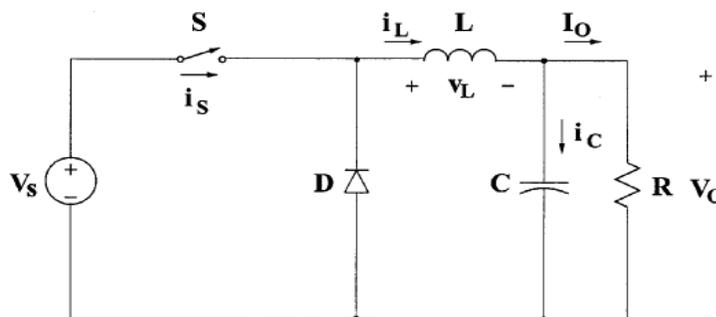


Fig. 1. Topología del convertidor Buck.

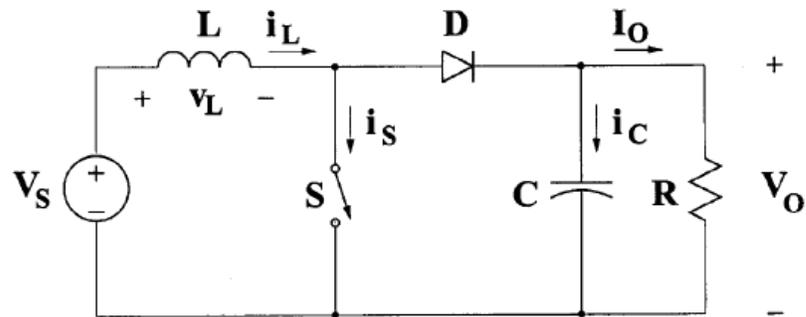


Fig. 2. Topología del convertidor Boost.

A partir del circuito que se muestra en la Fig. 1, las ecuaciones diferenciales que describen la dinámica del convertidor Buck se describen en las ecuaciones (1 - 3). En estas se incluyen los elementos parásitos asociados a los elementos de almacenamiento de energía.

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{L} \cdot \left[ \left( \frac{R_L \cdot r_C}{R_L + r_C} + r_L \right) \cdot i_L + \left( \frac{R_L}{R_L + r_C} \cdot (v_C - V_{in}) \cdot sw \right) \right] \quad (1)$$

$$\frac{dv_C}{dt} = \frac{1}{C} \cdot \left[ \left( \frac{R_L}{R_L + r_C} \right) \cdot i_L - \left( \frac{1}{R_L + r_C} \right) \cdot v_C \right] \quad (2)$$

$$V_{out} = \left[ \left( \frac{R_L \cdot r_C}{R_L + r_C} \right) \cdot i_L - \left( \frac{R_L}{R_L + r_C} \right) \cdot v_C \right] \quad (3)$$

Las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento del convertidor Boost de la Fig. 2 se presentan en las ecuaciones (4 - 6). Tal como se observa en estas expresiones, las ecuaciones (2) y (3) son similares a (5) y (6) respectivamente.

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{L} \cdot \left[ \left( (1 - sw) \cdot \frac{R_L \cdot r_C}{R_L + r_C} + r_L \right) \cdot i_L + \left( (1 - sw) \cdot \frac{R_L}{R_L + r_C} \cdot (v_C - V_{in}) \right) \right] \quad (4)$$

$$\frac{dv_C}{dt} = \frac{1}{C} \cdot \left[ \left( \frac{R_L}{R_L + r_C} \right) \cdot i_L - \left( \frac{1}{R_L + r_C} \right) \cdot v_C \right] \quad (5)$$

$$V_{out} = \left[ \left( \frac{R_L \cdot r_C}{R_L + r_C} \right) \cdot i_L - \left( \frac{R_L}{R_L + r_C} \right) \cdot v_C \right] \quad (6)$$

La importancia del estudio de los convertidores de DC/DC, radica en su naturaleza no lineal y en el hecho de que su operación práctica dista mucho de su predicción teórica, debido a problemas asociados a resistencias y capacitancias parásitas e inductancias de fuga de sus componentes. Por todo lo anterior, es complicado el diseño de un controlador adecuado para este tipo de convertidores.

Un esquema de control aplicado a un convertidor de DC/DC debe asegurar la estabilidad del sistema bajo condiciones arbitrarias de operación, con una respuesta idónea en términos de reducir su sensibilidad a variaciones de carga, a cambios en el voltaje de entrada e incluso a incertidumbres asociadas a sus parámetros de diseño; además de proporcionar una respuesta transitoria rápida. Dos aspectos importantes a tomar en consideración para mejorar la eficiencia de los convertidores de DC/DC son la elección tanto del método de control, como el modo de retroalimentación aplicado. Existen tres modos básicos de retroalimentación en los convertidores de DC/DC: modo de control por voltaje, modo de control por corriente y modo de control por voltaje “feed forward”, [5].

Numerosas técnicas o métodos de control han sido aplicados en los convertidores de DC/DC. Métodos analógicos basados en el dominio de la frecuencia son predominantemente usados en el diseño del controlador. Estos métodos se fundamentan esencialmente en un modelo lineal de pequeña señal del sistema concerniente [6]. El desempeño es usualmente sacrificado por la simplicidad del modelo de pequeña señal, el cual tiene una validez restringida sobretodo en sistemas fuertemente no lineales. Por ejemplo, en un controlador PID es esencial una apropiada sintonización para que cualquier cambio en las condiciones de operación no se refleje en la salida del sistema, pero es común que al modificarse algún parámetro del controlador la eficacia del mismo se vea reducida, [7].

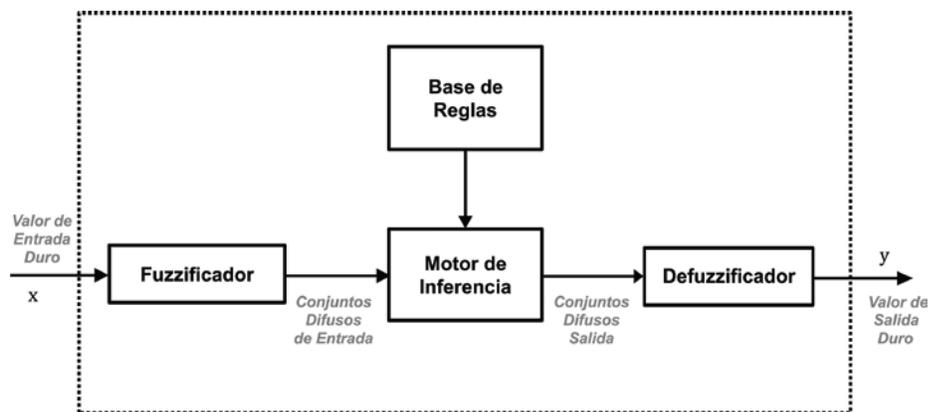
Existen varios enfoques alternativos a la estructura convencional del control lineal. Algunos se basan en el desarrollo de modelos no lineales más precisos, en los cuales se fundamenta el diseño de un controlador de muy alto desempeño, [8]. La problemática sobre este enfoque, es que a menudo emergen deducciones matemáticas complejas, las

cuales desembocan en algoritmos de control muy complicados que no son aptos para una implementación práctica, [9, 10, 11].

Otra alternativa ampliamente aplicada es el control por modo deslizante, el cual, de igual forma al enfoque previamente presentado, necesita el modelo del sistema para su diseño y ejecución. El principal problema que surge comúnmente en este tipo de control es el “chattering” [4].

Una opción innovadora en el control de procesos, es emplear un razonamiento heurístico basado en la experiencia de un experto en el sistema. Esta experiencia usualmente es recogida en forma de declaraciones y reglas lingüísticas. En este caso, no es necesario establecer un modelo, sino que todo el diseño del controlador se reduce a la “conversión” de un conjunto de reglas lingüísticas dentro de un algoritmo de control automático. La lógica difusa proporciona este mecanismo de conversión necesario para el diseño del controlador [8, 9, 10, 11].

El control difuso es una de las aplicaciones con más éxito de la Teoría de Conjuntos Difusos de Zadeh [12, 13, 14, 15], ya que ha probado ser una herramienta útil en el control de procesos industriales en tiempo real, en los cuales es difícil obtener el modelo matemático del sistema, [4].



**Fig. 3. Estructura general de un controlador difuso.**

La estructura general de un controlador difuso se muestra en la Fig. 3, el cual se compone por un “fuzzificador” que tiene por objetivo transformar un dato de entrada duro en un conjunto difuso; una base de reglas, que puede ser proporcionada por los expertos o puede ser extraída de datos numéricos; en cualquier caso, se expresa como una colección de sentencias IF-THEN; un motor de inferencia, el cual combina la “fuerza” con la que fue disparada cada una de las reglas para generar una salida difusa; y un “defuzzificador”, el cual convierte la salida difusa generada por el motor de inferencia, en un dato duro de salida [13, 14, 15]. En [16, 17] se presentan estudios sobre la factibilidad de la implementación de sistemas difusos en convertidores de potencia, en este caso se consideran realizaciones digitales para dichos controladores.

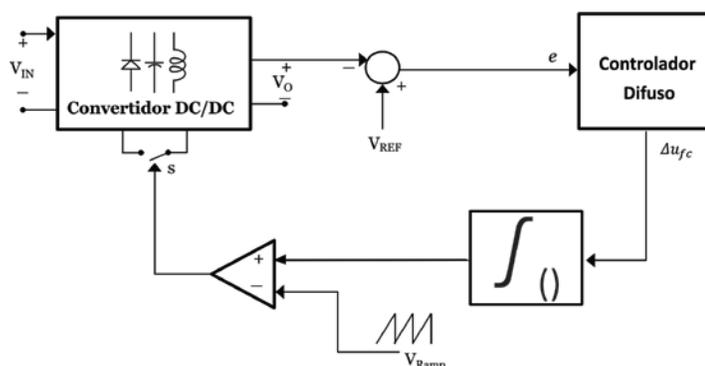
Una opción que ha sido poco estudiada en el control de convertidores DC/DC conmutados es la implementación de controladores difusos similares al de la Fig. 3 en el dominio analógico ya sea en modo voltaje o corriente. En este caso se el uso de convertidores analógico-digital se elimina reduciendo el número de componentes necesarios para el controlador. Por otra parte, debido a que se excluye el concepto de frecuencia de muestreo, el tiempo de adaptación y la precisión de la señal de salida se mejoran con respecto a su contraparte digital.

En este artículo se propone la implementación de un sistema difuso analógico en modo voltaje para el control de un convertidor DC/DC conmutado tipo Buck. Cada una de las etapas del controlador ha sido modelada mediante verilogA a manera de evaluar su desempeño y obtener condiciones de diseño para una implementación futura en una tecnología CMOS estándar.

## **2. Desarrollo**

El esquema general del sistema a evaluar se muestra en la Fig. 4. El convertidor DC/DC a analizar es un Buck y está construido mediante bloques de simulación eléctricos disponibles en las herramientas de Spice. El bloque controlador cuenta con una entrada que representa el voltaje de error de salida y se obtiene mediante la resta entre el valor

de voltaje deseado y la salida del convertidor. La implementación de los elementos de este bloque se realiza mediante la representación de alto nivel utilizando modelos analógicos descritos en verilogA. La salida del controlador  $\Delta u_{fc}$  representa el cambio de onda de la señal de referencia y está directamente relacionada con la variación del ciclo de trabajo del convertidor. En consecuencia, esta señal se integra para generar la señal de referencia final que determina el ciclo de trabajo a través de un generador PWM.



**Fig. 4. Esquema general del sistema.**

Atendiendo las particularidades del controlador, el sistema difuso que se ha desarrollado utiliza solamente conjuntos difusos con funciones de membresía trapezoidales y triangulares. Esto debido a que al emplear este tipo de funciones la obtención del grado de membresía de los valores duros de entrada es más rápida y fácil, incluso considerando una futura implementación en una tecnología CMOS estándar.

Los conjuntos difusos propuestos son los siguientes: NB (Negative Big - Negativo Grande), NS (Negative Small - Negativo Pequeño), Z ((Zero - Cero), PS (Positive Small - Positivo Pequeño) y PB (Positive Big -Positivo Grande). Es importante puntualizar que el número de conjuntos difusos o regiones difusas debe ser en lo posible impar, con el objetivo de tener una escala de valores centrada en cero, sobre todo en los controladores que tienen como variables de entrada al error [16]. En la Fig. 5 se presentan los conjuntos

difusos propuestos para la entrada del controlador. La elección de los valores se hace considerando un voltaje de 3.3V de riel a riel.

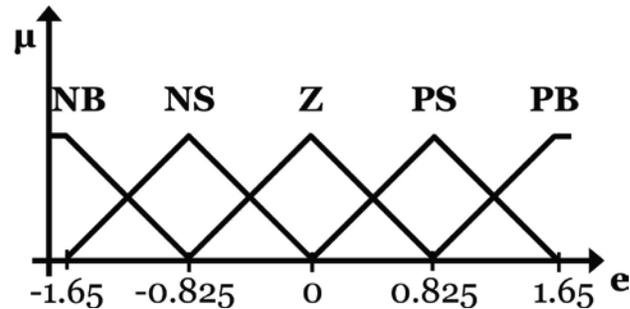


Fig. 5. Conjuntos difusos definidos para la variable de entrada de error.

Los conjuntos difusos de la variable de salida  $\Delta u_{fc}$  son tipo “Singleton” a manera de simplificar los bloques de circuito. Estos conjuntos Son designados de la misma manera que los usados para las variables de entrada, (NB, NS, Z, PS y PB), tal como se muestra en la Fig. 6.



Fig. 6. Conjuntos difusos definidos para la variable de salida.

Las reglas difusas de control asociadas con los valores de entrada y salida se derivan del conocimiento general del comportamiento del convertidor, aunque en la mayoría de las aplicaciones son ajustadas usando un proceso de “prueba y error”. La elaboración de las reglas difusas de control se basa en los siguientes criterios [10]:

1. Cuando el error  $e$  en el voltaje de salida es muy grande (PB o NB), la respuesta dada por el controlador debe ser fuerte, con el fin de tener una respuesta dinámica tan rápida como sea posible.
2. Cuando el error  $e$  se aproxima a cero (NS o PS), el controlador debe entregar una respuesta correctiva baja (un cambio pequeño en el ciclo de trabajo).
3. Cuando el error  $e$  es un valor de cero (Z) o un valor muy cercano a este punto, la respuesta del controlador debe mantenerse constante (sin cambios en el ciclo de trabajo) a fin de prevenir un sobretiro.

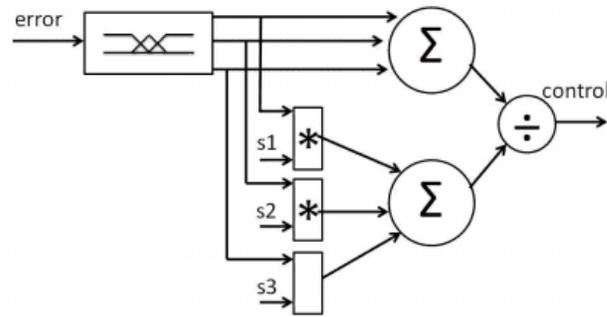
La siguiente etapa del controlador es la implementación mediante circuitos analógicos del motor de inferencia difusa. Esta etapa resulta trivial ya que solo se tiene una entrada y las conexiones del circuito son inmediatas.

El último bloque del controlador difuso es el “Defuzzificador”. El método de defuzzificación aplicado es el de Altura (Height Defuzzifier), que produce una salida dura del controlador mediante el cálculo de la suma lógica de los resultados de inferencia de las reglas difusas activadas. La salida total del controlador se obtiene evaluando la siguiente expresión:

$$\Delta u_{fc} = \frac{\sum_{i=1}^N fs^i \cdot w_{\Delta u_{fc}}^i}{\sum_{i=1}^N fs^i} \quad (7)$$

Donde,  $N$  es el número de reglas difusas activadas,  $fs$  la fuerza de activación de la regla correspondiente y  $w_{\Delta u_{fc}}^i$  el valor Singleton de salida de la  $i$ -ésima regla.

Con base en los argumentos expuestos anteriormente, el diagrama a bloques del controlador difuso analógico se muestra en la Fig. 7. En este caso por representación solo se consideran tres reglas, pero estas pueden expandirse hasta el número deseado. Las entradas  $S$  son los “Singletons” y se realizan mediante fuentes de voltaje con los valores especificados en la Fig. 6.



**Fig. 7. Diagrama a bloques del controlador difuso analógico.**

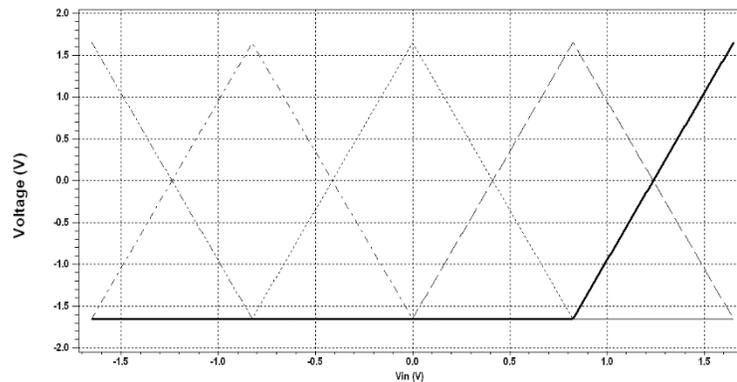
### 3. Resultados

Para analizar el desempeño de la propuesta se realizan simulaciones en Spice del circuito de la Fig. 1. Para ello se implementan modelos comportamentales de alto nivel en verilogA del controlador difuso analógico que corresponde a la Fig. 4, además del integrador y el generador de la señal de error. El principal objetivo es observar la viabilidad del modelo de las funciones de membresía así como determinar la curva de adaptación del voltaje de salida y la señal de error del sistema. Los parámetros utilizados para el controlador se muestran en la Tabla 1.

Parámetro	Valor
Inductor L	500 $\mu$ H
Capacitor C	440 $\mu$ F
Resistencia de Carga RL	100 $\Omega$
Vin	20V
Vref	10V

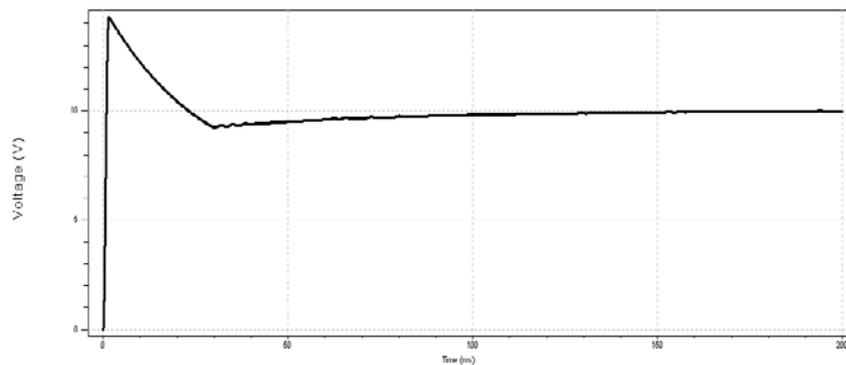
**Tabla 1. Parámetros del controlador.**

Los resultados de simulación del circuito generador de las funciones de membresía de entrada se presentan en la Fig. 8. Para estos se considera un análisis den DC con un barrido de la entrada de -1.65V hasta 1.65V. Como se observa en la Fig. 8 los límites de los voltajes de salida se encuentran también en el rango de voltajes de riel propuestos.



**Fig. 8. Resultados de simulación del circuito generador de funciones de membresía.**

El voltaje de salida del convertidor para un valor de referencia de 10V se muestra en la Fig. 9. En este caso se realiza una simulación de transitorio para un valor inicial de 0V y el voltaje de la fuente de entrada se establece en 20V. Tal como se aprecia el sistema converge después de un tiempo aproximado de 100ms.



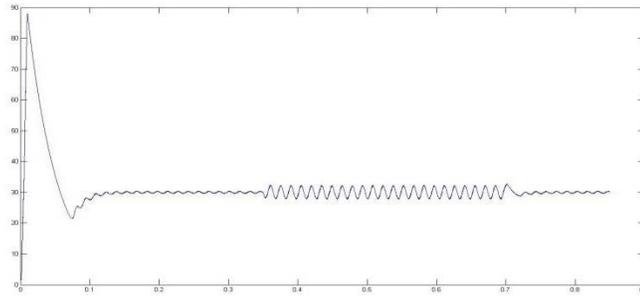
**Fig. 9. Resultados de simulación del convertidor para un voltaje de referencia de 10V.**

En la Tabla 2 se presenta la comparación del desempeño del convertidor entre un control convencional PI digital simulado en Matlab y el control difuso propuesto. Se aprecia la mejora en los parámetros de desempeño cuando se considera un controlador analógico difuso.

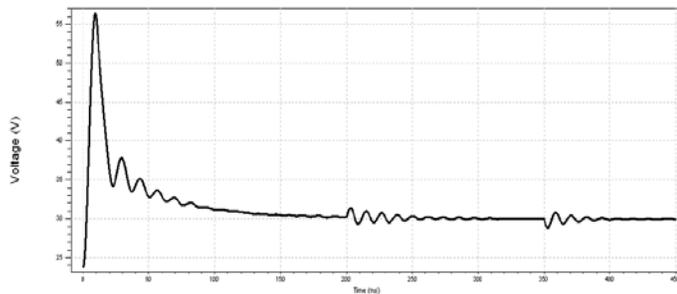
<b>Controlador</b>	<b>Error estado estable</b>	<b>Voltaje de rizo</b>
PI	486 mV	78.1 mV
Difuso Analógico	25 mV	11 mV

**Tabla 2. Comparación del convertidor Buck entre un control convencional y el propuesto.**

Para demostrar el desempeño del controlador se realizan simulaciones en transitorio considerando también un convertidor Boost con variaciones de carga, en este caso los parámetros del convertidor son los mismos que en la Tabla 1, solo cambia la arquitectura y el voltaje de referencia se establece en 30V. Para las variaciones en la resistencia de carga se considera un cambio de 100Ω a 50Ω. En la Fig. 10 se muestra el resultado de simulación del controlador Boost cuando se utiliza un controlador convencional PI digital. Como se puede apreciar en el cambio de carga el desempeño se ve afectado de manera significativa. Por otra parte, en la Fig. 11 se presenta el resultado de simulación cuando el controlador es el difuso analógico propuesto.



**Fig. 10. Desempeño del convertidor Boost con control PI y cambio de carga.**



**Fig. 11. Desempeño del convertidor Boost con control Difuso Analógico y cambio de carga.**

En la Tabla 3 se muestra una comparativa de los criterios de desempeño correspondientes a los resultados de las Figs. 10 y 11.

Controlador	Error estado estable (100Ω)	Voltaje de rizo (100Ω)	Error estado estable (50Ω)	Voltaje de rizo (50Ω)
PI	16mV	830mV	35mV	4.5V
Difuso Analógico	3.5mV	51.97mV	30mV	36mV

**Tabla2. Comparación del convertidor Boost entre un control convencional y el propuesto con cambio de carga.**

## **4. Discusión**

Como se plantea anteriormente, el uso de controladores difusos en convertidores DC/DC ha sido poco estudiado. Aún más, el estudio de sistemas difusos analógicos en estos convertidores es casi nulo, a pesar de las ventajas que estos ofrecen. En este sentido en todas las simulaciones realizadas en este artículo se presenta una convergencia considerando voltajes de referencia de 10V y 30V para el convertidor Buck y Boost respectivamente. Por otra parte, se demuestra mediante simulaciones que el desempeño del controlador propuesto es superior al PI digital convencional. Con lo anterior se establece que el uso de controladores difusos analógicos es viable para la implementación de convertidores DC/DC. De esta manera se plantea como trabajo futuro la descripción de cada uno de los bloques del circuito en una tecnología CMOS standard para su posterior manufactura y prueba.

## **5. Conclusiones**

Se ha presentado la implementación de un controlador difuso analógico en un convertidor DC/DC tipo Buck. Con esto se reduce el número de elementos de circuito al eliminar el uso de convertidores analógico-digital. Los elementos de circuito del controlador han sido modelados mediante descripciones de alto nivel en verilogA. Los resultados de simulación han demostrado un desempeño adecuado del controlador en comparación con técnicas convencionales. De esta manera se establece la viabilidad de la implementación de estos sistemas en una tecnología CMOS estándar.

## 6. Referencias

- [1] ChettyP. R. K., *Switch-mode power supply design*. Tab Professional and Reference Books, 1986.
- [2] CukS. and MiddlebrookR., “Advances in switched-mode power conversion part i,” *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. IE-30, no. 1, pp. 10–19, Feb. 1983.
- [3] —, “Advances in switched-mode power conversion part ii,” *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. IE-30, no. 1, pp. 19–29, Feb.1983.
- [4] BoseB. K., *Modern Electronics and AC Drivers*. Prentice-Hall, 2002.
- [5] WanK., LiaoJ., and FerdowsiM., “Control methods in dc-dc power conversion - a comparative study,” in *Power Electronics Specialists Conference, 2007. PESC 2007*. IEEE, Jun. 2007, pp. 921–926.
- [6] OfoliA. and RubaaiA., “Real-time implementation of a fuzzy logic controller for switch-mode power-stage dc/dc converters,” *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol. 42, no. 6, pp. 1367–1374, Nov.-Dec. 2006.
- [7] TseC. and AdamsK., “Quasi-linear modeling and control of dc-dc converters,” *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 7, no. 2, pp. 315–323, Apr. 1992.
- [8] ChengC.H., ChengP.J., and WuM.T., “Fuzzy logic design of self-tuning switching power supply,” *Expert Systems with Applications*, vol. 37, no. 4, pp. 2929 – 2936, 2010.
- [9] SoW.C., TseC., and LeeY.S., “Development of a fuzzy logic controller for dc/dc converters: design, computer simulation, and experimental evaluation,” *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 11, no. 1,pp. 24–32, Jan. 1996.

- [10] MattavelliP., RossettoL., SpiazziG., and TentiP., “General-purpose fuzzy controller for dc-dc converters,” *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 12, no. 1, pp. 79-86, Jan. 1997.
- [11] GuptaT., BoudreauxR. R., NelmsR., and HungJ., “Implementation of a fuzzy controller for dc-dc converters using an inexpensive 8-b microcontroller,” *Industrial electronics, IEEE Transactions on*, vol. 44, no. 5, pp. 661–669, Oct.1997.
- [12] ZadehL. A., “Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes,” *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. SMC-3, no. 1, pp. 28–44, Jan. 1973.
- [13] LeeC.C., “Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. i,” *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. 20, no. 2, pp. 404–418, Mar/Apr. 1990.
- [14] ———, “Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. ii,” *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. 20, no. 2, pp. 419–435, Mar/Apr. 1990.
- [15] RossT. J., *Fuzzy Logic With Engineering Applications*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 2004.
- [16] PerryA.,FengG., LiuY.F., and SenP., “A new analysis and design method for fuzzy logic controllers used in power converter,” in *Industrial Electronics Society, 2005. IE-CON 2005. 31st Annual Conference of IEEE*, pp. 6 pp.–, 2005
- [17] Vela, A; Flores, L.A.; Arámbula, L.E.; E. López-Delgadillo. “Controladores Difusos en Convertidores de DC/DC”, *Seminario Anual de Automática, Electrónica e Instrumentación Industrial 2013 SAAEI 20013*. 10 al 12 de julio de 2013. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, España.

## 7. Autores

Edgar López Delgadillo. Graduado de Ingeniería en Electrónica y Sistemas de Comunicación Digital por la Universidad Autónoma de Aguascalientes en 2002. Obtuvo los grados de Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica en 2004 y 2010 respectivamente. Actualmente es profesor investigador titular adscrito al Centro de Ciencias Básicas de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Sus principales áreas de interés son el diseño de circuitos integrados analógicos y en modo mixto y los sistemas adaptables digitales y analógicos.

Alfonso Vela Rivera. Ingeniero en Electrónica y Sistemas de Comunicación Digital (2007) y Maestro en Ciencias de la Computación (2013) ambos grados por la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Sus áreas de desarrollo son los Sistemas Inteligentes, Control Difuso y Dispositivos Reconfigurables. Actualmente adscrito al Centro de Ciencias de la Ingeniería Campus Sur de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Luis Alejandro Flores Oropeza nació en Aguascalientes, México en 1976, obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico por parte del Instituto Tecnológico de Aguascalientes y el grado de Doctor en Ingeniería Electrónica por la Universidad Politécnica de Madrid en España en 1999 y 2005 respectivamente. Actualmente es profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Sus intereses se centran en el estudio de las fuentes de alimentación conmutadas, corrección del factor de potencia y control.

Luis Enrique Arámbula Miranda. Graduado de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica por la Universidad de Guadalajara en 1984. Master of Science en Sistemas Embebidos y Robótica por la Universidad de Essex en 2003. Algunos de sus intereses son Control Digital, Robótica Móvil y Control Difuso. Actualmente adscrito al Centro de Ciencias de la Ingeniería Campus Sur de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Felipe de Jesús Rizo Díaz. Graduado de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica por la Universidad de Guanajuato en 1988. Maestro en Ciencias en Electrónica Industrial por el ITESO. Sus áreas de interés son: Electrónica de Potencia, Señales, etc. Actualmente adscrito al Centro de Ciencias de la Ingeniería Campus Sur de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.