



COMPORTAMIENTO DEL PLANO DE CONTROL DE REGULADORES DE CARGA DIFUSOS PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO IMPLEMENTANDO UNO Y DOS NÚCLEOS DE INFERENCIA

Farfán Roberto Federico, Hoyos Daniel

INENCO (Instituto de Energías No Convencionales) Av. Bolivia 5152 C.P 4400

<http://www.inenco.net> 03874255578, farfanf@inenco.net

CIUNSa (Consejo de investigación UNSa) Av. Bolivia 5152 C.P 4400 <http://www.unsa.edu.ar>

RESUMEN: En éste trabajo se estudia el comportamiento del plano de control de un regulador de Carga Difuso inmerso en un sistema fotovoltaico. Desarrollar el control para éste regulador implica, tener un conocimiento previo del sistema que se desea controlar, definir la base de conocimiento en función de ésta información y trasladar la lógica desarrollada, a un elemento que pueda implementarla. El desarrollo de la lógica de control se la desea implementar en un microcontrolador PIC. En el trabajo se propone el diseño del procesador difuso implementando dos arquitecturas, utilizando uno y dos núcleos de inferencia. Estas permiten manejar el flujo de información de manera distinta y dar una respuesta a la regulación de energía del sistema fotovoltaico en función de su base de conocimiento. La respuesta de ambos sistema se estudia por medio de un software denominado Xfuzzy 3.0. Una vez desarrollada las arquitecturas, debe elegirse la más adecuada para incorporarlo al microcontrolador.

Palabras claves: Fotovoltaico, reguladores, baterías, lógica borrosa.

INTRODUCCIÓN

El regulador de carga es un instrumento que se encuentra inmerso en el sistema fotovoltaico y tiene como objetivo preservar el banco de baterías en las situaciones de sobrecarga, optimizar la energía captada por los paneles fotovoltaicos y finalmente, cuidar que la profundidad de descarga de la batería no sea excesiva. Esta definición lleva a observar que una parte del trabajo del regulador de carga, se concentra en el estricto cuidado del estado de carga de la batería, cuidado que depende de distintas variables físicas que muchos de los reguladores convencionales no tienen en cuenta (Lorenzo 1994).

El avance de la tecnología de los reguladores de carga con la aparición de los microprocesadores y microcontroladores, permitió la evolución del sistemas de control del regulador, incorporando a éstos algoritmo que funcionan como cerebro y manejan la regulación de la energía dentro del sistema fotovoltaico. La inclusión de esta tecnología, con algoritmos que controlen los estados de carga de un banco acumulador, no es algo ilógico si observamos la curva de carga de una celda electroquímica a Temperatura constante, como la que muestra la figura 1.

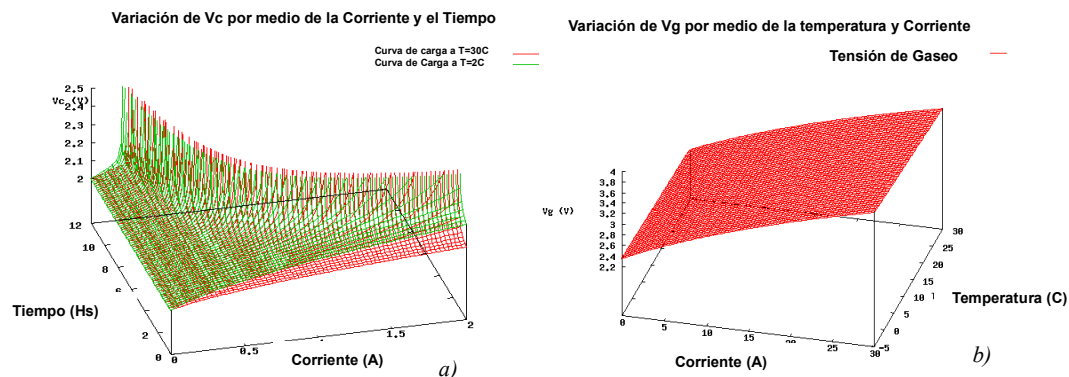


Figura 1. a) Curva de la tensión de carga de una celda a temperatura Constante. b) Curva de Tensión de Gaseo.

En estas gráficas se observa que el voltaje de bornes de una celda, un indicador del estado de carga, depende del tiempo, de la corriente que se utiliza en la carga y de la temperatura de trabajo. Lo mismo se observa para la tensión de gaseo, ésta depende de la corriente y de la temperatura de trabajo.

La información dada por las distintas curvas, nos permite concluir que el manejo de la energía dentro del sistema fotovoltaico depende de la corriente que pueden entregar los paneles fotovoltaicos, la temperatura, la corriente que el circuito de carga puede necesitar y la cantidad de energía almacenada en las baterías.

Como el regulador de carga es el que maneja el transito de energía dentro del sistema, sería conveniente que la toma de una decisión dependa de éstas variables, que no se mantienen constante durante los ciclos de carga y descarga, y se modifican por medio de variaciones que nos son lineales. Estas variables se relacionan, por medio de expresiones que no son sencillas de manejar y tienen cierto grado de complejidad, si se busca introducirlas en un microcontrolador, debido a las propias limitaciones de éste. Es por ello que la construcción de un regulador que actué en función de variables que pertenecen al sistema fotovoltaico implica, elaborar un algoritmo de control sencillo cuya lógica se pueda incorporar a un microcontrolador, ésta debe comandar los circuitos de potencia que conectan los elementos del sistema y contener información del comportamiento de la batería. Debido a estas pautas, se optó por estudiar y desarrollar un regulador de carga difuso.

ESQUEMA DEL REGULADOR Y LÓGICA DIFUSA

El regulador de carga es un circuito electrónico compuesto por un bloque de control y un bloque de potencia. El bloque de control está compuesto por un microcontrolador, que tiene incorporado en su memoria un algoritmo basado en lógica difusa. Este sistema se encarga de comandar por medio de señales eléctricas dos circuitos de potencia, el primero encargado de la conexión Panel-Batería y el segundo de la conexión Batería-Carga. En el trabajo se decidió implementar un regulador de carga del tipo serie, utilizando como llave conectora de potencia dos MOSFET 9530. La utilización de dicho transistor, llevó a que la regulación de corriente se realice por señal modulada (PWM). El esquema del regulador se presenta en la figura 2.

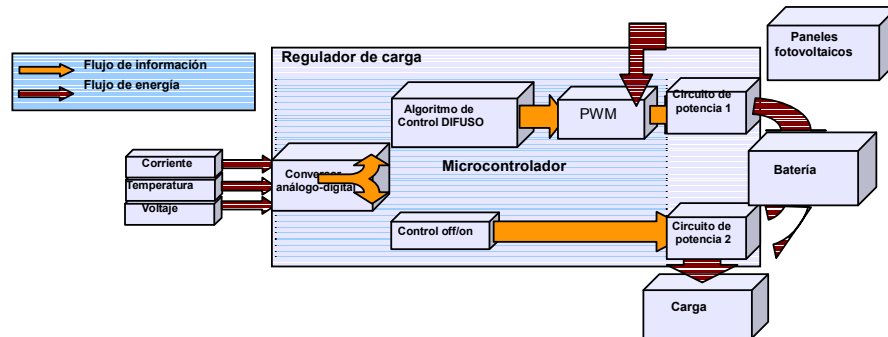


Figura 2 : Esquema del flujo de energía e información dentro del Regulador de Carga Difuso.

La información analógica que toma el regulador se convierte a digital y es analizada por el algoritmo de control difuso. En la salida de este bloque se obtiene un número que el microcontrolador relaciona con una señal pulsante que ingresa al circuito de potencia, que conecta los paneles con el resto del sistema. De esta manera, se controla el ingreso de energía dentro del sistema y se regula la carga necesaria para abastecer la demanda.

La conexión de la carga se realiza por medio de un circuito de potencia manejado por una lógica sencilla que decide la conexión en función del estado de carga del acumulador, siendo este control del tipo off/on. El flujo de corriente que disipa la carga tiene gran importancia en la toma de una decisión del algoritmo, ya que la regulación de la energía entrante depende de este consumo, que condiciona la decisión del regulador de acuerdo a su magnitud y al estado energético de la batería.

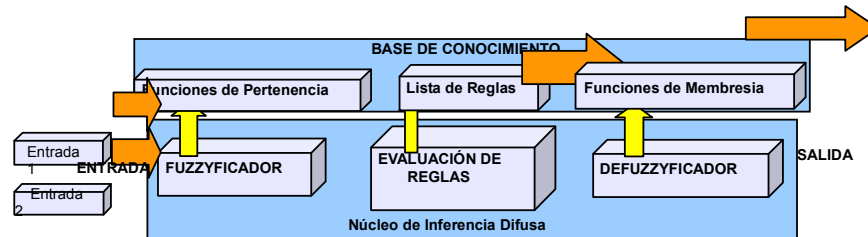


Figura 3 : Esquema básico de un sistema Difuso.

Incorporar el algoritmo difuso al sistema de control del regulador, implica ordenar una estructura lógica en el Núcleo de Inferencia Difusa. En el Núcleo encontramos tres bloques que cumplen una determinada función dentro del algoritmo, los bloques denominados Fuzzyficador o Borrosificador, Evaluación de Reglas y el Defuzzyficador o Desborrosificador, como se indica en la figura 3 (Sanz 1997).

Las variables que ingresan al Núcleo son valores de entrada no difuso, pudiendo ser éstos señales eléctricas que brindan información del sistema a controlar. Las entradas ingresan al bloque Fuzzyficador, definiéndose en él los distintos conjuntos difusos denominados de entrada, que se encargan de transformar el valor no difuso de entrada en uno difuso. La información Fuzzyficada ingresa al bloque Evaluación de Reglas, donde se relacionan los conjuntos difusos de entrada con un conjunto difuso de salida mediante sentencias. La salida del bloque Evaluación de reglas ingresa al Bloque Defuzzyficador para transformar, ésta entrada difusa en un valor no difuso a la salida del núcleo por medio de una función denominada de membresía. En estos bloques se definen Funciones de pertenencia, una Lista de Reglas y funciones de Membresía, formando la Base de Conocimiento de un sistema. Cualquier sistema de control basado en lógica difusa, ordena su estructura lógica de la forma descrita.

DEFINICIÓN DE CONJUNTOS DIFUSOS Y SU UNIVERSO DE DISCURSO

En el conjunto difuso denominado TENSIÓN se tomó un universo de discurso que se encuentra definido en el intervalo de los 11V a los 16V. Se eligió este dominio de tensión ya que no tiene sentido que el regulador de carga trabaje en un universo de discurso más amplio donde no es necesaria la regulación de energía. Dentro de este conjunto difuso se realizó una partición solapada por medio de cinco subconjuntos denominados: *Tensión Baja*, *Tensión Media Baja*, *Tensión Media*, *Tensión Media Alta* y *Tensión Alta*. El conjunto difuso TENSIÓN se lo esquematiza en la figura 4.

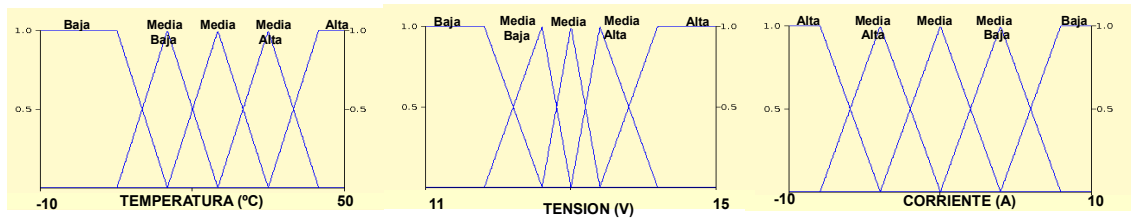


Figura 4. Esquema de los conjuntos difusos de entrada, TEMPERATURA, TENSION Y CORRIENTE.

El regulador difuso trabaja con la corriente que fluye por el sistema y necesita como entrada para el algoritmo los valores de corriente I_1 e I_2 que muestra la figura 5.

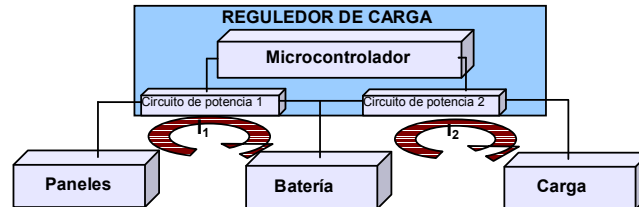


Figura 5. Flujos de corriente dentro del sistema fotovoltaico.

El valor de corriente que se ingresa al núcleo de inferencia difusa es la resta de $I_2 - I_1$, de ésta forma se consigue trabajar solo con un conjunto denominado CORRIENTE y no se necesita definir un conjunto para cada corriente. El universo de discurso del conjunto CORRIENTE se lo define en función de la corriente máxima que puede manejar el circuito de potencia del regulador. Esta previsto que cada circuito maneje una corriente máxima de 10 A, de manera que el dominio del conjunto se encuentra definido entre los -10 A y los 10 A. Para este conjunto se realizó una partición por medio de cinco subconjuntos: *Corriente Baja*, *Corriente Media Baja*, *Corriente Media*, *Corriente Media Alta* y *Corriente Alta*, como lo indica la figura 4.

En el conjunto difuso denominado TEMPERATURA se tomo un universo de discurso que se encuentra definido entre los -10°C y los 50°C. Se tomaron estos valores de temperatura mínimo y máximo considerando que la batería puede trabajar dentro de este rango de temperatura, teniendo en cuenta que estos son valores extremos. Dentro de este conjunto se realizó una partición por medio de cinco subconjuntos: *Temperatura Baja*, *Temperatura Media Baja*, *Temperatura Media*, *Temperatura Media Alta* y *Temperatura Alta*, como lo indica la figura 4. Los subconjuntos de los tres conjuntos difusos de entrada se los caracterizó por medio de una función de pertenencia del tipo L, tres del tipo Triangular y una del tipo Gamma.

ECUACIONES DE COPETTI Y DEFINICIÓN DE LAS REGLAS

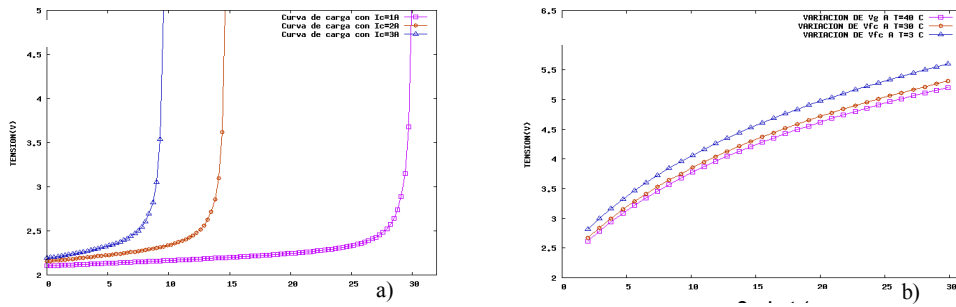
Todo sistema basado en lógica difusa necesita la incorporación de información del sistema que se desea controlar, en éste trabajo se utilizaran las necesidades energéticas de una batería. Es por ello que se estudio la batería por medio de un modelo que brinda información de su comportamiento. En el trabajo ésta información la brinda el modelo de celda electroquímica que plantea Copetti, considerando el comportamiento de una batería como una secuencia de estados permanentes, despreciando los efectos transitorios, tomando corrientes y temperaturas constantes (Lorenzo, 1994).

Sin embargo los sistemas fotovoltaicos trabajan en forma dinámica, variando en los ciclos de trabajo, la temperatura, la corriente de carga y descarga. Esto produce en el modelo discontinuidades numéricas en las transiciones de los estados permanentes y es por ello que el modelo se amplia introduciendo el concepto de estado de energía LOE, definido de la siguiente forma (Murillo, 2003).

$$LOE [I_t] \cong \frac{1}{C_n} \int_{-\infty}^{I_t} n_c [I] [I] [I] \partial t \quad C_n = \max [C]_{T=0}^{T_1, T_2}$$

El LOE se calcula tomando constante la capacidad máxima de la batería en el rango de temperaturas de trabajos definido por T_1 y T_2 .

En el modelo de Copetti encontramos una ecuación de carga y gaseo, cuya gráfica se muestran en la figura 6. Estas brindan información del comportamiento de la celda que compone una batería que se desea controlar (Lorenzo, 1994). En la curva de la figura 6 se simula el comportamiento de una celda electroquímica en una carga a corriente constante. A medida que aumenta la corriente, se observa que más rápido encontramos el codo de curva. En inmediaciones de éste codo se encuentra la tensión de inicio del gaseo, significando que la batería se acerca a la región de sobrecarga. El regulador debe detectar ésta región, de forma que disminuya la energía que inyecta el sistema hasta volverse cero y evitar la sobrecarga.



Figura

6. a) Curva de Carga de una Celda. b) Variación de la Tensión de Gaseo de una celda.

Se observa que éstas gráficas son de vital importancia para la definición del grupo de reglas del regulador. En función de éste modelo de celda se plantea el modelo de batería, que brindara información del comportamiento.

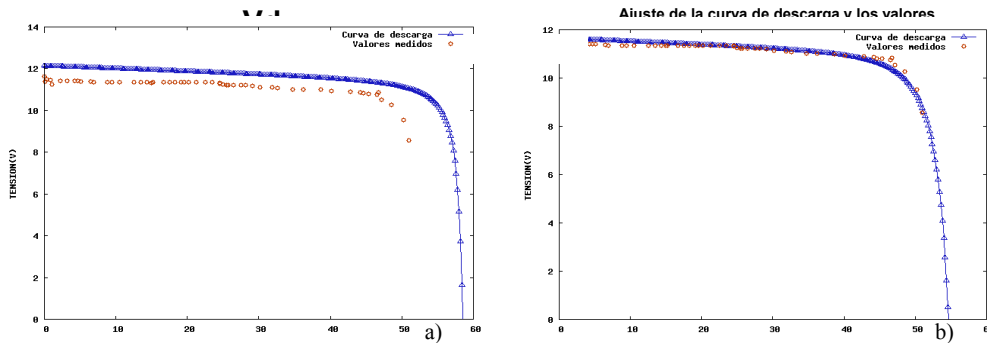


Figura 7. a) Curva descarga normalizada y valores medidos. b) Ajuste de la Curva teórica simulada a la curva real.

Al conectar celdas en serie y paralelo se produce un aumento de voltaje y corriente respectivamente. Si consideramos que todas las celdas electroquímicas que forman la batería a simular son iguales, conteniendo todas ellas las mismas características físicas (los mismos parámetros constitutivos), podemos calcular mediante el modelo de Copetti un modelo de Batería. En la figura 7 se observa la comparación del modelo teórico de batería propuesto y los valores entregados en la descarga de una batería de plomo ácido estacionaria de la marca AUTOBAT de 12V y 100 Ah, modelo 5-BTX-120. Una vez desarrollado el modelo de batería, en función de este se plantean las reglas que se incorporara al regulador de carga.

REGULADOR CON UN NÚCLEO DE INFERENCIA DIFUSA

En la arquitectura del regulador de carga con un núcleo de inferencia, las variables ingresadas al bloque Fuzzificador se relacionan con los conjuntos difusos de entrada denominados TEMPERATURA, TENSION y CORRIENTE. Una vez fuzzificada las entradas, éstas pasan al bloque Evaluación de Regla para combinar los conjuntos difuso de entrada y asociarle un conjunto difuso de salida, como indica la figura 8.

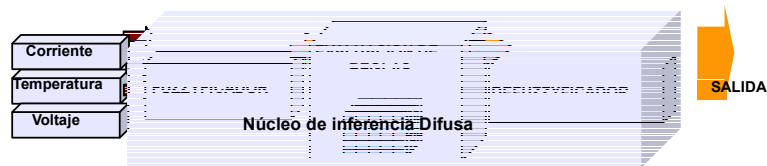


Figura 8. Esquema de la lógica de control de un regulador de carga con un núcleo de inferencia.

Al conjunto de salida se lo denomino CARGA, tomando un universo de discurso entre 0 y 2, como muestra la figura 9. Dentro de este conjunto difuso de salida, se definieron cinco subconjuntos que están etiquetados de la forma: *Carga Baja*, *Carga Media Baja*, *Carga Media*, *Carga Media Alta* y *Carga Alta*. De acuerdo a los valores del conjunto de entrada del regulador, se activara una o varias reglas que dan una respuesta a la regulación de energía. La lista de reglas relaciona el conjuntos de entrada CORRIENTE, TEMPERATURA y TENSION, asociándole el conjunto de salida CARGA. Esta lista de reglas contiene sentencias como la que se expresa a continuación:

IF (CORRIENTE) is (Alta) and (TEMPERATURA) is (Media) and (TENSION is (Media Baja) THEN (CARGA) is (Alta)

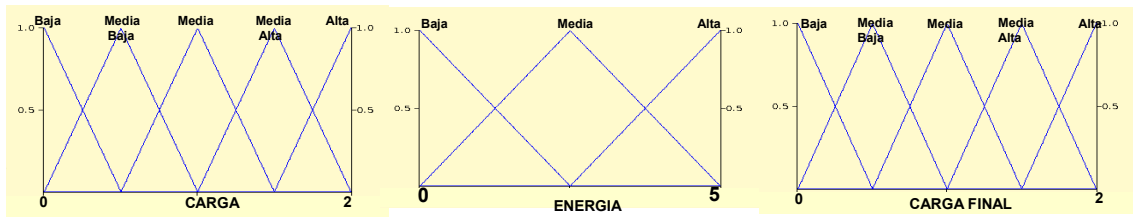


Figura 9. Esquema de los conjuntos Difusos CARGA, ENERGÍA y CARGA FINAL.

Para el regulador con un núcleo de inferencia difusa, se definieron 125 reglas de este tipo, que responde al modelo que describe Mamdani (Sanz, 1997). Estas se pueden representar por medio de cinco matrices como las descripta en la figura 10, que al unir las forman un bloque de información que definen el comportamiento del regulador (FLEB, 2001).

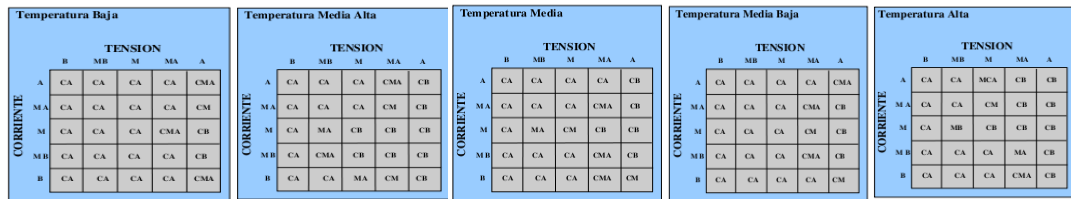


Figura 10. Esquema de las reglas ordenadas en forma matricial.

Cada una de estas matrices describe el comportamiento del regulador en cada subconjunto difuso del conjunto Temperatura, ordenando las distintas reglas en el dominio de trabajo de cada subconjunto.

REGULADOR CON DOS NÚCLEO DE INFERENCIA DIFUSA

Al implementar en el regulador de carga un núcleo de inferencia difusa, existe solo un conjunto de reglas que relaciona la información difusa proveniente de los tres conjuntos de entrada. Manejar la información de tres conjuntos difusos con un conjunto de reglas, agrega al desarrollo del sistema cierta complejidad que se observa en las matrices que contienen las 125 reglas y que deben incorporarse al microcontrolador. Pero si en el regulador de carga se implementa dos núcleo de inferencia, la lógica del regulador debe organizarse en un esquema como muestra la figura 11.

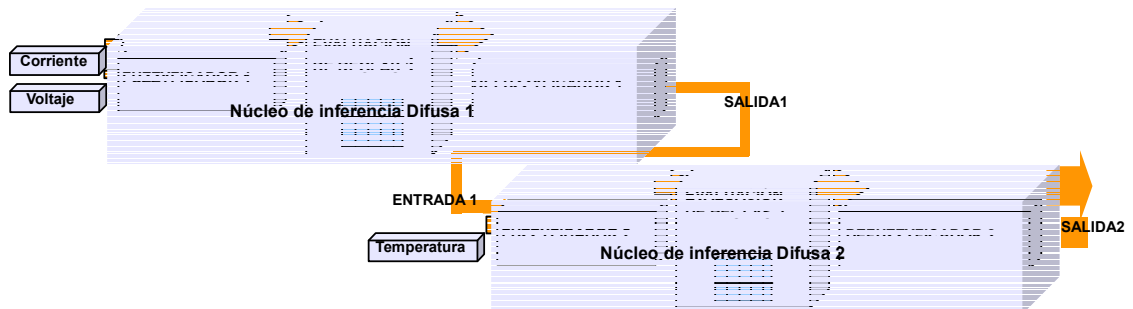


Figura 11. Esquema de la lógica de control de un regulador de carga con dos núcleo de inferencia.

En este esquema se observa dos bloques que representan cada núcleo de inferencia, donde dos de las tres variables de entrada ingresan al primer núcleo para ser fuzzyficadas, evaluadas por el primer conjunto de reglas y ésta información luego de ser defuzzyficada, se utiliza como entrada para el segundo núcleo junto a la tercera variable. En el segundo núcleo, las entradas deben ser fuzzyficadas, evaluadas por el segundo conjunto de reglas y ésta información luego de ser defuzzyficada, ingresa al bloque de potencia para realizar la regulación de energía en el sistema. La implementación de este sistema lleva a disminuir el número de reglas, sin embargo se tiene la desventaja que en el sistema se debe definir dos conjuntos difusos más, un conjunto de entrada que fuzzyficará la salida del primer núcleo que se denominó ENERGÍA y un conjunto de salida que se denominó CARGA FINAL, que permite armar el conjunto de reglas que gobiernan el segundo núcleo. En la figura 9 se observa el esquema de ambos conjuntos.

En la primera lista de reglas relaciona los conjuntos difusos de entrada TENSION y CORRIENTE, asociándole el conjunto difuso de salida CARGA. La lista de reglas contiene sentencias como la que se expresa a continuación:

IF (CORRIENTE) is (Alta) and (TENSION) is (Media Baja) THEN (CARGA) is (Alta)

En la segunda lista de reglas relaciona los conjuntos difusos de entrada TEMPERATURA y ENERGÍA, asociándole el conjunto difuso de salida CARGA FINAL. La lista de reglas contiene sentencias como la que se expresa a continuación:

IF (ENERGÍA) is (Media) and (TEMPERATURA) is (Media Baja) THEN (CARGA FINAL) is (Media Alta)

El regulador de carga con dos núcleos, contienen un total de 40 reglas que se ordenan en dos matrices, 25 reglas definidas para la matriz del primer núcleo y 15 reglas definidas para la matriz del segundo núcleo, como indica la figura 12 (FLEB, 2001).

Reglas para el primer núcleo						
TENSION						
CORRIENTE						
	B	MB	M	MA	A	
A	CA	CA	CA	CA	CB	
MA	CA	CA	CA	CMA	CB	
M	CA	CMA	CM	CB	CB	
MB	CA	CA	CA	CMA	CB	
B	CA	CA	CA	CMA	CM	

Reglas para el segundo núcleo			
ENERGIA			
TEMPERATURA			
	B	M	A
B	CFM	CFA	CFA
MB	CFMB	CFA	CFA
M	CFB	CFM	CFA
MA	CFB	CFMB	CFMA
A	CFB	CFB	CFM

Figura 12. Esquema de las reglas ordenadas en forma matricial.

Estas matrices responde al modelo que describe Mamdani y ordenan el conjunto de reglas de todo el regulador de una manera más clara. Esta arquitectura nos permite dividir el flujo de información que maneja el sistema difuso en dos núcleos, permitiendo analizar el estado de energía de la batería mediante 25 reglas y corregir ésta al encontrarse influenciada por la temperatura, por medio de 15 reglas más.

SIMULACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA PARA UNO Y DOS NÚCLEOS DE INFERENCIA

Ambas lógicas de control se simularon por medio de Xfuzzy 3.0, variando las tres magnitudes de entrada en todo el universo de discurso de cada conjunto difuso y estudiando la salida de ambos sistemas. En la salida de ambos sistemas se obtiene un valor entre cero y dos, indicando éste número el grado de regulación de corriente que el controlador difuso debe realizar dentro del sistema fotovoltaico.

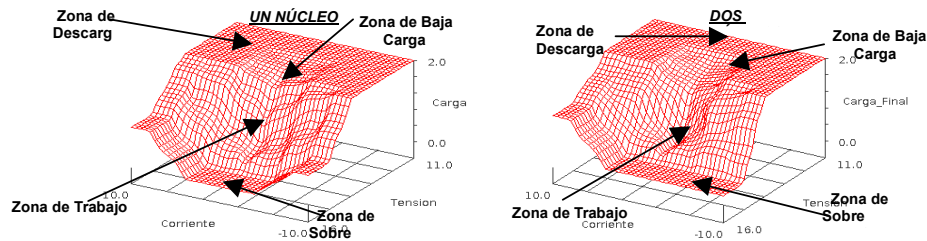


Figura 13. Salida del sistema a temperatura constante en función de la Tensión y la Corriente.

En la figura 13 se gráfica el plano de control que entrego cada sistema, observando que ambos resultados son similares. Esta similitud se debe a que ambos sistemas de control se los oriento para que respondan a una misma función que describe el comportamiento de la batería. Estos planos de control se simularon para una temperatura de 20 °C en función de la Corriente y la Tensión. En éstas curvas se puede apreciar las distintas regiones de trabajo donde el controlador regulara la energía.

En la región de baja tensión se encuentra la Zona de Descarga, es por ello que la salida del sistema se mantiene en máxima, debido a que la energía almacenada en la batería es baja y la corriente proveniente de los paneles debe ser elevada, para intentar recuperar la carga consumida en el sistema. A medida que la tensión aumenta, se observa que la señal de salida del plano de control comienza a atenuarse, se ingresa a la Zona de Baja Carga produciendo una regulación suave de corriente y luego se ingresa a la Zona de Trabajo, donde se produce una regulación más intensa. Esta gran atenuación de la salida se debe a que el potencial en los bornes de la batería crece acercándose a la tensión de gaseo, por lo tanto la corriente debe disminuir hasta anularse y evitar la sobrecarga. La salida se vuelve cero al entrar en la Zona de Sobrecarga, ésta señal toma éste valor para cortar la corriente de alimentación.

Ambos comportamientos muestran que la lógica del regulador actúa dividiendo la carga en dos etapas, inyectando una corriente fuerte si el banco acumulador se encuentra descargado (primera etapa) y una segunda etapa, al desacelerar el proceso de carga por medio de una señal modulada (PWM), denominada absorción.

COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS

Se observan algunas diferencias en los planos de control de ambas arquitecturas desarrolladas. Estas diferencias se debe a que se planteo un problema por medio de 125 reglas y por medio de 40 reglas. Por lo tanto, es lógica la diferencia de ambas de ambos respuestas, ya que se busca resolver un problema teniendo una diferencia importante reglas y utilizando arquitecturas distinta. Sin embargo se observa que ambos brindan una respuesta adecuada para el control que se desea desarrollar.

Las fallas en la lógica pueden ser detectadas con mayor facilidad en un regulador con dos núcleos, debido a que el problema se encuentra dividido en dos partes y con una cantidad menor de reglas. Para el regulador con un núcleo, detectar las fallas de la lógica es más complicado, ya que implica identificar la región del problema y modificando una de las 125 reglas. Esto muestra que ordenar la lógica de control en dos núcleos tiene relevancia, ya que si en un futuro se desea mejorar la respuesta del sistema o se desea hacer más robusto el control, nos permitirá ser objetivos en la modificación y coherentes al incluir una nueva variable o núcleo. Es por ello que la lógica desarrollada por medio de dos núcleos se adapta mejor a la lógica de control que se desea desarrollar, permitiéndonos definir en el microcontrolador 80 reglas menos, utilizando menos memoria y agilizando el sistema de control.

ANÁLISIS DE LA SEÑAL

El comportamiento de la señal de salida en función de las variables de entrada nos permite estudiar y comprender el comportamiento del regulador de carga en el espacio que se definió la regulación de energía. En la figura 14 se observa la evolución del plano de control Tensión-Corriente a medida que la Temperatura aumenta, adaptando la lógica del plano de control en las distintas situaciones que se encuentre el sistema. En esta figura se esquematiza por medio de las flechas azules el crecimiento de la temperatura.

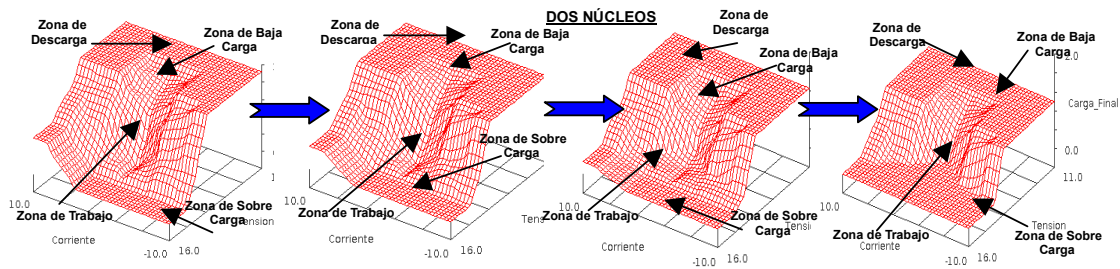


Figura 14. Evolución del Plano de control función de la Tensión y la Corriente a medida que la Temperatura crece.

La primera gráfica corresponde al plano de control para una temperatura de 28°C, a medida que la temperatura crece se observa que en la zona de Tensión alta, la señal comienza a decrecer, expandiendo la Zona de Sobrecarga donde debe producirse el corte. Puede observarse que en la Región de Trabajo de la batería, la señal también decrece debido a la disminución de la Tensión de Gaseo que produce el aumento de la temperatura como se mostró en la figura 6.

Si se estudia el plano de control en función de la corriente y temperatura, analizando éste a medida que aumenta la tensión, se pueden ver las regiones de trabajo en función del flujo de corriente como se observa en la figura 15.

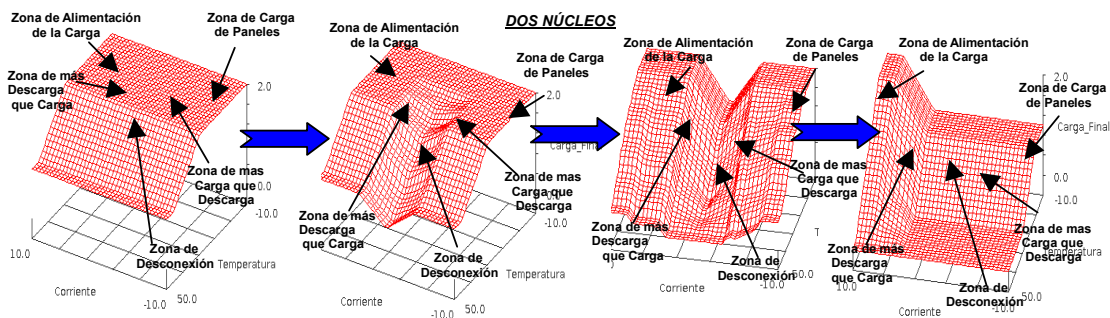


Figura 15. Evolución del Plano de control función de la Temperatura y Corriente a medida que la Tensión crece.

MICROCONTROLADOR

Una vez desarrollada la lógica de control, se procede a pasar la misma a un microcontrolador. En éste trabajo se estudio la programación de microcontroladores Microchip (PICs) en lenguaje C, debido a que él desarrollo del algoritmo difuso necesita de la definición de distintas funciones matemáticas que volverían complejo el algoritmo si se desarrollase en lenguaje ensamblador, que es él que generalmente se utiliza para la programación de microcontroladores. La programación se realizo implementando un PIC 18F4550, mediante un programa desarrollado en C para microcontroladores.

Inicialmente se desarrollo el algoritmo difuso en lenguaje C en una PC, debido a que éste modelo de regulador más adelante debe simularse con otros modelos que representen distintos elementos del sistema fotovoltaico. Una vez desarrollado el algoritmo, se lo intento incorporar al microcontrolador adaptando algunas variables por medio del programa MPLAB.

Al trabajar el algoritmo difuso en el MPLAB, la compilación de la estructura lógica indicaban errores: la extensión del algoritmo era muy extenso, el número de variables definidas por función superaba la permitida y la definición de las matrices definidas en el programa eran muy grandes. Es por ello que gran parte de la lógica desarrollada se cambio. Esto llevo a depurar el programa, contener la menor cantidad posible de variables y hacer un algoritmo más eficiente. Una vez compilado el algoritmo, se evaluó el mismo mediante el simulador del MPLAB. En la figura 16 se observa una fotografía del microcontrolador 18f4550, utilizado como cerebro del regulador de carga.

Para éste integrado se realizo una placa de prueba, la cual permite realizar la alimentación del microcontrolador y poder conectar fácilmente las salidas del mismo con los elementos externos. Aquí también se observa el grabador de PICs y los instrumentos que se utilizaron para el control de las señales.

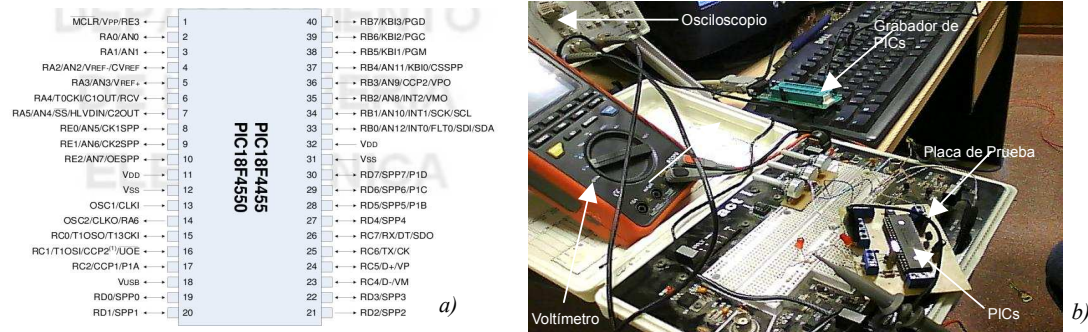


Figura 16. a) PIC 18F4550 b) Prueba del Microcontrolador.

CONCLUSIÓN

En el trabajo realizado se observó la potencia y la gran flexibilidad de los sistemas difusos, debido a que se resolvió el problema planteando dos caminos distintos. En los planos de control se evidencia la solución propuesta para la regulación de energía que debe impartir un regulador de carga que se encuentra inmerso en un sistema fotovoltaico.

El conocimiento que se incorporó al regulador se lo obtuvo por medio de las ecuaciones de Copetti, planteando un modelo de Batería por medio de éste y comparando la curva teórica con la curva real de una batería estacionaria de 100Ah.

La simulación de ambos sistemas estudiados, permitió tener criterios de cómo estudiar y verificar la respuesta de ambos sistemas difusos, llevándonos a analizar el comportamiento de la lógica de control del regulador bajo distintas circunstancias de trabajo. En las simulaciones se observó la evolución del plano de control, describiendo la adaptación de lógica de control de acuerdo a las condiciones de trabajo externas.

El traspaso de la lógica difusa realizado en lenguaje C al microcontrolador, resultó ser una tarea laboriosa, sin embargo se logró implementar. Este trabajo llevó a agilizar el sistema de control. Este es un gran adelanto, debido a que en éstos momentos se cuenta con una implementación física de lógica de control difusa para reguladores de carga, pudiéndose adaptar la misma para otros sistemas que se deseen desarrollar.

REFERENCIAS

- [1] Del Carmen Alonso García (2000), Fundamentos Dimensionado y Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.
- [2] Eduardo Lorenzo, 1994, Electricidad Solar, Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos.
- [3] Escolano Ruiz F., Miguel Angel Cazorla Quevedo (2003), Inteligencia Artificial, Thompson.
- [4] Murillo Daniel (2003), Modelado y Análisis de sistemas fotovoltaicos, Universitat Politècnica de Catalunya.
- [5] Copetti JB, Chenlo F, Lorenzo E. (1993) A general battery model for PV system simulation. Progress in Photovoltaics: Research and Applications; 1: 283–292.
- [6] FLEB son las siglas de Fuzzy Logic EBook (2001), Libro Electrónico sobre Lógica Difusa.
- [7] B. Martín del Brío, A Sanz Moína (1997). “ Redes Neuronales y Sistemas Borrosos”.
- [8] Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2a edición Wiley Interscience,
- [9] J.A. Ravelo y S. Lorenzo, Control de convertidor DC/DC para carga de Batería en Sistemas Fotovoltaicos de Potencia. Departamento de Tecnología Electrónica. Universidad de Valladolid. Valladolid (España).
- [10] Ing. Hector L. Gasquet, 2004, Conversion de la Luz Solar en Energía Eléctrica. Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos , Solartronic.
- [11] Ing. Héctor L. Gasquet, 2007, Manual De Energía Solar El Paso Solar Energy Association, Austin Texas.

Abstract: This paper studies the behavior of the control plane load regulator Diffuse immersed in a PV system. Develop regulatory control for this implies, having prior knowledge of the system to be controlled, defining the knowledge base based on this information and move the logic developed. The development of the control logic it wants to implement on a PIC microcontroller.

The paper proposes the design of fuzzy processor implementing two architectures, using one and dual-core inference. These let you manage the information flow differently and respond to the regulation of energy photovoltaic system based on its knowledge base. The response of both systems is studied by means of a software program called Xfuzzy 3.0. After development architectures must be chosen the most suitable for incorporation into the microcontroller.

Keywords: Photovoltaic, regulators, batteries, fuzzy logic.