



## Control de un sistema eólico-fotovoltaico utilizando un controlador fuzzy

Alfredo G. M. Gámez  
Javier Cabrera  
Eduardo Castañeda

Francisco E. López  
Mario Morera  
Oscar Cruz

Recibido: Abril del 2008  
Aprobado: Mayo del 2008

### Resumen / Abstract

En este artículo, se prueba de manera virtual, un controlador basado en lógica difusa para un sistema híbrido de generación de energía. La simulación digital emplea como herramienta el Labview, obteniéndose resultados gráficos descriptivos de la acción del controlador, así como la interfaz gráfica representativa del comportamiento del sistema.

Palabras clave: Interfaz, sistema híbrido, lógica difusa

*In this article is tested a virtual controller using fuzzy logic for a hybrid system of power generation. LABVIEW is used as a digital simulation tool obtaining descriptive graphical results of the action of the driver as well as a graphical interface of the behavior of the system.*

*Key words: Interface, hybrid system, fuzzy logic*

### INTRODUCCIÓN

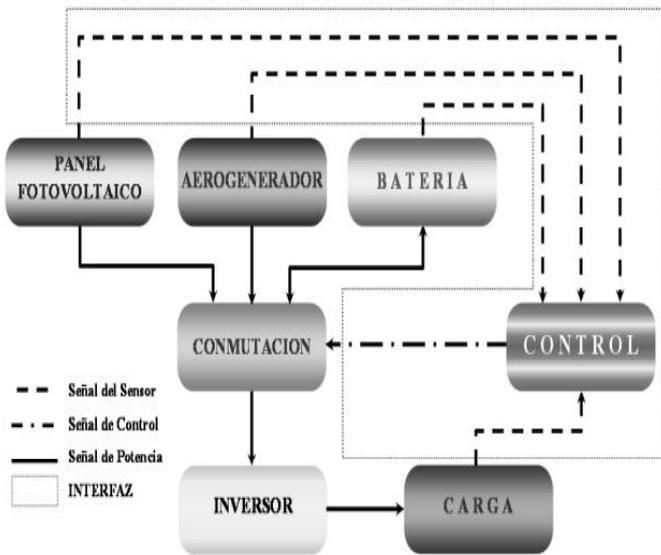
Se tiene un sistema híbrido de generación de energía eléctrica que suministra potencia a una carga variable, la cual consume de 0 a 30A de corriente alterna. La generación de energía eléctrica es llevada a cabo mediante un sistema híbrido. Los sistemas solar (panel solar y accesorios) y eólico (aerogenerador y accesorios), entregan un voltaje de 0-12 V de corriente directa (CD de acuerdo con la incidencia de los rayos solares y a la velocidad del viento. Es necesario que en cada momento la demanda de corriente requerida por la carga sea suministrada, por ello se tiene una batería recargable que proporciona un voltaje de 0-12 V de corriente directa. La recarga de la batería es realizada mediante el sistema híbrido en función del estado de la demanda de corriente en la carga.

### DISEÑO DEL CONTROL

Se emplea la plataforma de Labview,<sup>1</sup> y se hace la representación del funcionamiento del sistema a diseñar.

La conversión del voltaje de corriente directa (CD) a voltaje de corriente alterna (CA), es realizada mediante un inversor del tipo onda senoidal modificada que esta conectado directamente a la carga.<sup>2</sup>

El control automático propuesto del sistema híbrido basado en la lógica difusa que tiene como actuador un sistema de conmutación que realiza las conexiones necesarias para mantener el suministro de corriente requerido por la carga. Ver figura 1.



Interfaz del sistema híbrido (eólico-fotovoltaico).

1

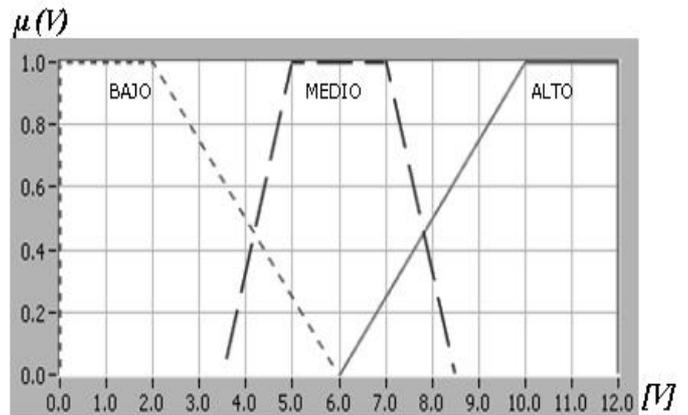
Se emplea un controlador difuso y un modelo que sirva como interfaz gráfica con el usuario; obteniendo así datos de simulación del sistema real.

El diseño del controlador difuso parte del diagrama de la figura 1, donde se identifican las entradas y su salida. Como entradas se tienen señales del sistema solar y eólico, así como de la batería y la carga; y como salida la señal para la conmutación. Las variables lingüísticas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Definición de variables y términos lingüísticos		
Nombre	Tipo	Términos lingüísticos
Solar	Entrada	Bajo, Medio, Alto
Eólico	Entrada	Bajo, Medio, Alto
Batería	Entrada	Bajo, Medio, Alto
Carga	Entrada	Circuito abierto, carga mínima, carga normal, carga máxima, cortocircuito
Conmutación	Salida	Sin alimentar, alimentación directa, alimentación con batería

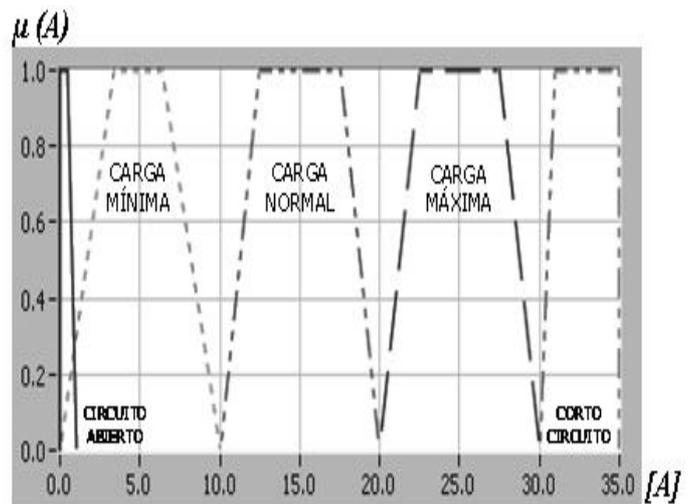
De la tabla 1 se obtienen los términos lingüísticos para las diferentes variables con carga mínima < 10 A; carga normal para una demanda de corriente < 20 A; carga máxima para una demanda de corriente < 30 A; en la variable conmutación se definen como: *Sin alimentar* cuando no se proporciona energía a la carga; *alimentación directa*, cuando se abastece la demanda de corriente mediante el sistema híbrido; *alimentación con batería* suministra la demanda de corriente con la batería y *cargar batería* es la condición de recargar la batería con el sistema híbrido.

Definidas las variables representativas del sistema, con cada uno de sus términos lingüísticos particulares se utiliza la herramienta virtual Fuzzy Logic Toolkit contenido en el "PDI Control Toolset" de Labview,<sup>3</sup> para establecer las funciones de membresía, la fusificación, la base de reglas y el método de desfusificación, se grafica para las funciones de membresía de cada una de las variables lingüísticas definidas en la tabla 1, como se observa en las figuras 2, 3 y 4.



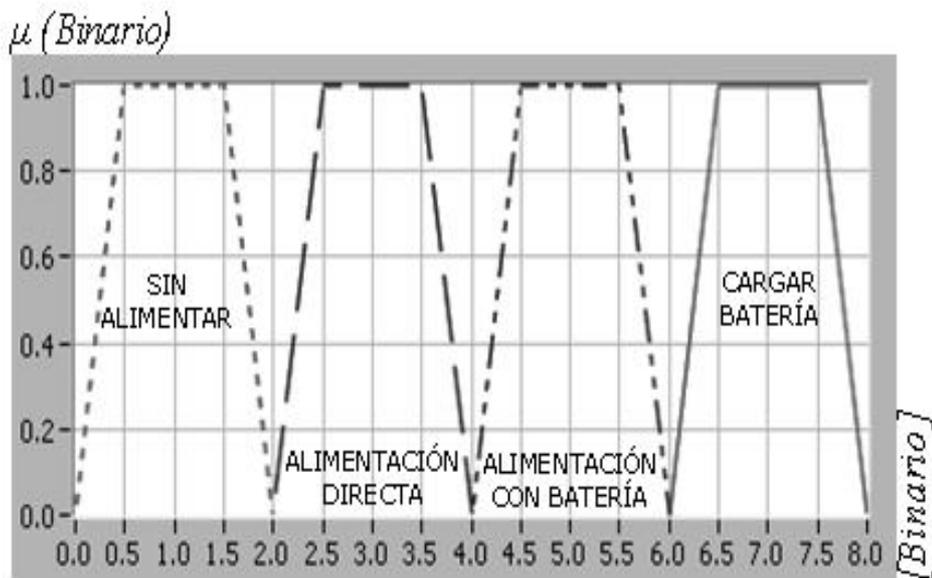
Funciones de membresía para la variable solar, eólica y batería.

2



Funciones de membresía para la variable carga.

3



Funciones de membresía para la variable conmutación.

4

Definidas las funciones de membresía para cada variable lingüística se genera la base de reglas difusas (sí, entonces) y se decide el método de defusificación.

Este sistema cuenta con 135 reglas editadas de acuerdo con la experiencia y estimación del sistema a controlar;<sup>4</sup> en la figura 5 solo se muestran algunas de ellas. El método de defusificación elegido es el de *máximo centro*. El controlador se prueba con interfaz gráfica creada en la plataforma de Labvie.

**MODELO DE LA INTERFAZ GRÁFICA**

El desarrollo de la interfaz gráfica se hace de manera tal, que existan elementos virtuales fáciles de identificar por el usuario, que indiquen el estado actual del sistema híbrido, así como también los controles booleanos (palancas e interruptores) que permitan seleccionar el modo automático o manual del sistema en general.

En la figura 6 se muestra cómo queda integrado el modelo de la interfaz gráfica para el sistema híbrido.

*Rulebase - Editor*

Utils	IF				THEN	With	Up	Defuzzification Method
Rule-Nr.	SOLAR	EOLICA	BATERIA	CARGA	CONMUTACI	DoS		Center of Maximum
1	BAJO	BAJO	BAJO	CIRCUITO	CARGAR	1.00		default term
2	BAJO	BAJO	BAJO	C. MINIMA	AL.	1.00		<65535>
3	BAJO	BAJO	BAJO	C.	CARGAR	1.00		if no rule is activ
4	BAJO	BAJO	BAJO	C. MÁXIMA	CARGAR	1.00		Default value
5	BAJO	BAJO	BAJO	CORTO	SIN	1.00		Inference Method
6	BAJO	BAJO	MEDIO	CIRCUITO	CARGAR	1.00		Max-Min
7	BAJO	BAJO	MEDIO	C. MINIMA	AL.	1.00		select form of Rulebase
8	BAJO	BAJO	MEDIO	C.	CARGAR	1.00		normal Rulebase
9	BAJO	BAJO	MEDIO	C. MÁXIMA	CARGAR	1.00		total rules 135
10	BAJO	BAJO	MEDIO	CORTO	SIN	1.00		used rules 135
11	BAJO	BAJO	ALTO	CIRCUITO	SIN	1.00		default DoS 1.00
12	BAJO	BAJO	ALTO	C. MINIMA	AL.	1.00		Help
13	BAJO	BAJO	ALTO	C.	AL.	1.00		Quit
14	BAJO	BAJO	ALTO	C. MÁXIMA	AL.	1.00		
15	BAJO	BAJO	ALTO	CORTO	SIN	1.00	Dn	

Ventana del editor.

5

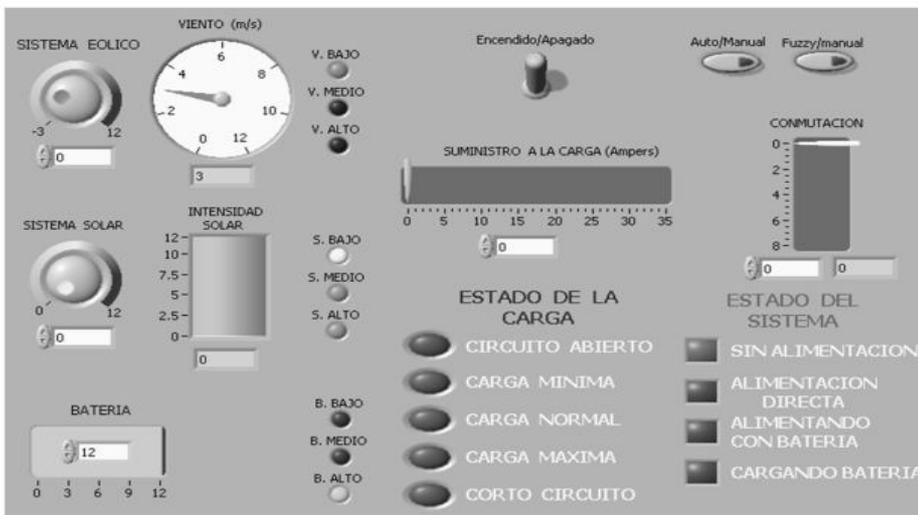
Como se observa en la figura 6 existen indicadores para cada condición presentada en los sistemas por separado. También cuenta con botones para activar el modo manual o automático al momento de generar los valores de las señales de entrada en cada uno de los sistemas, así como también para activar la acción del controlador difuso o dejar la conmutación a criterio del usuario.

En la figura 7 se muestra el diagrama de programación que genera las señales de entrada para la interfaz gráfica.

### RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DIGITAL

Sobre la base del diseño obtenido, se prueba para verificar gráficamente el comportamiento del sistema y la acción del controlador difuso. La prueba consiste en generar aleatoriamente valores para las señales de entrada y tener activada la acción del controlador difuso, los resultados se muestran en la figura 8.

Como se observa en la figura 8 las condiciones de conmutación producidas por el controlador, referenciados con A, B, C y D, se comprueban con el conjunto de reglas difusas editadas en el paquete establecido anteriormente.



Modelo para la interfaz gráfica.

6

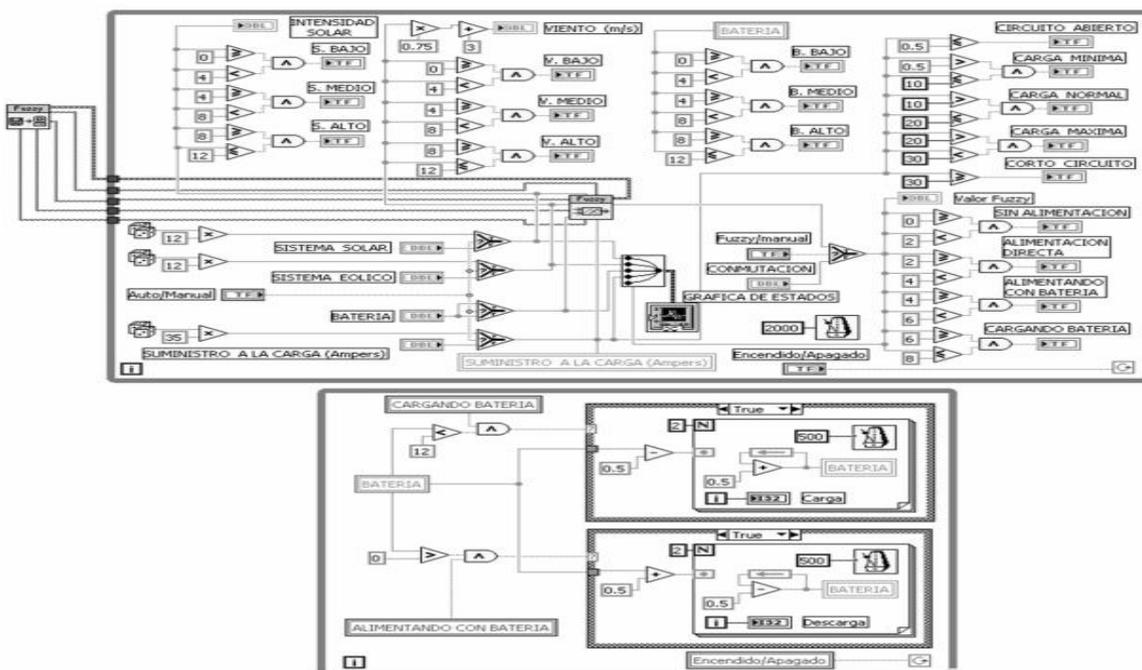
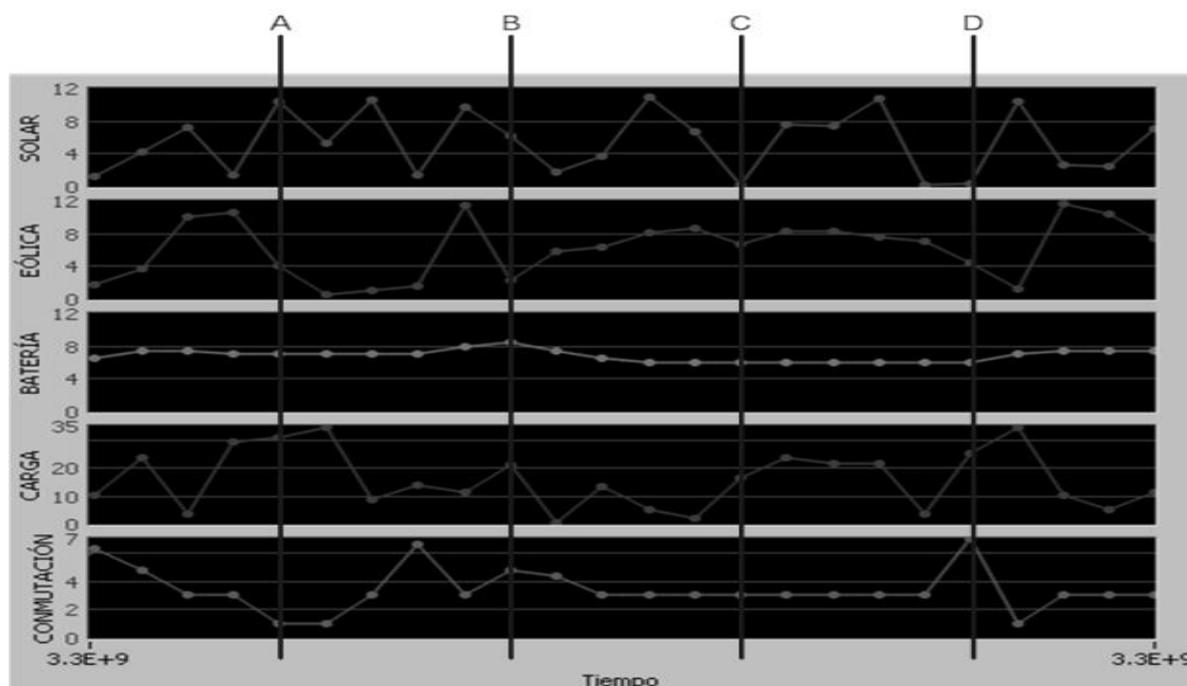


Diagrama de programación para la simulación de la interfaz.

7



Simulación para diferentes eventos.

6

## CONCLUSIONES

1. El controlador responde de manera inmediata y adecuada a lo esperado según las reglas difusas creadas.
2. En condiciones normales de operación en la carga (carga mínima, carga normal y carga máxima), la respuesta del controlador permanece constante.
3. En presencia de estados no deseados en la carga, como por ejemplo, circuito abierto, cortocircuito etc., el controlador tiene mayor acción y responde satisfactoriamente.
4. En términos generales el controlador y la interfaz gráfica es funcional, pero se puede mejorar su desempeño agregando condiciones de operación para las variables de entrada y salida.

## REFERENCIAS

1. LABVIEW, *User Manual*, 2da. ed., April, 2003.
2. Rashid Muhammad, H.: *Electrónica de potencia, circuitos dispositivos y aplicaciones* 3ra. ed., Prentice Hall, México, 2004.
3. PDI Control Toolset, *User Manual*, National Instruments Labview, November, 2001.
4. www.cabreracontrol.com

## AUTORES

### Alfredo G. M. Gámez López

Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, Profesor Titular A, Laboratorio de Electrónica, Universidad Veracruzana, México.  
e-mail:alfredogustavo2004@yahoo.com.mx

### Javier Cabrera Vázquez

Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Electrónica, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México  
e-mail:javier.cabrera@ucei.udg.mx

### Eduardo Castañeda Paredes

Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, Departamento de Electrónica, Universidad de Guadalajara, Jalisco, México  
e-mail:eduardo.castañeda@ucei.udg.mx

### Francisco E. López Monteagudo

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Villa Clara, Cuba  
e-mail:eneldol@fie.uclv.edu.cu

### Mario Morera Hernández

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba  
e-mail:marmor@electronica.cujae.edu.cu

### Oscar Cruz Fonticiella

Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Cuba  
e-mail:fonticu@yahoo.com