

MODELADO Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA EN UNA ARQUITECTURA INCRUSTADA

López-Villalobos José de Jesús, Valderrama-Chairez José, Garza-Sánchez Sylvia, Pérez-Ruvalcaba Manuel
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Nuevo León
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Av. Eloy Cavazos 2001, Col. Tolteca, Guadalupe, N.L.
Tel. +52 81 81570500, Fax +52 81 81570505
e-mail jjlopez@itnl.edu.mx

RESUMEN.

Se debe desarrollar una plataforma de diseño rápido para ayudar a evaluar el estado y la presencia de elementos de un entorno en un área definida de la red de paneles solares, como la plataforma de implementación rápida HW-SW, que utiliza herramientas de modelado de lógica difusa, para aplicarla a la gestión de energía. El uso de los sistemas embebidos prefabricados utilizados nos brinda posibilidades para un desarrollo rápido y con soporte de diseño electromecánico para cubrir estándares industriales y ciertos entornos operativos. Dicha plataforma adicionalmente debe cumplir con los estándares para la Industria 4.0

Palabras Clave: Sistemas embebidos, lógica difusa, IoT, administración energética

ABSTRACT.

A rapid design platform has to be developed to help assess the status and presence of a environment elements in a defined area of solar panel network, such a quick implementation platform HW-SW, using fuzzy logic modeling tools, to apply it to energy management. The use of prefabricated embedded systems used gives us possibilities for rapid development and with electromechanical design support to cover industrial standards and certain operating environments. Said platform must additionally comply with the standards for industry 4.0

Keywords: Embedded systems, fuzzy logic, IoT, energy management

1. INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo del presente trabajo se tuvieron diversas necesidades de solución de administración energética de un sistema de paneles solares ubicados dentro de una empresa del sector industrial, la cual mediante el uso de tecnología adaptada para la industria 4.0; cabe mencionar que la necesidad de evaluar el desempeño de generación energética de un sistema en red de 9.6. kW ayudara a la optimización de la infraestructura instalada, pudiendo apoyar en el crecimiento en la generación basada en la proyección de la instalación futura de la red de paneles solares.

El objetivo de este proyecto es obtener los modelos de generación eléctrica de una planta solar eléctrica basados en el comportamiento ambiental de radiación solar y humedad, así como evaluar su desempeño con respecto a los parámetros máximos de generación posible; todo lo anterior basado en la obtención de modelos con lógica difusa.

Para el desarrollo de este trabajo se hace uso de herramientas de modelado que faciliten la aplicación de técnicas de inteligencia artificial y además generen código para implementación en sistemas de software y/o hardware, facilitando el prototipado rápido de nuestro proyecto.

En las siguientes secciones se definirán en detalle la infraestructura utilizada, los parámetros evaluados y el algoritmo de control utilizado para evaluar el desempeño energético de la instalación [8].

2. ELEMENTOS DE DESARROLLO

2.1. Modelado difuso.

Para el desarrollo del proyecto se tuvieron que identificar los parámetros que influyen en el desempeño en la generación de los sistemas fotovoltaicos PV conectados a la red, dichos parámetros se pueden centrar de dos tipos:

- a) Irradiación solar
- b) Cuadrícula de ubicación

En ambos casos existen parámetros que son medibles como lo es la iluminación, calidad del aire, neblina, humedad y punto de rocío, precipitación, temperatura presente, presión, visibilidad, temperatura y viento. Sus características siguen patrones que generan una base de conocimiento previo, que este a su vez conforman una estructura de big data simple que dará la pauta para la propuesta de modelados de una estructura difusa [1,2].

Cabe mencionar que para el desarrollo del modelado de nuestro sistema se utilizo Xfuzzy, herramienta especializada en lógica difusa, dicha herramienta ayuda en el propio modelado, validación, análisis y generación de código [5, 6]. Algunos ejemplos de los conjuntos difusos se muestran en la figura 1, en donde predominan tres opciones de tipo conjunto difusos: gaussianas, trapezoidales y triangulares.

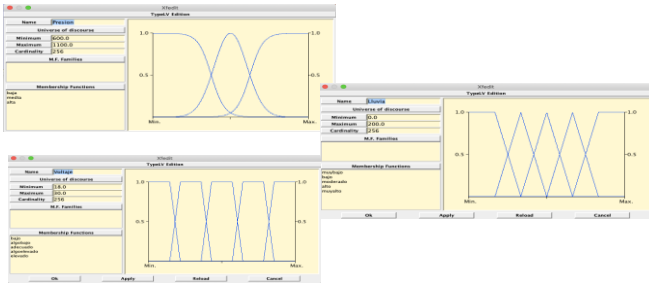


Figura No 1 Formas de onda utilizadas en la herramienta Xfuzzy

El análisis de las posibles estrategias de fuzzificación y defuzzificación se basan en la manera de seleccionar la forma de los conjuntos difusos, es evidente que por el número de opciones puede ser complicado, tomando en cuenta trabajos previos y con fines de iniciar se consideran tres tipos de posibilidades para encontrar los modelos iniciales para medir la eficiencia de nuestra red PV, estos son las formas: triangular, trapezoidal y gaussiana.

Definidos ya los aspectos iniciales de los conjuntos difusos, la siguiente etapa es la definición de las variables a utilizar, para lo cual, en función a los sensores disponibles, los variables son:

- Altura de nubes
- Presión atmosférica
- Temperatura
- Humedad
- Caída de lluvia
- Voltaje de salida del arreglo PV

Cabe mencionar que excepto la primera variable, todas las posteriores son detectadas a través de un sensor transmisor de clima; en el caso del primero se utiliza un sensor denominado Cielometro, que mide presencia de nubes sobre superficies [8]. Ahora bien, los rangos a considerar para el diseño de las entradas son los siguientes:

- Altura de nubes, 0 a 7.5 Kms
- Presión atmosférica, 600 a 1100 hPa
- Temperatura, -52 a 60°C
- Humedad, 0 a 100 % RH
- Caída de lluvia, 0 a 200 mm/h
- Voltaje de salida, 18 a 30 VCD

En todos los casos se tienen conjuntos difusos con 5 funciones de membresía consideradas, como aproximación inicial, ajustables en cuanto los conjuntos difusos de cada variable de acuerdo con el comportamiento de cada una de las variables, porque lo que no se espera que existan similitudes.

Para fines de evaluación del proceso de vinculación de las variables se utiliza la metodología de max-min para lograr la

fuzzificación, para este caso es una aproximación inicial que puede ser mejorada con otras técnicas futuras de aplicación [3,4,7].

Para el proceso de defuzzificación se tienen como salidas % radiación solar por día, descripción de trayectoria solar y captación de sol, el método para desarrollar este proceso es el de centro de gravedad. En la figura siguiente se muestra un conjunto difuso de salida. A continuación, en la figura 2, se tiene un modelo de conjunto difuso aplicado para una salida del sistema modelado.

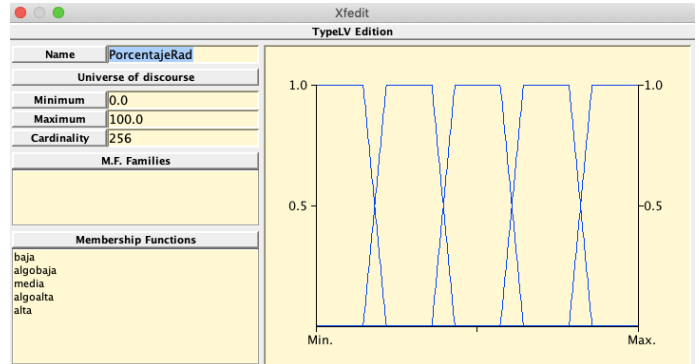


Figura No 2 Modelo de entradas y salidas básicas implementadas, sólo se muestran algunas de manera representativa.

Por la cantidad de entradas y su vinculación con las salidas se escalaron las reglas por pesos de referencia basado en la experiencia de pruebas de campo de la red PV implementada en la empresa. En la figura 3 se muestra parte del algoritmo difuso implementado en el cual se describe de manera gráfica la tabla de base de datos relacionados, dos entradas y una salida.

Rule		Temp	Vpanel	Peso2
0	1.0	if Temp == muybaja & Vpanel == bajo	->	Peso2 = media
1	1.0	if Temp == baja & Vpanel == adec...	->	Peso2 = media
2	1.0	if Temp == alta & Vpanel == algoe...	->	Peso2 = baja
3	1.0	if Temp == muyalta & Vpanel == algoe...	->	Peso2 = alta

Figura No 3 Estructura de algoritmos difusos.

Uno de los objetivos de esta estructura fue el balancear la carga de computo aritmético y facilitar su implementación en la estructura embebida.

En los resultados que se muestran en las siguientes etapas se puede validar la aproximación de los resultados experimentales y teóricos establecidos para el modelo de paneles solares utilizados para este proyecto. En la figura 4 se muestra la integración de los diversos controles vinculados para los factores ambiental, operativo y humedad, integrados en los tres parámetros de evaluación de desempeño de salida: radiación detectada, trayectoria solar y niveles de captación solar.

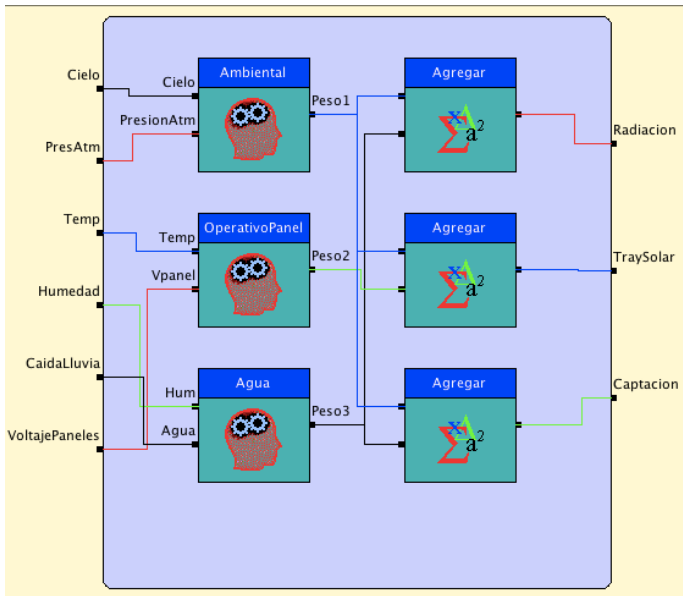


Figura No 4 Modelo completo del sistema de control difuso

2.2. Sistema Hardware-Software + IoT.

Para la implementación de la arquitectura de control del programa difuso compuesto, se utiliza como unidad de software una tarjeta Raspberry Pi 3 B+ con las características conocidas de procesamiento basadas en programación en Python; como tarjeta de hardware se tiene el apoyo de dos tarjetas Arduino UNO, tomando en cuenta que las variables en la entrada tienen una respuesta menor de 400 Hz, el muestreo de la adquisición de datos aportado por la tarjeta cubre este parámetro; dichas tarjetas cumplen las características de conversión análogo-digital con rangos de 0 a 5 volts. Se muestra el sistema completo en la figura 6 en donde se muestra la unidad central basada en la tarjeta Raspberry y con el apoyo de dos tarjetas Arduinos que son sistemas de adquisición de datos.



Figura No 5 Sistema de conversión de corriente a voltaje utilizada para la primera versión de hardware-software

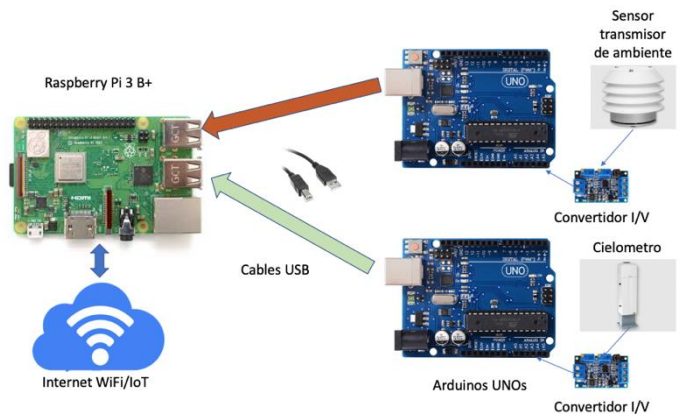


Figura No 6 Diagrama de bloques de sistema HW-SW y mecanismos de adquisición de datos.

Cabe mencionar que adicionalmente se tiene un sistema de conversión de corriente a voltaje para el sensor transmisor de clima. Véase figura 5 del sistema de conversión de corriente a voltaje utilizado adaptable a la plataforma embebida. El medio de conexión entre HW-SW es mediante conectores seriales universales estándares 2.0

Los resultados de las salidas se procesan en la tarjeta Raspberry Pi y se puede ingresar de manera remota a través de la base de datos implementada en la propia tarjeta, de igual manera se conecta a internet.

La alimentación está estandarizada al voltaje que aporta el sistema de alimentación de la USB que conecta a las tarjetas.

2.3. Infraestructura PV.

Para la evaluación de las variables que afectan al desempeño de la red de generación eléctrica solar, se tiene una infraestructura instalada en la empresa del sector metal-mecánico, la cual tiene bloques de paneles de 5 paneles de 320 W (1.6KW totales) cada uno, que interconectados de manera paralela a la red forman la red total que genera 9.6 KW, es decir 6 grupos de paneles. Para este caso todos estos sistemas están ubicados de manera simétrica en el sitio.

En este caso solamente se tiene una sola unidad de prueba de variables ambientales y de generación eléctrica, la cual en periodos de cada dos días se intercambiaban en los 6 grupos de paneles. Diagrama esquemático de la planta solar se muestra en la figura siete, mostrada enseguida.

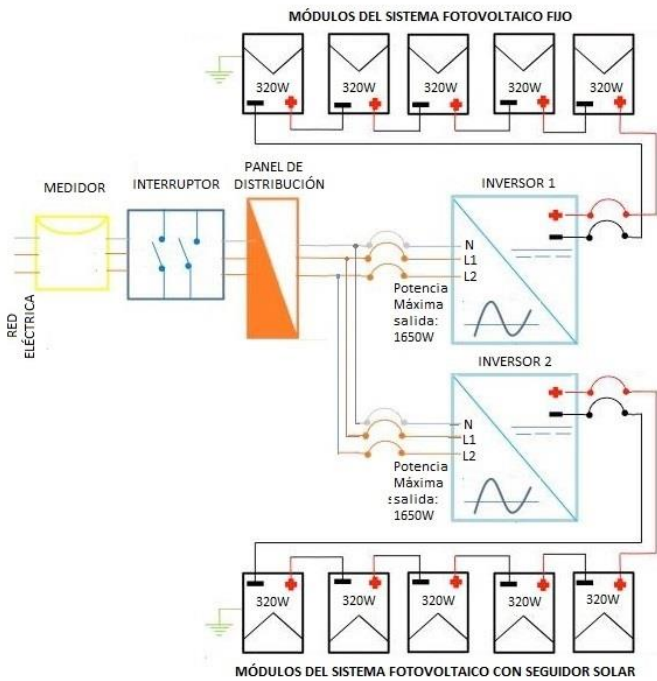


Figura No 7 Red de paneles solares interconectados.

2.4. Resultados.

Al evaluar las diferentes opciones y ajustes de los conjuntos difusos de cada variable de entrada y las de salida, obtenemos las siguientes aproximaciones de comportamiento. Con la ayuda de la herramienta Xfuzzy, se pudieron combinar los efectos de las variables de entrada con su respectiva salida asociada; cabe destacar versatilidad para presentar los resultados y poder compararlos con los experimentales, teniendo en promedio un 82 % de exactitud con las medidas presentadas en la tarjeta embebida HW-SW, con la cual se validaron prácticamente los resultados.

Una ventaja fue que la conversión de código generado por Xfuzzy de C a Python fue de manera manual, pero no representó complicaciones al adaptar el código a otro y además como se observa en la figura 4, se hizo en etapas la evaluación de los algoritmos difusos planteados. Adicionalmente se tiene una relativa facilidad de ajuste y movilidad de las variables de entrada y salida, así como el reacomodo de las etapas intermedias (pesos de referencia). En las figuras 8 a la 11 se muestran algunos de los comportamientos diseñados y comparados con los valores reales, de los cuales sirvieron de punto para encontrar el comportamiento de la generación eléctrica de la planta.

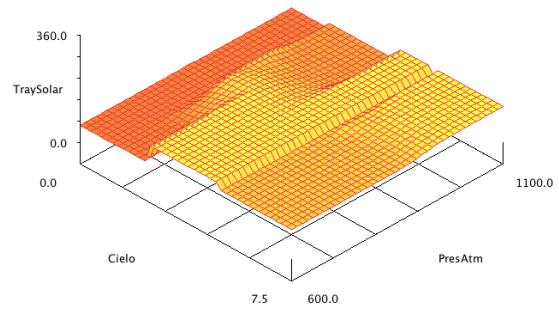


Figura No 8 Modelo difuso del comportamiento de lo nublado con respecto a la presión atmosférica y su efecto en la trayectoria solar.

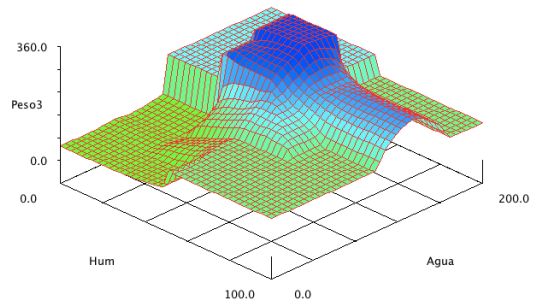


Figura No 9 Obtención del modelo del peso de referencia basado en la humedad y agua de lluvia detectada, que nos ayuda a definir su impacto en la producción energética, al juntarlo con las otras variables involucradas.

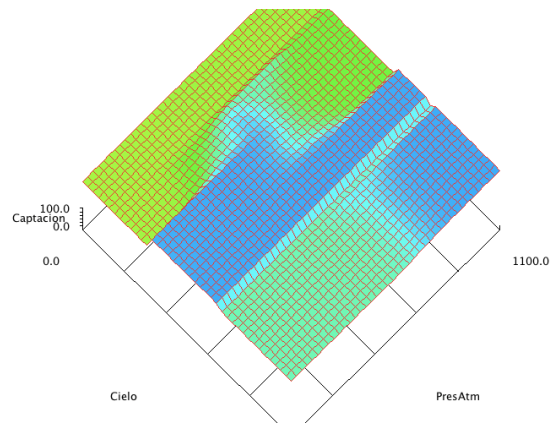


Figura No 10 Modelo difuso del comportamiento de lo nublado con respecto a la presión atmosférica y su efecto en la captación solar.

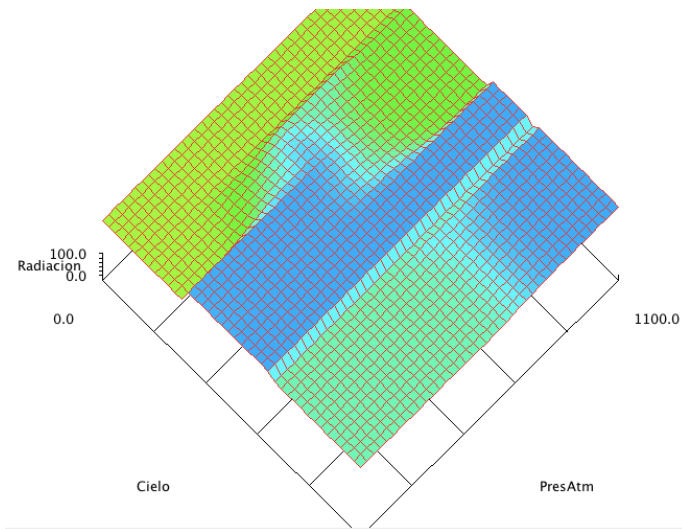


Figura No 11 Modelo difuso del comportamiento de lo nublado con respecto a la presión atmosférica y su efecto en la radiación obtenida.

3. CONCLUSIONES

Como resultado del análisis de comportamiento de los resultados reales se tiene una aproximación de un 82 % ponderada, lo que lleva a decir que se tiene un resultado aceptable en cuanto a la estrategia de modelo de la eficiencia energética de la granja solar que se tiene. Por otro lado, se tiene que al aplicar los algoritmos difusos a la arquitectura embebida HW-SW, se tuvo una rápida implementación de los algoritmos al convertirlos de C a Python, debido a que las estructuras generadas de programación y su tamaño facilitó el proceso; en cuanto a desempeño de la plataforma se tuvieron buenos tiempos de procesamiento de algunos microsegundos y con una carga no mayor de procesamiento de un 17 %.

4. TRABAJO FUTURO

Se tiene que refinar el modelado del sistema para tratar de mejorar ese 82 %, lo que implica hacer los ajustes a las configuraciones de las variables y cambiar estrategias de desfuzzificación; así también se tiene contemplado vincular a variables de respuesta para mejorar un sistema de seguimiento solar para estos grupos de paneles. Adicionalmente mejorar la interfase de acceso a la red mediante la inclusión de una “cosa” al internet mediante una plataforma en la nube.

5. REFERENCIAS

- [1] Hall, D. L., & Llinas, J. (1997). An introduction to multisensor data fusion. *Proceedings of the IEEE*, 85(1), 6-23.
- [2] Patcharaprakiti, N., Premrudeepreechacharn, S., & Sriuthaisiriwong, Y. (2005). Maximum power point tracking using adaptive fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic system. *Renewable Energy*, 30(11), 1771-1788.
- [3] Algazar, M. M., El-Halim, H. A., & Salem, M. E. E. K. (2012). Maximum power point tracking using fuzzy logic control. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 39(1), 21-28.
- [4] Won, C. Y., Kim, D. H., Kim, S. C., Kim, W. S., & Kim, H. S. (1994, June). A new maximum power point tracker of photovoltaic arrays using fuzzy controller. In *Proceedings of 1994 Power Electronics Specialist Conference-PESC'94* (Vol. 1, pp. 396-403). IEEE.
- [5] Baturone, I., Moreno-Velo, F. J., Sánchez-Solano, S., Barriga, A., Brox, P., Gersnoviez, A. A., & Brox, M. (2007, July). Using Xfuzzy environment for the whole design of fuzzy systems. In *2007 IEEE International Fuzzy Systems Conference* (pp. 1-6). IEEE.
- [6] Velo, F. M., Baturone, L., Solano, S. S., & Barriga, A. (2003, May). Rapid design of fuzzy systems with Xfuzzy. In *The 12th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2003. FUZZ'03.* (Vol. 1, pp. 342-347). IEEE.
- [7] Baturone, I., Barriga, A., Jimenez-Fernandez, C., Lopez, D. R., & Sanchez-Solano, S. (2000). *Microelectronic design of fuzzy logic-based systems*. CRC press.
- [8] Rubio, F. R., Berenguel, M., & Camacho, E. F. (1995). Fuzzy logic control of a solar power plant. *IEEE transactions on fuzzy systems*, 3(4), 459-468.