

Aplicación de la lógica difusa en redes eléctricas inteligentes Smart Grid

Application of fuzzy logic in smart grid Smart Grid

Diego Nicolás Cuesta Cuesta*

Edwin David Triana Campos**

Marco Regalia***

Fecha de recepción: 14 de abril 2013

Fecha de aceptación: 5 de mayo de 2013

Resumen

La evolución tecnológica nos ha brindado las herramientas necesarias para solucionar los problemas de la industria de forma segura, económica y eficiente. En este artículo se propone la implementación de la lógica difusa como una perspectiva moderna que permita proporcionar soluciones a las dificultades que afronta la red eléctrica, desde la generación y el transporte hasta el consumo de energía. En el acercamiento que proponemos al estudio de las redes eléctricas inteligentes se utilizarán sentencias y conjuntos lógicos que ejecutan el análisis e interpretación de los datos recolectados del medio externo y modelos matemáticos que son el traductor ideal entre el lenguaje del hombre y la máquina [4]; estos modelos posibilitan hacer las correcciones adecuadas a un agente inteligente que es capaz de aprenderlas y usarlas a futuro de forma autónoma.

Palabras clave: Agente inteligente, lógica difusa, aerogenerador, conmutador, algoritmo.

* Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: dncuestac@correo.udistrital.edu.co

** Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: edtrianac@correo.udistrital.edu.co

*** Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: marcoregalia@hotmail.com

Abstract

Technological evolution has given us the tools to solve the problems of the industry safely, economically and efficiently: this paper proposes the implementation of fuzzy logic as a modern perspective that aims at providing solutions to the difficulties faced by electric grids from the generation and transport to the consumption of energy. In the approach that we propose to study smart grids we use sentences and logical sets that run the analysis and interpretation of data collected from the external environment and mathematical models that are the ideal translator between the language of man and machines. These models permit making the appropriate corrections to an intelligent agent that is able to learn and use them autonomously in the future.

Key words: Smart Agent, fuzzy logic, wind turbine, switch, algorithm

1. Introducción

En el siguiente trabajo se pretende dar a conocer cómo se puede mejorar la red eléctrica a partir de la incorporación de agentes inteligentes que operen por medio de la lógica difusa, permitiendo mejorar el sistema eléctrico actual que resulta anticuado y necesita desde la generación hasta el transporte y el consumo de supervisión y control, realizada en gran parte de manera manual [16].

Gracias a los recientes avances que ha tenido la automatización en la industria se posibilita la incorporación en las redes eléctricas de dispositivos que mejoren la obtención de datos y comunicación, entre otros diversos retos al respecto de la emergencia de nuevas necesidades [18]. Según este paradigma de funcionamiento, se recibirán las señales del entorno y, gracias a la optimización de varios parámetros, la línea encontrará la solución más adecuada a la problemática, en consecuencia tomará una decisión formal,

actividad que era en pasado reservada a los humanos.

2. Marco teórico

La idea original de la lógica difusa fue planteada por el ingeniero norteamericano Lotfi Zadeh [1], quien atribuye a las máquinas el poder de ir más allá de ser meramente programadas [20]. Basándose en esta intuición, Zadeh desarrolló algoritmos aplicables a electrodomésticos, volviéndolos completamente autosuficientes en actividades rutinarias [17]. Un ejemplo de sus resultados es el control de la lavadora: esta recolecta datos respecto a la ropa, como el peso o el nivel de suciedad, para determinar cuánta agua va a agregar y, de acuerdo a esto, utiliza la cantidad adecuada de detergente y suavizante; también se tienen en cuenta parámetros relacionados con actividades futuras, por ejemplo, si después del lavado se piensa planchar la ropa, la lavadora dejará cierta cantidad de humedad permitiendo ahorrar energía en el

planchado. Todas las actividades previamente enunciadas son decisiones que la maquina puede tomar autónomamente con respeto a un libreto de instrucciones o programa pre-determinado que le ordene el proceder.

La idea a la base de este artículo es que los mismos algoritmos desarrollados para el control de electrodomésticos y otros aparatos se puedan en un futuro implementar para el control de redes eléctricas de nueva generación, permitiendo una mayor eficiencia y economía de los procesos de producción y distribución de la energía eléctrica [6].

Los seres humanos o los animales pueden tomar decisiones autónomas: reciben estímulos del ambiente exterior por medio de los sentidos que recolectan una variedad de datos que se almacenan en la memoria localizada en el cerebro, pudiendo acceder rápidamente a la ejecución de acciones a través de recuerdos [14]. En sus múltiples actividades el ser humano cumple funciones repetitivas que comparadas con experiencias anteriores le permiten tomar decisiones autónomas basadas en experiencias pasadas.

Siguiendo este patrón de funcionamiento, los dispositivos inteligentes recogerán datos de una red eléctrica, los compararán con una red de eficiencia óptima y los almacenarán en una base de datos. Los algoritmos de control podrán acceder a esta base de datos y la utilizarán para tomar decisiones autónomas en respuesta a los problemas que se puedan presentar durante el funcionamiento futuro de la red eléctrica [19].

Haciendo referencia al camino que sigue la energía la podemos dividir dentro de los parámetros de una red eléctrica en tres secciones principales: una primera que concierne a la generación, una segunda que determina cómo se distribuye y una tercera que se

relaciona al consumo de esta energía por el usuario final. La implementación de lógicas difusas podría permitir mejorar la eficiencia y la economía de funcionamiento en cada una de estas tres distintas fases.

3. Generación de energía

Como punto de partida para optimizar la producción de electricidad se pueden identificar dos principales dificultades que caracterizan esta fase. El primer inconveniente es que en la actualidad, cuando se genera energía eléctrica normalmente, se dispone de una muy baja capacidad para almacenarla [5]. A esto se suma la creciente demanda a nivel nacional debida al general avance social.

Para dar una solución a estos problemas se propone incorporar energías renovables para apoyar la demanda, pues son muy viables en Colombia ya que "los vientos están entre los mejores de Sudamérica. Regiones en donde se han investigado, como en el departamento de la Guajira, se aprovechan vientos cerca de los 5 metros por segundo (m/s)" [5] [13].

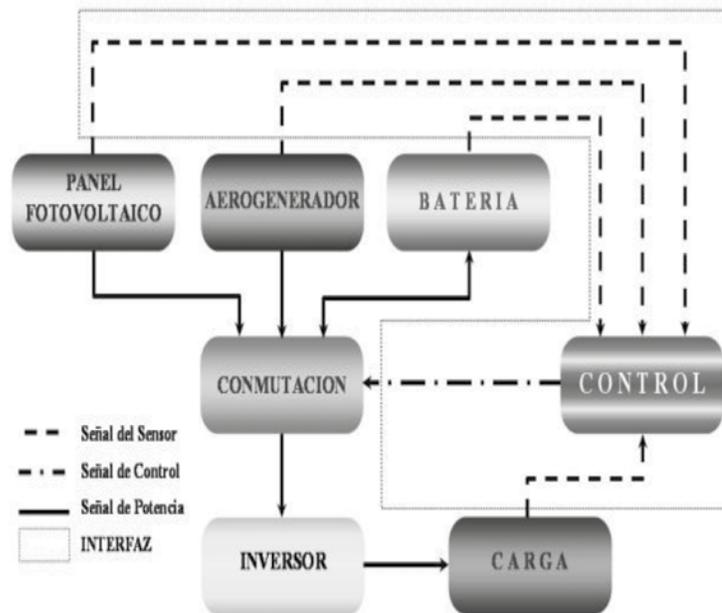
Conjuntamente a esto, otra estrategia a usar es avanzar en el desarrollo de prototipos a base de lógica difusa, entre los cuales podemos citar el planteado por un grupo de ingenieros eléctricos y en telecomunicaciones mexicanos, publicado en la revista Energética No. 3 en el 2009 [9], en esta investigación se desplegó un sistema híbrido para un aerogenerador autosuficiente en el funcionamiento y obtención de energía.

El aerogenerador construido por el grupo mexicano dispone además de un panel solar y puede garantizar una potencia constante, aún en ausencia de viento y de radiación luminosa, gracias a una batería de 12 V que almacena la energía en exceso en cuanto haya una producción superior a la demanda.

El sistema automático de conmutación actúa gracias a la recolección de datos que retoma del ambiente externo por medio de sensores. Las mencionadas señales son analizadas en un controlador, en el cual se ha codificado, previamente, un paquete de sentencias

y condiciones lógicas iniciales tales como: si hay sol, activar el almacenamiento en la batería; si la batería está completamente cargada, enviar corriente directa al aerogenerador; si no hay sol, utilizar la energía almacenada en la batería (figura 1).

Figura 1. Algoritmo del sistema eólico-fotovoltaico.



Fuente: control de un sistema eólico fotovoltaico utilizando un controlador fuzzy planteado por Gómez, A. Cabrera, J. en la revista Energética. 30(3): 2009.

Con base a las instrucciones previas el sistema de control comunica la respuesta más adecuada a un conmutador, directo responsable de efectuar las modificaciones necesarias en el circuito de intercambio de la energía. El mencionado proceso puede ser evaluado cómodamente por el usuario gracias a una interfaz gráfica (figura 2) que permite la comunicación hombre-máquina mediante instrumentos de medida analógicos y pilotos de aprobación.

tes energéticas por parte del usuario (figura 3), que podrá dar instrucciones al sistema de control para corregir eventuales fallas de funcionamiento [15]. Dichas correcciones serán memorizadas por el controlador inteligente que, en un futuro, encontrándose en una situación análoga, podrán responder autónomamente de manera correcta basándose en lo aprendido, sin necesidad de recurrir a una intervención humana directa. El sistema puede entonces tomar decisiones independientes teniendo en cuenta los recursos disponibles, permitiendo minimizar los cos-

tos y maximizar los beneficios. Este tipo de funcionamiento, basado en lógica difusa en cuanto el sistema es capaz de aprender, se puede definir como inteligente, pero de un tipo de inteligencia no autónomo en tanto el aprendizaje tiene que ser mediado por la intervención de un experto humano.

Esta forma de autoenergizar agentes inteligentes se suma a otras tendencias que toman

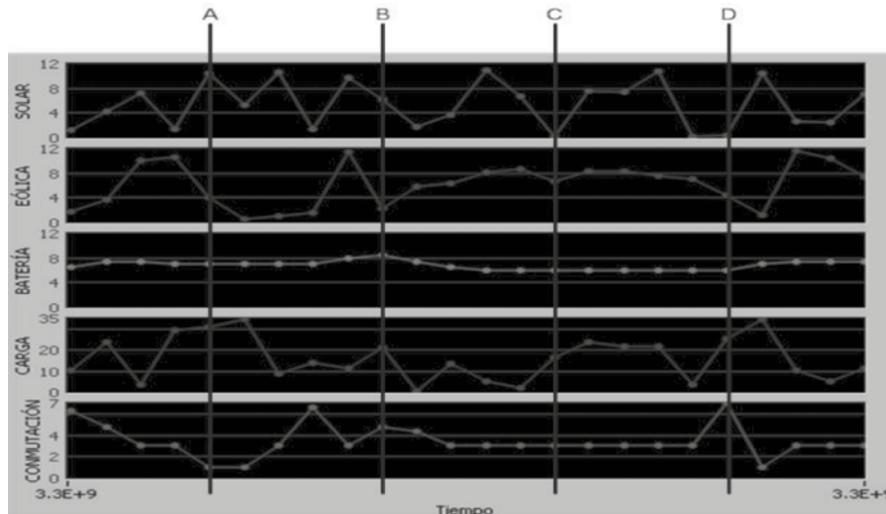
fuerza en la actualidad, las cuales proporcionan libertad de giro a los aerogeneradores para obtener la máxima eficiencia en utilizar el viento y realizar paneles fotovoltaicos capaces de hacer seguimiento a la luz solar para abastecerse de la mayor energía posible [12]. Todas estas técnicas cumplirán un papel fundamental en incorporar exitosamente las energías renovables a los sistemas eléctricos inteligentes Smart Grid.

Figura 2. Modelo para la interfaz gráfica



Fuente: control de un sistema eólico fotovoltaico utilizando un controlador fuzzy planteado por Gómez, A. Cabrera, J. en la revista Energética. 30(3): 2009.

Figura 3. Simulación para diferentes eventos



Fuente: control de un sistema eólico fotovoltaico utilizando un controlador fuzzi planteado por Gómez, A. Cabrera, J. en la revista Energética. 30(3): 2009.

4. Distribución y consumo de energía

Siguiendo el camino de la energía eléctrica desde su generación hasta el consumo por el usuario final, se evidencian importantes inconvenientes en el control y monitoreo de la red, puesto que actualmente se hace un plan de mantenimiento de la infraestructura totalmente manual [7]. En este modelo de mantenimiento se cuenta con un vigía asignado a una zona determinada en la cual se debe examinar la red, identificar las posibles fallas y planear una corrección futura.

Si queremos mejorar este sistema manual mediante algoritmos de lógica difusa, hay que tener en cuenta que intervienen un número superior de variables comparado al ejemplo anterior del aerogenerador, y que, para aproximarse a un eficiente seguimiento manual, es necesario adicionar nuevas herramientas que nos permitan analizar un siste-

ma con una mayor cantidad de sentencias lógicas [15].

Para alcanzar este fin se clasifican las sentencias que contengan parámetros comunes, lo que permite agruparlas por conjuntos difusos [11]. Por ejemplo, esta metodología nos conduce a determinar las dos posibles respuestas para el caso de “efectuar o no efectuar mantenimiento” en sentencias como “el aislante cerámico está dañado por ruptura en la red #6” o “el aislante cerámico está quemado en la red #13”. Las anteriores sentencias pueden ser clasificadas en conjuntos en los cuales se tienen en cuenta criterios de pertenecía como la clase de elemento que se va a intervenir, su posición o el tipo de falla.

Una vez clasificadas las secuencias en conjuntos difusos, para lograr analizarlas, podemos recurrir a herramientas como las planteadas por un grupo de dos estudiantes de la universidad de Camagüey en Cuba [8].

Ellos se valieron de “Funciones de Confiabilidad” y de la sucesión del matemático italiano Fibonacci para determinar el deterioro de una red eléctrica tomando como base los conjuntos difusos. Los integrantes del grupo cubano partieron de la suposición que, a medida que aumenta la cantidad de elementos con un mismo defecto, se incrementa la probabilidad de que este elemento pertenezca al conjunto difuso que cataloga dicho defecto. Aprovechando esta hipótesis, recurren a una primera herramienta, conocida con el nombre de “Función de Probabilidad”, la cual establece la probabilidad de que un componente o sistema se desempeñe satisfactoriamente durante su vida útil en la tarea para la cual fue construida bajo condiciones de operación establecidas [3]. Dicha función se puede expresar con la fórmula:

$$\mu_{ij} = 1 - \frac{1}{e^{nk_{ij}}} \quad (1)$$

Donde μ_{ij} es igual a la membresía del elemento i al conjunto de elementos deteriorados por defecto. j y n corresponde a la cantidad de elementos i con defecto j .

Una vez obtenidas las membresías μ_{ij} para cada elemento i para los defectos desde $j = 1$ hasta n , se procede a determinar la membresía global del elemento i empleando la sucesión planteada por Fibonacci, recordando que su forma base es una cadena de números, en la cual cada eslabón es la suma de los dos que lo preceden. Así, la primera y más básica sucesión de Fibonacci es 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233 [2].

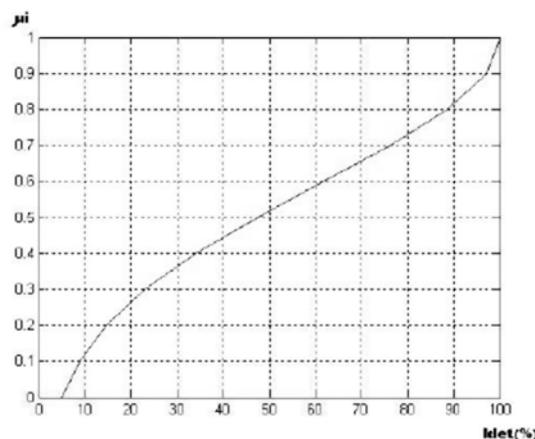
Analizando las propiedades de la secuencia de Fibonacci, se entiende que el valor resultado de la descendencia es producto de multiplicar entre sí todas las membresías del número antecedente, lo que permite tomar en cuenta todos los factores que influyen en

el conjunto de lógica difusa; “con esta membresía global se determina el índice de deterioro de cada tipo de elemento y con este se puede trazar la curva de deterioro (figura 4) o estrategia de mantenimiento” [8], la cual se define mediante la expresión:

$$I_{det_i} = (e^{-(K_i)(\mu_i + \alpha) - 100})^2 / 10^2 * 100 \quad (2)$$

Donde I_{det_i} es el índice de deterioro de la red global y su evolución en el tiempo permite la planeación de la manutención de la red de forma más eficiente y económica.

Figura 4. Curva que determina el índice de deterioro de una red eléctrica



Fuente: Universidad de Camagüey, Cuba.
Escobar M, Gil E en: determinación del nivel de deterioro en líneas eléctricas utilizando lógica difusa.

5. Conclusiones

Lo expuesto anteriormente es un ejemplo de cómo la implementación de agentes inteligentes en redes eléctricas Smart Grid promete revolucionar la gestión de la electricidad desde la generación hasta el consumo, así los beneficios que trae consigo son significativos.

Entre las ventajas que podemos citar están la reducción del impacto ambiental y la forma de interacción con el usuario final, quien contará con una medición más eficiente y una mejor tarifa [21] gracias a un llamado “contador inteligente”, que permitirá interactuar de forma bidireccional con la compañía prestadora de servicios, así como también ayudará a un control más eficaz del consumo de energía.

Dichos algoritmos se irán desarrollando e implementado a medida que se le aportan prototipos matemáticos a la lógica difusa, que nos permiten establecer relaciones y proposiciones tangibles a problemáticas reales para llegar a una respuesta que satisfaga por completo las necesidades de la red [10] [4]. El reto para la ingeniería eléctrica de la generación actual será entonces ordenar y modelar formas de razonamiento lógico-matemático para crear modelos que mejoren la eficiencia en todos los componentes que forman parte de una red inteligente.

6. Referencias

[1] Lotfi ali Asker Zadeh. Information and control. Issue, 8:338-353, 1965.

[2] Angel Alonso and Teresá Bermudez. El diablo de los números. La Gacela, 5(1):175-196, 2002.

[3] Roberto Bottini. Mantenimiento y confiabilidad.

[4] Enrique Arnáez Braschi. Redes neuronales y lógica difusa aplicadas a los sistemas de control. Technical report, 2009.

[5] D.F.Díaz, J.W.González, H.A.Restrepo, I.A.Isaac, and G.J.López. Esquema de incorporación de las smart grid en el sistema de potencia colombiano. Investigaciones Aplicadas, 5(1):21-26, Junio 2011.

[6] Smart Grid Y La Evolución De La Red Eléctrica. Redes neuronales difusas di-

námicas para identificación y control adaptable, Mayo 2011.

[7] Red eléctrica de España. Trabajos y mantenimiento en líneas y subestaciones de red eléctrica, Noviembre 2008.

[8] Marina Alexandrovna Escobar, Eduardo Sierra Gil, and Santiago Lajes Choy. Determinación del nivel de deterioro en líneas eléctricas utilizando lógica difusa. 2010.

[9] Alfredo G. M. Gámez, Javier Cabrera, Eduardo Castañeda, Francisco E. López, Mario Morera, and Oscar Cruz. Control de un sistema eólico-fotovoltaico utilizando un controlador fuzzy. energética, 30(3):47-50, 2009.

[10] Alejandro Aceves López. Usos y abusos de la lógica difusa para el control de procesos: una alternativa para modelar lo incompleto de la información y lo impreciso de una observación. 8:12-17, 2001.

[11] Tamara Benito Matías and M.Isabel Durán Vicente. Lógica borrosa. 2011.

[12] Jose Ismarth Herrera Medina and Nelson Gustavo Molina Palma. Diseño, análisis e implementación de un sistema de control para seguimiento solar en dos ejes, 2010.

[13] Amín Isaac Millán. La energía eólica en colombia: implicaciones para la transmisión y la operación. Foro de Energía Eólica, Julio 2009.

[14] Carl Mitcham and Robert Mackey. Filosofía Y Tecnología. ediciones encuentro, 2004.

[15] Julián Moreno, Jhon A. Calderón, and Germán Zapata. Modelo neuro difuso para la extracción de características en fallas eléctricas dentro de las líneas de transmisión. Avances en Sistemas e Informática, 5(1):213-219, Febrero 2008.

[16] Eduardo Sierra, Marina Alexandrovna, Santiago Lajes, and Francisco Barrios. Perfeccionamiento del diagnóstico de

- las líneas aéreas de distribución utilizando la lógica difusa. *energética*, 28(3):45-52, 2007.
- [17] Antonio Sánchez. Los electrodomésticos inteligentes: Una aplicación matemática de la lógica difusa. Enero 2013.
- [18] Jorge Alberto Delgado Soto. Logica difusa aplicada alas telecomunicaciones de datos, Septiembre 1999.
- [19] Rigoberto Toxqui Toxqui. Observatorio industrial del sector de la electrónica, tecnologías de la información y las telecomunicaciones, Abril 2003.
- [20] Antoni Escrig Vidal. La revolución de la lógica difusa. 2007.
- [21] Fernando Villada and Edwin Garcia Juan Molina. Pronostico del precio de la energia electrica usando redes neuro-difusas. *Información Tecnológica*, 22(6):111-120, 2011.

