

# Control de voltaje de sistemas de potencia utilizando lógica difusa

Manuel Ley\*

Oscar L. Chacón, Ernesto Vázquez\*\*

## Resumen

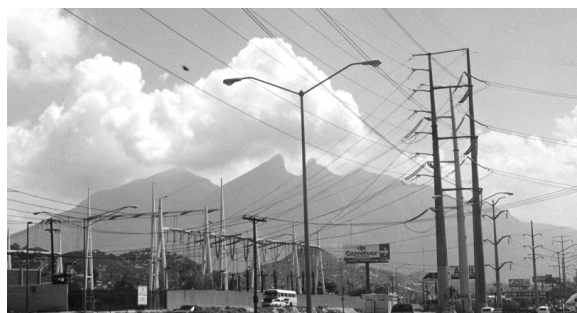
*El problema del control de voltaje en estado estable es mantener el voltaje en los nodos de carga dentro de límites operativos, utilizando estrategias de control. La propuesta que se hace en este artículo es la aplicación de un sistema basado en lógica difusa que especifique los cambios de voltajes de generación, necesarios para mantener los voltajes de los nodos de carga dentro de límites operativos. Para comprobar que la metodología propuesta es factible, se utiliza el sistema de nueve nodos del IEEE, en el cual se simulan diferentes contingencias. Los resultados preliminares muestran que la aplicación de lógica difusa es una buena alternativa para la solución de este problema.*

**Palabras Claves:** lógica difusa, control difuso, sistemas de potencia, control de voltaje.

## 1. INTRODUCCIÓN

En sistemas eléctricos de potencia, los voltajes fuera de sus límites operativos pueden ocasionar daños a equipos, y en ocasiones el desabasto temporal de energía a un número considerable de usuarios del servicio. Para asegurar la calidad y la confiabilidad del sistema, los operadores de los Centros de Control de Energía deben mantener los voltajes de los nodos de carga dentro de los límites de operación permitidos. Los cambios de la carga y/o la topología del sistema pueden ocasionar variaciones no aceptables en los voltajes del sistema de potencia. El operador generalmente mejora esta situación de reacomodar los flujos de potencia reactiva mediante cambios en los voltajes de generación, ajustando los taps de los transformadores, y conectando o desconectando bancos de capacitores y/o reactores.

Este problema se ha resuelto por métodos que utilizan relaciones de sensibilidad, junto con el problema de minimización de pérdidas de potencia por transmisión.<sup>1-7</sup> Recientemente se ha publicado en la literatura<sup>8-12</sup> aplicaciones con bastante éxito de la tecnología emergente de Inteligencia Artificial (IA). El desarrollo de la teoría de conjuntos difusos, y los logros obtenidos con su aplicación en diferentes áreas, empieza a atraer la atención a los investigadores del área de potencia eléctrica. En este artículo se ilustra el método de lógica difusa para el control de voltaje en sistemas de potencia, utilizando solamente cambios de voltaje en los nodos de generación. El artículo está organizado de la siguiente manera: Los conceptos fundamentales de conjuntos difusos y lógica difusa se presentan en la sección 2; el problema de control de voltaje mediante cambios en los nodos de generación, se describe en la sección 3; los ejemplos de la aplicación de la lógica difusa en el control de voltaje de sistemas de potencia, se presentan en la sección 4; finalmente, las conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros se proporcionan en la sección 5.



\* Área de Control Baja California CFE, Mexicali, B.C.

\*\* FIME-UANL, Apdo. Postal 34-F, Cd. Universitaria, San Nicolás, 66450, N.L., México.  
ochacon@ccr.dsi.uanl.mx, evazquez@gama.fime.uanl.mx

## 2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE CONJUNTOS DIFUSOS

### Conjuntos difusos

Sea  $U$  el universo de discurso con elementos  $u$ , donde  $F$  identifica un conjunto difuso de  $U$ . La membresía de  $u$  en el conjunto clásico  $F$  puede verse como la función característica  $\mu_F(u): U \rightarrow \{0,1\}$  tal que

$$\mu_F(u) = \begin{cases} 1; & \text{si } u \in F \\ 0; & \text{si } u \notin F \end{cases} \quad (1)$$

Para un conjunto difuso  $F$  del universo  $U$ , el grado de membresía de  $u$  en  $F$  está definido como:

$$\mu_F(u): U \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

donde  $\mu_F(*)$  se le denomina la función de membresía y  $\mu_F(u)$  es el grado de membresía de  $u$  en  $F$ , indicando el grado con el cual  $u$  pertenece a  $F$ . La función de membresía  $\mu_F(u)$  mapea  $U$  hacia el espacio de membresía  $T$ , esto es  $\mu_F(u): U \rightarrow T$ . Cuando  $T = \{0,1\}$ , el conjunto  $F$  no es difuso y  $\mu_F(*)$  es la función característica del conjunto binario  $F$ . Para conjuntos difusos, el rango  $T$  de la función de membresía es un subconjunto de los números reales no negativos cuyo supremo es finito. En la mayoría de los casos el conjunto  $T$  se fija como el intervalo  $[0,1]$ . Un conjunto difuso  $F$  en el universo de discurso  $U$  puede definirse como el conjunto de pares ordenados,

$$F = \{(u, \mu_F(u)): u \in U\} \quad (3)$$

### Definiciones y operaciones básicas de conjuntos difusos

Para dos conjuntos difusos  $A$  y  $B$  se definen las siguientes operaciones:

Unión

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max[\mu_A(u), \mu_B(u)] \quad (4)$$

Intersección

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min[\mu_A(u), \mu_B(u)] \quad (5)$$

Complemento

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u) \quad (6)$$

Se pueden definir otras operaciones, específicamente las denominadas normas triangulares (t-norms) y conormas triangulares (t-conorms).<sup>13,14</sup> En algunas ocasiones se requieren operaciones matemáticas con conjuntos no difusos, por lo que para convertir conjuntos difusos en no difusos se utiliza la definición de cortes

$$\mu_{A_\alpha}(u) = \begin{cases} 1; & \text{if } \mu_A(u) \geq \alpha \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

Otra construcción matemática importante es la relación binaria entre dos conjuntos  $X$  y  $Y$  basado en la concepción de que ambos conjuntos están relacionados en cierta extensión o no lo están; tal relación se define de la forma siguiente

$$R(x, y) = \{(x, y, \mu_R(x, y)) | x \in X, y \in Y\} \quad (8)$$

### Medición difusa

Una medida difusa asigna un valor en el intervalo  $[0,1]$  a cada elemento de un conjunto real del universo, y da así, a un elemento particular, el grado de pertenencia a dicho conjunto. Medidas difusas se utilizan para resolver la ambigüedad asociada a la selección entre alternativas. Una medida difusa es una (conjunto) función

$$g: \beta \rightarrow [0,1] \quad (9)$$

donde  $\beta$  es una familia de subconjuntos no difusos y  $g$  satisface los siguientes tres axiomas de medidas difusas:

(1) *Condición frontera:*  $g(\Phi) = 0, \quad g(X) = 1$

(2) *Monotonicidad:* Para cada conjunto no difusos  $A, B \in \beta$ ,  $g(A) \leq g(B)$

(3) *Continuidad:* Para cada secuencia  $(A_i \in \beta | i \in N)$  de subconjuntos de  $X$ , si  $A_1 \subseteq A_2 \subseteq \dots$  or  $A_1 \supseteq A_2 \supseteq \dots$ , entonces

$$\lim_{i \rightarrow \infty} g(A_i) = g(\lim_{i \rightarrow \infty} A_i) \quad (10)$$

En la práctica es importante utilizar las operaciones difusas apropiadas que reflejen el razonamiento del experto.

#### Aplicación de la teoría de conjuntos difusos

La solución de problemas utilizando la teoría de conjuntos difusos requiere la ejecución de las siguientes etapas:

**Etapa 1.** *Descripción del problema original.* El problema a resolver debe describirse matemática y lingüísticamente.

**Etapa 2.** *Definición de umbrales de las variables.* Basado en conocimiento empírico, para cada variable se puede determinar el valor que tiene el mayor grado de satisfacción, y con cierta desviación aceptable el grado de satisfacción decrece hasta que es inaceptable. Los valores que corresponden al mayor y menor grado de satisfacción se les denomina *umbrales*.

**Etapa 3.** *Cuantificación difusa.* Con los umbrales determinados en la etapa 2, se deben construir formas apropiadas de las funciones de membresía. Existen muchas formas de funciones de membresía: lineales, lineales separables, trapezoidales,

parabólicas, etc.. La forma de la función de membresía debe reflejar los cambios en el grado de satisfacción del experto, con los cambios en las variables.

**Etapa 4.** *Selección de las operaciones difusas.* En términos del proceso de toma de decisiones de un experto, se debe seleccionar una operación difusa apropiada de tal forma que los resultados obtenidos sean semejantes a las decisiones tomadas por los expertos. La interpretación de los resultados al utilizar sistemas difusos se basa en el dominio del razonamiento del experto. Las operaciones difusas comúnmente utilizadas son las de Mamdani y Zadeh.<sup>13</sup>

**Etapa 5.** *Desfusicación.* En esta etapa se aplica un proceso de desfusicación para obtener una salida no difusa. Las operaciones de desfusicación más utilizadas son el método de los centros y el método de los pesos promedio.<sup>13</sup>

### 3. PROBLEMA DE CONTROL DE VOLTAJE EN ESTADO ESTACIONARIO EN SISTEMAS DE POTENCIA

#### Descripción

Cuando el voltaje de un nodo de carga viola los límites operativos, se deberán ejecutar acciones de control que mejoren esta condición anormal colocándola dentro de límites de operación del sistema. El efecto del control de voltaje a través de cambios en el voltaje de nodos de generación se puede determinar mediante análisis de sensibilidad obtenido en la solución de flujos de potencia. Consideremos un sistema de  $N$  nodos, con  $L$  nodos de carga,  $N-L-1$  nodos de generación, siendo  $N$  el nodo compensador. Para el ajuste del elemento de control en el nodo  $j$ , el cambio de voltaje del nodo  $i$  está dado por:

$$\Delta V_i = S_{i,j} \Delta U_j, \quad i=1,2,\dots,L; \quad j=1,2,\dots,N-1 \quad (11)$$

donde  $\Delta V_i$  es el cambio de voltaje del nodo I,  $S_{i,j}$  es el coeficiente de sensibilidad del nodo j al nodo I, y  $\Delta U_j$  es el ajuste realizado por el elemento de control en el nodo j. Los ajustes en los elementos de control se restringen a un rango entre los valores máximos y mínimos de diseño

$$\Delta U_j^{min} \leq U_j \leq U_j^{max} \quad (12)$$

donde  $\Delta U_j^{min}$  y  $\Delta U_j^{max}$  representan el ajuste mínimo y máximo de voltaje o potencia reactiva del elemento de control en el nodo j. En esta investigación, los voltajes de los nodos se controla dentro del rango [0.95 1.05] por unidad (p.u.) de los voltajes nominales (1 p.u.). Los elementos de control utilizados son solamente los voltajes de los nodos de generación.

**Característica de los sistemas de lógica difusa.**

En los modelos convencionales de flujos de potencia, las restricciones son rígidas y en algunas ocasiones no es posible representarlas. En consecuencia, se requiere un modelo más razonable para este problema seleccionándose la teoría de conjuntos difusos para representar la función objetivo y restricciones del problema. Los umbrales de los voltajes de los nodos de carga y los cambios de voltaje de los nodos de generación, con sus correspondientes funciones de membresía se presentan a continuación.

**Umbrales y funciones de membresía de los nodos de carga:**

Las funciones de membresía de los nodos de carga se muestran en la Fig. 1, donde  $V_b$ ,  $V_n$ , y  $V_a$  representan las variables lingüísticas voltaje bajo, voltaje nominal y voltaje alto respectivamente. El umbral de las variables  $V_b$ ,  $V_n$  y  $V_a$  son [0.8

0.97] p.u., [0.93 1.07] p.u., y [1.03 1.5] p.u. respectivamente.

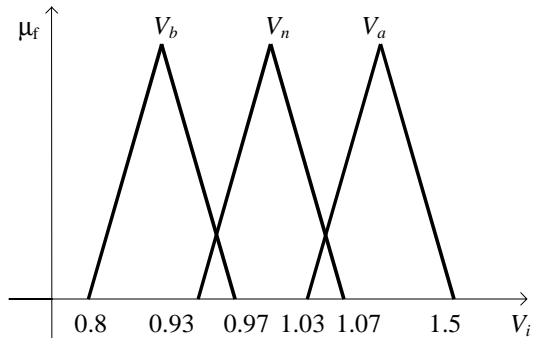


Fig. 1. Funciones de membresía del voltaje de nodos de carga.

**Umbrales y funciones de membresía de los cambios de voltaje en los nodos de generación:**

Las funciones de membresía de los cambios en los voltajes de los nodos de generación se muestran en la Fig. 2, donde  $\Delta V_{gb}$ ,  $\Delta V_{gn}$ , y  $\Delta V_{ga}$  representan las variables lingüísticas de cambios bajos, normales y altos en los voltajes de generación respectivamente. Los umbrales de estas variables lingüísticas son [0.95 0.98] p.u., [0.97 1.03] p.u., y [1.02 1.05] p.u. respectivamente.

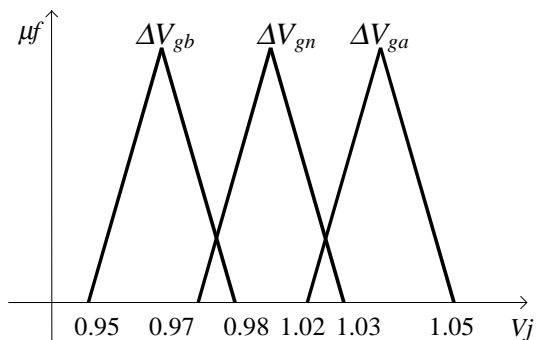


Fig. 2. Funciones de membresía de los cambios de voltaje en nodos de generación.

**Base de conocimiento:** La estrategia de control del sistema de lógica difusa propuesto (SFD) está basado en un esquema sistema experto-conjunto difuso consistente en un grupo de reglas IF-THEN, que representan el conocimiento que el operador del sistema de potencia (experto) tiene respecto al control de voltaje del sistema de potencia bajo estudio. Una regla IF-THEN está constituida por un par de estatutos que describen: el primero (IF), los estados de operación anormal del sistema, y los segundos (THEN) las acciones de control a realizar; por ejemplo:

**IF** ( $V_i$  es un voltaje bajo en el nodo  $i$ )

**THEN** (se debe realizar un cambio  $V_{ga}$  en el nodo de generación  $j$ ).

Se realiza una operación difusa para evaluar las reglas dando como resultado (THEN) una salida difusa en cada una de ellas, y la agregación de todas las salidas asociadas al mismo nodo de generación, se defusifican para obtener el valor no difuso del incremento o decremento (acción de control) de los voltajes de generación. Esta acción de control corregirá el voltaje anormal en el nodo de carga afectado.

En la Fig. 3 se muestra un diagrama esquemático del proceso de simulación. Dada la información del sistema de potencia (topología, líneas de transmisión, cargas y generación), se realiza un cálculo de flujos de potencia para determinar el estado de operación del sistema, y así identificar los nodos de carga con violación de voltaje ( $vv$ ).

Con la detección de una violación del voltaje  $vv$  (fuera de los límites operativos) se inicia la operación del SLD. Los valores de los voltajes de los nodos de carga, obtenidos en la solución de flujos de potencia, se fusifican, utilizando las funciones de membresía de las variables lingüísticas

$V_b$ ,  $V_n$  y  $V_a$ . Esta información se emplea para evaluar las reglas de la base de conocimiento (el conocimiento de la operación del sistema de potencia) obteniéndose para cada regla una salida difusa del cambio en el voltaje de generación correspondiente a la regla.

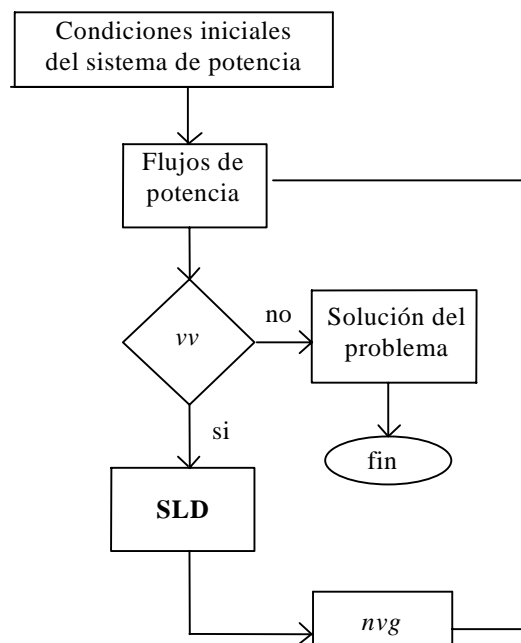


Fig. 3. Proceso de simulación.

La agregación (operación difusa) de las salidas que corresponden a un cambio de voltaje de un nodo de generación específico, da como respuesta un conjunto difuso. La defusificación de los resultados de las agregaciones de los cambios de voltaje de los nodos de generación, da como respuesta un incremento o decremento de los voltajes de generación correspondientes. Con los nuevos voltajes de generación ( $nvg$ ) se procede a realizar nuevamente el estudio de flujos de potencia

para obtener los cambios de voltaje en los nodos de carga.

Si los problemas de voltaje continúan, se repite el proceso con los nuevos voltajes fuera de los límites operativos ( $v$ ); de lo contrario, los últimos voltajes de nodos de generación representan la solución del problema inicial.

#### 4. APLICACIONES Y RESULTADOS

Para la aplicación de lógica difusa en el control de voltaje se utiliza el sistema de potencia de 9 nodos de la IEEE que se muestra en la Fig 4.

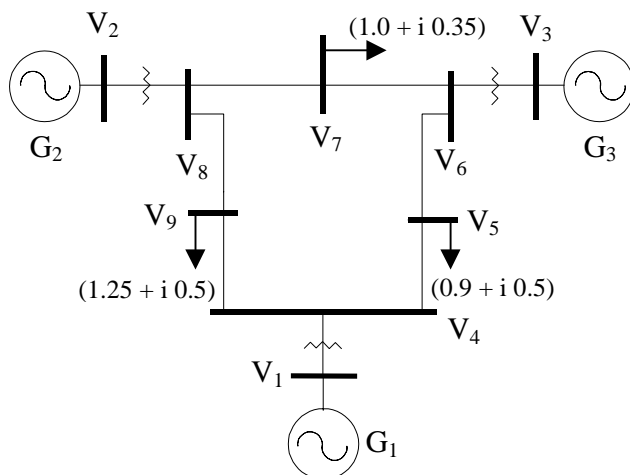


Fig. 4. Sistema de potencia de 9 nodos de la IEEE.

Los nodos 1, 2 y 3 son nodos de generación, y el nodo 1 actúa como nodo compensador. Los nodos de carga son los nodos del 4 al 9. Las tablas 1 y 2 muestran los datos del sistema.

Tabla 1. Parámetros del sistema.

Linea	Nodo	R	X	B	T
1	1-4	0.0000	0.0576	0.000	1.0
2	3-6	0.0000	0.0586	0.000	1.0
3	4-5	0.0170	0.0920	0.158	1.0
4	5-6	0.0390	0.1700	0.358	1.0
5	6-7	0.0119	0.1008	0.209	1.0
6	7-8	0.0085	0.0720	0.149	1.0
7	8-2	0.0000	0.0625	0.000	1.0
8	8-9	0.0320	0.1610	0.306	1.0
9	9-4	0.0100	0.0850	0.176	1.0

Tabla 2. Condiciones iniciales del sistema de potencia.

Nodo	Nodo tipo	P Gen	Q Gen	P Car.	Q Car.	V	Ang
1	SLK	0.0	0.00	0.00	0.00	1.0	0
2	P-V	1.0	1.63	0.00	0.00	1.0	0
3	P-V	1.0	0.85	0.00	0.00	1.0	0
4	P-Q			0.00	0.00	1.0	0
5	P-Q			0.90	0.30	1.0	0
6	P-Q			0.00	0.00	1.0	0
7	P-Q			1.00	0.35	1.0	0
8	P-Q			0.00	0.00	1.0	0
9	P-Q			1.25	0.50	1.0	0

Con el fin de mostrar esta metodología en la solución del problema de control de voltaje, se resuelven los siguientes casos:

1. Incremento de carga de un 90% en el nodo 7.
2. Incremento de carga de un 45% en los nodos del 4 al 9.
3. Desconexión de la línea que conecta los nodos 6 y 7.

En los tres casos el problema se resuelve por dos métodos: SLD y minimización de pérdidas de potencia activa (MPPA).

Los resultados de ambos métodos se dan en las tablas 3, 4 y 5 para los casos 1, 2 y 3 respectivamente. En estas tablas, la segunda columna contiene los valores de los voltajes de la solución de flujos de potencia con las condiciones iniciales. En la tercera columna, los primeros 3 valores de voltajes (fondo gris) representan el voltaje propuesto para los nodos de generación como solución del método de SLD, y el resto (voltajes del 4 al 9) como solución de flujos de potencia manteniendo fijos los voltajes de generación propuestos. En la cuarta columna se presenta la solución de cada caso mediante la minimización de pérdidas de potencia activa. En la tabla 6 se muestran las pérdidas de potencia activa por la solución propuesta en ambos métodos.

En el Caso 1, Tabla 3, columna 2, se muestra que el voltaje del nodo 7 es anormal (0.9774 abajo del límite inferior – dato en negrita). Ambos métodos resuelven el problema satisfactoriamente: 0.9767 por el método SLD y 1.008 por MPPA. Las pérdidas de potencia activa son muy cercanas, como se muestran en la tabla 6; sin embargo, el método MPPA coloca a los voltajes de generación en su límite superior.

Tabla 3. Soluciones del Caso 1.

Voltajes de Nodos	Solución de Flujos de Potencia	SLD	MPPA
V1	1.0	1.0226	1.050
V2	1.0	1.0274	1.050
V3	1.0	1.0226	1.050
V4	0.9841	1.0101	1.041
V5	0.9696	0.9969	1.029
V6	0.9888	1.0144	1.045
V7	<b>0.9474</b>	<b>0.9767</b>	<b>1.008</b>
V8	0.9797	1.0081	1.036
V9	0.9536	0.9823	1.014

Tabla 4. Soluciones del Caso 2.

Voltajes de Nodos	Solución de Flujos de Potencia	SLD	MPPA
V1	1.0	1.0348	1.050
V2	1.0	1.0227	1.050
V3	1.0	1.0355	1.050
V4	0.9661	1.0043	1.022
V5	<b>0.9431</b>	<b>0.9834</b>	<b>1.00</b>
V6	0.9891	1.0253	1.043
V7	0.9604	0.9944	1.016
V8	0.9798	1.0098	1.034
V9	<b>0.9208</b>	<b>0.9596</b>	<b>0.979</b>

En el caso 2, el incremento de carga en los nodos del 4 al 9, causa violación en los voltajes de los nodos 5 y 9. Ambos métodos resuelven el problema satisfactoriamente, con pérdidas mínimas de potencia activa muy cercanas como se muestra en la Tabla 6. Como en el caso 1, el método MPPA eleva los voltajes de los nodos de generación a su límite superior.

Tabla 5. Soluciones del Caso 3.

Voltajes de Nodos	Soluciones de Flujos de Potencia	SLD	MPPA
V1	1.0	1.0226	1.050
V2	1.0	1.0319	1.050
V3	1.0	1.0226	1.042
V4	0.9816	1.0081	1.041
V5	0.9679	0.9952	1.031
V6	1.0046	1.0287	1.050
V7	<b>0.9443</b>	<b>0.9791</b>	<b>1.005</b>
V8	0.9777	1.0108	1.035
V9	0.9510	0.9817	1.014

Tabla 6. Pérdidas de potencia activa.

CASO	SLD	MPPA
1	0.0498	0.0401
2	0.0676	0.0605
3	0.0646	0.0302

Para el tercer caso, donde se desconecta la línea que une los nodos 6 y 7, se produce un voltaje anormal en el nodo 7 como lo muestra la Tabla 5 en la columna 2. En este caso ambos métodos

resuelven el problema de voltaje satisfactoriamente, pero en lo relativo a pérdidas de potencia activa, el método MPPA (diseñado específicamente para este fin) ofrece mejor solución que el método SLD (diseñado para el control de voltaje).

## CONCLUSIONES

Los resultados del control de voltaje para contingencias de diferentes magnitudes en los sistemas de potencia, induce a establecer que el método SLD cumple con los objetivos del control de voltaje dentro de los límites operativos. Estas aplicaciones del método de SLD para el control de voltaje muestran claras ventajas tales como:

- Mayor flexibilidad en el modelo del control de voltaje.
- Efectividad computacional. La estructura simple del método de SLD no depende de estructuras de datos especiales de lenguajes de programación.
- Tiempo de ejecución pequeño. Las reglas de operación se pueden evaluar en forma simultánea; no existe una secuencia preestablecida en su evaluación.
- Se tiene una solución rápida al problema de control de voltaje, razón por la cual se considera que esta metodología es efectiva.

El límite del método de SLD está relacionado con el conjunto de reglas de operación que constituyen la base de conocimiento. La base de conocimiento es válida solamente para el sistema específico bajo control; por consiguiente se hace necesario un proceso computacional inteligente (con aprendizaje) que genere las reglas de operación de la base de conocimiento para cualquier sistema de potencia.



**6. REFERENCIAS**

1. I. Hano, Y. Tamura, S. Narita, and K. Matscemoto, "Real Time Control of System Voltage and Reactive Power." *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1969, pp. 1544-1558.
2. S. Narita and M. S. A. A. Hammam, "A Computational Algorithm for Real-Time Control of System Voltage and Reactive Power, Parts I & II." *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 90, 1976, pp. 325-334.
3. Raymond R. Shoults and M. S. Chen, "Reactive Power Control by Least Square Minimization." *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 95, No. 1, Jan./Feb. 1976, pp. 315-334.
4. K. R. C. Mamandur and R. D. Chenoweth, "Optimal Control of Reactive Power Flow for improvements in Voltages Profiles and for Real Power Losses Minimization,." *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 100, No. 7, July 1981, pp. 3185-3193.
5. S. Ramalyer, R. Ramachandran, and S. Haribaron, "New Technique for Optimal Power-Reactive Allocation for Loss Minimization in Power Systems." *IEE Proceedings*, Pt. C, Vol. 130, No. 4, July 1983, pp. 178-182.
6. S. Elanogovan, "New Approach for Real Power Loss Minimization," *IEE Proceedings*, Pt. C, Vol. 130, No. 6, Nov. 1983, pp. 295-299.
7. D. S. Kirschen and H. P. Van Meeteren, "MW/Voltage Control in a Linear Programming Optimal Power Flow," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 3, No. 2, May 1988, pp. 481-489.
8. J.A. Momoh and K. Tomsovic, "Overview and literature survey of fuzzy set theory in power systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 10, No. 3, August 1995, pp. 1676-1690.
9. H. Sasaki, T. Sakaguchi, H. Tanaka, R. Yokoyama, and Y Ueki, "Intelligent Systems Applications in Power Systems in Japan," ISAP'96 Plenary Session No. 4, International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems, Orlando, Florida, U.S.A., January 29 - February 2, 1996.
10. Mori, H., "State of the art overview on artificial neural networks in power systems." A tutorial course on artificial neural networks with applications to power systems, pp. 51-70. Edited by El-Sharkawi and D. Niebur, IEEE Power Engineering Society 1996.
11. Niebur, D., "Additional references on artificial neural networks and its power systems applications." A tutorial course on artificial neural networks with applications to power systems, pp. 170-190. Edited by El-Sharkawi and D. Niebur, IEEE Power Engineering Society 1996.
12. Aldo Cipriano, "Redes Neuronales." CYTED SUBPROGRAMA VII, Cuadernos de Informática y Automática. Informática en Sistemas Eléctricos, Tomo I: Fundamentos, October 27-31, 1997, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
13. D. Dubois and H. Prade, "Fuzzy Sets and Systems : Theory and Applications." New York, Academic Press 1980
14. D. Dubois and H. Prade, "A review of fuzzy sets aggregation connectives" *Information Science* 36:85-121

## 7. BIOGRAFIAS



**Oscar L. Chacón Mondragón** nació en Nueva Rosita, Coahuila, México en 1946. Recibió el grado de Ingeniero Químico por la Universidad Autónoma de Nuevo León, México, el grado de Maestro en Ciencias por University of Houston, y el grado de Doctor por University of Texas en Austin en 1968, 1976

and 1987 respectivamente, todos los grados en el departamento de ingeniería química. Fue maestro de la Facultad de Ciencias Químicas y posteriormente profesor del Programa Doctoral en Ingeniería Eléctrica, ambas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Su área de interés es la aplicación de técnicas de optimización e inteligencia artificial en la operación de sistemas eléctricos de potencia.



**Ernesto Vázquez Martínez** nació en Tampico Tamaulipas, México en 1967. Recibió los grados de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones, Maestro en Ciencias y Doctor en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México en

1988, 1991 y 1994 respectivamente. En la actualidad es profesor del Programa Doctoral en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Mexico. Su área de interés es la aplicación de la inteligencia artificial en la operación y protección de sistemas eléctricos de potencia.