

Ubicación óptima de un banco de capacitores, basado en algoritmos de lógica difusa.

Ruano Vega David, Carrera de Ingeniería, en Mantenimiento Eléctrico, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte.

Resumen — En este trabajo, con el fin de minimizar los costos operativos y de inversión, se propone una metodología para estimar la capacidad y ubicación óptima de un banco de capacitores a lo largo de un alimentador de un sistema eléctrico de distribución. Para alcanzar el objetivo planteado, se tomaron como indicadores la reducción de pérdidas y la reducción de caídas de voltaje encontrados en un flujo de carga, los cuales serán utilizadas como variables lógicas de entrada a la herramienta de lógica difusa de Matlab, para encontrar la capacidad y el nodo más idóneo en el cual se puede instalar un banco de capacitores.

Índice de términos — Bancos de capacitores, Lógica difusa, Reducción de pérdidas.

I. INTRODUCCIÓN

TODA empresa requiere maximizar los beneficios económicos, por lo tanto de forma general se asigna a los ingenieros y técnicos para investigar los problemas y las causas en las que se tienen las pérdidas económicas, buscando métodos o procesos que minimicen el efecto de las pérdidas. En el caso de las empresas eléctricas de distribución, las caídas de voltaje y las pérdidas de energía son cuantificadas y calificadas mediante índices para medir la eficiencia y calidad de servicio que las distribuidoras deben cumplir de acuerdo a la regulación de normativa nacional que determina la Agencia de Regulación Nacional de la Electricidad ARCONEL, estos índices reflejan un costo de beneficio para la empresa y los usuarios.

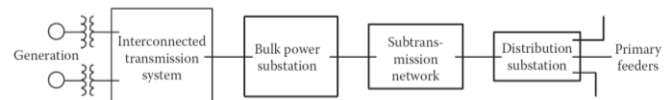
En la regulación ecuatoriana se consideran índices de calidad del producto técnico basados en la regulación ARCONEL 004-10 y 0003-99, por lo cual las empresas distribuidoras buscan mejorar estos índices, además el mejoramiento de estos índices corresponde directamente con la optimización de los recursos económicos que se asignan a las distribuidoras, por

Muchos sistemas de distribución utilizados en la práctica tienen un único circuito alimentador principal y se conocen como sistemas de distribución radiales. Los sistemas radiales son populares debido a su sencillo diseño y bajo precio en general (Mekhamer, 2002).

Muchas soluciones se han sugerido tales como técnicas de identificación de los problemas y tomas de decisiones, técnicas de solución de un problema complejo de gran escala, técnicas de programación entera mixta no lineal entre otras. Las técnicas analíticas (Bae, 1978), de programación (Grainger, 1982), la heurística (SF, 2002), programación matemática (Chiang, 1993) y una serie de otros métodos se han desarrollado para resolver el problema.

Entre estas técnicas los métodos informáticos evolutivos como Algoritmo genético (Gringer, 1981) y la optimización de Colonia de hormigas (Wadhwa, 2006) han señalado que producen resultados superiores. El recocido simulado y las búsquedas Tabú también han tenido mucho éxito. Sin embargo, un inconveniente común de estas técnicas radica en la enorme tarea informática involucrada en la obtención de la solución, por otro lado, no siempre los esfuerzos de los ingenieros de sistemas han sido suficientes para evitar aplicaciones de solución compleja con intensivos procesos de cálculo. Por eso se busca la utilización de lógicas simples, físicamente comprensibles para resolver los problemas, aunque tales soluciones simplificadas de vez en cuando no pueden encontrar el mejor enfoque en la lógica difusa, implican una menor carga computacional

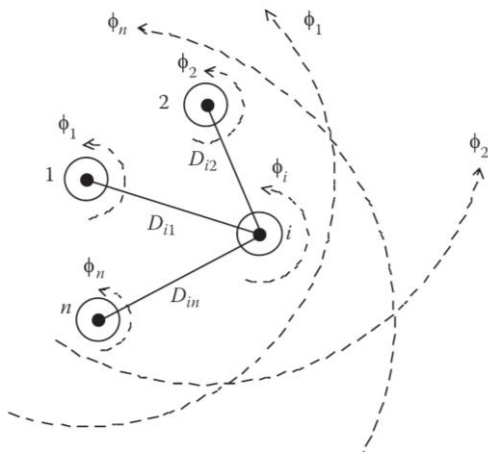
II. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN



a) 2.6.1 Alimentadores radiales

Se caracterizan por tener un solo camino desde la fuente que es la subestación de distribución hasta cada cliente o consumidor. Un típico sistema consiste en una o más subestaciones de distribución con uno o más alimentadores, los componentes de los alimentadores consisten en:

Principal alimentador primario trifásico



$$I_1 + I_2 + \dots + I_i + \dots + I_n = 0$$

El flujo total concatenado en el conductor i está dado matemáticamente por la ecuación:

$$\lambda_i = N \cdot \Phi = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \left(I_1 \cdot \ln \frac{1}{D_{i1}} + I_2 \cdot \ln \frac{1}{D_{i2}} + \dots + I_i \cdot \ln \frac{1}{GMR_i} + \dots + I_n \cdot \ln \frac{1}{D_{in}} \right)$$

Donde:

N: número de veces que las líneas del flujo abrazan al conductor iésimo.

D_{in}: Distancia entre el conductor iésimo y el conductor enésimo en pulgadas

GMR_i: Radio medio geométrico del conductor iésimo

a) 2.7.2 Caídas de voltaje.

En un sistema de distribución el circuito equivalente de un segmento trifásico que sirve una carga trifásica, se muestra en la figura 14 en la cual se ha aplicado la ley de voltaje de Kirchhoff “LVK” y su diagrama fasorial en la figura 15 en el cual se observa el fasor de la caída de voltaje que se produce en la resistencia de línea (IR), en fase con el fasor de la corriente, y el fasor de caída de voltaje en la reactancia (jIX) teniendo un ángulo de 90° respecto a la corriente

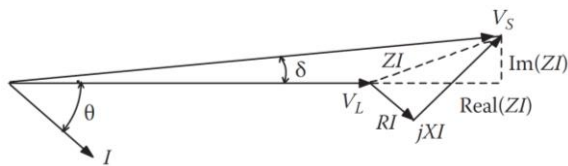


Figura 2 Componentes de la impedancia de línea

$$V_{drop} \cong Real(Z \cdot I)$$

b) 2.7.4 Pérdidas

Al igual que las caídas de voltaje, la importancia de analizar las pérdidas desde una fuente “S”, hasta el nodo “n” en un alimentador es fundamental, las pérdidas deben ser contabilizadas por la empresa distribuidora, las pérdidas se dividen en pérdidas técnicas y no técnicas o comerciales (muy a menudo llamadas pérdidas negras) las pérdidas de la energía es la diferencia entre la energía entregada por un alimentador menos la energía facturada al consumidor, por este motivo las empresas distribuidoras se ven en la obligación de comprar energía adicional para satisfacer la demanda de los usuarios de su área de concesión, por lo que se incrementan los costos de administración de la misma, la reducción de pérdidas incrementa el volumen de energía efectivamente vendida. A continuación, se detalla los dos tipos de pérdidas:

(1) 2.7.4.1 Pérdidas no Técnicas.

La energía producida no es facturada en su totalidad, dentro de las pérdidas no técnicas tenemos tres grandes grupos de pérdidas, las mismas que se indican a continuación:

- a) Accidentales, son causadas por fallas inintencionadas en conexiones mal uso u operación de elementos y equipos del servicio eléctrico.
- b) Administrativas, son errores producidos por la administración de la empresa distribuidora, entre estas están los errores en toma de lecturas, usuarios sin medidores (excluyendo de este grupo los usuarios con contrabando en sus instalaciones), servicios ocasionales (errores en la estimación de energía), cartera vencida, falta de equipos de medición en las instalaciones de la propia empresa distribuidora, etc.
- c) Fraudulentas, referidas a la energía no contabilizada que ciertos consumidores con el afán de evitar cobros por energía consumida por parte de la empresa distribuidora, manipulan los aparatos de medición, se conectan directamente a la red eléctrica sin la previa autorización de la empresa distribuidora y sin suscribir contrato alguno con la misma. Este tipo de casos son conocidos comúnmente como contrabandos y a menudo se presentan en ciertos sectores conflictivos y ya identificados, existen varios métodos hoy en día para evitar este tipo de eventualidades, el más utilizado en nuestro país es la utilización de cable pre ensamblado o también conocido como conductor anti hurto.

(2) 2.7.4.2 Pérdidas Técnicas.

Estas constituyen la porción de energía que no es suministrada al usuario, pero que es requerida para su operación esta se pierde en los equipos, redes y demás elementos que conforman el sistema de distribución, estos sirven para conducir y transformar la energía (transformadores), estos métodos son medibles y estimables, la medición se la realiza en campo con la herramienta especializada y designada para dicho objetivo, la estimación se la realiza con herramientas informáticas que dispone la empresa distribuidora para el caso de EMELNORTE

se utiliza la herramienta CYME. Este tipo de pérdidas al ser causada por la transmisión de energía es normal en cualquier distribuidora de energía y no pueden ser eliminada en su totalidad sólo pueden reducirse a través del mejoramiento topológico de la red.

Para lograr un plan adecuado de control y reducción de pérdidas técnicas, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Diagnóstico del estado actual del sistema,
- proyección de expansión de la carga,
- estudios de flujos de carga,
- analizar la ubicación óptima de transformadores y redes,
- realizar estudios de reconfiguración de alimentadores primarios.

III. BANCOS DE CAPACITORES

EL Sistema capacitivo montado en poste o polo (Qpole) es una solución económica para compensar la potencia reactiva en un alimentador aéreo, de acuerdo con las especificaciones técnicas de ABB los sistemas ofrecen beneficios como (ABB, 2010):

- Corrección del factor de potencia cerca de las cargas (consumidores)
- Estabilidad del voltaje
- Aumento de capacidad de la red
- Ahorro de costos mediante reducción de pérdidas.

Los bancos pueden instalarse como sistemas fijos o conmutados, dependiendo del perfil de voltaje en el alimentador, además se los pueden instalar en grupos llamados bancos, cuando se conoce que la carga es casi constante, se utilizan sistemas fijos, en cambios los conmutados son más utilizados en redes con carga variable. Los bancos fijos pueden armarse por agrupamiento de capacitores monofásicos y en disposición estrella con neutro flotante al voltaje del sistema.

Las potencias unitarias normalizadas en el medio son de 33.3, 50, 83.3, 100, 167, 200, 250, 300 y 400 KVAR, con lo que se pueden construir bancos trifásicos de 100, 150, 250, 300, 500, 600, 750, 900 y 1200 KVAR, o múltiplos de estas potencias. Su instalación en líneas aéreas es fácil y solo necesitan de un fusible y de un descargador de sobretensión para su protección, pocos accesorios para su conexión.

Convencionalmente en Emelnorte estos bancos se disponen aproximadamente en base a la experiencia de sus técnicos más antiguos, con lo cual se logra una importante reducción de las pérdidas y de las caídas de voltaje, y una consecuente mejora de la calidad del servicio prestado a todos los clientes (Leyden). Los bancos para poste en medio voltaje permiten una gran concentración de potencia, lográndose equipos trifásicos de bajo costo por KVAR.

En el país las empresas distribuidoras instalan bancos de capacitores para mejorar el sistema eléctrico, como en el caso de CNEL EP y la unidad de negocio El Oro, instalaron 9 bancos de capacitores para suministrar reactivos al sistema de

distribución beneficiando a más de 45.000 habitantes de los cantones Machala, Santa Rosa, Pinas, Portovelo, Pasaje, Atahualpa, balao y Ponce Enríquez de acuerdo a la publicación del ministerio de energía y electricidad (EP, 2017).

Por tanto, en el presente trabajo se busca optimizar los recursos económicos en una empresa distribuidora de energía eléctrica, en función de la ubicación óptima de capacitores en el transcurso de un alimentador principal.

IV. LOGICA DIFUSA

La lógica difusa es un método que proporciona una conclusión simplificada a partir de entradas imprecisas, ambiguas, incompletas o con ruido, (también llamada lógica borrosa) que en forma general imita las decisiones de una persona basada en las cosas que se observan desde una posición relativa.

Permite trabajar con información con alto grado de imprecisión, lo cual hace la diferencia con la lógica convencional que siempre necesita de información bien definida y precisa. Esta lógica tiene muchos valores intermedios dentro del rango lógico clásico que vienen siendo si/no, verdadero/falso, caliente/frío, prendido/apagado, abierto/cerrado, etc.

Es necesario entender que es un conjunto difuso para inferir en los valores de la lógica, si llamamos U al conjunto de varios valores, los cuales se encuentran en un rango y dentro de un espacio de n dimensiones, entonces a U se le llama Universo de Discurso, el cual contiene uno o varios subconjuntos difusos de valores llamado F , el cual se caracteriza por una función de pertenencia u_f tal que $u_f: U \rightarrow [0,1]$, donde la función $u_f(u)$ representa el grado de pertenencia de que una u pertenezca a U en el subconjunto difuso F .

En la teoría de conjuntos difusos se definen también las operaciones de unión, intersección, diferencia, negación o complemento, y otras operaciones sobre conjuntos, en los que se basa esta lógica.

La lógica difusa se utiliza cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen modelos matemáticos precisos, para procesos altamente no lineales y cuando se envuelven definiciones y conocimiento no estrictamente definido (impreciso o subjetivo). En cambio, no es una buena idea usarla cuando algún modelo matemático ya soluciona eficientemente el problema, cuando los problemas son lineales o cuando no tienen solución.

V. DETERMINACION DE LA UBICACION

Para determinar la idoneidad de la colocación de condensadores en un nodo particular, se ha establecido un conjunto de reglas difusas de antecedentes múltiples. Las entradas a las reglas son los índices de voltaje y los índices de

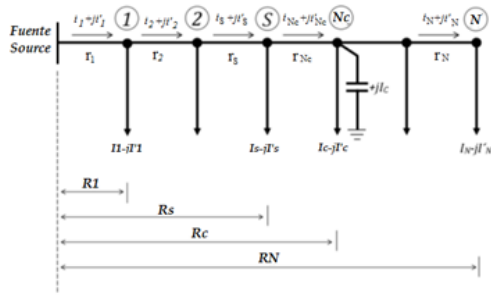


Fig. 1. Alimentador con N nodos y cargas no distribuidas uniformemente incluido la instalación de un capacitor.

pérdida de potencia que se pueden integrar también en pérdidas de energía, y la salida resultante es la idoneidad de la colocación del condensador.

CONSIDERACIONES PARA SIMPLIFICACIÓN DEL PROBLEMA

- Condensadores o capacitores fijos. - Instalación de capacitores en paralelo (shunt) como puntos de inyección de potencia reactiva en los nodos que lo requieran.
- Alimentador estrictamente radial. - Para cada simulación el voltaje puede estar en por unidad (pu) entre un valor de 0.95 como mínimo y de 1.05 como máximo.
- La mayor reducción de pérdidas fue asignada con el '1' y el resto de reducción de pérdidas de energía serán colocados en base a la mayor reducción de pérdidas.
- Análisis en la troncal, sin considerar los circuitos ramales. - Análisis de flujo de potencia en el alimentador de estudio para encontrar los parámetros de observación, para este ítem se utilizará la herramienta informática de CYME utilizada en alimentadores reales.

Para experimentar las funciones estudiadas en las aplicaciones desarrolladas para este trabajo tenemos el sistema de un alimentador radial con un nivel de voltaje de 13800 Voltios, frecuencia de 60 Hz y se entiende como barra infinita para el análisis, en las cuales se ha distribuido unas cargas especificas detalladas en la tabla 1.

TABLA I
INFORMACIÓN DE LAS CARGAS EN CADA NODO

| Barra o nodo | Potencia activa [kW] | Potencia Reactiva [kVAR] |
|--------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | 1840 | 460 |
| 2 | 980 | 340 |
| 3 | 1790 | 446 |
| 4 | 1598 | 1840 |
| 5 | 1610 | 600 |
| 6 | 780 | 110 |
| 7 | 1150 | 60 |
| 8 | 980 | 130 |
| 9 | 1640 | 200 |

TABLA 2
INFORMACIÓN DE LAS LÍNEAS EN CADA TRAMO

| Tramo | Impedancia R [ohmio] | Impedancia X [ohmio] |
|-------|----------------------|----------------------|
| 0-1 | 0,1233 | 0,4127 |
| 1-2 | 0,0140 | 0,6051 |
| 2-3 | 0,7463 | 1,2050 |
| 3-4 | 0,6984 | 0,6084 |
| 4-5 | 1,9831 | 1,7276 |
| 5-6 | 0,9053 | 0,7886 |
| 6-7 | 2,0552 | 1,1640 |
| 7-8 | 4,7953 | 2,7160 |
| 8-9 | 5,3434 | 3,0264 |

Se definen las variables del análisis como son, caídas de voltaje, perdidas de potencia o energía, e idoneidad de un nodo para ubicarse en banco de capacitores, siguiendo los métodos investigados muchos autores consideran índices de medición para estas variables las cuales serán utilizadas como entradas lógicas a la herramienta de la lógica difusa, como se explicará a continuación.

El flujo de carga se tiene de acuerdo con lo encontrado en la simulación del CYMDIST:



Figura 3. Flujo de carga en el nodo 1

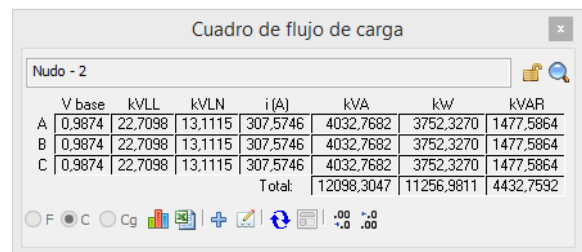


Figura 4. Flujo de carga en el nodo 2

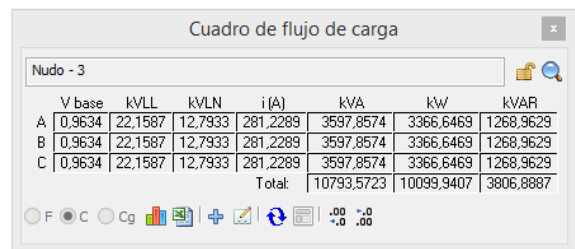


Figura 5. Flujo de carga en el nodo 3



Figura 6. Flujo de carga en el nodo 4

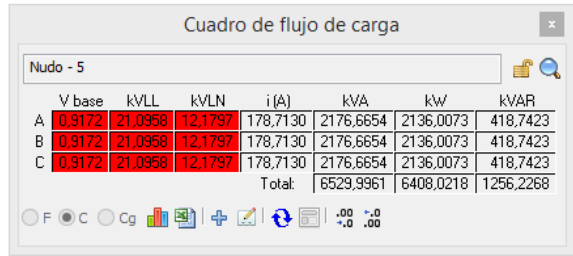


Figura 7. Flujo de carga en el nodo 5

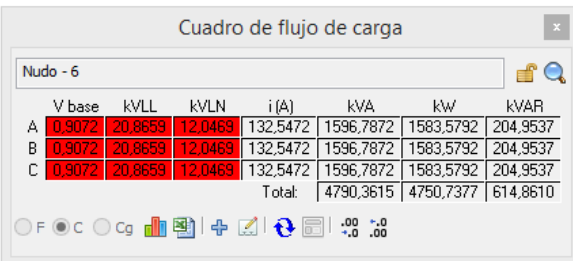


Figura 8. Flujo de carga en el nodo 6

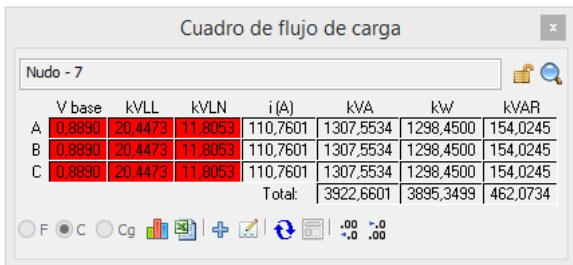


Figura 9. Flujo de carga en el nodo 7

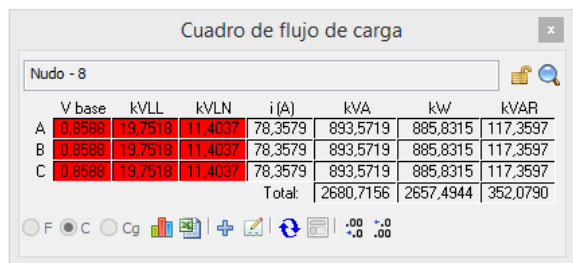


Figura 10. Flujo de carga en el nodo 8



Figura 11. Flujo de carga en el nodo 9

TABLA 2
INFORMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA Y VOLTAJE EN CADA TRAMO

| Tramo | Pérdida de potencia [kW] | Caída de voltaje VI [V] |
|-------|--------------------------|-------------------------|
| 0-1 | - | 13.200,000 |
| 1-2 | 46,6432 | 13.106,280 |
| 2-3 | 1.840,9200 | 13.033,680 |
| 3-4 | 3,0188 | 12.716,880 |
| 4-5 | 1.157,0405 | 12.513,600 |
| 5-6 | 1.904,1093 | 12.107,040 |
| 6-7 | 1.787,8096 | 11.975,040 |
| 7-8 | 1.657,2840 | 11.734,800 |
| 8-9 | 855,3879 | 11.336,160 |
| 9-10 | 1.237,8555 | 11.056,320 |

TABLA 3
INFORMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA Y VOLTAJE EN PU

| Tramo | Pérdida de potencia [pu] | Caída de voltaje [pu] |
|-------|--------------------------|-----------------------|
| 0-1 | - | 1 |
| 1-2 | 0,0245 | 0,9929 |
| 2-3 | 0,9668 | 0,9874 |
| 3-4 | 0,0016 | 0,9634 |
| 4-5 | 0,6077 | 0,9480 |
| 5-6 | 1,0000 | 0,9172 |
| 6-7 | 0,9389 | 0,9072 |
| 7-8 | 0,8704 | 0,8890 |
| 8-9 | 0,4492 | 0,8588 |
| 9-10 | 0,6501 | 0,8376 |

Las funciones de pertenencia para los índices de reducción de pérdidas de potencia (IRPP) o índice de reducción de pérdidas de energía (IRPE), índice de reducción de voltaje (IV) y el índice de idoneidad de ubicación del banco de capacitores (IIUC), fueron creadas para proporcionar una clasificación. Por lo tanto, las particiones de las funciones de pertenencia para los índices de potencia, voltaje e idoneidad están igualmente espaciados.

Las variables difusas son:

- Reducción de pérdidas de energía (IRPE)

- Reducción de caídas de voltaje (VI)
- Ubicación óptima del condensador (CI)

Se describen por los términos difusos de:

- Alto (High)
- Medio-Alto (High Medium)
- Medio/Normal (Medium)
- Medio-Bajo (Low Medium)
- Bajo. (Low)

Una vez indicados los términos y variables difusas se identifica o fuzzifican las variables como sigue:

IRPE:

| | | |
|----|---|------|
| L | = | 0.00 |
| LM | = | 0.25 |
| M | = | 0.50 |
| HM | = | 0.75 |
| H | = | 1.00 |

VI:

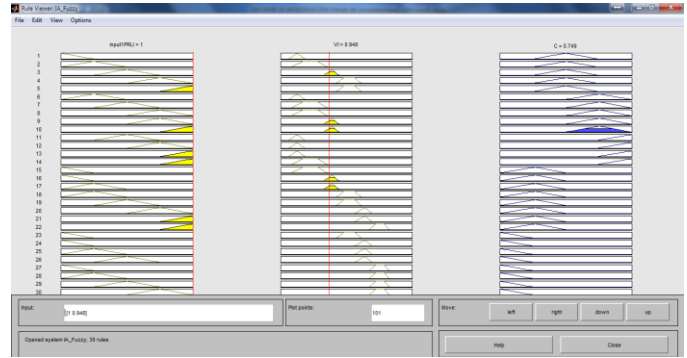
| | | |
|----|---|-------|
| VL | = | 0.95 |
| L | = | 0.975 |
| LN | = | 0.987 |
| N | = | 1.00 |
| HN | = | 1.025 |
| H | = | 1.05 |

Ahora se tiene la elaboración de la lógica de pertenencia, como sigue:

| | | | | |
|----|--------------|---|------------|---------------------|
| Si | (IRPE es L) | y | (VI es VL) | entonces (IC es M) |
| Si | (IRPE es L) | y | (VI es L) | entonces (IC es LM) |
| Si | (IRPE es L) | y | (VI es LN) | entonces (IC es LM) |
| Si | (IRPE es L) | y | (VI es N) | entonces (IC es L) |
| Si | (IRPE es L) | y | (VI es HN) | entonces (IC es L) |
| Si | (IRPE es L) | y | (VI es H) | entonces (IC es L) |
| Si | (IRPE es LM) | y | (VI es VL) | entonces (IC es HM) |
| Si | (IRPE es LM) | y | (VI es L) | entonces (IC es M) |
| Si | (IRPE es LM) | y | (VI es LN) | entonces (IC es LM) |
| Si | (IRPE es LM) | y | (VI es N) | entonces (IC es LM) |
| Si | (IRPE es LM) | y | (VI es HN) | entonces (IC es L) |
| Si | (IRPE es LM) | y | (VI es H) | entonces (IC es L) |
| Si | (IRPE es M) | y | (VI es VL) | entonces (IC es H) |
| Si | (IRPE es M) | y | (VI es L) | entonces (IC es HM) |
| Si | (IRPE es M) | y | (VI es LN) | entonces (IC es M) |
| Si | (IRPE es M) | y | (VI es N) | entonces (IC es LM) |
| Si | (IRPE es M) | y | (VI es HN) | entonces (IC es L) |
| Si | (IRPE es M) | y | (VI es H) | entonces (IC es L) |
| Si | (IRPE es HM) | y | (VI es VL) | entonces (IC es H) |
| Si | (IRPE es HM) | y | (VI es L) | entonces (IC es HM) |
| Si | (IRPE es HM) | y | (VI es LN) | entonces (IC es HM) |
| Si | (IRPE es HM) | y | (VI es N) | entonces (IC es M) |
| Si | (IRPE es HM) | y | (VI es HN) | entonces (IC es LM) |
| Si | (IRPE es HM) | y | (VI es H) | entonces (IC es L) |
| Si | (IRPE es H) | y | (VI es VL) | entonces (IC es H) |
| Si | (IRPE es H) | y | (VI es L) | entonces (IC es H) |
| Si | (IRPE es H) | y | (VI es LN) | entonces (IC es HM) |

| | | | | |
|----|-------------|---|------------|---------------------|
| Si | (IRPE es H) | y | (VI es N) | entonces (IC es M) |
| Si | (IRPE es H) | y | (VI es HN) | entonces (IC es LM) |
| Si | (IRPE es H) | y | (VI es H) | entonces (IC es LM) |

Una vez obtenidos los índices y las funciones de pertenencia en la lógica difusa, utilizamos la herramienta del fuzzy logic (Matlab) para determinar la idoneidad del nodo mejor calificado para ser instalado el banco de capacitores:



Este ejercicio se realiza para todos los nodos y se obtiene la tabla de resultados del índice de ubicación de capacitores IC, como sigue:

TABLA 3
INFORMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA Y VOLTAJE EN PU

| Tramo | Perdida de potencia [pu] | Caída de voltaje [pu] | Ubicación de Capacitor [nodo] |
|-------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 0-1 | - | 1 | |
| 1-2 | 0,0245 | 0,9929 | 0,0983 |
| 2-3 | 0,9668 | 0,9874 | 0,6726 |
| 3-4 | 0,0016 | 0,9634 | 0,0534 |
| 4-5 | 0,6077 | 0,9480 | 0,5424 |
| 5-6 | 1,0000 | 0,9172 | 0,7595 |
| 6-7 | 0,9389 | 0,9072 | 0,7323 |
| 7-8 | 0,8704 | 0,8890 | 0,7035 |
| 8-9 | 0,4492 | 0,8588 | 0,6962 |
| 9-10 | 0,6501 | 0,8376 | 0,7232 |

La barra que necesita un equilibrio dará un IC máximo, las barras que ya están balanceadas darán valores menores. A los valores más altos de IC se considera en primer lugar para la colocación del condensador, por lo tanto, el valor de condensador para ser colocado está decidido. Según la tabla 9, la barra 5 tiene mayor IC, así que también se ha seleccionado la ubicación para instalar el condensador.

De acuerdo con estos valores podemos encontrar el ahorro de acuerdo con las ecuaciones y constantes siguientes:

$$S = K_P \Delta P + K_E \Delta E - K_C C$$

K_P = costo de un kilowatt perdido al año (\$ / KW)

K_E = costo de un kilowatt-hora perdido al año (\$ / kWh)

K_C = costo de instalacion de banco de capacitores(\$ / KVAR)
 ΔP = Reducción de pérdidas pico de energía (KW)
 ΔE = Reducción de pérdidas de energía (kWh)
 C = Tamaño del Capacitor (KVAR)
 S = Ahorro de dinero por año (\$/año)

VI. CONCLUSIÓN

- Al momento de realizar los cálculos y las simulaciones en alimentadores con un numero de nodos pequeño se tiene mayor exactitud en los resultados, lo cual muestra que los factores que alteran la ubicación óptima de un banco de capacitores son el número de nodos o la complejidad del sistema de distribución en el cual se quiera investigar.
- Se compensan los perfiles de voltaje en el alimentador, cumpliendo la restricción dada y con un porcentaje de perdidas considerable, al momento de presentar índices de calidad.
- En el cálculo de índice de reducción de pérdidas, se puede automatizar de acuerdo a la sensibilidad que se tenga en cada nodo por su carga y sus componentes del tramo.
- El problema Se puede complicar aún más en la realidad, si se consideran las capacitancias de derivación en el modelo PI de la línea de los alimentadores, todo dependerá del nivel de voltaje con el que se esté trabajando, ya que a mayor voltaje las capacitancias pueden incrementar y ser representativas para el análisis, lo cual puede ser un tema adicional para investigación.
- Estabilización del voltaje. - Hay una mejora considerable en el perfil de voltaje después de la compensación del sistema, las condiciones y restricciones si pueden satisfacer el voltaje restricción.
- Las pérdidas de la potencia y la energía resultan en la colocación de condensador de potencia reactiva compensado como un factor de potencia, resultando en una mejora del sistema. Los datos se obtienen a partir del programa de flujo de carga en CYME.

VII. REFERENCIAS

- ABB, C. (2010). Qpole, Pole Mounted Capacitor System. *Catalog power capacitors.*
- Bae, Y. G. (1978). Analitic. *IEEE Transaction*, 1232-1238.
- Chiang, D. (1993). Optimal capacitor placement in distribution system by genetic algorithm. *IEEE electrical power & Energy Sistems*, 155-162.
- EP, C. (9 de enero de 2017). *www.energia.gob.ec*. Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/cnel-ep-instala-bancos-de-capacitores-para-mejorar-sistema-electrico/>: <http://www.energia.gob.ec/category/comunicamos/noticias/>
- Gonzales, F. (2007). Introducción a los Sistemas de Transmisión. *SISTEMAS DE TRANSMISIÓN*, 1-13.
- Graiger, J. (1982). Capacity release by shunt capacitor placement on distribution feeder. *IEEE transaction and distribution*, 1236-1244.
- Gringer, J. (1981). Optimun size and location of shunt capacitors for reduccion of losses on distribution feeders. *Transactions on power apparatus and systems IEEE*, 1105-1118.
- Leyden. (s.f.). *Bancos de capacitores para montaje en poste*. Obtenido de <http://www.leyden.com.ar>: http://www.leyden.com.ar/esp/pdf/bancos_poste.pdf
- Mekhamer, S. (2002). Load flow solution of radial distribuiton feeder. *International Journal of Electrical Power & Energy System*, 701-707.
- SF, M. (2002). New hwuristic strategies for reactive power compensation of radial distribution feeders. *IEEE transactions on Power Delivery*, 1128-1135.
- Wadhwa, C. (2006). En *Electrical power systems*. Delhi: New age international.