

Revisión bibliográfica de un sistema de deslastre de cargas para el edificio Santo Domingo

(septiembre de 2023)

Diego Fernando Molina Ortega, Estudiante de Pregrado, Facultad de Mecatrónica, Universidad Santo Tomas - Bucaramanga, Colombia, diego.molina01@ustabuca.edu.co

Resumen - En la literatura revisada, se abordan los resultados y los procedimientos diversos derivados de investigaciones relacionadas con el deslastre de cargas. Investigaciones anteriores, como las de J. C. Cepeda, D. Ramirez y D.G. Colomé (2013), han explorado los aspectos fundamentales de la concepción y diseño de proyectos de deslastre de cargas. Estos estudios han analizado las diversas etapas del proceso, destacando factores clave a considerar en la implementación de estrategias eficaces.

Asimismo, investigaciones previas han arrojado luz sobre las incertidumbres comúnmente encontradas en la práctica del deslastre de cargas, proporcionando valiosas conclusiones que han influido en el desarrollo de nuevas metodologías. Por ejemplo, los hallazgos de A. Shandilya, H. Gupta y J. Sharma (1993), han contribuido a resolver interrogantes específicos que suelen surgir durante la aplicación de proyectos similares, ofreciendo perspectivas esenciales para abordar desafíos específicos.

La presente revisión bibliográfica busca consolidar y contextualizar los resultados y procedimientos expuestos en este artículo, enriqueciéndolos con la contribución previa de la investigación existente en el campo del deslastre de cargas.

Palabras claves: Deslastre de cargas, lastre de cargas, sistema de control, diseño, implementación, automatización industrial.

Load shedding system for the Santo Domingo building

Abstract - This document presents various methods for the solution for the project on load shedding, how to design it and how to implement it, as well as the conclusions to the different doubts that arise during its practice.

Keywords: Load shedding, load ballasting, control system, design, implementation, industrial automation.

Artículo científico presentado como opción de grado para optar por el título de Especialista en Automatización Industrial.

I. INTRODUCCIÓN

En Colombia, las estaciones de distribución y las plantas de producción carecen de un sistema integral de supervisión. Esto dificulta al ingeniero de campo detectar riesgos y contingencias a nivel operativo.

Actualmente no se cuenta con métodos eficientes para la reducción de carga durante eventos transitorios, lo que expone al personal a riesgos y afecta al sistema de producción.

Se sugiere implementar un sistema de monitorización en tiempo real que permita detectar posibles fallas o problemas en el sistema eléctrico, así como simular diferentes escenarios para predecir y tomar acciones anticipadas en caso de contingencias. Este sistema también debe brindar la posibilidad de acceder a plataformas web para que los diferentes usuarios puedan visualizar y dirigir el sistema de manera remota.

En el caso del estudio presentado y de acuerdo con R. M. M. Pereira, C. M. M. Ferreira y F. P. M. Barbosa (2010), se busca seleccionar la combinación óptima de cargas a deslastrar en comparación con el método convencional de deslastre por baja frecuencia. Esta solución predictiva se lleva a cabo en milisegundos, lo que permite evitar interrupciones no deseadas en el suministro de energía y ahorrar tiempo.

En suma, es necesario implementar un sistema unificado de supervisión, control, ejecución, pronóstico, simulación y monitoreo en las subestaciones y plantas de generación eléctrica en Colombia. De acuerdo con R. Podmore (1968), este sistema permitirá detectar y prevenir posibles fallas o contingencias, así como tomar acciones anticipadas para garantizar un suministro confiable de energía eléctrica.

Además, se deben seleccionar las cargas óptimas a deslastrar en caso de una perturbación transitoria en el sistema, evitando

Ingeniero Electrónico. Universidad Santo Tomas-Tunja. Maestrante en Ingeniería. Correo electrónico: diego.molina01@ustabuca.edu.co

interrupciones innecesarias y optimizando el funcionamiento del sistema eléctrico.

II. DESARROLLO DE CONTENIDOS

En esta investigación se efectuó una verificación minuciosa de la literatura existente de los diseños de redistribución de carga que se han implementado hasta la fecha, fijando una comparativa detallada de los beneficios y/o perjuicios que pueda acarrear cada uno de ellos. Esto permitió establecer los principales desafíos que surgen al implementar esta medida de control correctiva. Dado que los esquemas de redistribución de carga suelen determinar la ubicación y proporción de carga a suspender en función al grado de tensión en el barraje del sistema, y teniendo en cuenta que esta pauta no garantiza el normal funcionamiento del sistema una vez llevada su ejecución, se planteó llevar a cabo una metodología mixta para la redistribución de carga por baja tensión, utilizando la optimización por enjambre de partículas (PSO), desarrollada inicialmente por Kennedy y Eberhart (1995), e incorporando los lineamientos de estabilidad como un sistema para abordar las problemáticas clásicas de dicho proceso. De esta manera, se analizaron tres alternativas distintas para orientar el algoritmo hacia un resultado eficiente, añadiendo así, en cada una, un elemento diferente a la función de aptitud para determinar la cantidad de carga a desconectar de acuerdo con la susceptibilidad de una barra de colapso.

Se emplea en el esbozo inicial el indicador SVSI, que se implementa para examinar la estabilidad de la tensión para los sistemas de energía; en el segundo esquema se evalúa el lineamiento tradicional para llevar a cabo la desconexión, donde partiendo del grado de voltaje de cada barra se determina la repartición de la carga a desactivar; y el tercer esquema considera el indicador de estabilidad de línea Lmn, mediante el cual se estudia e identifica cuales son las barras que están enlazadas a las líneas con alto grado de posibilidad de oscilación.

De acuerdo con los resultados alcanzados y la confrontación de los tres modelos sugeridos, se muestra que, pese a restaurar los niveles de tensión, el lineamiento tradicional para llevar a cabo el aligeramiento de la carga no estabiliza la tensión en el sistema una vez se haya llevado a cabo su implementación, contrario a sus modelos que llevan a cabo la asignación de la carga basándose en criterios de estabilidad como los indicadores SVSI y Lmn.

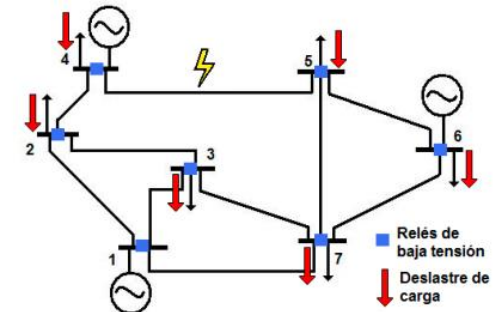
Tipos de deslastre de carga:

A) Deslastre de carga homogéneo:

El método básico y fácil de implementar es el deslastre de carga homogéneo. De acuerdo con A.

Safdarian, M. Fotuhi- Firuzabad, Y. Tohidi y F. Aminifar (2011), consiste en reducir de manera igual la cantidad de carga en todas y cada una de las barras del sistema luego de una perturbación. El porcentaje de desconexión de carga está determinado por la ubicación inicial de la falla y su grado de gravedad. La interrupción de carga puede llevarse a cabo en una o varias fases. El propósito es establecer la cantidad de desconexión suplementaria requerida a fin de reestablecer el sistema en una situación de emergencia, sin tener en cuenta las particularidades específicas de cada punto de carga. En la figura 1 se muestra cómo funciona este esquema: si luego de una perturbación, cualquier dispositivo de protección de baja tensión identifica una tensión umbral predefinida, todas las barras PQ del sistema desconectarán las cargas en proporciones idénticas.

Figura 1. Deslastre de carga homogéneo.



A pesar de que este enfoque puede restablecer los niveles de tensión después de una contingencia en el sistema, no considera las características individuales de las barras de carga ni establece porcentajes precisos de deslastre para cada una. Por lo tanto, se vuelve una estrategia poco eficaz que provoca deslastres de carga innecesarios, es decir, deslastres excesivos.

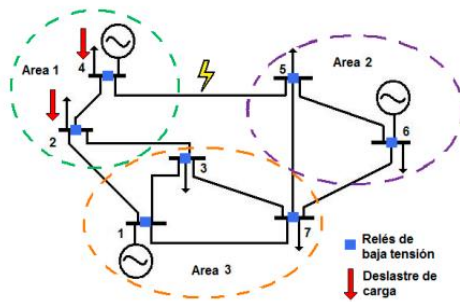
B) Deslastre de carga centralizado:

B. Hoseinzadeh, F. F. Da Silva y C. L. Bak (2014), indican que este plan opera mediante una subdivisión del sistema en zonas; en cada línea se conectan relevadores de baja presión y cuando uno de estos relevadores percibe un nivel de voltaje límite predeterminado, envía los datos de disminución de carga a las demás líneas pertenecientes a su zona, además, cuando es necesario también se envía información de reducción de carga a las demás zonas del sistema.

En la fig.2, se muestra un sistema con tres zonas definidas, si en caso de una contingencia uno de los relevadores de baja tensión de la zona 1

percibe un grado específico de volteje, todas las líneas de dicha zona desconectan la carga. Este método de división en áreas con relevadores de baja tensión resulta eficiente para realizar el deslastre de carga en el sistema, ya que permite una rápida respuesta a las contingencias y evita que se produzcan sobrecargas en el sistema eléctrico. Esto garantiza un suministro de energía más estable y seguro para los consumidores.

Figura 2. Deslastre de carga centralizado.



C) Deslastre de carga descentralizado:

En relación con la eficiencia del método, es importante destacar que el sistema de distribución de carga descentralizado basado en la reducción de voltaje permite una reducción de cargas gradual y controladamente, evitando así deslastres innecesarios que podrían afectar el funcionamiento óptimo del sistema eléctrico (B. Hoseinzadeh, F. F. Da Silva y C. L. Bak, 2014).

Además, al coordinar este esquema con los mecanismos de resguardo y otros sistemas de control implementados en el sistema, se evita la posibilidad de falsos disparos en los relés de baja tensión, lo que garantiza una mayor eficiencia en términos de seguridad y continuidad del suministro eléctrico.

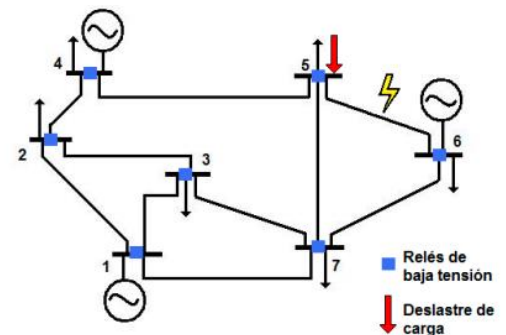
Otro aspecto relevante que contribuye a la eficiencia del método es el tiempo de respuesta para iniciar el deslastre. Al establecer un tiempo de inicio en segundos en lugar de ciclos, se logra una mayor precisión en la detección de niveles de tensión por debajo del umbral establecido, lo que garantiza una respuesta más rápida y efectiva ante perturbaciones en el sistema.

En cuanto a la cantidad de carga a deslastar, es importante considerar las restricciones del sistema para asegurar una restauración apropiada de los niveles de voltaje. El esquema propone deslastar entre un 5% y un 20% por etapa, lo que permite una gestión eficiente de la carga sin comprometer la estabilidad del sistema.

Finalmente, los valores umbrales de tensión para iniciar el deslastre se establecen entre 0.85 pu y 0.95 pu, lo que garantiza una detección oportuna de niveles de tensión bajos y asegura una respuesta rápida y precisa del esquema de deslastre.

En resumen, el sistema de distribución de carga descentralizado basado en la reducción de voltaje es altamente eficiente ya que garantiza una reducción gradual y controlada de la carga, coordina con otros dispositivos de protección y esquemas de control, tiene un tiempo de respuesta en segundos, deslasta la cantidad necesaria, considera valores umbrales adecuados y garantiza la estabilidad del sistema eléctrico. Todo esto contribuye a una gestión eficiente y segura del suministro eléctrico en caso de perturbaciones. (Ver fig.3)

Figura 3. Deslastre de carga descentralizada.



Además de la metodología híbrida propuesta, se considera importante analizar el impacto de la inserción renovable en el sistema de potencia. Como quiera que esta fuente de energía requiere de factores ambientales variables, es necesario evaluar cómo afectaría la interrupción controlada de carga a la estabilidad del sistema de conformidad a lo desarrollado por M. Mustafa, H. Abdelhafid, M. R. djamel y A. Salem (2014). Se propone investigar técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático para predecir la capacidad de compensación de generación renovable y optimizar la desconexión de carga en función de estos pronósticos (A.Q. Santos, R.M. Monaro, D.V. Coury, y M. Oleskovicz, 2014).

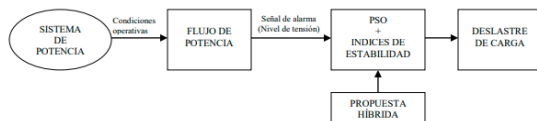
Otra nueva idea que considerar es la incorporación de la flexibilidad de carga como una estrategia adicional para el deslastre. Según S. Amborg, G. Anderson, D. J. Hill y I. A. Hiskens (1997), la flexibilidad de carga se refiere a la capacidad de algunos consumidores de

ajustar su demanda de energía en respuesta a señales de precios o incentivos. Al permitir que ciertos consumidores reduzcan temporalmente su demanda, se puede aliviar la presión sobre el sistema y evitar la desconexión completa de la carga (Y. R. Omar, I. Z. Abidin, S. Yusof, H. Hashim y H. A. Abdul Rashid, 2010; y D. Novosel and R. L. King 1994). Se propone analizar la viabilidad técnica y económica de implementar programas de flexibilidad de carga y cómo integrar esta estrategia en la metodología híbrida propuesta.

Además, es importante considerar la incertidumbre inherente a los parámetros de funcionamiento de un sistema eléctrico de potencia. Según M. K. Maharana y K. S. Swarup (2009), factores como la variabilidad de la demanda y la generación, así como las fallas en el sistema, pueden afectar significativamente la eficacia de las acciones correctivas. Por lo tanto, se sugiere investigar técnicas de optimización robusta que sean capaces de encontrar soluciones que sean efectivas bajo diversas condiciones.

Finalmente, surge la necesidad de analizar las implicaciones financieras de la propuesta híbrida de deslastre de carga. Además de considerar los costos asociados con la desconexión y reconexión de la carga, es importante evaluar los beneficios económicos a largo plazo de mantener un sistema de potencia estable y confiable. Esto incluye considerar el impacto en los precios de la electricidad, la confiabilidad del suministro y los costos relacionados con la falla del sistema. Se propone analizar la viabilidad económica de implementar la metodología híbrida propuesta y evaluar su rentabilidad en comparación con otras alternativas de deslastre de carga, de acuerdo con la fig.4.

Figura 4. Propuesta de sistema de deslastre de cargas.



Optimización del sistema:

- El deslastre de carga por bajo voltaje se enfoca en desconectar la carga mínima necesaria para establecer condiciones seguras en el sistema de potencia. Este proceso se aborda como un problema de optimización, con el objetivo de encontrar la cantidad mínima de carga a desconectar en cada punto de conexión para restablecer los niveles de tensión y cumplir con las restricciones establecidas (A. A. Abou, A. Zein El-Din, y S.R. Spea, 2006). Se desarrollaron tres esquemas, cada uno con un criterio de sensibilidad diferente en la función aptitud. El primer esquema utiliza el índice SVSI, usado para analizar la

estabilidad de tensión en sistemas de potencia. El segundo esquema se basa en un criterio tradicional para el deslastre de carga, determinando la carga a desconectar según el nivel de tensión de cada barra. El tercer esquema considera el índice de estabilidad de línea Lmn para evaluar las barras conectadas a las líneas con mayor riesgo de inestabilidad. En detalle, se describe la función aptitud implementada para cada esquema propuesto.

- **Deslastre de carga simplificado de voltaje (simplified voltage stability index, SVSI).**

Según los autores S. S. Danish, A. Yona y T. senjyu (2014) el SVSI se utiliza en el diseño de deslastre de carga para determinar en qué medida cada barra del sistema contribuye al colapso de tensión. Aquellas barras con un mayor valor de SVSI son consideradas prioritarias para el deslastre de carga. La siguiente función SVSI simplificado está definida como:

$$\min \left(\sum_{i=1}^{NL} \frac{\Delta PD_i}{SVSI_i} \right) \quad (1)$$

ΔPD_i es la carga por deslastrar, $SVSI_i$ indica la estabilidad de cada barra y NL es el número total de barras PQ del sistema.

- **Deslastre de carga usando el nivel de tensión de cada barra.**

La magnitud de voltaje en cada punto de conexión está vinculada a las modificaciones en sus parámetros de funcionamiento tras una contingencia en el sistema. Esta noción se emplea tradicionalmente para determinar qué barras de conexión deben ser deslastradas. La función aptitud para deslastrar carga se define considerando el nivel de tensión de cada barra.

$$\min \left(\sum_{i=1}^{NL} V_i * \Delta PD_i \right) \quad (2)$$

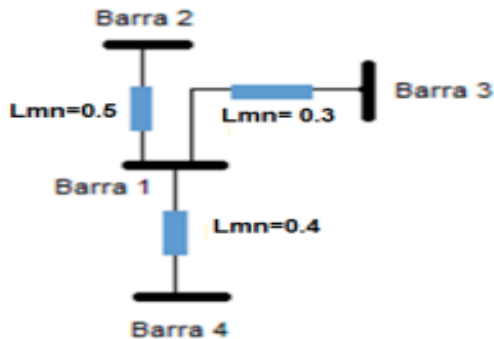
ΔPD_i es la carga por deslastrar, V_i es un grado de voltaje en cada barra y NL el número total de barras PQ del sistema.

- **Deslastre de carga usando índice de estabilidad de línea (Lmn).**

Este índice de estabilidad se utiliza para detectar la probabilidad de una disminución en el voltaje del sistema. M. H. A. Hamid, H. Hashim, H. A. A. Rashid

y I. Z. Abidin (2014) indican que el diseño de deslastre de carga se emplea para determinar cuáles barras están conectados a las líneas que muestran inestabilidad de voltaje luego de una gran perturbación. En el deslastre de carga, es necesario determinar qué barras pueden desconectar la carga, y esto se logra encontrando el valor más alto del índice de línea (L_{mn}) para una línea conectada a esa barra. Una figura que muestra un sistema de cuatro barras se muestra en la fig.5.

Figura 5. Sistema de 4 barras.



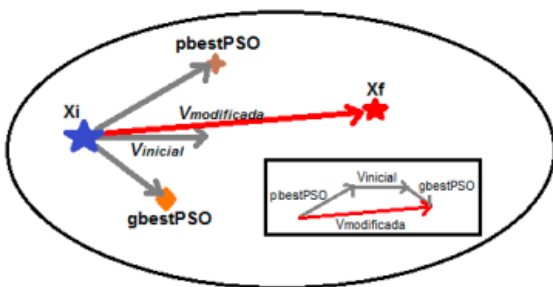
- Optimización por enjambre de partículas (PSO).

PSO (Particle Swarm Optimization) es un método de optimización basado en la conducta social de los animales. De acuerdo con B. Mozafari, T Amraee y Ranjbar (2006), cada partícula presenta posibles soluciones al problema de optimización y se ajusta constantemente a través de la experiencia de sí misma y de los demás. PSO se puede buscar la mejor posición global o la mejor posición local.

Las principales características de PSO son: Intercambio de información entre partículas, almacenamiento de la experiencia propia, convergencia rápida, inicio aleatorio de la población, búsqueda basada en la función objetivo, técnica estocástica y sin creación de nuevas partículas durante la ejecución.

El movimiento de una partícula dentro se puede exponer en la siguiente fig.6.

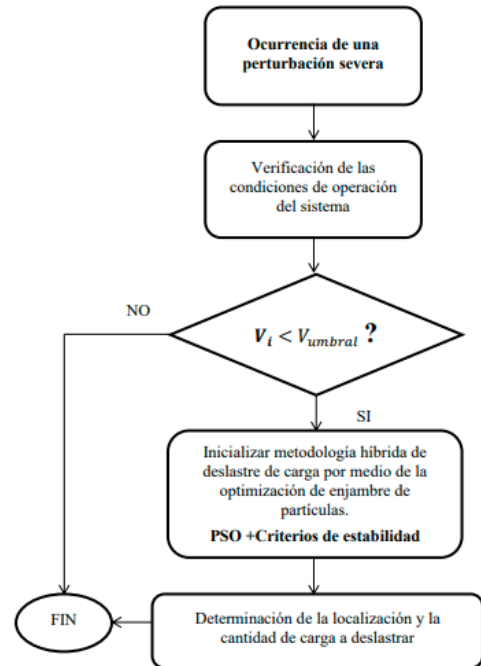
Figura 6. Movimiento de una partícula algoritmo PSO.



El diagrama de flujo del esquema de deslastre se activa cuando el grado de voltaje en una barra es inferior a

0.9 pu. El deslastre de carga se realiza siguiendo el flujo como se expresa en la fig.7.

Figura 7. Diagrama de flujo deslastre de cargas por baja tensión.



III. CONCLUSIONES

- A partir de la revisión bibliográfica se pueden plantear tres esquemas de deslastre de carga utilizando PSO, considerando diferentes indicadores de estabilidad.
- Una vez examinada la literatura, se sugiere considerar los índices de estabilidad de voltaje como la activación de una alarma al ejecutar el deslastre de carga en el sistema existente.
- De acuerdo con la investigación realizada, se propone estudiar la inclusión de múltiples indicadores de estabilidad en un sistema de deslastre de carga para una localización certera de la carga a deslastar.
- De acuerdo con los diferentes autores, se colige la importancia de considerar el redespacho de generación en los diseños de deslastre de carga.
- Partiendo del análisis de las diferentes metodologías que se investigaron, se propone aplicar una metodología mixta de deslastre de carga utilizando optimización por enjambre de partículas e índices de estabilidad de tensión.

- Se sugiere estudiar la implementación de diferentes metodologías para mejorar la optimización del deslastre de carga.
- Finalmente, de manera general, se concluye que el deslastre de carga por bajo voltaje es una respuesta correctiva para evitar colapsos de voltaje en el sistema, su implementación debe ser cuidadosa para evitar problemas adicionales en el sistema.

REFERENCIAS

- [1] J. Kennedy y R. C. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN), 1995.
- [2] A. A. Abou, A. Zein El-Din, and S.R. Spea, "Optimal load shedding in power systems," Power Systems Conference, MEPCON. Eleventh International Middle East, Vol. 2, El-Minia, pp. 568 – 575, Diciembre 19 – 21, 2006.
- [3] M. Mustafa, H. Abdelhafid, M. R. djamel and A Salem, "Genetic algorithms based optimal load shedding with transient stability constraints", International Conference on Electrical Sciences and Technologies. Tunis, pp. 1-6. Noviembre 3-6. 2014.
- [4] T. Amraee, A. M. Ranjbar, B. Mozafari and N. Sadati, "An enhanced under-voltage load-shedding scheme to provide voltage stability," Elsevier Science, Electrical Power & Energy Systems, pp. 1038 – 1046, 2006.
- [5] B. Mozafari, T Amraee and Ranjbar, "An Approach for Under Voltage Load shedding Using Particle Swarm Optimization", International Symposium on Industrial Electronics. Montreal, pp. 2019-2024. Julio 9-13. 2006.
- [6] B. Hoseinzadeh, F. F. Da Silva and C. L. Bak, "Power system stability using decentralized under frequency and voltage load shedding", PES General Meeting Conference & Exposition. National Harbor, MD, pp 1-5. Julio 27-31. 2014.
- [7] Deslastre de carga en sistema de potencia, (Céspedes, Restrepo & Roa, 1984) Universidad Nacional de Colombia, Ingeniera Eléctrica.
- [8] IEEE Committee Report. Dynamic Models for Steam and Hydroturbines in Power System Studies.
- [9] IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems Vol. PAS-92. pp 1904-1915. December 1973.
- [10] IEEE Committee Report. Computer Representation of Excitation Systems,
- [11] IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-92. pp. 1460-1464. June 1968. R. Podmore. Power System Dynamic Simulation Program - Users Manual.
- [12] University of Saskatchewan. January 1974. F. P. Dommel. N. Sato. Fast Transient Stability Solution,
- [13] IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-91. pp. 1643-1650. July-August. 1972. H. E. Lokay and V. Burtnyk, "Application of underfrequency relays for automatic load shedding". IEEE transactions on power systems, Vol. PAS-87, No. 3, pp. 776- 783. Marzo 1968.
- [14] Y. R. Omar, I. Z. Abidin, S. Yusof, H. Hashim and H. A. Abdul Rashid, "Under Frequency Load Shedding (UFLS): Principles and Implementation". IEEE International conference on Power and energy, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 414- 419. Noviembre 29 – Diciembre 1. 2010. 85
- [15] V. N. Chuvychin, N. S. Gurov, S. S. Venkata and R. E. Brow, "An adaptive approach to load shedding and spinning reserve control during underfrequency conditions", IEEE transactions on power systems, Vol 11. No 4, pp 1805-1810. Noviembre 1996.
- [16] L. Zhang and J. Zhong, "UFLS design by using f and integrating df/dt". Power Systems Conference and Exposition, Atlanta, pp. 1840-1844. Octubre 29 – Noviembre 1. 2006.
- [17] M. Prasad, K. N. Satish, Kuldeep and R. Sodhi, "A synchrophasor measurements based adaptive underfrequency load shedding", Innovative Smart Grid Technologies, Kuala Lumpur, pp. 424-428. Mayo 20 – 23. 2014.
- [18] A.Q. Santos, R.M. Monaro, D.V. Coury, and M. Oleskovicz, "Real-time closed loop system controlled by an Artificial Neural Network for estimation of the optimal load shedding", IET International Conference on Developments in Power System Protection. Copenhagen, pp. 1-6. Marzo 31- Abril 3. 2014.
- [19] A. Shandilya, H. Gupta and J. Sharma, "Method for generation rescheduling and load shedding to alleviate line overloads using local optimisation". IEEE Proceedings, Generation, Transmission and Distribution, Vol 140. No. 5, pp. 337-342. Septiembre 1993.
- [20] J. C. Cepeda, D. Ramirez and D.G. Colomé, "Real-time adaptive load shedding based on probabilistic overload", IEEE Transmission & Distribution Conference and Exposition. Medellín, Colombia, pp.1-6. Septiembre 10-13. 2014.
- [21] D. Novosel and R. L. King, "Using artificial neural networks for load shedding to alleviate overloaded lines", IEEE Transactions on power Delivery, Vol. 9. No. 1, pp.425-433. Enero 1994.
- [22] M. K. Maharana and K. S. Swarup, "Particle swarm optimization based corrective strategy to alleviate overloads in power system", World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing. Coimbatore, pp. 37-42, Diciembre 9-11. 2009.
- [23] A. Safdarian, M. Fotuhi-Firuzabad, Y. Tohidi and F. Aminifar, "A fast load shedding algorithm to relieve transmission system overloads", International Conference on Environment and Electrical Engineering. Rome, pp. 1-4. Mayo 8-11. 2011. 86
- [24] R. Verayiah, A. Mohamed, H. Shareef, and I. Zainal Abidil, "Review of under-voltage load shedding schemes in power system operation", Przegląd elektrotechniczny, Julio 2014.

- [25] T. W. Carson, "Concepts of undervoltage load shedding for voltage stability," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, pp. 480 - 488, Abril 1992.
- [26] S. Arnborg, G. Anderson, D. J. Hill and I. A. Hiskens, "On Undervoltage load shedding in power systems," Elsevier Science, Electrical Power & Energy Systems, Vol. 19, No. 2, pp. 141 – 149, 1997.
- [27] R. Balanathan, N. C. Pahalawaththa, U. D. Aannakkage and P. W. Sharp, "Undervoltage load shedding to avoid voltage instability," IEE Proc –Gener. Transm. Distrib, Vol. 145, No. 2, pp. 175 – 181, Marzo 1998.
- [28] D. Hazarika, S. Bhuyan and S. P. Chowdhury, "Avoiding risk of voltage instability in a power system through reactive power rescheduling and load shedding," Taylor & Francis, Electric Power Components and Systems, Vol. 35, No. 2, pp. 169 – 187, Febrero 2007.
- [29] R. M. M. Pereira, C. M. M. Ferreira and F. P. M. Barbosa, "Influence of load shedding in the voltage stability of an electric power system using trajectory sensitivity analysis," Universities Power Engineering Conference (UPEC), 45th International, Cardiff, Wales, pp. 1 – 6, Agosto 31 – Septiembre 3, 2010.
- [30] M. H. A. Hamid, H. Hashim, H. A. A. Rashid and I. Z. Abidin, "Under voltage load shedding using voltage stability indices", Innovative Smart Grid Technologies. Kuala Lumpur, pp. 732-736. Mayo 20 – 23. 2014.
- [31] S. S. Danish, A. Yona and T. senjyu, "Voltage Stability Assessment Index for Recognition of Proper Bus for Load Shedding", International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering. Sapporo, pp. 636-639. Abril 26-28. 2014.