Optimización del consumo de energía eléctrica bajo el concepto Smart Grid mediante el uso de políticas Max - Min

José Antonio Vesga Barrera
Corporación Universitaria de Ciencia y Desarrollo

Juan Carlos Vesga Ferreira, Gerardo Granados Acuña
Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Fecha de Recepción: 12/05/15 – Fecha de Aceptación:09/11/15

Resumen

Una de las áreas de mayor proyección, dentro de las alternativas de reducción del consumo de energía, es el uso de Smart Grids, las cuales mediante técnicas avanzadas de información y comunicación (TICs) permiten controlar los modernos sistemas de energía de manera confiable y eficiente. En el presente artículo se propone el uso de una técnica conocida como Equidad MAX-MIN, la cual permite optimizar de una forma bastante ágil y efectiva el consumo de potencia desde el punto de vista de maximizar el uso de cada uno de los diversos dispositivos eléctricos sin sobrepasar el valor máximo establecido para el consumo de potencia total. La utilización iterativa del algoritmo Max-Min permitió obtener, en forma eficiente, los tiempos máximos de permanencia en actividad de cada uno de los dispositivos presentes en la red eléctrica.

Palabras clave: *Smart grid, Optimización, Consumo de potencia, Algoritmo Max-Min*

Abstract

One of the areas of greatest projection, within the alternatives for reducing energy consumption, is the use of smart grids, which through advanced techniques of information and communication (ICT) allow you to control the modern energy systems in reliably and efficiently way. This article proposes the use of a technique known as Equity MAX-MIN, which allows you to optimize the power consumption from the point of view of maximizing the use of each of the various electrical devices without exceeding the maximum value set for the total power consumption. The use of the iterative algorithm min-max allowed to obtain the maximum permanence times in activity of each of the devices present in the electrical network.

Keywords: *Smart grid, Optimization, Power consumption, Max-Min algorithm*

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de energía eléctrica están transformándose significativamente a partir de los cambios generados por la eficiencia en el suministro de electricidad, las tendencias en proveer energías más limpias y la optimización del consumo; todo ello convergiendo hacia el concepto de Smart Grid. Smart Grid se define como "una red auto reparable equipada con técnicas dinámicas de optimización que utilizan mediciones en tiempo real para minimizar pérdidas, mantener los niveles de voltaje, incrementar la confiabilidad y mejorar la administración de activos" [1].

El objetivo de un sistema Smart Grid es utilizar tecnologías avanzadas de información y comunicación (TICs) para controlar los modernos sistemas de energía de manera confiable y eficiente [2]. Para ello la tendencia es un mayor control de las redes de bajo voltaje, mediante el uso de medición inteligente (smart meter) en entornos domóticos residenciales (smart homes) y empresariales (smart business) [3]–[5] .

Considerando que la proyección de los sistemas de energía de bajo voltaje es hacia un mayor control entre la energías suministrada y consumida, la tecnología Smart Grid se enfoca en el uso de la red eléctrica como medio físico de transmisión, a partir de lo cual se busca supervisar y administrar en detalle la utilización de cada punto de la red (tomacorriente, socket, etc.).

El control de cada punto de la red eléctrica permite administrar eficientemente una diversidad de situaciones tales como: la desconexión de equipos en situaciones de sobrecarga de acuerdo con una priorización previa, el reporte de desviaciones en los parámetros tradicionales como frecuencia y voltaje, la seguridad ante la presencia de niños y la adecuada integración con sistemas de suministro de energías alternativas (solar, eólica, etc.) [6].

Para la implementación de Smart Grid, es relevante entender cómo las tecnologías de redes inteligentes pueden ser integradas, con el fin de producir un sistema benéfico tanto para los proveedores de servicios públicos como para los operadores de las TICs y usuarios finales, generando nuevos mercados y modelos de negocio [7]. Bajo este nuevo concepto, Smart Grid deberá ser capaz de mantener una comunicación constante entre los sistemas de gestión y los dispositivos terminales de usuario, permitiendo con ello la creación de sistemas inteligentes de ahorro de energía en los hogares [8].

En vista de lo anterior, se propone un modelo que permita optimizar el consumo de energía eléctrica en ambientes residenciales al interior de una Smart Grid con el fin de controlar el consumo de energía total desde un punto de vista de energía pre-pago, y establecer los tiempos máximos de uso de cada dispositivo eléctrico al interior de la vivienda, maximizando su uso.

II. POTENCIA ELÉCTRICA

La potencia eléctrica, se define como la relación existente entre la energía por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o consumida por un elemento en un espacio de tiempo determinado y se expresa en Watt [9]. La energía consumida por un dispositivo eléctrico se mide en kilovatios-hora (kWh) y es esta medida la que utilizan las empresas de energía para realizar los procesos de facturación por usuario. La siguiente expresión matemática (1) describe el comportamiento de la potencia eléctrica en función del tiempo:

$$P(t) = VI\cos(\varphi) - VI\cos(2wt - \varphi) \qquad (1)$$

En donde :

V: Valor eficaz de la diferencia de potencial entre los terminales de la carga
I: Valor eficaz de la intensidad de corriente que pasa por la carga
$VI\cos(\varphi)$: Se define como potencia activa
$VI\cos(2wt - \varphi)$: Se define como potencia fluctuante, su valor medio es cero.

La potencia activa, se establece como la potencia que durante el proceso de transformación de la energía eléctrica es aprovechada como trabajo por parte de los diferentes dispositivos que forman parte del circuito eléctrico. Se representa con la letra P y se mide en W (Watt). Este tipo de potencia se encuentra asociada con un factor $\cos(\varphi)$, al cual se le denomina *factor de potencia*. Entre más cercano sea su valor a la unidad, mayor será la eficiencia del sistema eléctrico. El ángulo φ corresponde al angulo de fase existente entre el voltaje y la corriente presentes en la carga [10].

Otro tipo de potencia presente en los sistemas eléctricos es la *potencia reactiva*, la cual es un tipo de potencia necesaria para crear campos magnéticos por parte de elementos capacitivos e inductivos. Este tipo de potencia no produce trabajo útil, se representa por la letra Q y se mide en voltamperios reactivos (VAR). Este tipo de potencia es considerada por las empresas de energía como pérdida y entre mayor sea su valor, mayor será el gasto de energía por parte del usuario final, lo cual afectará considerablemente el factor économico.

III. TARIFAS PARA MERCADO RESIDENCIAL

En Colombia la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), establece las normatividad pertinente a la implementación del Sistema Eléctrico, la cual está basada en los siguientes documentos [11]:

- Cargos y contratos que rigen en la conexión al STN, (Resoluciones CREG-025 de 1995, Anexo No. 1 de la CREG-002 de 1994 y CREG-030 de 1996).
- Conexión al Sistema de Transmisión Nacional, (Resolución CREG-025 de 1995).
- Liquidación y facturación a los usuarios del STN, (Resoluciones CREG-012 de 1995 CREG-094 de 1999 y CREG-103 de 2000).
- Criterios de disponibilidad y calidad de la energía eléctrica transportada, (Resolución CREG-061 de 2000)
- Ingresos por empleo del STN y remuneración de los transportadores, (Resoluciones CREG-004 y CREG-26 de 1999 y CREG-103 de 2000).
- Expansión del Sistema de Transmisión Nacional, (CREG-004 de 1999, CREG-103 de 2000 y CREG-022 de 2001).
- Metodología para el cálculo en los cobros por conexión al STN de los generadores y comercializadores, (Resolución CREG-103 de 2000)

El valor que deben pagar los usuarios de los servicios públicos domiciliarios, es equivalente al producto entre el consumo (kilovatios-hora/mes) y el costo de prestación del servicio, (Costo Unitario "CUv"). Estas expresiones (2) son establecidas acorde a las Leyes 142 y 143 de 1994 [12], [13], las cuales definen cada uno de los lineamientos que deben ser tomados en cuenta en el cobro de consumo energético.

$$Valor\ a\ Pagar = Consumo(kWh) * CUv \qquad (2)$$

La expresión matemática (3) para estimar el costo unitario (CUv) en pesos por kilovatio hora (kWh) es:

$$CUv_{n,m,i,j} = G_{m,i,j} + T_m + D_{n,m} + Cv_{m,i,j} + PR_{n,m,i,j} + R_{m,i} \qquad (3)$$

$$CUf_{m,j} = Cf_{m,j} = 0 \qquad (4)$$

Donde :

$CUv_{n,m,i,j}$: Costo económico eficiente en pesos por kilovatio hora ($/kWh)
$G_{m,i,j}$: Componente de generación
T_m: Componente de transmisión
$D_{n,m}$: Componente de distribución
$Cv_{m,i,j}$: Componente de comercialización
$PR_{n,m,i,j}$: Componente de pérdidas
$R_{m,i}$: Componente de restricciones
$CUf_{m,j}$: Componente fijo del costo unitario de prestación del servicio
$Cf_{m,j}$: Componente fijo de prestación del servicio

El costo del CUv varía de acuerdo a los siguientes aspectos:

i. **Propiedad de los activos:** Relacionada con la propiedad del transformador (Es propiedad del cliente o de la empresa prestadora del servicio).

ii. **Clase de servicio:** Depende del tipo de inmuebles (comercial o residencial) y del estrato acorde con la Tabla 1.

TABLA 1**.** Clase de Servicio

RESIDENCIAL	
Estrato 1	Valor variable mensual 60% (máximo) definido en resolución 186 de 2010
Estrato 2	Valor variable mensual 50% (máximo) definido en resolución 186 de 2010
Estrato 3	Se aplica subsidio (15%)
Estrato 4	Tarifa plena
Estrato 5	Contribuyen con el 20%
Estrato 6	Contribuyen con el 20%
NO RESIDENCIAL	
Comerciales	Contribuyen con el 20%
Industriales	Contribuyen con el 20% (A partir de la entrada de la ley 1430 de 2010 y el decreto 2915 de 2011 se estableció para los usuarios industriales que cumplan con lo allí dispuesto la exención de dicha contribución)
Acueductos	Contribuyen con el 10%
Oficiales	Tarifa plena

iii. **Nivel de tensión:** el valor del componente D varía de acuerdo al nivel de tensión al cual esté conectado el cliente.

- Nivel 4 < 220 kV
- Nivel 3 < 57.5 kV
- Nivel 2 < 30 kV
- Nivel 1 < 1 kV

IV. OPTIMIZACIÓN PROPUESTA PARA EL CONSUMO DE POTENCIA MEDIANTE EL ALGORITMO MAX-MIN

Los pasos para establecer el modelo de optimización considerando el algoritmo Max-Min son los siguientes:

1.2.1 Definir las variables de decisión. En el caso particular se establece a t_i (tiempo de funcionamiento del equipo) en donde $i(i = 1 \dots N)$. En donde la N corresponde al número de dispositivos eléctricos que se desean conectar a la red.

1.2.2 Plantear la función objetivo. Para ello se debe establecer un valor correspondiente a la potencia total consumida. La función objetivo propuesta (5) es la siguiente:

$$p = \sum_{i=1}^{N} w_i t_i \qquad (5)$$

Donde w_i corresponde a la potencia promedio consumida por el dispositivo i. Con el fin de estimar la potencia promedio consumida por cada dispositivo eléctrico se realizó un estudio (Ver Tabla 2) en donde se tomaron valores de potencia consumida en diversos electrodomésticos que se encuentran comúnmente en el mercado y basándose en las especificaciones técnicas de fabricantes reconocidos.

1.2.3 ***Establecer restricciones del modelo.*** Las restricciones obedecen a los tiempos mínimos de consumo por equipo. Las expresiones matemáticas establecidas para las restricciones son:

TABLA 2. Consumo de potencia promedio de electrodomésticos comúnmente utilizados

Dispositivo Eléctrico	**Potencia prom. (W)**	**No. de Equipos máximo**	**tiempo horas-día**	**tiempo Max horas-mes**
Televisor	150	3	5	450
Equipo de Sonido	200	2	2	120
DVD	200	2	2	120
Bombillo	60	10	5	1500
Nevera	500	1	9	270
Lavadora	375	1	1	30
Ducha Eléctrica	1200	2	0,5	30
Ventilador	100	3	2	180
Aire Acondicionado	2950	1	5	150
Computador	190	1	5	150
Cafetera	700	1	1	30
Plancha	1200	1	0,5	15
Horno (Microondas o	1000	1	0,5	15

Eléctrico)				
Otros Electrodomésticos de uso general	100	4	0,5	60

$$t_i \geq t_{i_{MIN}} \quad con\ t_i \geq 0\ \forall_i \qquad (6)$$

Donde $t_{i_{MIN}}$ corresponde al tiempo mínimo *horas–día promedio* que debe permanecer activo el dispositivo eléctrico i.

Después de plantear cada una de las expresiones que describen el modelo de optimización para el consumo de potencia bajo arquitectura *Smart Grid*, el valor a pagar por cada usuario en ambientes residenciales es:

$$Valor\ a\ Pagar = p * CUv \qquad (7)$$

Aunque existen diversos métodos para solucionar un problema de optimización tales como: multiplicadores de Lagrange y el método simplex entre los más utilizados, estos solo se enfocan en maximizar o minimizar la función objetivo acorde con las restricciones establecidas. Es decir, solo una de las variables es optimizada, lo cual en algunos casos podría no llegar a considerarse como la función óptima. En vista de lo anterior, se propone el uso de una técnica conocida como *Equidad MAX-MIN* [14], la cual permite optimizar de una forma bastante ágil y efectiva el consumo de potencia desde el punto de vista de maximizar el uso de cada uno de los diversos dispositivos eléctricos sin sobrepasar el valor máximo establecido para el consumo de potencia total. Lo cual es muy favorable a la hora de implementar políticas para el control del consumo energético en ambientes corporativos y residenciales, e incluso en establecer las bases para optimizar el consumo de potencia orientado a la prestación de servicios de energía eléctrica pre-pago, la cual forma parte de una de las tendencias mundiales contemplada en el nuevo concepto *Smart Grid*.

Algoritmo de Equidad Max-Min

Uno de los mayores problemas que se presentan a la hora de realizar procesos de optimización consiste en la distribución equitativa de recursos energéticos entre los dispositivos que forman parte de la red, sin embargo, no todos los dispositivos presentan las mismas necesidades sobre el recurso. De allí surge la pregunta ¿qué se debe hacer para distribuir de una forma óptima la energía eléctrica entre todos los dispositivos, con el fin de maximizar sus periodos de activación y sin llegar a afectar el rendimiento de otro dispositivo e incluso superar el valor de potencia máximo permitido?. Una forma de hacerlo es hacer uso de la política de *equidad MAX-MIN*.

Max-Min, es una técnica iterativa que permite distribuir de forma óptima los recursos [15]. El algoritmo es el siguiente:

a) Sea P_T la potencia total que puede ser consumida por el sistema conformado por m dispositivos.

b) Considerando que el dispositivo i consume una potencia promedio p_i, es necesario ordenar de menor a mayor los valores p_i de cada dispositivo i.

$$p_1 \leq p_2 \leq p_3 \leq \cdots p_m \qquad (8)$$

c) Se calcula inicialmente un valor de potencia equitativa (P_{ref}) para todos los dispositivos. Es decir

$$P_{ref} = \frac{P_T}{m} \qquad (9)$$

d) Si $p_1 < P_{ref}$ entonces al dispositivo 1 se le asigna una potencia de consumo p_1, de lo contrario se le asigna el valor de P_{ref}.

e) Se recalcula la potencia restante entre los demás usuarios de forma equitativa. Es decir:

$$P_{ref} = \frac{P_T - p_1}{m - 1} \qquad (10)$$

f) Si $p_2 < P_{ref}$ entonces al usuario 2 se le asigna una potencia p_2, de lo contrario se le asigna el valor de P_{ref}.

g) Se repiten los pasos (e) y (f) hasta que todos valores de potencia sean asignados.

V. RESULTADOS

Suponiendo que el consumo total deseado por un usuario es de 360 kWh/mes y que en su vivienda existen los siguientes dispositivos eléctrícos (solo se considerarán los más importantes): 8 bombillos, 1 lavadora, 1 nevera, 2 televisores, 1 computador, 1 equipo de sonido, otros 3 electrodomésticos. Se desea estimar mediante el uso del algoritmo de *equidad MAX-MIN* el consumo máximo de potencia por cada dispositivo y el tiempo máximo que cada uno de ellos puede permanecer activo.

Lo primero que se debe hacer es calcular la potencia total promedio que se consume en 1 hora. Para ello, se realiza la siguiente operación :

$$P_{T_{HORA}} = ((P_T/30\ días)/24\ horas) = ((360000/30)/24) = 500\ [Wh]$$

Posteriormente se calcula la potencia promedio-hora mínima por cada dispositivo eléctrico tomando en cuenta la información de la Tabla 3.

TABLA 3. Estimación del consumo de potencia mínimo/hora acorde a la demanda

Dispositivo Eléctrico	Potencia Promedio (W)	tiempo min horas-día	Potencia Min/Hora [W]	No equipos Activos	Potencia Min/Hora requerida [W]
Televisor	150	5	31,25	2	62,50
Equipo de Sonido	200	2	16,67	1	16,67
Bombillo	60	5	12,50	8	100,00
Nevera	500	9	187,50	1	187,50
Lavadora	375	1	15,63	1	15,63
Computador	190	5	39,58	1	39,58
Otros Electrodomésticos de uso general	100	0,5	2,08	3	6,25

Esta se calcula de la siguiente forma :

$$P_{i_{MIN/HORA}} = \left(\overline{P_i} * \frac{t_{MIN_{H-D}}}{24} horas\right)[Wh] \quad (10)$$

Donde:
$P_{i_{MIN/HORA}}$: Potencia mínima por hora en el dispositivo i [W]
$\overline{P_i}$: Potencia promedio consumida en el dispositivo i [W]
$t_{MIN_{H-D}}$: Tiempo mínimo horas-día en el dispositivo i

La potencia mínima por hora requerida en el dispositivo i será :

$$P_{iR_{MIN/HORA}} = P_{i_{MIN/HORA}} * Ne_i\ [Wh] \quad (11)$$

Donde Ne_i es el número de dispositivos activos de tipo i. En la Tabla 4 se presentan los resultados correspondientes a la potencia mínima/hora por cada dispositivo eléctrico, el número de equipos activos y la potencia mínima/hora requerida acorde a la demanda del usuario.

TABLA 4. Asignación de potencia min/hora por dispositivo mediante algoritmo Max-Min

Dispositivo Eléctrico	Potencia Min/Hora requerida [W]	No. Iteración	Potencia a Distribuir	Potencia equitativa	Potencia Asignada	Potencia Asignada Ajustada
Otros Electrodomésticos de uso general	6,25	1	500,0	71,4	6,3	7,3
Lavadora	15,63	2	493,8	82,3	15,6	18,2
Equipo de Sonido	16,67	3	478,1	95,6	16,7	19,5
Computador	39,58	4	461,5	115,4	39,6	46,2
Televisor	62,50	5	421,9	140,6	62,5	73,0
Bombillo	100,00	6	359,4	179,7	100,0	116,8
Nevera	187,50	7	259,4	259,4	187,5	219,0

Potencia Total mínima requerida	**428,13**
Potencia Total máxima a distribuir	**500,00**
Factor de corrección	**1,17**

Potencia Total Asignada	**500**

A partir de este punto se hace uso del algoritmo Max-Min para optimizar el consumo de potencia. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.

En este caso particular, como la potencia total mínima requerida es inferior a la potencia total máxima que se debe distribuir, se hace uso de un factor de corrección de 1.17, el cual corresponde a la relación entre la potencia total a distribuir y la potencia mínima requerida. Este factor de corrección se aplica para cada uno de los valores de potencia asignados a cada dispositivo de tipo i.

Ahora es posible estimar los tiempos máximos en los cuales puede permanecer activo cada uno de los dispositivos i. Para ello, se multiplica cada uno de los valores de potencia asignados (potencia ajustada), por 24 horas y se divide en el valor de potencia promedio de cada dispositivo i. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

TABLA 5. Estimación de tiempos máximos por dispositivo eléctrico acorde con la optimización de potencia

Dispositivo Eléctrico	Potencia Promedio Consumida [W]	No. de equipos activos	Potencia Asignada [W]	tiempo Máximo Horas/día	Horas	Min
Otros Electrodomésticos de uso general	100	3	7,3	0,6	0	36
Lavadora	375	1	18,2	1,2	1	12
Equipo de Sonido	200	1	19,5	2,3	2	18
Computador	190	1	46,2	5,8	5	48
Televisor	150	2	73,0	5,8	5	48
Bombillo	60	8	116,8	5,8	5	48
Nevera	500	1	219,0	10,5	10	30

Solo restaría multiplicar el valor de la potencia total consumida (360 kWh) por el valor CUv acorde a los parámetros mencionados anteriormente. Asumiendo un valor de CUv (precio kWh) de $335, el cual es tomado de un recibo de energía generado por la Electrificadora de Santander para un tipo de inmueble residencial estrato 4, el valor a pagar sería de $120.600 pesos.

VI. CONCLUSIONES

La implementación de un sistema *Smart Grid* es una excelente oportunidad para que las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) revolucionen el sistema de energía eléctrica. El modelo de optimización propuesto se adapta fácilmente a cualquier escenario bajo

Smart Grid permitiendo optimizar no solo el consumo energético de cada dispositivo eléctrico sino que además es totalmente viable su implementación en sistemas de bajo costo y totalmente funcional en sistemas embebidos.

La utilización iterativa del algoritmo Max-Min, permitió optimizar de manera eficiente, los tiempos máximos de permanencia en actividad de cada uno de los dispositivos presentes en la red eléctrica, mejorando notoriamente el consumo de potencia.

REFERENCIAS

[1] J. Momoh, *Smart Grid: Fundamentals of design and analysis*, 1 ed. Quebec, Canadá: John Wiley & Sons, 2012, p. 233.

[2] A. Carvallo and J. Cooper, *The Advanced Smart Grid: Edge Power Driving Sustainability*, 1 ed. Artech House, 2011, p. 266.

[3] M. Simonov, "Hybrid Scheme of Electricity Metering in Smart Grid," *Systems Journal, IEEE*, vol. PP, no. 99. pp. 1–8, 2014.

[4] W. Xiang, T. Kunz, and M. St-Hilaire, "Flexible residential smart grid simulation framework," in *Smart Energy Grid Engineering (SEGE), 2013 IEEE International Conference on*, 2013, pp. 1–7.

[5] R. Villefrance, J. Brandt, P. Eriksen, and H. B. Jorgensen, "Smart grid business case for private homes," in *Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE), 2013 4th IEEE/PES*, 2013, pp. 1–5.

[6] J. Ekanayake and K. Liyanage, *Smart Grid Technology and Applications*. Wiley, 2012, p. 320.

[7] T. Flick and J. Morehouse, *Securing the Smart Grid*, 1 ed. Wiley, 2010, p. 320.

[8] P. Fox-Penner, *Smart Power: Climate Change, the Smart Grid, and the Future of Electric Utilities*. Island Press, 2010, p. 344.

[9] M. Li and G. Qinxiang, "Research on intelligent power consumption in smart grid," in *Advanced Power System Automation and Protection (APAP), 2011 International Conference on*, 2011, vol. 2, pp. 1206–1208.

[10] D. Niyato, Q. Dong, P. Wang, and E. Hossain, "Optimizations of Power Consumption and Supply in the Smart Grid: Analysis of the Impact of Data Communication Reliability," *Smart Grid, IEEE Trans.*, vol. 4, no. 1, pp. 21–35, 2013.

[11] Universidad Distrital Francisco José de Caldas, "Regulación y Operación del Sistema Eléctrico Colombiano," 2014. [Online]. Available: http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gispud/redeselectricas/site/cap1/c1regula.php. [Accessed: 20-Feb-2014].

[12] Congreso de Colombia, "Ley 142 de 1994," 1994. [Online]. Available: http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/empresa/LEY142DE1994.pdf. [Accessed: 24-Feb-2014].

[13] Congreso de Colombia, "Ley 143 de 1994," 1994. [Online]. Available: http://www.upme.gov.co/Normatividad/Upme/Ley_143_1994.pdf. [Accessed: 23-Feb-2014].

[14] Z. Xiuning, T. Zhenhui, X. Shaoyi, Z. Jinbao, and T. Cheng, "Power consumption optimization of downlink Macro-Femto Heterogeneous Networks based on cross-layer design," *Commun. China*, vol. 10, no. 2, pp. 42–55, Feb. 2013.

[15] Y. Sheng and M. H. MacGregor, "Dynamic Resource Allocation Based on Weighted Max-Min Fairness," in *Communication Networks and Services Research Conference (CNSR), 2011 Ninth Annual*, 2011, pp. 247–256.

BIOGRAFÍA

Juan Carlos Vesga recibió el título de Ingeniero Electrónico de la Universidad Industrial de Santander en 2003, Ingeniero de Sistemas de la Universidad Manuela Beltrán en 2007, Especialista en DocenciaUniversitaria de la Universidad Cooperativa de Colombia en 2007, Especialista en Telecomunicaciones en 2008 y Magíster en Ingeniería – Área Telecomunicaciones en 2011 de la Universidad Pontificia Bolivariana. Actualmente es candidato a Doctor en Ingeniería en la Universidad Pontificia Bolivariana y se desempeña como Docente Asistente e Instructor CISCO Excellence Advanced en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) en Bucaramanga, Colombia.

Gerardo Granados Acuña recibió el título de Ingeniero de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander en 1994, Especialista en Telecomunicaciones en 2005 y Magíster en Telemática en 2014 de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Actualmente se desempeña como Docente Asistente e Instructor CISCO Excellence Advanced en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) en Bucaramanga, Colombia.

Jose Antonio Vesga Barrera. Ingeniero Electricista de la Universidad Industrial de Santander, Especialista en docencia universitaria de la Universidad Cooperativa de Colombia, Magíster en Potencia Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. Actualmente, se desempeña como Docente Investigador de la Corporación Universitaria de Ciencia y Desarrollo UNICIENCIA.