



Generación híbrida de energía eléctrica como alternativa para zonas no interconectadas

Javier Antonio Guacaneme Moreno¹

César Leonardo Trujillo Rodríguez²

Rafael Antonio Peña Suesca³

Resumen

Este artículo presenta opciones que se pueden implementar para suministrar energía eléctrica a zonas que por su ubicación geográfica o baja demanda de energía eléctrica no han sido atendidas por redes interconectadas, o por estar aisladas no ofrecen un servicio confiable y de buena calidad.

Se plantean opciones de sistemas de generación híbrida a partir de diferentes fuentes de energía, biocombustibles, viento, combustibles fósiles, PCHs, o cualquier otro recurso con el que se cuente en la región que se desea atender. El desarrollo de máquinas más eficientes y la necesidad de nuevas fuentes de energía, además de una política de uso racional, permite proponer que se desarrollen sistemas de generación y distribución que administren tanto los recursos energéticos disponibles en los tiempos y cantidades óptimas, como el consumo y aprovechamiento en los servicios y necesidades básicas.

Palabras clave: Calidad de Potencia, generación distribuida, sistemas híbridos.

Hybrid electric energy generation like alternative for not inter connected zones.

Abstract

This paper presents options that can be implemented for electric distribution in less developed remote areas, grid unconnected with poor reliability and power quality.

Hybrid electrical generation was proposed from some renewal sources, solar, wind, hydroelectricity, or another which can be used to generate very near where it is used. More sophisticated turbines, new converter machines, energy increment demand, and political changes on market electricity, permits develop new generation and distribution systems which can

lead some energy sources on time and optimal quantities as the load demand on energy services and basic power load.

Key Words: Power Quality, distributed generation, hybrid systems.

1. Introducción

Los sistemas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, han sido tradicionalmente construidos con base en dos premisas: la primera, atender la mayor cantidad de usuarios llevando energía eléctrica hasta el sitio de consumo, requiere concentración de la demanda o que se pueda agrupar en la misma vía de las redes de transporte. La segunda, obtener energía eléctrica en grandes cantidades con un criterio de economía de escala, de sitios con gran cantidad de energía en forma natural, en este esquema se requiere que el sitio de generación cuente con gran cantidad de recursos energéticos y de redes de transmisión para transportar energía eléctrica hasta los sitios de consumo.

Estos criterios han permitido el desarrollo de los sistemas interconectados existentes y el fomento del uso de la energía eléctrica en aplicaciones antes atendidas con otras formas básicas de energía, sin embargo la creciente demanda y el uso de grandes cantidades de recursos no renovables y contaminantes, invitan a reevaluar el uso que se le está dando a la energía eléctrica así como el uso de los recursos utilizados en su obtención. En este sentido se han propuesto estrategias de uso racional de energía en cualquiera de sus formas, en el caso particular de la eléctrica se ha fomentado el desarrollo de equipos más eficientes para diferentes aplicaciones.

Por otro lado, los sistemas existentes aún no ofrecen un cubrimiento universal y por el contrario se observan problemas de confiabilidad y calidad en los instalados. Las zonas que no

¹ Investigador del grupo de investigación LIFAE Universidad Distrital.

² Investigador del grupo de investigación LIFAE Universidad Distrital.

³ Investigador del grupo de investigación LIFAE Universidad Distrital.

Las tecnologías de generación no convencional, aunque cada vez son más eficientes y de menor costo aún no pueden competir con los costos del sistema interconectado y siguen siendo objeto de estudio y desarrollo

hacen parte de los sistemas interconectados, son en general de baja demanda de potencia eléctrica o de difícil acceso para la instalación económica y técnicamente viable de la red, en otros sitios es posible contar con un suministro discontinuo con parámetros de calidad de servicio muy bajos. Estas zonas no interconectadas, ZNI, y los sitios de baja calidad de servicio, son el objetivo de las propuestas de suministro eléctrico utilizando sistemas híbridos, que consisten en la utilización de varias fuentes de energía para su conversión en energía eléctrica según la disponibilidad de recursos y la demanda de una región.

Una de las características que presenta la implementación de generación incluyendo fuentes no convencionales de energía tiene que ver con la disponibilidad del recurso energético, ya que por su naturaleza, es de tipo aleatorio o discontinuo, se puede ofrecer un suministro continuo dentro del rango de potencia instalado almacenando energía que no se utiliza en unos instantes para los momentos en que no se cuenta con la energía directamente de la fuente.

En estas propuestas de cambio del sistema de potencia en el ámbito mundial surgen esquemas que proponen que las nuevas inversiones en generación se aparten de las grandes unidades generadoras que en su momento ofrecieron importantes economías de escala, en favor del uso de equipos cada vez más compactos y eficientes, pero con mayores economías en los procesos de manufactura. Esta reducción en la capacidad de generación implica una reducción de las distancias entre la fuente y el usuario de la energía eléctrica pero también es una oportunidad para aprovechar las pequeñas cantidades de energía con las que cuentan las regiones incluso haciendo parte de un sistema interconectado.

2. Sistemas híbridos

Se puede denominar híbrido a un sistema de generación que incluye fuentes convencionales y no convencionales, también puede llamarse híbrido el sistema compuesto por más de una fuente sea cual sea, renovable o no, así podemos encontrar entonces sistemas híbridos renovables, para efectos de este artículo nos referimos como híbrido al sistema conformado por fuentes de energía no convencionales

incluyendo fuentes de energía convencionales. Los mecanismos de desarrollo limpio, MDL, se plantean como unidades de generación totalmente renovables y no contaminantes, desde este punto de vista no se incluyen sistemas convencionales de generación como pueden ser los grupos electrógenos, plantas diesel o a gas natural. Si se desea reemplazar tecnologías contaminantes este es un criterio totalmente válido, sin embargo, para regiones no cubiertas por los sistemas de interconexión, se puede lograr un punto intermedio que permita hacer viable la operación de un esquema conjunto de generación que aproveche los recursos energéticos posibles y cuente con un soporte como el ya disponible en gran cantidad en las ZNI en Colombia como es el diesel.

Los costos individuales de propuestas de generación no convencional no pueden competir aún con el costo promedio del sistema interconectado, la propuesta consiste en mezclar las ventajas de varias fuentes, y gracias a la reducción de cargos como el de transmisión, que de hecho para ZNI es muy alto por eso no se ha implementado, proporcionar una solución a un costo viable y técnicamente posible, además reduciendo cargos como el costo de combustible ya que en este esquema se propone que las plantas diesel o a gas natural estén de soporte en consumos pico, este tipo de generadores se convierten en reserva del sistema de manera que solo se utiliza en casos de alta demanda, durante pocas horas y cada dos o tres semanas, así mismo hay disminución en el costo de operación, mantenimiento y de emisiones contaminantes de la máquina.

Las tecnologías de generación no convencional, aunque cada vez son más eficientes y de menor costo aún no pueden competir con los costos del sistema interconectado y siguen siendo objeto de estudio y desarrollo. Los sistemas más promisorios y con mejores resultados ya implementados a nivel mundial son el eólico y el fotovoltaico.

2.1 Fuentes no convencionales

Las fuentes no convencionales de energía son aquellas que aún están en desarrollo y por sus costos tampoco son de uso generalizado, sin embargo el agotamiento de los hidrocarburos y en general de recursos no renovables, ha im-

pulsado en gran medida la investigación en estos cambios de tecnología. Durante las últimas tres décadas las fuentes de energía más estudiadas han sido la solar fotovoltaica, solar térmica y la energía eólica, aunque en el caso de la solar sus avances parecen no haber aumentado, son sistemas de gran aceptación sobre todo en zonas aisladas. Últimamente ha sido la energía eoloelectrónica la que ha protagonizado los mayores avances en desarrollo y aplicación. Otras fuentes de energía también objeto de estudio y con las que se puede contar en Colombia son: Biomasa, muy usada en comunidades rurales dedicadas a la ganadería o producción avícola, las excretas de animales se depositan en biodigestores anaeróbicos para obtener gas metano utilizado preferencialmente para cocción de alimentos, sin embargo no es recomendada para generación de energía eléctrica. Dendrotérmicas, en este tipo de central se incineran desperdicios de madera proveniente de aserraderos, produciendo calor y vapor para accionar un grupo turbina generador. Celdas de combustible, una alternativa de muy alta tecnología, muy costosa y que requiere personal muy calificado. Pequeñas centrales hidroeléctricas, la energía hidráulica puede considerarse convencional, pero no ha sido aprovechada en pequeña escala a pesar del potencial con el que se cuenta.

2.2. Potencial en las ZNI y zonas aisladas de Colombia

Las ZNI en Colombia agrupan a cerca de 114232 usuarios conectados, con una capacidad instalada de 112MW, cubriendo cerca del 66% del territorio nacional, y un consumo entre 360 y 1200KWh/año, en general se encuentran soportadas por un parque de generación de más de 199.629,3 KW, contando con alrededor de 1075 unidades, 98% conformado de plantas diesel de menos de 100KW en promedio. Se estima además un potencial de generación con recursos hídricos de 180MW, de los que tan sólo se aprovecha un 2%. Estas cifras tomadas del instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para las ZNI, IPSE, muestran como la generación para regiones que no hacen parte del sistema interconectado se ha construido fundamentalmente con base en plantas diesel, explicado en parte por los subsidios que recibe el

electrocombustible (21.1%). Complementar estas cifras con las que se pueden obtener de regiones aisladas en las que aún no se ha implementado un sistema de generación de ningún tipo, proyectando un posible mercado de electricidad, así como un análisis de los recursos energéticos con los que cuentan estas regiones, ampliaría seguramente la perspectiva a una gran cantidad de posibilidades de servicio.

2.3. Características del sistema híbrido

Un requerimiento común en los sistemas de energía no convencional, es el almacenamiento. Como se ha mencionado la continuidad de generación depende de la disponibilidad del recurso, en el caso de la energía solar solo se tiene disponibilidad de algunas horas del día, en la eólica se requiere del viento, en la hidroeléctrica del caudal o la caída de agua, por esta razón la energía eléctrica obtenida debe utilizarse inmediatamente, de manera que se almacena en baterías que permiten disponer de la energía no utilizada inmediatamente para aprovecharla cuando los requerimientos de energía superan el aporte de las fuentes alternas.

La electrificación de zonas aisladas, o cargas que por su naturaleza son de difícil acceso, repetidoras de sistemas de comunicaciones, señalización de carreteras, representan una gran incertidumbre en términos de demanda de potencia y consumo de energía, así como condiciones ambientales variables, que dependen de la ubicación geográfica, así como los aspectos socioeconómicos y políticos de las comunidades.

Con el fin de lograr éxito en un proyecto de generación híbrida debe ser adecuado para sitios aislados, se debe considerar la logística para la instalación, el suministro de combustible, operación, mantenimiento y tiempo de respuesta para la reparación de fallas, estos sistemas son de particular interés porque no consumen recursos naturales no renovables y su impacto al medio ambiente es muy bajo. Se debe dar un particular énfasis sobre la calidad del suministro de energía eléctrica, de ésta depende que los usuarios acepten utilizarla habitualmente, para evaluar el proyecto se deberá incluir la disponibilidad de energía proyectada, la facilidad del sistema para alimentar cargas heterogénea las 24 horas de un día, la capacidad para soportar tran-

sitorios, cortocircuitos y sobrecargas, deben identificarse claramente las limitaciones de suministro de energía.

La evaluación del sistema debe reflejar los costos reales, sobre la base del costo de la energía durante el ciclo de vida útil del equipo, incluyendo costos de capital, operación y mantenimiento de cada alternativa de solución, así como la energía generada por cada sistema. El análisis de la mayor cantidad de escenarios posibles esperados en el ciclo de vida útil del equipo incluyendo las componentes de costo más representativas.

Un buen suministro de energía eléctrica requiere un alto grado de confiabilidad, se debe evaluar el grado y frecuencia de riesgos técnicos del sistema, el tiempo promedio entre fallas, la redundancia, así como los tipos de fallas y sus efectos. Por otro lado la planeación de una correcta operación y mantenimiento permitirá reducir costos considerablemente, la ubicación de éstos sistemas de generación y su acceso no permite que este aspecto sea algo improvisado, de manera que hay que capacitar a la comunidad para estas labores.

El sistema se debe diseñar con un grado de automatismo tal que haga innecesaria la presencia regular de un operador, por lo que en caso de estimarse necesario se puede instalar adicionalmente un sistema de adquisición de datos para que en forma remota se puedan consultar las variables más importantes de la operación del sistema. El requerimiento más importante de los sistemas para zonas aisladas es la aceptación de la comunidad que debe involucrarse desde el momento en que se concibe el proyecto, durante la instalación del sistema, así como en la operación del mismo, desarrollando un sentido de propiedad del sistema que asegura la protección de los equipos.

La capacitación en uso racional de la energía, sobre todo para evitar el exceso de las condiciones originales de diseño, que podrán causar daños irreversibles en algunos de los componentes del sistema, en especial las baterías. Es recomendable hacer un seguimiento del impacto en las condiciones de vida después de la instalación.

Otro aspecto importante para tener en cuenta es la vida útil del sistema, en especial porque

no todos los componentes del equipo tienen la misma duración, se deberá prever la reposición de algunos 2 o 3 veces durante el ciclo de vida del equipo. Las baterías, que representan un 30% del costo total del sistema, duran aproximadamente una tercera parte que los paneles solares y que la electrónica de potencia, por lo que habrá que tomar este hecho en cuenta al evaluar los costos de operación y mantenimiento del sistema, según sean los componentes.

Las energías alternativas se han enfocado en el aprovechamiento de cualquier cantidad de energía, considerando la modularidad y flexibilidad del sistema para escalar diferentes capacidades según la demanda sin perder las inversiones iniciales, así como ofrecer un alto grado de seguridad frente a condiciones ambientales extremas. El impacto que tengan estos proyectos dependerá de la capacidad de replicarse en otros sitios teniendo en cuenta las diferencias de ubicación, recursos, demanda y aceptación.

3. Alternativas de conexión de generación y carga

Un sistema de red de energía eléctrica con nodos de carga, nodos de generación y nodos de generación y carga se muestra en la Figura 1.

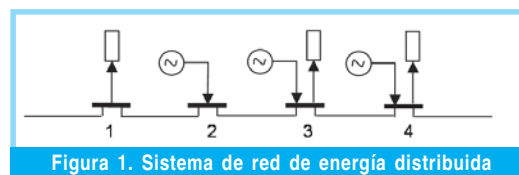


Figura 1. Sistema de red de energía distribuida

Un pequeño prototipo de nodo de generación y carga, con banco de almacenamiento, conversión DC, barraje DC y convertidor DC/AC se muestra en la Figura 2.

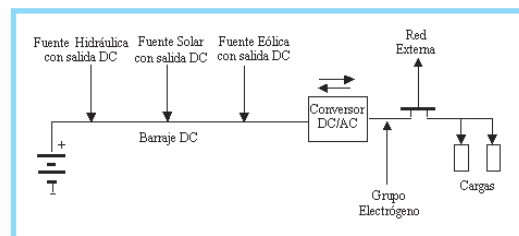


Figura 2. Prototipo I de nodo de generación y carga.

Las fuentes que alimentan el barraje DC, pueden ser generadores DC o AC rectificadas, la energía recibida es regulada para ser almacenada. En este montaje es sencillo interconectar cualquier fuente sin importar su naturaleza. Ade-

más del equipo de almacenamiento se requiere de un convertor DC/AC robusto con capacidad para manejar el 100% de la energía demandada, con la exigencia de ser para operación bidireccional con posibilidad de interconexión con otros sistemas o redes. En este caso el aumento de fuentes de generación implica el aumento del tamaño del inversor. Concluyendo, es más simple la tecnología de interconexión DC, pero es más costoso el crecimiento en capacidad.

Otro prototipo de nodo de generación y carga, con banco de almacenamiento, conversión AC, barraje AC y convertor DC/AC de menor tamaño, se muestra en la Figura 3.

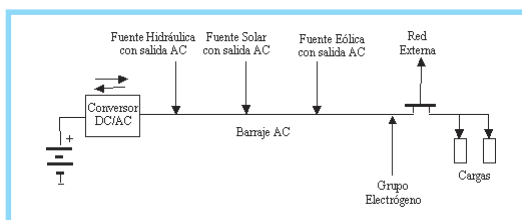


Figura 3. Prototipo II de nodo de generación y carga.

Las fuentes conectadas al barraje AC son de especificaciones exigentes, deben entregar energía eléctrica estándar de 60 Hz con características de interconexión AC. Debido a que las fuentes están conectadas directamente con la carga, el convertor DC/AC es de menor tamaño, de operación bidireccional y con características de interconexión con otras redes. El sistema puede crecer aumentando las fuentes de generación y tiene la posibilidad de funcionar sin banco de baterías. En conclusión, una vez se logren las especificaciones de las fuentes, se simplifica la interconexión, la operación y el crecimiento.

Una modificación al prototipo II es la propuesta para las ZNI en Colombia, aprovechando la infraestructura ya en operación y se observa en la Figura 4.

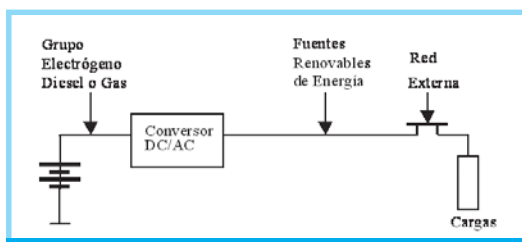


Figura 4. Prototipo III de nodo de generación y carga

En el prototipo III se plantea un sistema en el cual la demanda es atendida directamente por

las fuentes, en el momento de superar la capacidad de las fuentes, por medio de un control electrónico se obtiene energía a través del convertor DC/AC, hasta que la carga de las baterías llegue al 40 o 50 % de capacidad, en ese momento se activa la planta diesel o a gas para recargar las baterías.

La intención es reducir el ciclo de trabajo del grupo electrógeno, ya que se activa sólo en alta demanda y para proteger el sistema de almacenamiento.

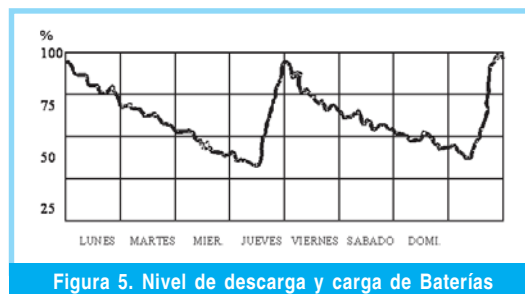


Figura 5. Nivel de descarga y carga de Baterías

El equipo básico de la propuesta sería: grupo de baterías de almacenamiento, un convertor DC/AC, sistema de control de carga y soporte por grupo electrógeno, red de distribución DC y red de distribución AC. Se pueden tener dos versiones, una en la cual la generación se hace en DC o se rectifica para tener un barraje DC, con alguna carga DC con el inversor para atender las cargas AC, aquí el sistema de control electrónico se realiza sobre la potencia del barraje DC, manteniendo la carga de las baterías.

Una segunda versión, consiste en un barraje AC alimentado directamente por las fuentes hacia la carga AC y la carga de baterías a través del convertor DC/AC, y un barraje DC para la recuperación de carga en las baterías gracias al grupo electrógeno diesel o gas.

El sistema de control de carga y soporte, es un desarrollo electrónico que administra la energía proveniente tanto de las fuentes convencionales como no convencionales, supervisa el estado de carga de baterías y puede generar reportes de estado del sistema para el operario inmediato o como información a través de redes de comunicaciones.

Los prototipos anteriores muestran la gran importancia de los convertidores DC/DC, DC/AC y AC/DC de alto desempeño y especificaciones exigentes.

4. Unidades de conversión de energía

La fuente de potencia ininterrumpida, UPS, convencional aplica una técnica de doble conversión. Consta de un convertor AC/DC, y un inversor DC/AC a la salida. En este caso se tienen dos clases de UPS de tipo general; unas que garantizan el suministro de energía a la carga sin interrupción y que requieren de cargador e inversor con el 100% de capacidad de funcionamiento continuo. La energía fluye a través del cargador, baterías e inversor, excepto en casos de mantenimiento, y otras que utilizan la misma línea de flujo de energía pero solo en caso de falla de la red primaria de alimentación y requieren cargador más pequeño.

En la Figura 6 se muestra el diagrama en bloques de una UPS de tipo general:

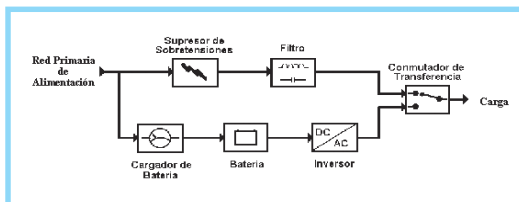


Figura 6. Nivel de descarga y carga de Baterías mediante generador diesel de respaldo.

En equipos con cargadores pequeños en condiciones normales de voltaje, se conecta la carga a la red primaria, a través de filtros y supresores de sobretensiones. En caso de falla de la fuente primaria, el conmutador cambia y la carga se alimenta desde el inversor. En equipos de funcionamiento ininterrumpido la carga se conecta al inversor. En este caso una falla de la energía de entrada, no genera tiempo de transferencia. Sólo se conecta la salida a la red primaria en los casos de servicio y mantenimiento.

De la gran variedad de topologías de UPS, es interesante ver la topología Línea Interactiva y la topología Delta. La topología Línea Interactiva se muestra en la Figura 7.

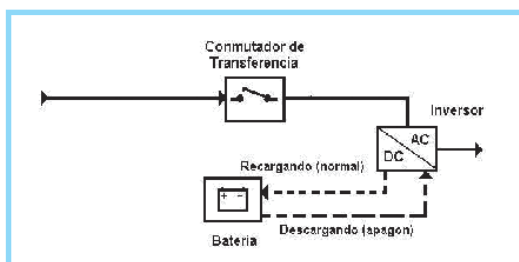


Figura 7. UPS de línea interactiva.

En este diseño mixto, el convertor de baterías DC/AC está siempre conectado a la salida. La recarga de las baterías se logra operando el inversor en sentido AC/DC durante los momentos en que el voltaje AC de entrada es normal. Cuando la entrada falla, el conmutador de transferencia se abre y el flujo de potencia es desde las baterías hacia la salida.

Para un sistema híbrido se requiere un equipo DC/AC, que opere en cuatro cuadrantes, es decir que permita el flujo bidireccional de potencia, pero controlado electrónicamente para evitar descargar las baterías devolviendo energía a las fuentes y a la vez opere como cargador de las baterías cuando hay energía extra en las fuentes.

5. Conclusiones

Actualmente el suministro de energía eléctrica en zonas no interconectadas no es viable en términos de costo-beneficio, así mismo como la implementación de sistemas no convencionales los cuales aún no se ofrecen a costos comerciales. Por esta razón y debido a la demanda se han instalado en varias poblaciones en Colombia sistemas con base en sistemas de generación diesel cubiertos con contratos de suministro del combustible, estos sistemas ofrecen un precio del KWh alto debido al costo del combustible, la propuesta plantea reducción de costos mediante el aprovechamiento de otras fuentes de energía como biocombustibles, biodigestores, sistemas solares o eolieléctricos, aunque estos sistemas aún son costosos en la instalación, ofrecen disminución de costos en operación y a mediano plazo reducción del costo del KWh.

Si el sistema se va a utilizar junto con la red urbana, es posible mejorar la calidad de la potencia, ya que permite un control de energía reactiva mejorando los niveles de tensión ofreciendo mejor regulación debido al menor uso de líneas de transmisión y distribución.

La instalación de este tipo de sistemas obliga a la planeación de nuevos sistemas de conexión y almacenamiento en los sitios de consumo así como a sistemas del control del kilovatio generado-carga alimentada dentro de un esquema de optimización y uso racional.

El desarrollo de este tipo de sistemas de suministro proporcionará información para establecer comparaciones de costo que permitan prever las implementaciones más apropiadas para la zona a cubrir, así como la expansión de la red y la demanda.

Uno de los problemas más importantes por solucionar es el costo de almacenamiento, en principio se sugieren baterías, en algunas aplicaciones se pueden trabajar las ruedas de inercia, sin embargo este aspecto implica que el sistema aún se enmarca en un esquema de generación y consumo en línea, con muy poca capacidad de almacenamiento.

Referencias bibliográficas

- [1] Red de Suministro de energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales, "Informe técnico". CIDC Universidad Distrital. 2006
- [2] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, "Alternativas de Energía", Bogotá, Colombia, 1999
- [3] Ministerio de Minas y Energía, "Programa Nacional de Ciencia y Tecnología en Recursos Energéticos", Bogotá, Colombia, 1985.
- [4] Organización Latinoamericana de Energía., "Informe Energético de América Latina y del Caribe 1999 y prospectiva 2000-2020". Quito, Ecuador, 2000.
- [5] Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para ZNI, IPSE., "Presentación oficial", Bogotá, Colombia, 2007
- [6] H. Ertl, J. Kolar, y F. Zach, "A novel multiceII DC-AC converter for applications in renewable energy systems", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 49, pp. 1048-1056, Oct. 2002.
- [7] J. Gualda, "Electrónica Industrial", segunda edición, Alfaomega Marcombo, 1992.
- [8] Plan indicativo sectorial-Sector minas y energía. Compromisos 2003-2006. Comisión de regulación de energía y gas, CREG, 2004

Javier Antonio Guacaneme Moreno

Nació en Bogotá, Colombia. Es Ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtuvo su título de maestría en ingeniería eléctrica en la Universidad Nacional. Se desempeñó como coordinador del proyecto curricular de ingeniería electrónica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas durante un año. Actualmente se desempeña como profesor de Electrónica de Potencia y pertenece como investigador al grupo LIFAE donde adelanta estudios en topologías de electrónica de potencia, fuentes alternativas y generación distribuida. jguacaneme@udistrital.edu.co

César Leonardo Trujillo Rodríguez.

Nació en Bogotá, Colombia. Es ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtuvo su título de Maestría en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Nacional. Actualmente se desempeña como profesor de Electrónica de Potencia en la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", y pertenece como investigador al grupo LIFAE donde realiza estudios sobre calidad de potencia eléctrica, sistemas de transmisión DC y fuentes no convencionales de energía. cltrujillo@udistrital.edu.co

Rafael Antonio Peña Suesca

Nació en Bogotá, Colombia. Es Ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtuvo su título de maestría en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Nacional. Se desempeñó como decano de la facultad de ingeniería en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas durante dos años e investigador del grupo LIFAE donde realiza estudios sobre sistemas de transmisión DC y fuentes no convencionales de Energía. rpena@udistrital.edu.co