

.....

Selecting the optimal energy mix and sizing of a isolated microgrid

Selección de la combinación energética óptima y el tamaño de una microrred aislada

Yecid. Muñoz, Adalberto Ospino***

Abstract

This paper presents a procedure resulting from a research that analyzed the strategies for energy supply and consumption criteria in order to get a optimal microgrid technically and economically. Is shown how the method was applied in a an isolated area in Necocli - Colombia, for which was obtained data on energy consumption and availability of renewable energy resources, supplied by the Planning Institute of IPSE energy solutions, responsible for energy supply to remote country areas

keywords: Microgrid planning, energy mix, off-grid zones, Renewable Energy.

Resumen

Este documento, presenta un procedimiento resultante de una investigación en la que se analizaron las estrategias y criterios de suministro y consumo para conseguir que una microrred se planifique de manera óptima desde el punto de vista técnico como económico. Se muestra como se aplicó el procedimiento en una zona aislada de la red Necoclí – Colombia, para la cual se obtuvo datos de consumo energético y de disponibilidad de recursos energéticos renovables, suministrados por el Instituto de Planificación de Soluciones Energéticas IPSE, entidad responsable del suministro energético para zonas aisladas de este país.

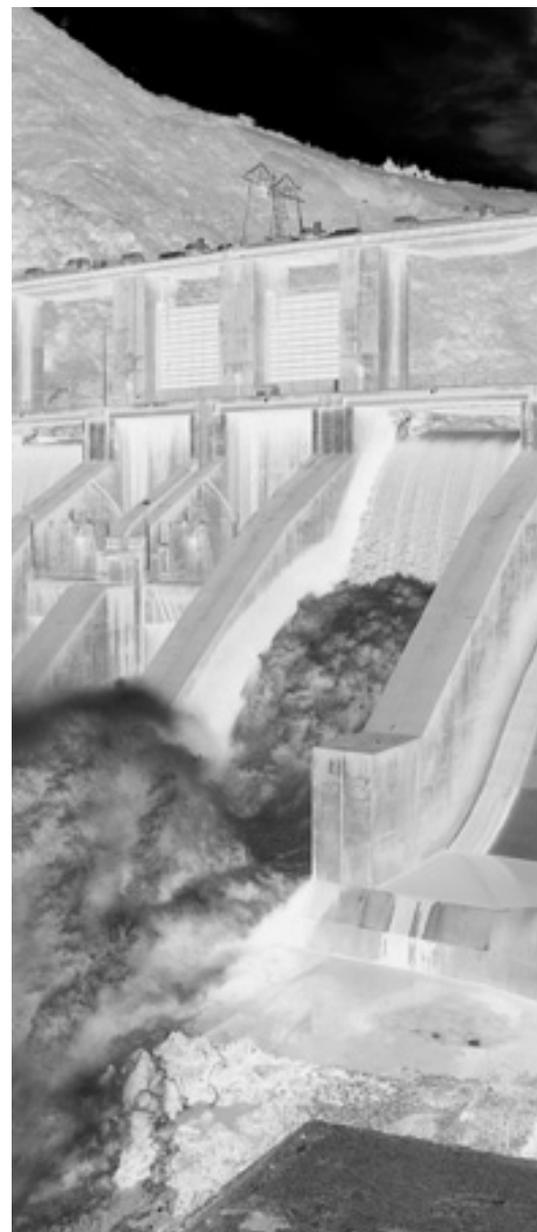
Palabras clave: Planificación microrred, mix energético, zonas aisladas, energías renovables.

Fecha de recibido: 18 de agosto de 2013

Fecha de aceptación: 21 de octubre de 2013

* PhD. Energy Technology, Docente investigador Universidad Antonio Nariño, yecidmaldonado@uan.edu.co

** Ms.C. Docente investigador Corporación Universitaria de la Costa – CUC, aospino8@cuc.edu.co



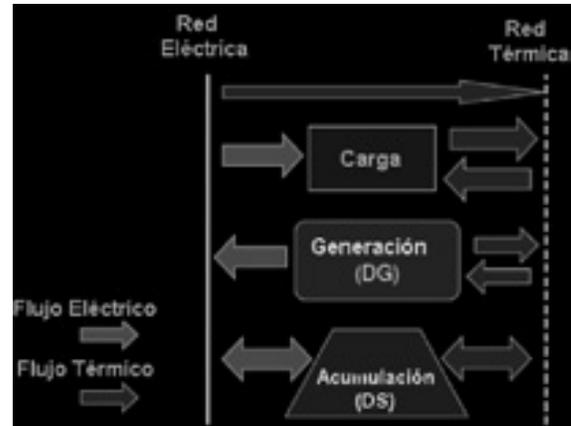
1. Introducción

Los actuales y continuos avances obtenidos en el campo de la generación a pequeña escala y almacenamiento eléctrico han propiciado cambios en la forma en que en las últimas décadas se había concebido la generación y distribución de energía (IEA 2002) [1], retomando vigencia el concepto de generación distribuida (GD). En extensos estudios, diversos investigadores [1 - 7] discuten acerca de las ventajas de la GD en aspectos de eficiencia [3], flexibilidad, interconexión con redes de distribución, niveles de emisión [3, 7] e inversiones por instalación y costos de mantenimiento y funcionamiento [1, 8 - 10], en donde se resaltan generalmente aspectos que identifican a la GD como una alternativa con grandes proyecciones para diversos nichos de mercado [11], que demandan consumos inferiores a los 10 MW y/o ciertos requerimientos especiales de generación y distribución. Dentro de estos nichos de mercado, de acuerdo al contexto de este estudio, cabe resaltar aquellas áreas rurales apartadas, para las cuales el acceso a la interconexión eléctrica con las tecnologías de generación, transporte y distribución tradicionales, resulta una inversión elevada, tanto para capitales públicos como privados.

La aplicación de generadores individuales distribuidos puede causar tantos problemas como los que podría resolver, por lo tanto, el gran potencial de la GD puede ser mejor captado por la organización de estos recursos en microredes, esto permitirá satisfacer las utilidades y necesidades de los clientes de manera óptima. La conexión de pequeñas unidades de generación o “microsources” (MS), con potencias del orden de pocas decenas de kilovatios a redes de bajo voltaje presenta el potencial de incrementar la fiabilidad a los clientes finales y brindar beneficios adicionales para operación y planificación del sistema global, como la reducción respecto a la inversión para el futuro refuerzo y ampliación de la red. En este contexto, una microred puede ser definida como una red de bajo voltaje, (ej, una pequeña red de área urbana, un centro comercial, un parque industrial o una pequeña

población), con sus respectivas cargas, sistemas de generación modular MS y unidades de almacenamiento energético DS, conectados a esta, y controlados de para suministrar energía (eléctrica y/o térmica) de manera fiable y eficiente a las cargas locales [12], tal como se representa en el diagrama de bloques de la Fig.1.

Fig. 1. Esqema general de una microred



En este caso, como en todo proyecto de gestión tecnológica, los procesos de asimilación y adaptación de la tecnología a las condiciones locales se hacen tan necesarios como el uso tecnológico mismo, de manera que se puedan optimizar y racionalizar las inversiones y los alcances de estas alternativas. Este documento usa el software HOMER, para realizar una planificación óptima de la microred, de manera que cumpla las necesidades energéticas de las cargas, al menor costo económico en la vida del proyecto.

2. Metodología de planificación energética propuesta

La metodología que aquí se presenta, pretende abarcar un concepto más amplio en lo referente a la planificación de soluciones energéticas, teniendo como objetivo principal la selección de las fuentes de generación que se adapten de manera más adecuada a los recursos energéticos y la demanda de la zona; mediante los aspectos que conlleven al éxito de la solución energética, la optimización de sus recursos, y el ajuste óptimo del par generación-demanda (Fig.2).

Fig. 2. Metodología de planificación de microred propuesta.



En primer lugar se deberá calcular la energía que el usuario necesitará diariamente. Para ello se deberá determinar la potencia de todos los aparatos de que constará la instalación, individualmente, junto con el tiempo medio de uso de cada uno de ellos. En caso de duda, tanto la potencia como el tiempo medio de uso se deberán redondear hacia arriba para dar un margen de diseño. Posteriormente se procederá a calcular los consumos por unidad de tiempo.

La base es calcular consumo medio diario (Wh). Este es el consumo producido en media en un día cualquiera, para calcularlo se deberá sumar los productos de la potencia nominal de cada elemento (W), por el tiempo de uso diario (h/día). Una vez obtenido este consumo, es posible calcular consumos como el medio mensual, el consumo total anual, y el medio anual.

Para diseñar el sistema de generación un imput fundamental es la curva de carga o perfil de carga horario donde se represente en cada instante de tiempo cual será la demanda de la microred durante el día. Esta curva de carga estará basada en el cuadro de consumo, habrá que realizar una hipótesis de perfil según las tendencias planteadas por los usuarios.

En el segundo paso de la metodología propuesta, se analiza los diferentes tipos de recursos naturales a considerar en la zona aislada, que puedan ser usados para la generación de energía mediante el uso de sistemas de generación por energías renovables.

Antes de entrar en los análisis detallados que aquí se plantean, es necesario hacer una preselección de menor detalle, con el objetivo de descartar tecnologías que definitivamente no puedan ser viables en la zona, así por ejemplo, en zonas desérticas u otras donde se carezca de recurso hídrico natural no se contemplará la opción de utilizar mini hidráulica, en zonas de alta pluviosidad y pocas horas de sol no se debe contemplar la energía solar, etc., de esta manera se empezará a analizar detalladamente fuentes energéticas con una depuración previa.

Una vez preseleccionadas las fuentes viables, se pasa a analizar el potencial energético de manera detallada. Se ha encontrado que en las zonas aisladas de Colombia, los recursos que se encuentran en mayor proporción son el eólico, el solar, y la biomasa; por lo tanto, se presenta un análisis detallado sobre cómo determinar el potencial energético para cada una de estos tres tipos de fuentes.

En la tercera fase de la metodología, merece considerarse que desde el punto de vista medioambiental, lo ideal es obtener un sistema de generación que cuente únicamente con energías renovables. Sin embargo, pasando al campo técnico-económico, merece mencionar que dependiendo de los recursos naturales con que se cuente para tal fin, y recordando que las fuentes renovables son en su mayor parte intermitentes, suele ser necesario considerar energías convencionales para que el mix energético ofrezca la estabilidad y calidad de energía necesaria, así como la viabilidad económica esperada. El elemento más común a considerar en este tipo de mix energético es el generador diesel, gracias a su eficiencia, sus costos asociados y su estabilidad en generación, así como la respuesta para el control de frecuencia.

Por lo tanto, se deberá considerar la posibilidad de usar generadores convencionales en los

posibles escenarios que se planteen para la conformación del mix energético. Este análisis debe considerar los costos asociados, y la facilidad de conseguir y transportar los combustibles (gasóleo y gasolina), que son la energía primaria para este tipo de sistemas de generación.

Como resultado del trabajo realizado hasta este punto, se debe elaborar un listado de las fuentes energéticas encontradas viables, preferiblemente rankeadas según se haya observado su viabilidad, dando un primer lugar a las renovables y un segundo a las convencionales.

Para poder evaluar la combinación más viable en el mix energético, será necesario haber definido los costos asociados a cada una de las fuentes consideradas como viables, así como a los posibles sistemas de almacenamiento. Para el dimensionado de los elementos de generación que se pueden utilizar, el

punto de partida será un sondeo del mercado para seleccionar una serie de unidades de generación y almacenamiento según las capacidades existentes comercialmente (paneles solares, generadores eólicos, generadores diesel, gasificadores de biomasa, baterías, etc.) para cada una de las fuentes energéticas preseleccionadas como viables a implementar en la zona, tanto renovables como convencionales, considerando como criterio, que estas unidades de generación y almacenamiento puedan suplir solas o combinadas con otras el total de la carga, en otras palabras el orden de magnitud en potencia como en autonomía a seleccionar estará dado por la curva de carga prevista; se asume que no es aconsejable plantear para las unidades de generación valores notablemente mayores en potencia a la potencia máxima presentada en dicha curva (sobre dimensionamiento excesivo).

La última fase, selección del sistema con el mix energético de generación óptimo es la que mayor complejidad presenta dentro de la metodología, y en general dentro de cualquier proceso de determinación de suministro energético por medio de microredes, ya que aquí se debe tomar la decisión de seleccionar la configuración de suministro energético más viable considerando tanto el aspecto técnico como el económico.

El procedimiento para llegar a este mix óptimo, consiste en conocer la respuesta técnico-económica de diferentes configuraciones generación-almacenamiento de las unidades que se han preseleccionado para aprovechar las fuentes de mayor potencial energético en la zona, identificar las más óptimas, y contemplar diferentes escenarios para hallar la más adecuada aún frente a la presumible desviación de determinadas variables. Para conseguirlo, se debe aplicar los procesos de *simulación*, *optimización* y *análisis de sensibilidad*.

El proceso de *simulación* determina como una configuración particular del sistema, es decir una combinación de unidades de generación y almacenamiento de tamaños específicos, y una estrategia de operación que defina la interacción de estos componentes, podría comportarse en una condición dada sobre el tiempo de vida estimado para el proyecto.

En la *optimización* se busca encontrar cuál de estas configuraciones es la más óptima, de esta manera es un análisis depurado que considera las configuraciones viables técnicamente; esto involucra decidir sobre el mix de componentes que el sistema podría contener, el tamaño o cantidad de cada componente, con la estrategia de despacho que el sistema debería adoptar. Usualmente se considera el aspecto económico de la microred para la realización de este diseño; esto es realizado mediante la minimización el costo del proyecto durante su tiempo de vida, es decir del Costo Presente Neto (acrónimo en inglés NPC), que corresponde al opuesto del conocido Valor Presente Neto (VPN) es decir lo único de lo diferencia con el VPN es el signo, el NPC incluye todos los costos e ingresos que ocurren dentro del tiempo de vida del proyecto, con los futuros flujos de caja descontados al presente. El NPC calculado debe incluir los costos iniciales de los componentes del sistema, el costo de cualquier reemplazo en el sistema que ocurra en el tiempo de vida del proyecto, los costos de mantenimiento y combustible, y en caso de microredes conectadas a red (que no son el caso de este análisis), incluirá los costos de compra de energía a la red; cualquier ingreso por venta de energía será descontado del NPC, esto último es

especialmente orientado al caso en que los usuarios finales paguen por su consumo de energía. El software HOMER al realizar la optimización entrega un ranking de las configuraciones viables de acuerdo a su costo presente neto, encabezado por la que menor NPC presente siendo esta la configuración óptima del sistema.

El proceso de optimización llega a la configuración óptima, para un escenario que implica serie de entradas y consideraciones específicas. Sin embargo, el escenario analizado puede variar, puesto que consideraciones como el precio del combustible para los generadores, la velocidad del viento, las tasas de interés etc; son sensibles a fluctuar en el tiempo y que implican un riesgo al proyecto.

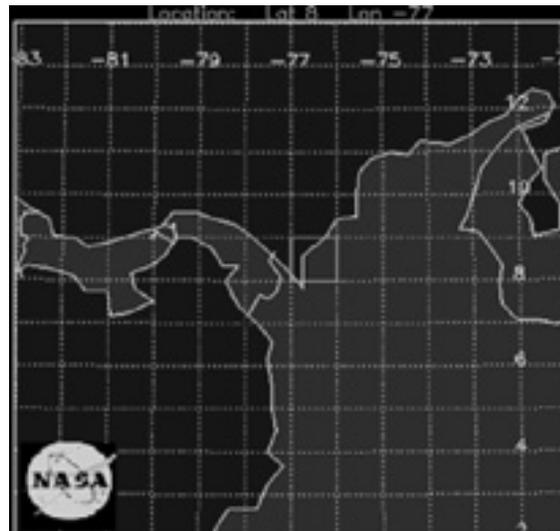
Por este motivo, es necesario realizar un análisis de sensibilidad, que consiste en efectuar varios procesos de optimización, modificando los valores de las variables sensibles de tal manera que se pueda determinar que configuración de unidades de generación y almacenamiento es óptima bajo cada condición, de esta manera se controla la incertidumbre y se reduce el riesgo en el proyecto.

3. Aplicación de la metodología de planificación energética propuesta

De acuerdo con las características que se presentan a continuación, se ha decidido aplicar la metodología a la zona de la vereda Nueva Pampa, corregimiento del Totumo, Municipio de Necoclí. Este municipio de la costa colombiana, ubicado en el Golfo de Urabá, pertenece al departamento de Antioquia y limita con los Municipios de Turbo, Arboletes y San Juan de Urabá; su población presenta un problema de acumulación de madera residual, proveniente principalmente del río Atrato, que desemboca en sus playas. De esta manera, se presenta una gran oportunidad de impactar positivamente tanto en la comunidad como en el medio ambiente, dada la alta suficiencia de biomasa que se deposita en las playas, produciendo impactos negativos, especialmente sobre la población que realiza ac-

tividades de diversa índole (turismo, pesca, etc). Tales impactos se pueden mitigar aprovechando esta madera para la producción de energía a fin de brindar a la comunidad suministro energético y resolver el problema de contaminación visual y medioambiental que se inducen, ya que al verse las playas cubiertas de residuos, la población procede a disponer de estos quemándolos, con el respectivo impacto sobre medio ambiente y la calidad de vida de la comunidad. La investigación sobre esta zona permite obtener resultados fiables ajustados a las condiciones y necesidades reales. Para contar con una idea de la situación geográfica de la zona, se presenta la figura 3, esta es la imagen desplegada por la aplicación de datos atmosféricos de la Nasa, al situar la zona para la obtención de los datos meteorológicos que se utilizan en el desarrollo de este capítulo.

Fig. 3. Situación geográfica de la zona aislada en estudio (NASA).



A. Caracterización e identificación de necesidades energéticas.

Se ha aplicado los pasos de la Metodología, para obtener el consumo medio diario estimado para la zona, tal como se presenta en la Tabla 1, en esta estimación se ha dejado un margen para actividades comerciales e industriales que surjan tras la aplicación de la solución energética.

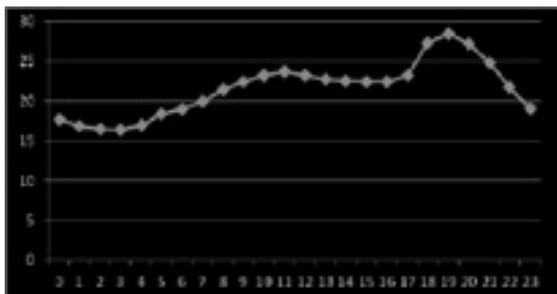
- Selecting the optimal energy mix and sizing of a isolated microgrid •

Tabla I. Calculo de la demanda de la zona

COMUNO EDUCACIONAL						
	Puestos Calefaco (%)	Calefaco (%)	Puestos Tilanda (%)	Tilanda (%)	Reserva (%)	Energía Demanda (kWh)
Escuela	10	5	20	144	7	101.2
Salón	20	1	20	144	1	17.6
Escuela*	20	1	20	72	11	7
Colegio	70	1	20	108	1	74.4
TV	20	1	20	576	1	38.8
Gas	80	1	80	144	1	111.2
Total mensual			120			
Trimestre	8		420	42.9		373.6
COMUNO ALBERGADO PUBLICO-POICENTRAL-COMERCIAL						
	Puestos Calefaco (%)	Calefaco (%)	Puestos Tilanda (%)	Tilanda (%)	Reserva (%)	Energía Demanda (kWh)
Escuela Pública (3.30 pas & 200)	20	18	27	11	11	31.4
Escuela secundaria*	100	5	1	1	1	6
Gas Comercio-Industria- Comercio (200 personas)*	100	1	1	1	1	24
Gas Comercio-Industria- Comercio (200 personas)	100	1	1	1	1	4
Comercio-Industria- Comercio (200 personas)				87		144
*Carga en función de zona (aproximada, variable)						
TOTAL MENSUAL 2014			1020 (85)	1020 (85)		617.8

Para la proyección de la curva de carga, se ha obtenido mediante consulta al operador de la red eléctrica de Colombia (la compañía XM), la curva de demanda diaria promedio de Colombia para un día laboral, expresada en porcentaje. Aplicando los porcentajes, a la demanda calculada en la tabla 1, se obtiene la curva de carga para la zona en estudio que se observa en la Fig 4.

Fig. 4. Curva de carga para la zona aislada en estudio

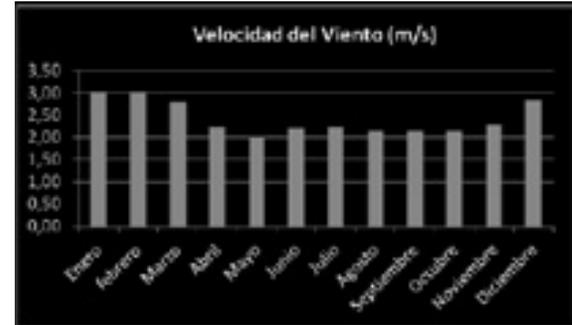


B. Determinación del potencial energético renovable

En este apartado, se determina para la zona aislada, el potencial del recurso eólico, solar y de la biomasa residual procedente de la madera transportada por río Atrato, y depositada en las playas.

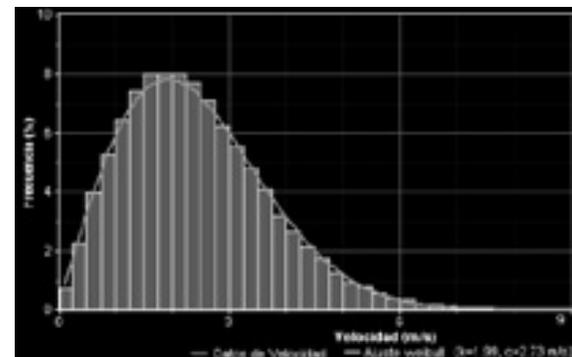
Para determinar las velocidades medias mensuales del viento y la velocidad media anual en la zona, se ha recurrido a la base de datos de la Nasa, obteniendo la distribución de la Fig. 5.

Fig. 5. Distribución de las velocidades de viento



Posteriormente, se modeló la frecuencia y velocidad del viento, aplicando la distribución de Weibull se obtuvo que el mejor ajuste correspondiente a la distribución se muestra en la Fig. 6.

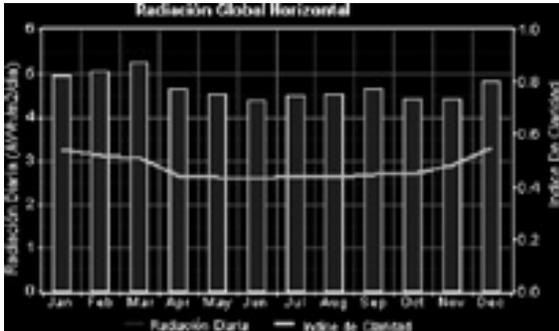
Fig. 6. Distribución de las velocidades de viento.



Tras analizar la frecuencia de velocidades desplegadas en el modelo, se puede apreciar que prevalecen las velocidades comprendidas entre 1 y 3m/s, siendo estos valores poco convenientes en la generación eólica, para este tipo de velocidades se debe considerar turbinas de poca potencia (unos cuantos kilovatios). Este análisis, y la información obtenida son fundamentales para la selección de la turbina, y el cálculo de la energía generada mediante simulación en el software HOMER, que se desarrolla en el apartado correspondiente a la simulación de las posibles configuraciones de generación.

Para hallar la radiación solar media diaria sobre superficie horizontal, se ha determinado las coordenadas de la zona, y con estas se consultó en la base de datos de la NASA. Por ser una zona tropical no se presenta un marcado comportamiento estacional, hecho que se refleja en la figura 6.

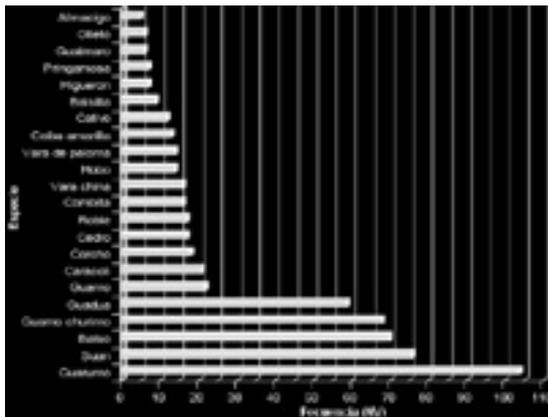
Fig. 6. Radiación sobre superficie horizontal.



La determinación del recurso de la biomasa, presenta para este caso una característica particular, estamos hablando de biomasa leñosa, pero no procedente de cultivos, actividades forestales ni madereras.

La determinación del potencial de este tipo de recurso se realizó desarrollando un muestreo previo que permitió su tipificación y caracterización Fig.7. Una vez caracterizada la biomasa y observada su viabilidad energética, se planteó un segundo estudio que concluyera la disponibilidad teórica y la real. Finalmente, se detectó la gasificación como tecnología a utilizar, y se aplicó el rendimiento de esta tecnología para conocer la potencial producción energética.

Fig. 7. Caracterización de la biomasa in situ (cortesía IPSE).



De acuerdo con esto, se estimó un potencial para una producción de energía de 83mW (e). De acuerdo con esto se considerarían gasificadores de biomasa en el mix energético.

C. Selección de fuentes viables y estimación e costos

Se considera utilizar un generador diesel para el apoyo a la generación, sin embargo, dado que la generación por biomasa no es intermitente, existe la posibilidad de conseguir estabilidad en el sistema sin recurrir al generador.

Considerando además los costos el combustible, los costos de almacenamiento, la distancias para obtenerlo del orden de 20Km, y la contaminación producida por esta fuente; se plantea como restricción limitar el consumo de diesel a 5000 Litros/año y la potencia a un máximo del 40% de la potencia nominal determinada en la curva de carga.

Se incluirá dentro de la simulación un Generador Diesel de 11,2kW para cumplir las restricciones de potencia y consumo de combustible.

Luego de evaluar el potencial energético, se ha decidido que se considerará como posibles candidatas para participar del mix energético se las mostradas en la Fig.8., aquí se observan los costos asociados a cada fuente.

Fig. 8. Fuentes preseleccionadas y sus costos.

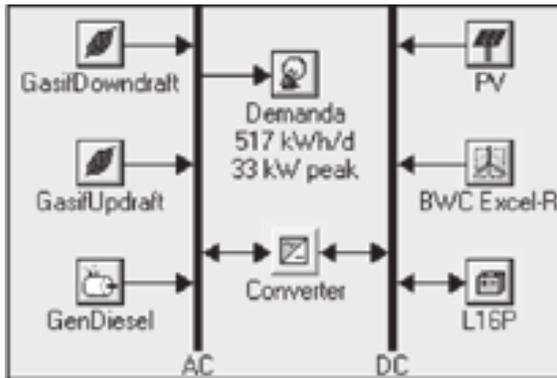
GENERACION	Potencia (kW)	Capital (\$)	Reemplazo (\$)	O&M (\$)
Gasificación Downdraft	40	180 000	180 000	8 900 /año
Gasificación Updraft	10	45 000	40 000	8 350 /año
Eólica	7,50	15 000	12 000	200 /año
Fotovoltaica	10	40 000	35 000	100 /año
Inversor/Frecuador	10	7 000	7 000	350 /año
Generador Diesel	11	6 500	5 500	8 250 /año
ALMACENAMIENTO	Capacidad (kWh)	Capital (\$)	Reemplazo (\$)	O&M (\$)
Batería	2 14	500	500	50 /año

D. Selección del sistema con el mix energético óptimo

Cuando se utiliza el software HOMER, la simulación y optimización se realizan paralelamente, la configuración del sistema simulado se puede observar en la Fig.9., aquí se incluye todas las alternativas de generación, almacenamiento; y la demanda, con sus correspondientes especificaciones técnicas. Para el bus DC, se define trabajar a 48V en lugar de 24V, a fin de reducir

- Selecting the optimal energy mix and sizing of a isolated microgrid •

Fig. 9. Esquema general del modelo simulado.



las pérdidas por efecto joule, así que las unidades se deben seleccionar para operar a esta tensión.

La Fig 10. Muestra los resultados obtenidos de la optimización realizada con HOMER. Se puede concluir de manera parcial, que en este escenario el diseño más óptimo comprende dos gasificadores, un downdraft de 20kW y un updraft de 10kW, un inversor de 10kW, y 16 baterías (dos series de 8). Sin embargo es necesario hacer un análisis de sensibilidad previendo posibles escenarios.

De acuerdo con la amplia participación de la biomasa en el mix energético óptimo, y la incertidumbre en su disponibilidad asociada a la característica

innovadora de la obtención de la biomasa para este proyecto. El análisis de sensibilidad se ha realizado considerando variaciones en la disponibilidad diaria de biomasa (0,4-1 ton/día), y en su precio (30-60 \$/t). Otra variable que se debe considerar es el cambio del precio del diesel, para esto, se ha realizado el análisis de sensibilidad en dos escenarios, a precios de 9,2\$/L, y 1,7\$/L. Ver Fig. 11.

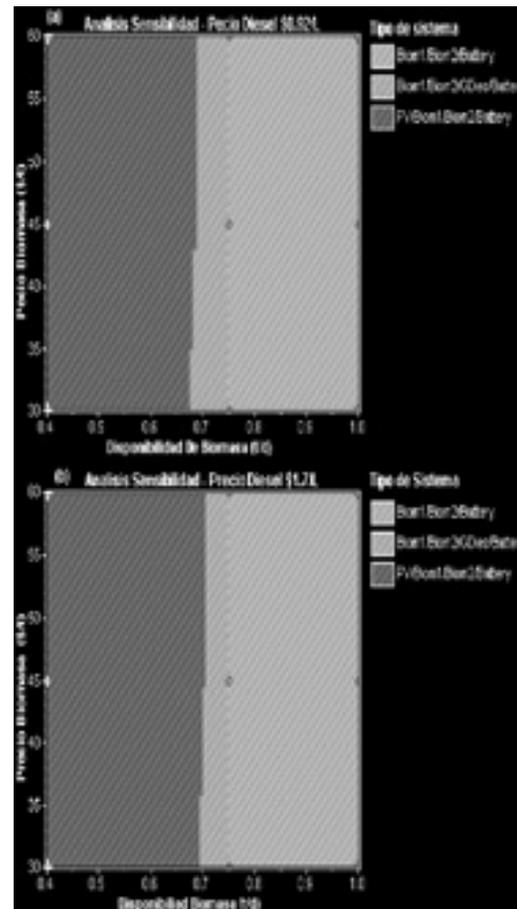
Revisando el análisis de sensibilidad, se puede concluir, que la configuración más versátil, es la tercera, es decir la que involucra fotovoltaica, ya que permite responder a los precios de subida de precio de la biomasa, y del diesel; así como a cualquier escasez de biomasa que se pudiese presentar, asociada especialmente a la novedad de la aplicación, las técnicas rudimentarias de transporte y potenciales eventos que puedan

afectar la recolección o el transporte. El almacenamiento que plantea esta configuración de vital importancia, dada la intermitencia de la fotovoltaica.

Fig. 10. Resultados del análisis de sensibilidad.

	PV (\$/kW)	Gas (\$/ton)	Gen (\$/kW)	Conv (\$/kW)	Baterías L16P (\$/kWh)	Inv (\$/kWh)	NPC TOTAL (\$/kWh)	Coste (\$/kWh)
			20	10	16	10	\$198.368	0.237
			20	10	11.2	16	\$196.344	0.236
			10	20	10	16	\$198.708	0.232
			10	20	10	11.2	\$197.042	0.234
			1	20	10	24	\$197.540	0.235
			20	10	11.2		\$198.015	0.235
			1	20	10	11.2	\$197.708	0.231
			10	1	20	10	\$197.888	0.230
			10	1	20	10	\$198.852	0.232
			10	1	20	11.2	\$198.886	0.232
			1	20	10	11.2	\$198.024	0.230
			10	1	20	11.2	\$198.055	0.230
			10	1	20	10	\$198.675	0.230
			20	20		88	\$198.803	0.232
			20	20	11.2	40	\$193.356	0.224
			1	20	11.2	40	\$192.388	0.227
			10	1	20	10	\$197.083	0.238
			20	1	20		\$197.724	0.240
			20	20	11.2		\$192.545	0.230
			10	20	11.2	10	\$193.646	0.231

Fig. 11. Resultados del análisis de sensibilidad.



Agradecimientos

Al instituto de planificación de soluciones energéticas IPSE de Colombia, quien aportó información, y financió el proyecto de biomasa en Necoclí.

Conclusiones

Este documento aporta el desarrollo y la aplicación práctica de una metodología de planificación de soluciones de suministro energético para zonas aisladas.

Rescatando uno de los aportes más significativos de este documento, merece mencionarse que se abordó un caso particular de determinación del potencial de la biomasa mediante la implementación de la metodología, diferente a los estudiados por otros autores. Se trató una aplicación pionera de la producción de energía a partir de biomasa, donde se utilizan residuos de madera depositados en la playa, como consecuencia del arrastre del río y su desembocadura en el mar. Este escenario difiere de los analizados en los escenarios presentados en otros estudios, donde los residuos provienen de cultivos, podas, o actividades madereras. Siendo este un precedente valioso para futuras aplicaciones similares que puedan replicar este tipo de aprovechamiento.

La aplicación de la metodología en la zona mencionada, apoyando el proceso de planificación con la herramienta HOMER, genera un conocimiento sobre el potencial de esta herramienta, que puede ser capitalizado por los planificadores de este tipo de soluciones energéticas.

Referencias

- [1] International Energy Agency (IEA), Distributed generation in liberalised electricity markets. Ed. IEA. New York.1-125, 2002.
- [2] T. Ackermann, G. Andersson, L. Söder, 'Distributed generation: a definition'. Electric Power Systems Research. Vol. 57. 195-204. 2001
- [3] N. Strachan, Farell, A. 'Emissions from distributed vs. centralized generation: The importance of system performance'. Energy Policy. Vol. 34. Pp 2677-2689. 2006
- [4] J. Brown, C. Hendry, P. Harborne, "An emerging market in fuel cells". Residential combined heat and power in four countries'. Energy Policy. Vol.35. 2173-2186. 2006.
- [5] J. Pecas, N. Hatzigiorgiou, J. Mutale, P. Djapic, N. Jenkins, 'Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities'. Electric Power Systems Research. Vol.77. pp. 1189-1203. 2007.
- [6] F. Gullí. Small distributed generation versus centralised supply: a social cost-benefit analysis in the residential and service sectors. Energy Policy. Vol.34. pp. 804-832. 2006.
- [7] N. Greene, R. Hammerschlag. Small and clean is beautiful: exploring the emissions of distributed generation and pollution prevention policies. The Electricity Journal. Vol. 13. pp. 50-60. 2000.
- [8] R. Banerjee. Comparison of options for distributed generation in India. Energy Policy. Vol. 34. pp. 101-111. 2006
- [9] J. Gordijn, H. Akkermans. Business models for distributed generation in a liberalized market environment'. Electric Power Systems Research. Vol. 77. pp. 1178-1188. 2007.
- [10] N. Strachan, H. Dowlatabadi. Distributed generation and distribution utilities. Energy Policy. Vol. 30. pp. 649-661. 2002.
- [11] V. Budhraj. The future electricity business. The Electricity Journal. Vol.12. pp. 54-61.1999.
- [12] B. Kroposki, T. Basso and R. De Blasio. Microgrid standards and technologies," in Proc. 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, PES, July 20 - July 24, 2008.