



## **Análisis multicriterio considerando incertidumbre para la selección de configuración idónea de suministro de energía eléctrica en comunidad aislada- Pozo Hondo, Chaco Paraguayo**

**Luis Morínigo\*, Carlos Romero\*, Richard Ríos\*, Arturo González\*, Gerardo Blanco\***

**\*Grupo de Investigación de Sistemas Energéticos, Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción**

**Campus Universitario, San Lorenzo, Paraguay**

### ***Resumen***

Esta contribución en base a la aplicación de una serie de metodologías científicas, busca proponer una técnica para determinar soluciones a la falta de suministro de energía eléctrica que pueda aplicarse a cualquier comunidad aislada, para el caso de estudio particular, a la ciudad de Pozo Hondo, perteneciente al Chaco paraguayo, con un potencial de desarrollo y características geopolíticas bastante interesantes. Se realiza un análisis financiero para la proposición de un sistema que suministre la energía eléctrica al poblado, teniendo en cuenta una ventana de proyecto de 10 años. Además de dicho estudio financiero se utilizaron otros criterios de evaluación como el costo de la energía, los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero y la factibilidad o decisión política. La premisa aplicada para la estimación de la demanda de energía eléctrica del poblado y su comportamiento a lo largo del tiempo, se basó en datos históricos de poblados de características socioeconómicas similares dentro del país, para lo cual se requirió de otros datos que se pudieran interpolar, por lo que se llevó a cabo una encuesta en la ciudad de Pozo Hondo para pronosticar la carga a ser atendida a futuro. Dentro de un balance energético que se llevó a cabo para la zona, se consideraron que la alternativas, ya sean como fuentes primarias de suministro o estructurales fueran: térmica (diésel), renovables (eólico y solar) y una extensión de línea de distribución (23kV). A modo de encontrar la mejor configuración por cada fuente que se presenta, se utilizó el software HOMER Pro® el cual en el proceso de simulación obtiene como resultados arreglos de sistemas más óptimos, este requiere de una serie de datos a ser introducidos, ya sea de equipos de conversión de energía eléctrica, auxiliares de generación y almacenamiento, potenciales energéticos, precios de combustibles, comportamiento de la carga, entre otros. Con los modelos optimizados se procede a aplicar la metodología Monte Carlo a modo de introducir dentro del análisis financiero las fluctuaciones del precio del combustible diésel de tal manera a realizar el contraste de la generación térmica con la generación a base de energía renovable. Por último se aplica el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) para obtener la alternativa más conveniente, teniendo en cuenta los múltiples criterios citados al inicio y la perspectiva de un panel de expertos conformado por profesionales senior pertenecientes al Grupo de Investigación de Sistemas Energéticos (GISE), la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), y del Viceministerio de Minas y Energías (VMME); los criterios son sometidos a su vez a una serie de fluctuaciones en cuanto a sus ponderaciones con relación al objetivo buscado, para obtener el resultado más fino posible. La investigación concluye en que la solución óptima de suministro, considerando múltiples criterios sería la de un sistema híbrido (térmico y solar). Una vez obtenida esta configuración se procedió a llevar a cabo un análisis de sensibilidad con relación al Costo de Energía no Suministrado (CENS) para evaluar y justificar la rentabilidad económica de esta configuración de suministro de energía eléctrica.

### ***Palabras clave***

Energías Renovables, Costo de Energía no Suministrado, Costo de la Energía, Rentabilidad Económica, Factibilidad Política, Monte Carlo, Proceso de Análisis Jerárquico.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Paraguay es un país con características muy particulares en lo que se refiere a su sistema eléctrico, el cual cuenta con una generación que es casi exclusivamente hidroeléctrica gracias a sus centrales ITAIPU, YACYRETA y ACARAY, con una capacidad instalada de 8.820 MW [1]. Con estas centrales el Paraguay cuenta con un superávit de electricidad la cual no es consumida debido a su pequeña demanda de energía eléctrica nacional, esto representa una paradoja siendo que en varias zonas de su territorio no cuentan con la red de distribución lo que representa que un porcentaje de su población no tiene acceso a la electricidad.

La Administración Nacional de Electricidad (ANDE) es la Empresa encargada del suministro de energía eléctrica en el Paraguay, con una cobertura del servicio a nivel nacional del 99,8%, el 0,2% restante no es atendido en la actualidad por las dificultades técnicas y económicas que ello representa, particularmente por la baja demanda de estos focos poblacionales y por las largas distancias a los principales centros de generación. Paradójicamente a la capacidad instalada en generación de 8.820 MW y su demanda eléctrica a nivel nacional solo ronda los 3.300MW.

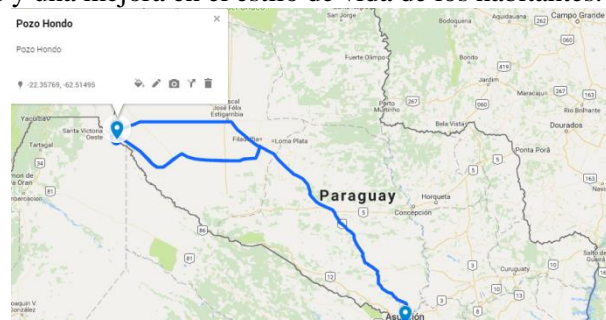
La localidad de Pozo Hondo no queda exenta de esta problemática de aislamiento del Sistema Interconectado Nacional (SIN). El poblado se encuentra en la región occidental del Paraguay, en la margen izquierda del río Pilcomayo, exactamente al noroeste del departamento de Boquerón, Chaco paraguayo y en la actualidad se encuentra sin un suministro de energía eléctrica continuo. Se encuentra a unos 750 km de Asunción (Capital del Paraguay), linda con la ciudad de Misión La Paz (Argentina) y está a 20 km de la triple frontera entre Bolivia, Argentina y Paraguay. Sus coordenadas son Sur  $22^{\circ}22'15.8''$  Oeste  $62^{\circ}30'53.2''$  con una altitud de 256 metros con relación al nivel del mar.

Se puede acceder por vía aérea gracias a una base naval que posee pista de aterrizaje, o por vía terrestre a través de la ruta TransChaco; en este último caso de dos maneras: desde la ciudad de Mcal. Estigarribia por la Picada 500, con 230 km de camino de tierra, o por la colonia Neuland, que es la opción más larga, con 280 km de camino de tierra, como se observa en la fig. 1. En temporadas altas de lluvia y crecidas del río, estas dos alternativas se ven comprometidas, ya que, con la subida del río Pilcomayo, el agua ingresa por las cañadas y aísla temporalmente al libre tránsito al poblado.

El casco urbano de Pozo Hondo está habitado por 30 familias, pero las estancias y comunidades que rodean al poblado suman unas 200 familias. Las actividades económicas de sus habitantes son mayormente la pesca, los trabajos en estancias ganaderas y el comercio con el poblado fronterizo.

La ciudad de Pozo Hondo representa un punto logístico muy importante pues se tiene planeado que el futuro corredor bioceánico tenga como puerta de acceso a esta ciudad, desde y hacia la República Argentina.

La integración óptima de localidades remotas y aisladas como es el caso de estudio, es una muestra de compromiso de los gobiernos y una mejora en el estilo de vida de los habitantes.



**Figura 1. Vías terrestres de acceso a la ciudad de Pozo Hondo.**

## 2. SITUACIÓN ATUAL

En la visita realizada a la ciudad en el mes de setiembre de 2017 se pudo apreciar que el Poblado de Pozo Hondo es una localidad aislada del Sistema Interconectado Nacional donde actualmente se cuenta, a través de autogestión comunal, con un generador térmico de 36 kW para el abastecimiento de electricidad de 4 a 6 horas por día. Las principales cargas conectadas a este grupo electrógeno corresponden a: i) sistema de alumbrados públicos, ii) algunos domicilios, e iii) instituciones públicas. La distribución de energía eléctrica se lleva a cabo por medio de una red de baja tensión trifásica (longitud de 1 km aproximadamente) que atraviesa el casco de la ciudad. De la misma forma, se pudo constatar que, en cuanto a la obtención y distribución de agua potable se realiza por medio de una motobomba alimentada por paneles solares en la oficina municipal. Se pudo observar también que algunas viviendas contaban con paneles solares y generación térmica diésel de pequeño porte para su consumo propio.

Reflexionando sobre la disponibilidad de los recursos energéticos que la naturaleza ofrece a este poblado, este aporte se centra en analizar: i) la posibilidad de una generación de energía eléctrica in situ de recursos renovables y generación térmica y ii) adicionalmente sobre la viabilidad de interconexión a la red eléctrica más cercana (línea de distribución en 23kV).

Un aspecto importante que considera este proyecto es el hecho que según el pliego de tarifa N°21 vigente [2] de la ANDE establece que toda carga atendida debe ajustarse a la tarifa residencial nacional vigente que es de 365 Gs por kWh (0,066 USD por kWh) a diferencia del pliego anterior N° 20 [3] con el cual se podía discriminar a los proyectos de electrificación del Chaco estableciendo una tarifa diferenciada (la cual nunca se aplicó). En virtud de lo anteriormente mencionado, en el estudio de alternativas de generación de energía eléctrica, las cuales a priori presentarían un costo de generación mayor en comparación a la Tarifa ANDE se considera que este trabajo debe incluir el apoyo y financiamiento estatal para la implementación de una generación de energía eléctrica de calidad (confiable y continua). En este proyecto se plantearon las siguientes fuentes de generación: i) térmica a diésel, ii) térmica a gas natural, iii) eólica, iv) solar fotovoltaica, y v) un mix óptimo de las anteriores.

## 3. DESARROLLO DE LAS ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto se dividió en dos grandes etapas: i) la primera etapa se basó en identificar la situación eléctrica de la población y reconocer las condiciones de potencial en energías renovables de la zona, la evaluación y prospección de los recursos energéticos primarios y de infraestructura disponibles para llevar a cabo un suministro de energía eléctrica en la ciudad de Pozo Hondo. ii) La segunda etapa consistió en la estructuración de los datos de entrada para llevar a cabo simulaciones, tanto para obtener las configuraciones de sistemas de generación a través del HOMER Pro y los valores esperados del precio diésel por medio del método Monte Carlo, como para la toma de decisiones multicriterio utilizando la metodología del AHP.

### 3.1 Balance energético

#### 3.1.1 Perfil de consumo y proyección de la demanda de electricidad:

El primer paso de este trabajo fue el de caracterizar la posible demanda de energía eléctrica de la población con un suministro continuo de 24 horas al día, en base a datos obtenidos y debatidos con autoridades de la ANDE, la posible curva de demanda diaria de electricidad de la localidad podría compararse con la del consumo de la ciudad de Bahía Negra [4] siendo que ésta localidad presenta varias similitudes socioeconómicas con el poblado de Pozo Hondo, como por ejemplo, las de ser un poblado rural chaqueño fronterizo que también tiene como actividades económicas la pesca, la caza, trabajos en la ganadería y un intercambio comercial de comparables similitudes. Teniendo en cuenta estos factores, se puede realizar una extrapolación de la curva de demanda de Bahía Negra y considerar que la carga en Pozo Hondo tendría un comportamiento similar. En la fig. 2 se representa la estimación de demanda de energía eléctrica en Pozo Hondo con un pico de 25 kW.

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018

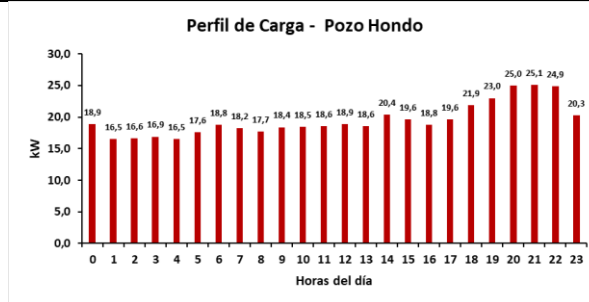


Figura 2. Perfil de carga diario estimado para la ciudad de Pozo Hondo

En la proyección de la demanda eléctrica, para este caso de estudio, se consideró el concepto de demanda reprimida, la cual en términos generales define al comportamiento transitorio altamente volátil de la demanda en un mercado cuando un bien o un servicio se ofrecen de forma regular cuando antes no era así.

Bajo recomendación de expertos en el área de planificación de la ANDE se estimó un crecimiento del 30% interanual durante los primeros dos años a causa de la demanda reprimida, y una vez estabilizada la tasa de crecimiento, un 10% para los siguientes años del horizonte del proyecto.

La hipótesis se pudo considerar validada posterior a la encuesta que se realizó en la ciudad para estimar cual sería el consumo promedio de los habitantes a futuro, llegado a 83,1 kW de demanda estimada para el último año, muy cercano al valor que se obtiene por medio de las tasas de crecimiento proyectadas.

### 3.1.2 Prospección de posibles suministros de energía eléctrica:

Esta etapa consistió en la prospección de las posibles formas de suministrar energía eléctrica al poblado, teniendo en cuenta primeramente cuáles de ellas eran más factibles de aplicar, reconociendo las tecnologías disponibles y un factor importante denominado economía de escala, que define que, aunque un sistema sea más económico que otro, solo puede ser considerado a partir de un cierto nivel de demanda [5].

Se estimó el costo de extensión de una línea de 23kV que ronda los USD 16.000 por km. El punto más cercano a Pozo Hondo en ese nivel de tensión, se encuentra a 52 km, aunque para llegar a ese punto conocido como Cruce Don Silvio, se debe cerrar en anillo trifásico dos extremos de línea, a 30 km sobre la picada 500 (MES 01) y a 18 km sobre la picada Lóbreo (MES 02), provenientes de la subestación Mariscal Estigarribia, ubicada en la ciudad con el mismo nombre, a 220 km de la ciudad de Pozo Hondo. La inversión por la extensión oscilaría los USD 1.600.000. Consideraciones como la calidad y la confiabilidad del servicio, se verían comprometidas a causa de las grandes distancias involucradas. Aun así se toma como alternativa ya que es un método bastante utilizado para paliar la falta de energía eléctrica en la región del Chaco Paraguayo.

Se analizó de forma preliminar el aprovechamiento del potencial energético del Río Pilcomayo como fuente de energía para la generación, opción rápidamente descartada, pues dicho cauce hídrico en gran parte de este tramo sufre, en muy alta intensidad (el segundo mayor en el mundo), de un fenómeno hidrológico conocido como atarquinamiento [6], el cual vuelve muy variables a las condiciones del río necesarias para su aprovechamiento. Además el flujo de este río posibilita la llegada de agua al Chaco paraguayo y argentino, por lo que embalsar afectaría en gran medida la vida humana y silvestre en estos lugares [7].

De igual manera se analizó la posibilidad de utilizar un sistema de generación térmica por medio de gas natural. Para la provisión de dicho combustible, se tomaron en cuenta las opciones de la construcción de un gasoducto, con un costo de construcción aproximado de USD 630.000 por km y la del transporte por vía terrestre. Existe la opción de disponer del gas natural de origen nacional en la localidad de Gabino Mendoza (disponible gracias a la Empresa Primo Cano Martínez S.A., a 401 km). Para el transporte del hidrocarburo en el caso del gasoducto, desde Gabino Mendoza a 261 km en línea recta, se puede estimar un costo de USD 165 millones en desde la ciudad de Gabino Mendoza, en este costo es considerada únicamente la inversión inicial necesaria. Para el caso del transporte vía terrestre, opción que aunque parece aplicable, se ve muy dificultada por las condiciones variables del camino muy dependiente del clima. Experiencias anteriores de suministros a la ciudad de Bahía Negra, y la necesidad de contar con un sistema logístico de transporte especializado para la provisión, requerirían de grandes inversiones que no resultarían económicamente rentables.

### XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ 06 y 07 de Setiembre de 2018

A su vez se estudió el potencial de la radiación solar, para la instalación de paneles fotovoltaicos, encontrando que las condiciones de la zona son idóneas para su explotación. También se tomó en cuenta el análisis del potencial eólico existente en la zona encontrándose en la zona comprendida el mayor potencial eólico en el país por lo que dicha tecnología se torna interesante en su análisis para la generación de energía eléctrica.

Por último, se planteó la utilización de la generación diésel como única fuente de generación, así como incorporada a un sistema de generación híbrido en conjunto con un recurso energético renovable y limpio como el solar, que se estudió también de forma independiente.

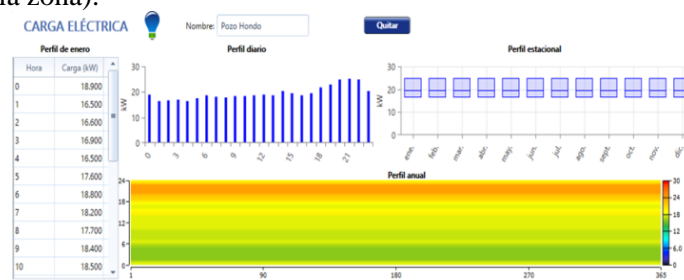
#### 3.2 Métodos de Simulación, Optimización y de Toma de Decisiones utilizados.

En el proyecto se contempló el uso de las siguientes herramientas para la búsqueda del sistema de generación más adecuado como así también la optimización del escenario en términos probabilísticos. A su vez un modelo de decisión multicriterio para determinar la mejor alternativa teniendo en cuenta criterios financieros, de costo de producción, ambientales y políticos.

##### 3.2.1 Modelado y Optimización a través HOMER Pro

Mediante la simulación de los sistemas de generación con el software HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources), se determinó el sistema de menor costo y que satisfaga las mínimas necesidades técnicas que una planta generadora deba satisfacer. El programa puede simular sistemas aislados con fuentes de energías tanto convencionales como renovables arrojando el arreglo de máquinas generadoras más conveniente, tomando como principal eje de decisión el parámetro económico. En cuanto a los parámetros que el programa no contempla como los costos por depreciación de los equipos, los ingresos por venta de energía, licitación, operarios, reservorios, gasoductos, obras civiles, gastos administrativos, contingencias, etc., los mismos deben ser considerados de manera externa al software HOMER, para llevar a un nivel más realista el estudio económico y financiero del proyecto, los mismos se ingresan de forma manual dentro del flujo de caja de cada configuración que se obtenga.

El punto de partida en la simulación es la determinación de la carga. En la fig. 2 se puede observar la curva de demanda de un día típico tomado en cuenta para llevar a cabo la simulación. Una vez pronosticado el posible comportamiento de la demanda, se puede proceder a simular con los sistemas y recursos a criterio del diseñador de planta. Los datos de entrada introducidos fueron: la curva característica de carga mencionada anteriormente como se observa en la fig. 3; precios de los equipos generadores (generador térmico, panel fotovoltaico, aerogenerador); la curva de eficiencia de los generadores térmicos, las características de los semiconductores utilizados para formar las celdas fotovoltaicas, las curvas de eficiencia de los aerogeneradores, la característica de carga y descarga de las baterías; precios de los elementos auxiliares (convertidor/inversor y bancos de baterías); precios de los recursos no renovables (diésel) y disponibilidad de los recursos renovables (velocidad de vientos, irradiancia en la zona).



**Figura 3. Introducción de datos de demandas en HOMER Pro**

##### 3.2.2 Método Monte Carlo.

Bajo el concepto de incertidumbre, se abre un abanico de posibilidades acerca del comportamiento del proyecto desde la perspectiva económica, pues el mismo tiene una dependencia directa con la variación del precio de una de sus fuentes de generación primaria, en este caso del combustible diésel. A lo largo de un periodo de tiempo, una variable puede sufrir modificaciones difíciles de predecir de manera normal o en base a un promedio cualquiera.

**XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**06 y 07 de Setiembre de 2018**

El método Monte Carlo es un método numérico que permite resolver problemas físicos y matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias. Lo que se buscó con la aplicación de este método fue hallar el valor esperado del precio diésel a lo largo del tiempo del proyecto para así tener resultados lo más finos posibles, para el caso de los sistemas dependientes de este hidrocarburo. Los datos de entrada necesarios para obtener estos valores esperados fueron los de pendiente y volatilidad, extraídos de los precios históricos del diésel en los últimos 10 años para el Paraguay. Estos datos, son modelados utilizando el Software MATLAB dentro de la ecuación del Movimiento Geométrico Browniano.

**3.2.3 Proceso de Análisis Jerárquico (AHP).**

El AHP permite estructurar los problemas de decisiones de forma visual a través de una jerarquía de atributos. Permite resolver problemas tanto simples como complejos. Posibilita incluir criterios cualitativos y cuantitativos al mismo tiempo. El resultado del AHP es un ranking de preferencias de las alternativas.

El AHP fue utilizado en esta investigación para evaluar las mejores configuraciones de suministro de energía eléctrica en base a múltiples criterios.

Para el criterio financiero se tomó como indicador el Valor Actualizado Neto (VAN) de cada configuración. Como indicador para el criterio de costo de producción se tomó el Costo normalizado de la Energía (COE). En cuanto al cuantificador del criterio ambiental se optó por incluir a las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (EGEI) de los sistemas. Y para el criterio político (POL) se tomó como indicador la experiencia de los tomadores de decisiones, la cual se pudo obtener gracias a la conformación de un panel de expertos en el área de planificación de la ANDE, del Vice Ministerio de Minas y Energías, y del Grupo de Investigación de Sistemas Energéticos de la Facultad Politécnica, de la Universidad Nacional de Asunción.

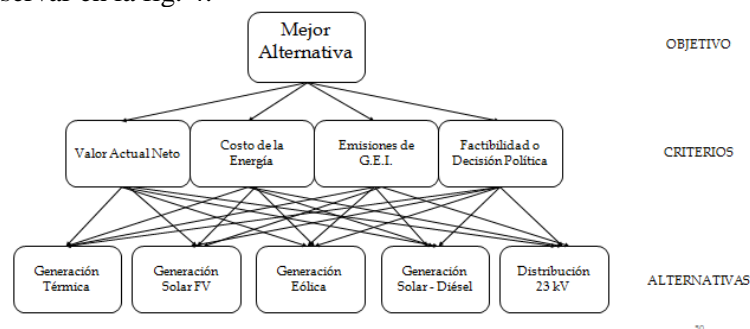
El VAN, el COE y las EGEI son criterios cuantitativos, los primeros dos se obtienen a través de los flujos finales de caja de cada alternativa, para el caso de las EGEI estas están disponibles de forma directa entre los datos de salida del software HOMER Pro.

La ponderación entre criterios se llevó a cabo por el panel de expertos conformado anteriormente para evaluar la factibilidad política de las alternativas.

Las alternativas fueron una configuración puramente diésel, una solar fotovoltaica, una eólica, una híbrida (Solar & Diésel) y una extensión de línea de 23 kV.

Las variables fueron introducidas en un conjunto de matrices, que posteriormente se compararon entre sí, para las magnitudes cuantitativas bastó con organizarlas en auto vectores e introducirlas directamente en la matriz una vez normalizadas, para el criterio POL aunque este representa básicamente una valoración cualitativa, se pidió a los expertos pudieran plasmar la misma en una escala ponderativa la cual también se pudo normalizar y luego introducir dentro de la matriz de criterios con relación a cada alternativa. Para llevar a cabo la matriz que compara los criterios con el objetivo se procedió de igual manera que en el caso del criterio cualitativo POL con relación a las alternativas.

Una vez estructuradas todas las matrices necesarias se llevan a acabo productos matriciales para obtener el ranking de alternativas con relación al objetivo, usando de enlace el nivel intermedio del árbol de decisiones, este árbol se puede observar en la fig. 4.

**Figura 4. Árbol de decisiones**

Por último se realizó un análisis de sensibilidad de los criterios, variando la prioridad de cada uno con relación al objetivo buscado, esta variación de criterios se realizó dándole mayor prioridad a uno solo de los

**XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**06 y 07 de Setiembre de 2018**

critérios, luego dos a la vez, luego tres y por ultimo todos los criterios con la misma prioridad, este procedimiento se efectuó con todas las combinaciones posibles, que para este caso equivale a 15 posibles.

Los resultados del análisis de sensibilidad pueden utilizarse para poder observar todos los escenarios posibles de variación de prioridad de los criterios y tomar decisiones con mayor claridad, además para este análisis un promedio de todas las combinaciones fue utilizado para contrastar sus resultados, con el arrojado por la evaluación de criterios del panel de expertos.

**4. RESULTADOS**

**4.1 Configuraciones Sistemas de Generación Optimizados a través del HOMER Pro.**

Es imprescindible destacar que el Software HOMER Pro no tiene por utilidad la de modelar sistemas como función primitiva, sino la de optimizar sistemas ya existentes, por lo cual las configuraciones debieron ser realizadas primeramente de forma genérica y posteriormente a través de arduos procesos de simulación, ser optimizados para el caso de estudio, dichas configuraciones se citan a continuación.

Térmica Diésel: Dos (2) grupos electrógenos, de 48 kW y 80 kW.

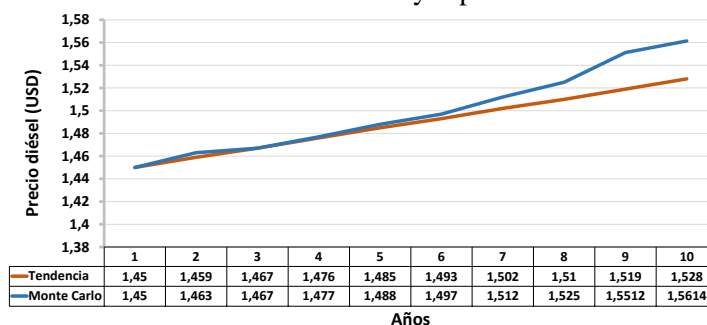
Solar Fotovoltaica: Arreglo de paneles fotovoltaicos de 750 kWp, convertidor eléctrico AC/DC de 100 kW y un banco de baterías de 9445 kWh de energía útil.

Eólica: Siete (7) aerogeneradores de 100 kW cada uno, convertidor eléctrico AC/DC de 100 kW y un banco de baterías de 9807 kWh de energía útil.

Híbrida Solar-Diésel: Dos (2) grupos electrógenos, de 48 kW y 80 kW, arreglo de paneles fotovoltaicos de 65 kWp, convertidor eléctrico AC/DC de 55 kW y un banco de baterías de 118 kWh de energía útil.

**4.2 Optimización de Costos en Sistemas Dependientes de Diésel**

Si bien se puede observar en la fig. 5. que no existe una brecha significativa entre el precio tendencial y el precio obtenido a través del método de Monte Carlo, introducir estos valores dentro de los flujos de caja tanto de la configuración térmica diésel como de la configuración híbrida, arroja variaciones significativas en el valor actualizado neto de cada inversión (4% a 6%). Los VAN obtenidos posterior a la utilización del método de Monte Carlo en estas dos configuraciones son los utilizados durante el resto de la investigación para la toma de decisiones por considerarse dentro del escenario con mayor probabilidad de ocurrencia.



**Figura 5. Valores esperados del precio diésel versus tendencia lineal**

**4.3 Toma de Decisiones Multicriterio.**

Considerando la metodología de toma de decisiones (AHP) utilizada para determinar la mejor alternativa:

- Según la prioridad que brindaron los expertos a los criterios y un análisis de sensibilidad realizado a la ponderación de los criterios, al realizar las pertinentes comparaciones entre matrices, la prioridad final arrojó como mejor alternativa a la configuración Híbrida (Solar & Diésel).

**4.4 Especificaciones de la Mejor Configuración.**

La configuración ganadora costa de los componentes eléctricos y electromecánicos citados para la configuración Híbrida Solar-Diésel. Además de los sistemas eléctricos mencionados, esta configuración incluye un tanque de combustible de 20.000 litros.

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
06 y 07 de Setiembre de 2018

#### 4.5 Rentabilidad Económica de la Mejor Configuración.

La venta de energía en Paraguay esta dictaminada por el pliego de tarifas ANDE, por lo cual ninguna de las alternativas era rentable en el sentido financiero, la venta en ninguno de los casos cubre los costos, por lo cual se incluyó un concepto económico conocido como Costo de Energía no Suministrada (CENS).

Este concepto se utiliza en la literatura internacional, de forma genérica, para definir y agrupar todos los costos que afectan a la sociedad en su conjunto cuando el suministro de energía eléctrica no puede ser realizado conforme lo requiere la demanda. [8]

Bajo este concepto se podría decir que el estado paraguayo se ve afectado por perdidas económicas al no suministrarle energía eléctrica a la ciudad de Pozo Hondo, por lo cual, desde el momento que comience a suministrar dicha energía se podría considerar que se produce un beneficio económico para el Paraguay.

Llevando a cabo un análisis de sensibilidad al CENS de la configuración ganadora, se pudo observar que el VAN aumenta hacia valores positivos alcanzando un punto de recuperación de capital en 0,8 USD/kWh. Valor bastante por debajo de los CENS asociados a la ANDE (2,4 -3,3 USD/kWh). Si se consideran valores de CENS por encima de este, se podría visualizar que el proyecto adquiere una rentabilidad bastante interesante.

Más aun, cabe volver a resaltar, que esto sigue siendo un concepto económico, pues no representa un flujo efectivo de dinero. Pero si representa un indicador bastante interesante para justificar, este y otros proyectos de esta índole. En particular el que se presenta como la mejor alternativa.

#### 5. CONCLUSIONES

Teniendo en los dos escenarios de toma de decisiones planteados (preferencia de expertos y análisis de sensibilidad), se presenta al sistema Hibrido como ganador, se lo puede catalogar como la alternativa de mayor preferencia, y la mejor opción para ser ejecutada.

Finalmente de acuerdo a los objetivos propuestos se puede decir que se analizaron las posibles alternativas factibles técnica y económicamente de suministro de energía eléctrica en la localidad de Pozo Hondo considerando un análisis de múltiples criterios.

Proyectando un perfil de consumo a la localidad y analizando las distintas alternativas para el suministro de energía eléctrica, se llegó a presentar un suministro de energía eléctrica de mayor conveniencia teniendo en cuenta con la herramienta del AHP criterios tanto económicos, ambientales y políticos.

Si bien se presenta un caso de estudio específico, los mismos procedimientos y metodologías pueden ser utilizados para el análisis de forma genérica de cualquier otro caso de estudio.

#### REFERENCIAS

- [1] R. Ríos, “Análisis de Opciones de Comercialización de Energía Eléctrica Paraguaya de Itaipú Binacional en el Mercado Eléctrico Brasileiro,” Tesis M. Ing., Universidad Nacional de Asunción, Facultad Politécnica, San Lorenzo, Paraguay, Ene. 2018.
- [2] *Pliego Tarifario N° 21*, ANDE, 2017.
- [3] *Pliego Tarifario N° 20*, ANDE, 2005.
- [4] R. Ríos, E. Ferreira, “Análisis y Optimización de Recursos Energéticos de la Ciudad de Bahía Negra - Chaco Py,” Tesis Ing. Universidad Nacional de Asunción, Facultad Politécnica, San Lorenzo, Paraguay, Oct. 2014.
- [5] D. Andrade (2017). Pontificia Universidad Católica del Ecuador [En Línea]. Disponible en: <http://www.puce.edu.ec/economia/efi/index.php/economia-internacional/14-competitividad/20-economias-de-escala>.
- [6] T. Grosso (2016). La Bioguía [En Línea]. Disponible en: <http://www.labioguia.com/notas/estas-son-las-razones-por-las-que-el-rio-pilcomayo-esta-desapareciendo>.
- [7] R. González, U. González. (2013) ABC Color. [En Línea]. Disponible en: <http://www.abc.com.py/edicion-impresa/economia/historia-y-cultura-de-villamontes-estan-ligadas-al-rio-pilcomayo-611436.html>
- [8] *Asistencia Técnica para la Elaboración de los Estudios de Costos y Tarifas, Caracterización y Estudios de la Demanda de la Energía Eléctrica y formulación de Escenarios Económicos – Resumen Ejecutivo*, Estudios Energéticos Consultores, 2015.