

# Economic Dispatch of the Hybrid System of the Santa Cruz and Baltra Islands Incorporating the Randomness of Power of the Eolic and Solar Photovoltaic Systems

## Despacho Económico del Sistema Híbrido de las Islas Santa Cruz y Baltra Incorporando la Aleatoriedad de Potencia de los Sistemas Eólico y Solar Fotovoltaico

S.E. Bastidas<sup>1</sup>

H.N. Arcos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador*  
E-mail: sandra.bastidas@epn.edu.e; hugo.arcos@epn.edu.ec

### Abstract

In the present work a model is developed for the realization of the Economic Dispatch in the short term (24 hours of a typical day) of the Baltra and Santa Cruz Island Hybrid System (thermal, wind and solar photovoltaic generation) located in Galápagos.

Due to the randomness that the wind and solar resource presents (random variables), in order to introduce the Power of these renewable systems within the problem of the Economic Dispatch, a treatment is made to the random variables, using Montecarlo Simulations Techniques, for which, there is a three years of historical data base. For the Economic Dispatch is considered that the renewable sources deliver all the power determined in the treatment, but as it isn't enough to supply the load of hybrid system, the missing power is complemented by thermal generation. In the current work the storage systems or battery bank is not modeled.

To perform Economic Dispatch of the thermal generation, the optimal power flows are used, that look for minimizing the generation operating costs, using the interior point method.

*Index terms*— Montecarlo, random variable, probability density functions, root mean square error, optimal power flow.

### Resumen

En este trabajo se desarrolla un modelo para la realización del Despacho Económico a corto plazo (24 horas de un día típico) del Sistema Híbrido de las Islas Santa Cruz y Baltra (generación térmica, eólica y solar fotovoltaica) ubicada en Galápagos.

Debido a la aleatoriedad que presenta el recurso eólico y solar (variables aleatorias), para poder introducir la Potencia de estos sistemas renovables dentro del problema del Despacho Económico, se realiza un tratamiento a las variables aleatorias, utilizando las Técnicas de Simulaciones de Montecarlo, para lo cual, se cuenta con una base de datos históricos de tres años. Para el Despacho Económico se considera que las fuentes renovables entregan toda la potencia determinada en el tratamiento, pero como no es suficiente para abastecer la carga del sistema híbrido, la potencia faltante se la complementa con generación térmica. En el presente trabajo no se considera la modelación de sistemas de almacenamiento o banco de baterías.

Para realizar el Despacho Económico de la generación térmica, se utilizan los flujos óptimos de potencia, que buscan minimizar los costos operativos de generación, utilizando el método del punto interior.

*Palabras clave*— Montecarlo, variables aleatorias, funciones de densidad de probabilidad, raíz del error cuadrático medio, flujos óptimos de potencia.

Recibido: 04-04-2019, Aprobado tras revisión: 17-07-2019

Forma sugerida de citación: Bastidas, S.; Arcos, H. (2019). "Despacho Económico del Sistema Híbrido de las Islas Santa Cruz y Baltra Incorporando la Aleatoriedad de Potencia de los Sistemas Eólico y Solar Fotovoltaico". Revista Técnica "energía". No. 16, Issue I, Pp. 1- 7

SSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2019 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



## 1. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables no convencionales han aumentado su popularidad en estos últimos años debido a que este tipo de fuentes pueden reducir significativamente las emisiones de CO2 que producen los sistemas de generación que utilizan combustibles fósiles, proporcionando en muchos casos energía a zonas de difícil acceso y reduciendo costos de operación.

El principal problema que se encuentra asociado a los sistemas eléctricos que incorporan fuentes de generación eólicas y solares fotovoltaicas es el comportamiento aleatorio de su disponibilidad debido a que se encuentran ligadas fuertemente a condiciones ambientales de cada sitio.

Con el fin de que los sistemas de generación eólico y solar fotovoltaico operen de manera confiable, se deben implementar modelos que consideren la aleatoriedad de las variables estocásticas que afectan a la generación de potencia de las turbinas eólicas y paneles solares fotovoltaicos.

Varios trabajos e investigaciones se han realizado acerca de la predicción de potencia en sistemas eólicos y solares fotovoltaicos, destacándose las técnicas basadas en el Método de Simulaciones de Montecarlo (MSM) que se han utilizado en la evaluación de estos sistemas de generación, proporcionando resultados más precisos en comparación por ejemplo con los métodos analíticos [1].

En el presente trabajo se propone el uso de técnicas de Simulaciones de Montecarlo, conjuntamente con las funciones de distribución de probabilidad para la generación de escenarios de disponibilidad del recurso eólico y solar (velocidad del viento y radiación solar), para los meses de Abril (época de calor) y Diciembre (época de frío), logrando de esta manera determinar valores de potencia de fuentes renovables no convencionales e introducir estos valores en el problema del Despacho Económico del sistema híbrido (generación térmica, eólica y solar fotovoltaica). De esta manera se logra minimizar los costos de operación de los generadores térmicos y optimizar el uso de los recursos renovables en el corto plazo. Para el efecto se realizan flujos óptimos de potencia del Sistema Híbrido de las Islas Santa Cruz y Baltra ubicado en Galápagos.

## 2. TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES ESTOCÁSTICAS MEDIANTE TÉCNICAS DE SIMULACIONES DE MONTECARLO

### 2.1. Funciones de Densidad de Probabilidad

Las funciones de densidad de probabilidad (pdf) Normal y Weibull son utilizadas para aproximar los datos históricos de velocidad del viento y radiación solar. Debido a que algunas pdf describen mejor un

fenómeno que otras, de acuerdo con [2] y [3] la velocidad del viento en general se ajusta mejor a una distribución Weibull, aseveración que se basa en mediciones referenciales y no específicas a un determinado punto geográfico. En este trabajo, para datos históricos de velocidad del viento de las Islas Santa Cruz y Baltra, se realizará el ajuste correspondiente a con el objetivo de definir la mejor alternativa de función de distribución de probabilidad mediante el criterio de la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE).

#### 2.1.1 Distribución Weibull

Este tipo de distribución es adecuada para representar procesos estocásticos en los que se involucra variables que cambian en función del tiempo [4]. La función de densidad de probabilidad Weibull  $f(x)$  tiene dos parámetros importantes que la definen ( $k$  y  $c$ ) y es presentada en la expresión (1).

$$f(x) = \begin{cases} \frac{k}{c} \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-(x/c)^k}, & \text{si } x \geq 0; c, k > 0 \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases} \quad (1)$$

Donde  $x$ ,  $k$  y  $c$  son, la variable aleatoria, el factor de forma y el factor de escala. La función de distribución acumulada de Weibull está dada por:

$$F(x) = 1 - e^{-(x/c)^k} \quad (2)$$

Los parámetros o factores de forma y escala de la función Weibull son calculados, como se muestra en (3) y (4):

$$k = \left(\frac{\sigma}{m}\right)^{-1.086} \quad (3)$$

$$c = \frac{m}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (4)$$

Donde  $m$  y  $\sigma$  son la media y desviación estándar respectivamente y  $\Gamma()$  es la función Gamma.

#### 2.1.2 Distribución Normal

Este tipo de distribución es ampliamente utilizada para representar fenómenos naturales [5]. La función de densidad de probabilidad Normal  $f(x)$  tiene dos parámetros importantes que la definen ( $\sigma$  y  $m$ ) y es presentada en la expresión (5).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty \leq x \leq +\infty \quad (5)$$

De la expresión anterior, la variable  $x$  representa a la variable aleatoria y a la función de distribución

acumulada no tiene forma analítica ya que su representación matemática es compleja, pero se puede utilizar el método de Box Muller [6].

Los parámetros desviación estándar y valor medio de la función Normal son calculados según:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \tag{6}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m - x_i)^2}{n - 1}} \tag{7}$$

**2.2. Evaluación de las pdf Mediante el RMSE**

Para determinar si la distribución Weibull o Normal es la más adecuada para la evaluación de los datos reales u de observación, se utiliza el criterio de la RMSE, el cual está basado en técnicas estadísticas [7].

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - y_{ic})^2} \tag{8}$$

Donde  $n$ ,  $y_i$  y  $y_{ic}$  son, el número de variables, variables reales (datos) y valores según la función de distribución acumulada.

**2.3. Método de Simulaciones de Montecarlo para Generar Escenarios de Velocidad del Viento y Radiación Solar**

Técnicamente hablando, Montecarlo es un proceso estocástico numérico, es decir, una secuencia de estados cuya evolución viene determinada por sucesos aleatorios. Las Simulaciones de Montecarlo sirven para generar números aleatorios o pseudo-aleatorios, para estos últimos se deben tener datos de entrada, donde esos datos serán los que definen a las funciones de probabilidad como: media, desviación estándar, factor de forma, factor de escala, etc.

Los valores generados por el método de simulaciones de Montecarlo que utilizan números pseudo-aleatorios tienen las mismas características de acuerdo a la distribución de probabilidad escogida.

Para determinar pronósticos de velocidad del viento y radiación solar se utiliza el método de simulaciones de Montecarlo aplicado a las funciones de distribución inversa acumulada (cdf) Normal o Weibull, según corresponda.

La función de probabilidad P que modela la variable estocástica de estudio en un espacio R y la variable aleatoria x de distribución P, se describen mediante [8]:

$$F : x \in R \rightarrow (x) = P([-\infty, x]) = P(X \leq x) \tag{9}$$

$$F^{-1} : u \in [0,1] \rightarrow F^{-1}(u) = \inf \{y \in R : F(y) \geq u\} \tag{10}$$

Donde P,  $F^{-1}$  e  $\inf$  representan, la función de probabilidad, función inversa de la cdf y mínimo de la función respectivamente.

La generación de escenarios mediante el Método de Simulaciones de Montecarlo, asociada con la transformada inversa de la cdf, logra obtener escenarios de las variables estocásticas velocidad del viento y radiación solar [2]. Estas variables se utilizan para la determinación de escenarios de potencia de los sistemas eólicos y solares fotovoltaicos que se encuentren instalados o aquellos cuyos estudios de disponibilidad del recurso se estén desarrollando.

En la Fig.1 se muestra el procedimiento de las variables estocásticas al utilizar el MSM, en donde se generan varios estados de operación y el valor esperado.

**3. CÁLCULO DE POTENCIA EN SISTEMAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES**

Con las variables de velocidad del viento y radiación solar de una hora previamente obtenidos se puede realizar el cálculo de la potencia que entregarán los aerogeneradores y paneles solares fotovoltaicos tal como se indica a continuación.

**3.1. Aerogeneradores**

La velocidad del viento aprovechada por el aerogenerador tiene límites establecidos y viene dada por una curva particular como la que se presenta en la Fig. 2 [9].



Figura 2: Curva Típica de Potencia de un Aerogenerador

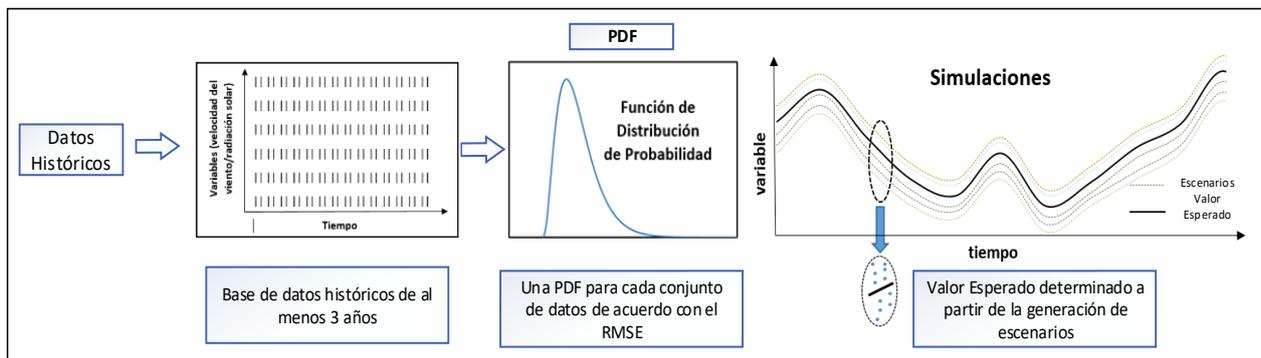


Figura 1: Proceso de los Datos Históricos para la Generación de Escenarios Mediante el MSM



En la figura anterior se aprecia que solo se puede generar potencia eléctrica entre  $v_i$  y  $v_o$ , fuera de esos límites la potencia de salida es igual a cero.

El cálculo de la potencia eólica se realiza utilizando las características técnicas de la turbina eólica como se muestra en la expresión (11) de acuerdo con [10].

$$P_{output} \begin{cases} 0, & \text{para } v < v_i \text{ y } v > v_o \\ W_r \cdot \left( \frac{v - v_i}{v_r - v_i} \right)^3, & \text{para } v_i \leq v < v_r \\ W_r, & \text{para } v_r \leq v < v_o \end{cases} \quad (11)$$

Donde  $v_i, v_o, v_r$  y  $W_r$ , son velocidad del viento de inicio, corte, nominal y potencia nominal respectivamente.

### 3.2. Paneles Solares Fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos constan de varias celdas que convierten la radiación solar en energía eléctrica. La potencia que entregan los paneles fotovoltaicos depende de algunos factores; por ejemplo, número de módulos (paneles), condiciones climáticas, temperatura y otros parámetros que se encuentran disponibles en las hojas de datos de los fabricantes. De acuerdo con [11] la potencia que entregarían estos sistemas de generación eléctrica se determina como sigue.

$$P_{pv} = \left[ P_{pv,ST} \cdot \frac{irrad}{1000} \cdot [1 - C_i \cdot (T_j - 25)] \right] \cdot N_{pvs} \cdot N_{pvp} \quad (12)$$

$$T_j = T_{amb} + \frac{irrad}{800} \cdot (NOCT - 20) \quad (13)$$

Donde  $P_{pv,ST}, irrad, C_i, T_j, N_{pvs}, N_{pvp}, T_{amb}$  y  $NOCT$  son la potencia nominal de cada módulo, radiación solar en  $[W/m^2]$ , coeficiente de temperatura en  $[^\circ C]$ , temperatura de la celda en  $[^\circ C]$ , número de módulos en serie, número de módulos en paralelo, temperatura ambiente en  $[^\circ C]$  y temperatura nominal de operación de la celda en  $[^\circ C]$ .

## 4. MODELO DE DESPACHO ECONÓMICO

La función objetivo es la minimización de costos sujeta a restricciones de seguridad del sistema eléctrico de potencia. El Flujo Óptimo de Potencia (OPF) utilizado para la realización del Despacho Económico se muestra a continuación.

### 4.1. Formulación y Descripción del OPF

$$FO = Min \left[ \sum_{i=1}^n Co_i \cdot (PG_i) \right] \quad (14)$$

Sujeto a:

$$P_i^{min} \leq PG_i \leq P_i^{max} \quad (15)$$

$$Max\_load_d = [porcentaje] \quad (16)$$

$$V_j^{min} \leq V_j \leq V_j^{max} \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^M PG_{i,t} + \sum_{k=1}^N w_{k,t} + \sum_{e=1}^T pv_{e,t} = L_t \quad (18)$$

La función objetivo que incluye a los generadores térmicos se la representa como una función lineal [12]:

$$Co_i \cdot (PG_i) = a_i + b_i \cdot PG_i \quad (19)$$

Donde  $a_i$  y  $b_i$  son los coeficientes de costos de cada generador térmico por lo tanto, (19) es una función lineal.

Las restricciones consideradas en la minimización están representadas por:

- 1) Límites máximos y mínimos de generación de potencia activa (15), donde los generadores térmicos operan de forma segura.
- 2) Límites de flujo (16), esta restricción indica un valor máximo de carga de los elementos (líneas y transformadores).
- 3) Límites máximos y mínimos de voltaje en las barras (17).
- 4) Balance de potencias (18), esta restricción indica que debe existir un equilibrio entre la carga-pérdidas  $L_t$  y la generación térmica, eólica  $w_{k,t}$  y solar fotovoltaica  $pv_{e,t}$ .

En el balance de potencias, se considera para las fuentes de generación eólica y solar fotovoltaica que para cada instante de tiempo  $t$ , irán entregando los valores de potencia resultantes según de la predicción de sus variables aleatorias (velocidad del viento y radiación solar) mediante el MSM.

## 5. ALGORITMO PROPUESTO

A continuación, se presenta un resumen de los pasos seguidos en la obtención del Despacho Económico del Sistema Híbrido térmico-eólico-solar fotovoltaico de las Islas Galápagos.

- 1) Ingreso en Excel de datos históricos horarios de velocidad del viento y radiación solar de al menos 3 años de una temporada escogida.

- 2) Cálculo de parámetros de las funciones de distribución,  $m$ ,  $\sigma$ ,  $k$  y  $c$  para cada hora.
- 3) Calculo del RMSE con los datos históricos.
- 4) Almacenamiento de los parámetros de las pdf y datos de carga y temperatura ambiente.
- 5) Ingreso del sistema híbrido constituido por generación térmica, eólica y solar fotovoltaica.
- 6) Generación de números pseudo-aleatorios uniformemente distribuidos y predicción de la velocidad del viento y radiación solar.
- 7) Determinación hora a hora de potencia de los aerogeneradores y paneles solares fotovoltaicos en base a los datos técnicos de cada unidad de generación.
- 8) Simulación de flujos óptimos de potencia, 20,000 simulaciones por cada periodo horario.
- 9) Presentación y análisis de resultados.

## 6. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

### 6.1. Descripción del Sistema (colocar)

El Sistema Híbrido de las Islas Santa Cruz y Baltra (Fig.3) [13], cuenta con:

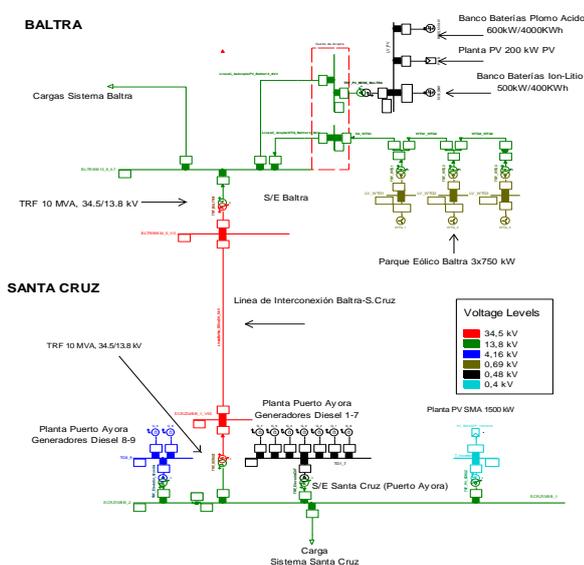


Figura 3: Sistema Híbrido de las Islas Santa Cruz y Baltra, 2012.

- 1) Generación Térmica: Conformada por 9 generadores ubicados en Puerto Ayora con una potencia total efectiva de 7,25 [MW].
- 2) Generación Eólica: Parque eólico conformado por 3 aerogeneradores ubicados en Baltra, con una potencia total instalada de 2,25 [MW].
- 3) Generación Solar Fotovoltaica: Cuenta con dos parques de generación solar fotovoltaica, uno ubicado en Baltra con una potencia de 65

[kWp] y el otro ubicado en Puerto Ayora con una potencia de 1,5 [kWp].

### 6.2. Resultados

Los resultados obtenidos se presentan a través de sus valores esperados para días representativos de los meses de Abril y Diciembre. Un análisis probabilístico de las condiciones operativas de la Línea de Interconexión de Santa Cruz- Baltra es detallado para el mes de Abril.

#### 6.2.1. Valor Esperado para Abril y Diciembre (energía)

Los valores esperados de energía para un día típico (24 horas) de los meses de Abril y Diciembre son los siguientes:

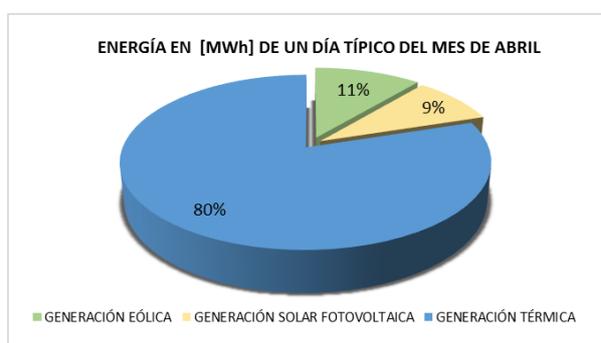


Figura 4: Energía Total de un Día Típico del mes de Abril

En la figura anterior se observan los porcentajes de energía que entrega cada tipo de generación presente en el sistema híbrido, se aprecia que el 20% de la energía generada se distribuye entre generación eólica y solar fotovoltaica en tanto que el 80% corresponde a generación térmica obtenida para un día típico del mes de Abril.

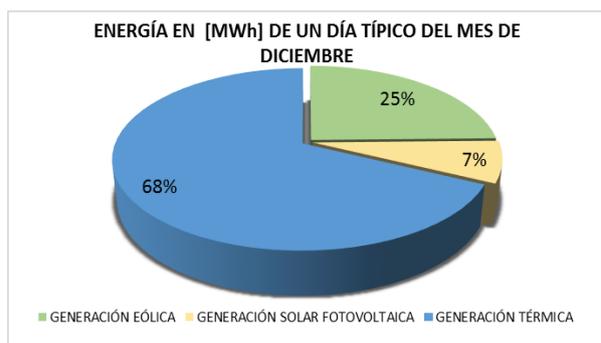


Figura 5: Potencia Total de un Día Típico del mes de Diciembre

En la figura anterior se observan los porcentajes de energía que entrega cada tipo de generación presente en el sistema híbrido, se aprecia que el 32% de la energía generada se distribuye entre generación eólica y solar fotovoltaica en tanto que el 68% corresponde a generación térmica obtenida para un día típico del mes de Diciembre, reduciendo en este mes significativamente el consumo de combustibles fósiles.

### 6.2.2. Comparación Económica del mes de Abril

Para realizar esta comparación se utiliza el costo referencial de generación térmica [14] de 0,117 [US\$/kWh], y el consumo mensual de energía térmica [15] de 3.016,60 [MWh]. En la Tabla 1 se presenta una comparación de la cantidad de energía térmica requerida con y sin la aplicación de la metodología del Despacho Económico propuesto.

**Tabla 1: Comparación de la Energía real 2017 vs pronóstico – Despacho Económico del mes de Abril**

	Energía Abril [MWh]	Costo referencial [US\$/MWh]	Costo mensual [USD]
Energía térmica real	3.016,60	117,012	352978,399
Energía térmica aplicando el Despacho Económico	2.979,50	117,012	348637,254

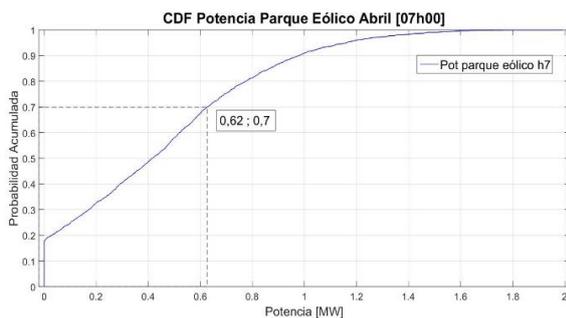
De la tabla anterior se desprende que con la aplicación de la metodología propuesta se tendría un ahorro de 4341,14 USD.

### 6.2.3. Análisis Probabilístico

Para el análisis probabilístico de las simulaciones se presentan histogramas, con el fin de entender y analizar el comportamiento de los valores obtenidos.

#### 6.2.3.1. Parque eólico Abril [07h00]

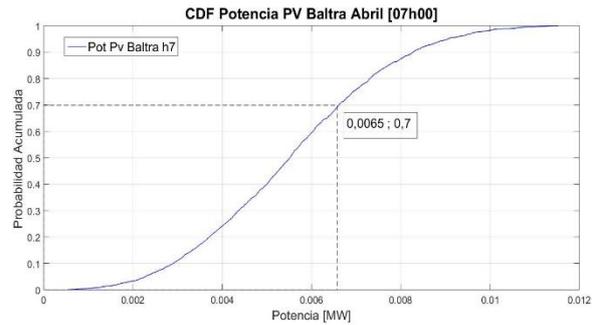
En el parque eólico, la probabilidad de que se tengan potencias menores o iguales a 0,62 [MW] en el mes de Abril para las 07h00 es del 70%, como se presenta en la Fig. 6, además la probabilidad de que no se genere potencia es del 19%, lo cual se debe a la curva del aerogenerador, ya que un valor de velocidad del viento menor a 2,5 [m/s] la salida de potencia es cero.



**Figura 6: CDF de la Potencia del Parque Eólico del mes de Abril, 07h00**

#### 6.2.3.2. Parque Solar Fotovoltaico [07h00]

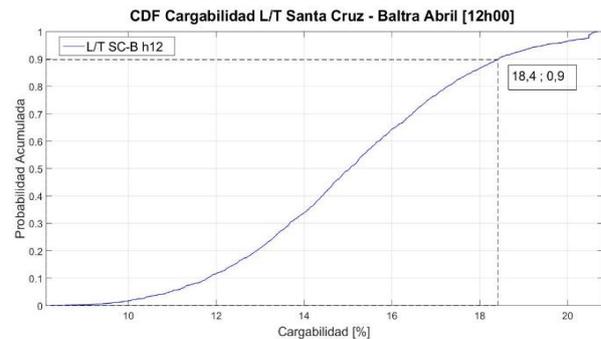
La probabilidad de que se tengan potencias menores o iguales a 0,0065 [MW] es del 70%, como se presenta en la Fig. 7.



**Figura 7: CDF de la Potencia de la Planta Solar PV Baltra del mes de Abril 07h00**

#### 6.2.3.3. Línea de Interconexión

En la Fig. 8 se presenta la cdf de la cargabilidad de la Línea de Interconexión Baltra – Santa Cruz para las 12h00 de un día típico del mes de abril, donde se observa que el valor máximo de cargabilidad es del 21% y que la probabilidad de tener valores menores o iguales a 18,4 % de cargabilidad en esta línea es del 90%.



**Figura 8: CDF Cargabilidad L/T Santa Cruz-Baltra Abril [12h00]**

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En varias bibliografías que no realizan el análisis del RMSE afirman que en general el perfil de viento sigue una distribución de Weibull lo cual no sucedió en este trabajo, quedando en evidencia que cada sitio se comporta de manera diferente y sus datos pueden ajustarse mejor a una distribución que a otra.

El análisis de cargabilidad realizado para la línea de Interconexión Baltra - Santa Cruz, demuestra que para esta línea se registra un valor esperado de 18% de cargabilidad. En función de esto se concluye que esta línea puede soportar planes de expansión en los que se considere el incremento de la demanda y/o generación eléctrica.

El contar con una herramienta computacional para determinar el Despacho Económico horario de un sistema híbrido ayuda a tener una mejor planificación del abastecimiento de combustibles fósiles para que en ningún momento exista desabastecimiento.

Para un futuro estudio se recomienda realizar un Unit Commitment, con la finalidad de minimizar costos, definiendo cuales serían los generadores térmicos que

arrancan y además analizar márgenes de reserva de acuerdo con las incertidumbres en el pronóstico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Abdelaziz, Y. Hegazy, W. El-Khattam and M. Othman, "Optimal allocation of stochastically dependent renewable energy based distributed generators in unbalanced distribution networks", *Electric Power Systems Research*, vol. 119, pp. 34-44, 2014.
- [2] S. Talari, M. Haghifam and M. Yazdanejad, "Stochastic-based scheduling of the microgrid operation including wind turbines, photovoltaic cells, energy storages and responsive loads", *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 9, no. 12, pp. 1498-1509, 2015.
- [3] Atwa, Y. Optimal Renewable Resources Mix for Distribution System Energy Loss Minimization - *IEEE Journals & Magazine*. [Online] Ieeexplore.ieee.org, 2010 Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5298970>
- [4] Zapata, "Análisis Probabilístico y Simulación", Universidad Tecnológica de Pereira, 2010.
- [5] G. Martín Reyes, "La función de probabilidad normal: Características y aplicaciones", 2012. [Online]. Available: <http://www.extoikos.es/n6/pdf/16.pdf>.
- [6] "Método de Box-Muller", Los diccionarios y las enciclopedias sobre el Académico [Online]. Available: <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/80118>.
- [7] P. Vale, "Energy assessment of photovoltaic conversion systems", 2015.
- [8] S. Montoya Salazar and W. Valenzuela Idarraga, "Impacto de la generación fotovoltaica en un sistema de distribución local", *Hdl.handle.net*, 2015. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11059/5783>.
- [9] Y. Atwa, "Distribution System Planning and Reliability Assessment under High DG Penetration", *Uwspace.uwaterloo.ca*, 2010. [Online]. Available: <https://uwspace.uwaterloo.ca/handle/10012/5011>.
- [10] J Hetzer, D. Yu and K. Bhattarai, "An Economic Dispatch Model Incorporating Wind Power", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 23, no. 2, pp. 603-611, 2008.
- [11] Y. Riffonneau, S. Bacha, F. Barruel and S. Ploix, "Optimal Power Flow Management for Grid

Connected PV Systems with Batteries", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 2, no. 3, pp. 309-320, 2011.

- [12] F. Vinuesa Gomez, "Flujo óptimo de potencia", 1984. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6781/1/T615.pdf>.
- [13] G. DigSILENT "Estudios eléctricos y de operación del sistema híbrido Galápagos" – 2012.
- [14] J. Layedra Talla, "Optimización de Pérdidas de Potencia Activa en el Sistema de las Islas Santa Cruz y Baltra, Utilizando un Algoritmo de Enjambre de Partículas (PSO)", *Bibdigital.epn.edu.ec*, 2015. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10589>.
- [15] "INDICADORES DE GESTION 2017 – Empresa Eléctrica de Galápagos", *Elecgalapagos.com.ec*. [Online]. Available: <http://www.elecgalapagos.com.ec/newsite/indicadores-de-gestion/>.



### **Sandra Bastidas Morocho.**

Nació en Quito, Ecuador en 1991. Sus estudios secundarios los realizó en el Colegio "Nacional General Pintag" de la ciudad de Quito. Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional en la Carrera de Ingeniería Eléctrica. Sus áreas de interés son: Energías Renovables no Convencionales, Redes Inteligentes, entre otras.



### **Hugo Arcos Martínez.**

Nació en Quito, Ecuador, en 1972. Recibió el título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional en 1998, y el de Doctor en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Nacional de San Juan en 2003. Ha desarrollado su carrera profesional en diversas instituciones del Sector Eléctrico Ecuatoriano y actualmente se desempeña como Coordinador de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional. Sus áreas de interés son: Modelación en Sistemas Eléctricos de Potencia, Estudios de Transitorios Electromagnéticos y Electromecánicos, Redes Inteligentes, Energías Renovables, Confiabilidad de SEP, Planificación de Sistemas de Potencia, entre otras.