



## **Análisis de los datos adquiridos del sistema de monitoreo de una planta de generación híbrida fotovoltaica – eólica localizada en Joel Estigarribia, chaco paraguayo**

**Clara Almirón, Enrique Flecha, Jorge Arrúa, Tamatía Colmán**

**Fundación Parque Tecnológico Itaipu**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

En proyectos de instalación de plantas de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables alternativas, es de suma importancia contar con datos históricos de las condiciones climatológicas como la radiación global solar, temperatura, velocidad y dirección de viento, entre otros, para determinar la viabilidad del desarrollo del proyecto, como también las especificaciones y equipos que componen el sistema.

Este estudio estadístico basado en datos meteorológicos adquiridos del sistema de monitoreo remoto de la planta fotovoltaica híbrida y la planta de generación eólica instalada en la 1ra Caballería complejo militar de la Div. “Gral Bernardino Caballero”. La planta de generación híbrida es parte del Proyecto SELAC-Py (Seguridad Energética para localidades aisladas del Chaco Paraguayo). Los parámetros seleccionados para este estudio son irradiancia global, temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento.

### **PALABRAS CLAVES**

WSN, monitoreo remoto, análisis de datos.

## 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente en algunas zonas menos pobladas de la Región Occidental (Chaco) del Paraguay, no se cuenta con cobertura eléctrica. Esta situación se debe en gran medida a la importante distancia de localización de dichos puntos a las líneas del Sistema Interconectado Nacional - SIN de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), que conllevaría a una considerable inversión en materia de infraestructura necesaria para la instalación de un sistema de transmisión.

La alternativa tradicional a esta dificultad en las comunidades aisladas, es la utilización de generadores diesel. Éstos no están exentos de problemas: son ruidosos, requieren frecuentes tareas de mantenimiento, contribuyen al calentamiento global con sus emisiones de carbono y la utilización de éstos no es económica, considerando los precios de los combustibles en aumento y los costos del transporte hasta el sitio de consumo, impiden su rentabilidad, además de las dificultades que habitualmente se presentan en las vías de acceso a estas comunidades, después de importantes precipitaciones. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Dentro de este contexto se encuentra la 1ra División de Caballería de la localidad de Joel Estigarribia, un local aislado de la zona del Chaco, cuya misión estratégica es custodiar la integridad territorial en su área de responsabilidad además de ser un soporte social para su zona de influencia.

La problemática presentada consistía en que pese a que el destacamento cuenta con construcciones de relativa importancia, su abastecimiento energético a través de un generador diésel era de solo un par de horas al día, debido a la limitación del combustible fósil; en consecuencia, varias actividades esenciales del personal se veían afectadas, tales como: atención de la salud, refrigeración de medicamentos, alimentos, comunicación y agua potable.

De ahí surge la necesidad de dotar con un sistema de energía eléctrica de tiempo completo al puesto militar, razón por la cual se llevó a cabo el proyecto denominado “Seguridad Energética en Localidades Aisladas del Chaco Paraguayo” (SELAC-PY), proyecto desarrollado por el Centro de Innovación en Automatización y Control (CIAC) de la Fundación Parque Tecnológico Itaipu – Paraguay (FPTI-Py) y la Asesoría de Energías Renovables (ER.GP) de la Itaipu Binacional.

La solución propuesta consistió en implementar un Sistema de Generación Híbrido de Energía Eléctrica (SGH), que garantice el suministro seguro y sostenible de energía mediante el uso de energías solar, eólica y otras fuentes, en la 1ra División de Caballería General Bernardino Caballero – Chaco Paraguayo, como unidad demostrativa piloto e investigativa a ser expandida a otras comunidades aisladas del Paraguay; además de un sistema de Monitoreo remoto basado en sensores inalámbricos para supervisar y optimizar el funcionamiento del SGH.

Los datos adquiridos del sistema de monitoreo son utilizados en este artículo con el objetivo de brindar mayor información acerca de las condiciones meteorológicas en esta región del país y su incidencia en el sistema de generación; a través del procesamiento y análisis de los mismos.

## 2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE MONITOREO

El sistema está compuesto por una red de sensores inalámbricos autónomos (WSN, por sus siglas en inglés) con una topología mesh, que permite una configuración dinámica de enlaces entre nodos para la adquisición remota de datos tales como de radiación global, velocidad, dirección de viento, temperatura, humedad y presión atmosférica en intervalos de tiempo específico y transmitir los

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

datos inalámbricamente a un concentrador. El intervalo del tiempo de muestreo se establece cada una hora a fin de obtener un ahorro energético de la WSN. La frecuencia seleccionada para esta aplicación es de 2.405GHz con lo cual permite que cada nodo sensor se comuniquen con el concentrador a través del estándar de comunicación ZigBee, basado en el estándar IEEE 802.15.4. El servidor, ubicado en las instalaciones del Data Center de la FPTI-Py, cuenta con una plataforma de monitoreo central para el procesamiento, presentación y análisis de datos (Figura 1).

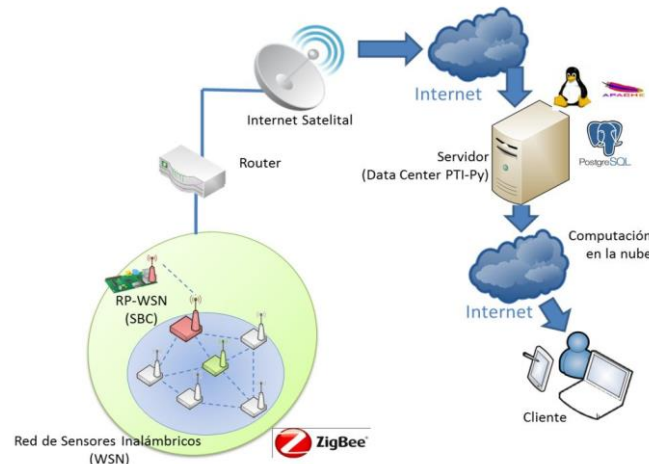


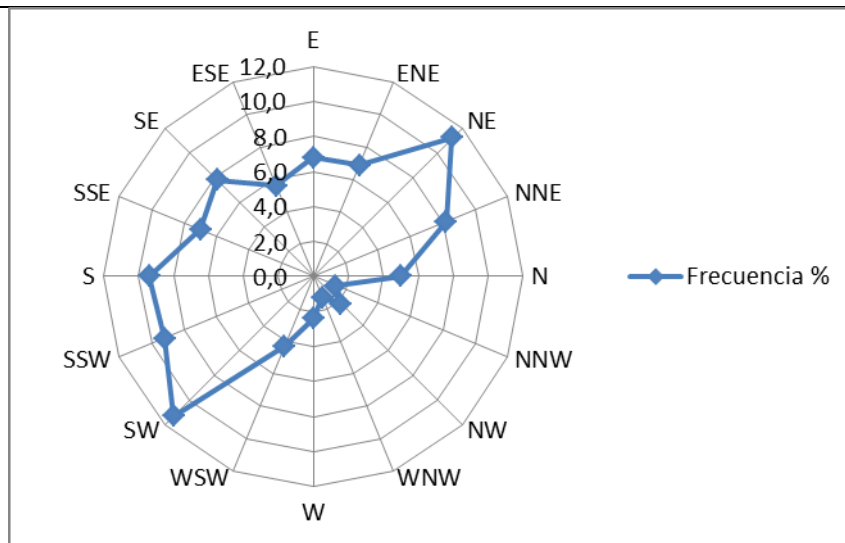
Figura 1: Sistema de monitoreo de la planta híbrida de generación solar y eólica.

### 3 RESULTADOS DE ENSAYOS EN CAMPO

#### 3.1. Ensayo con el anemómetro y vano de viento

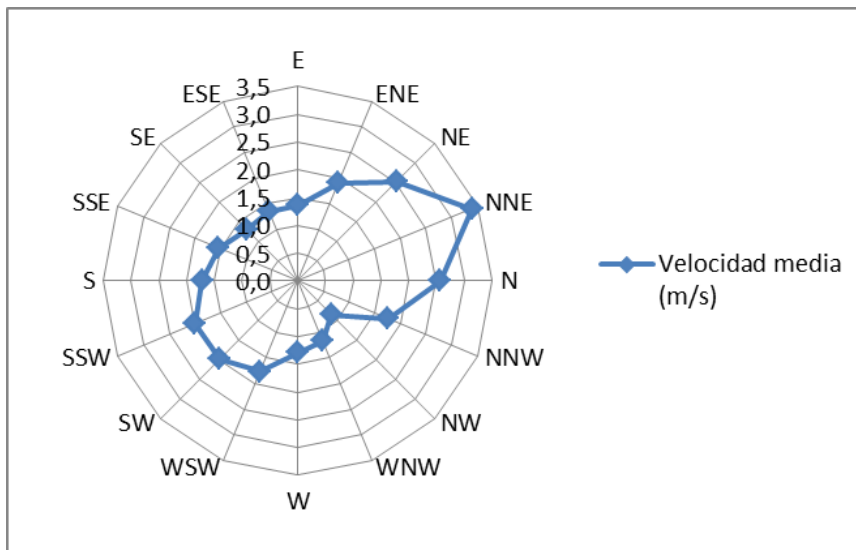
El registro de la velocidad y dirección del viento permite conocer, para cada posición geográfica, sus características como viento local. Así, el diagrama más usado es la rosa de los vientos. Se trata de un diagrama polar que representa el tanto por ciento de viento con la dirección indicada en módulo su escala de velocidad media. De la misma forma se puede añadir en el mismo diagrama la potencia en función de la dirección. Se obtiene así la rosa de los vientos de potencia. A continuación se presentan los resultados luego de realizar los ensayos con el anemómetro (velocidad) y vano de viento (dirección).

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016



**Figura 2: Rosa de viento – Frecuencia**

En la figura 2 se verifica que la frecuencia más elevada de la velocidad del viento se da en la dirección SW con 11.3%, y NE con 11.2% y la menor frecuencia en la dirección WNW con 1.3%



**Figura 3: Rosa de viento – Velocidad media (m/s)**

En la figura 3 se presenta la velocidad máxima promedio de 3.4m/s en la dirección NNE, y la velocidad mínima de 0.8 en la dirección NW.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

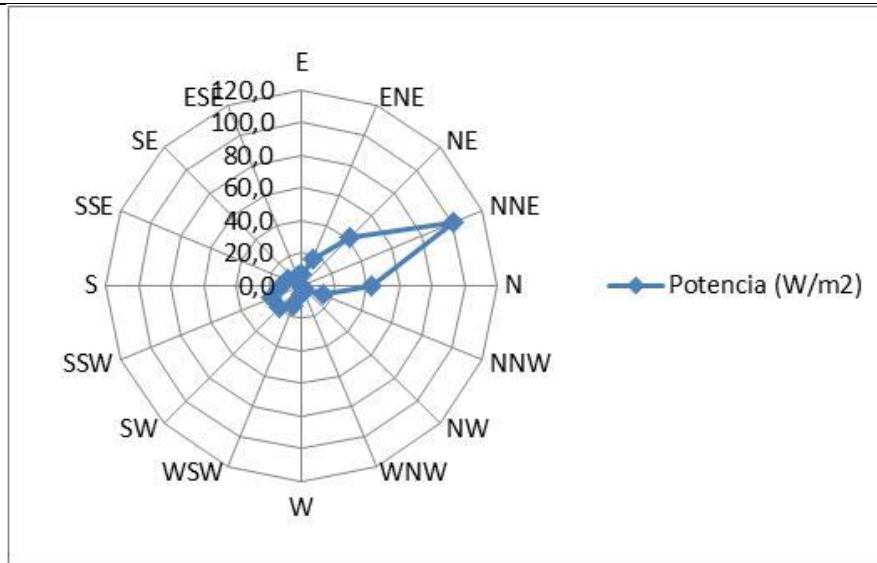


Figura 4: Rosa de viento – Potencia (W/m<sup>2</sup>)

De la figura 4 se deduce que la potencia máxima del generador eólico se da en la dirección NNE con 100.8 W/m<sup>2</sup> y la potencia mínima en la dirección NW con 1.6 W/m<sup>2</sup>.

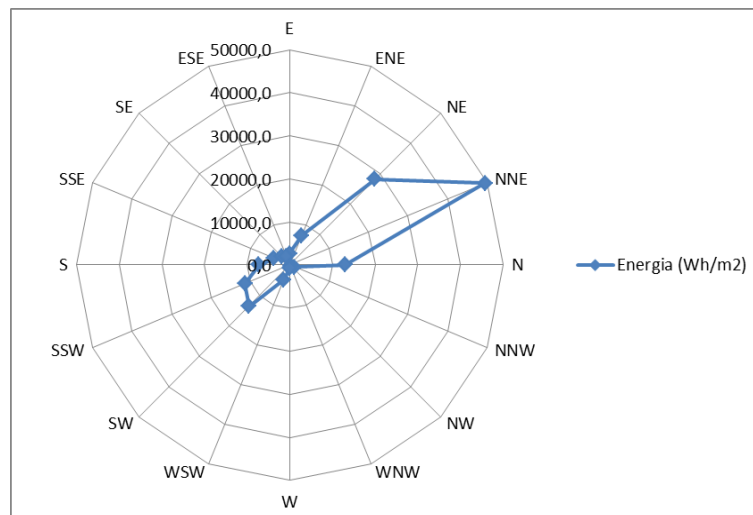
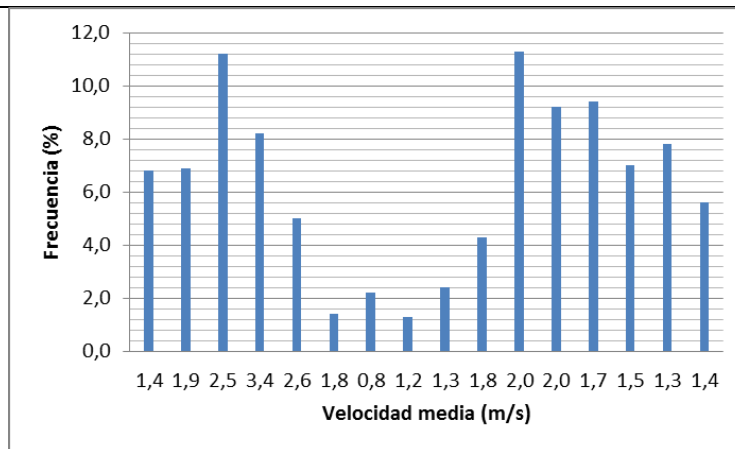


Figura 5: Rosa de viento – Energía (Wh/m<sup>2</sup>)

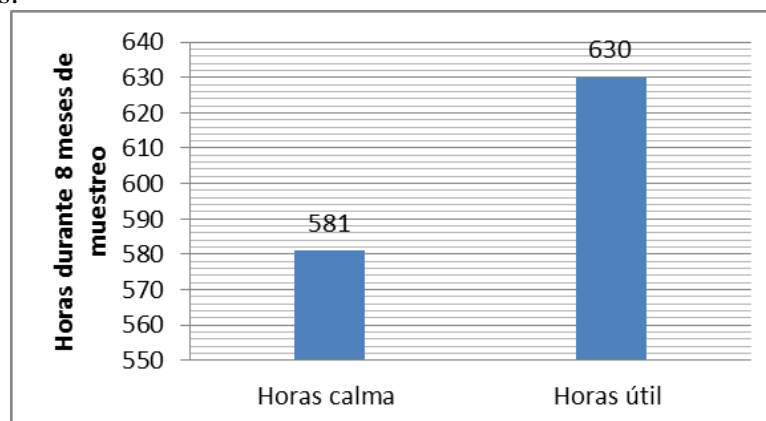
En cuanto a la energía el mayor valor se da en la dirección NNE con 49600,1 Wh/m<sup>2</sup> y el menor valor se da en la dirección NW con 207,3 Wh/m<sup>2</sup>.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016



**Figura 6: Distribución de frecuencia en función de la velocidad media.**

La curva de distribución de frecuencias de velocidades es otra forma de representar la información del viento, pero en este caso se representa el valor de la velocidad independiente de su orientación, que en definitiva es el valor que nos facilita la potencia del viento. En esta figura se puede observar que la Frec. Máx es de 11,3% para una velocidad media de 2m/s y la Frec. Mín. de 1,3% para una velocidad de 1,2m/s.

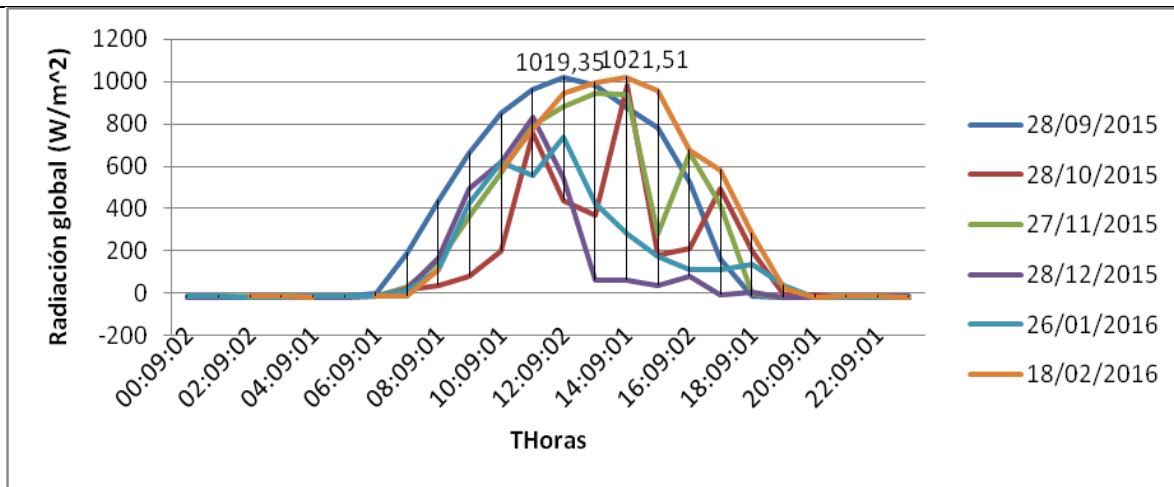


**Figura 7: Horas con vientos útiles durante los 8 meses de muestreo**

En la figura 7 se puede observar un 11,18% (630 horas) aproximadamente de horas durante el periodo de muestreo (8 meses) con vientos aprovechables para la generación eólica (más de 13km/h, grado de Beaufort= 3), en tanto que el período de calma (menor a 3km/h, grado de Beaufort = 0) corresponde a 10,31% (581 horas).

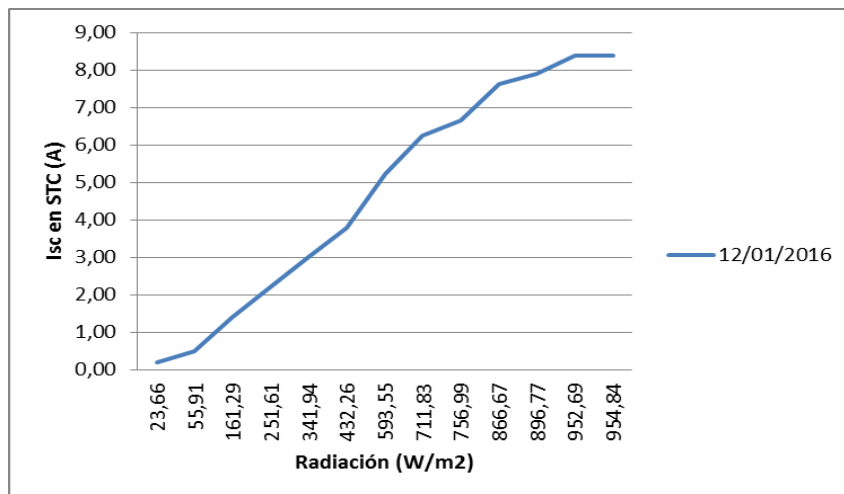
### 3.2. Ensayo con el piranómetro

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016



**Figura 8: Perfiles diarios de radiación solar global**

En la figura 8 se presentan los perfiles diarios de radiación solar global medidos en días caracterizados por condiciones climáticas diferentes, por ejemplo el 28/09/15 siendo el día más despejado de la muestra analizada para este trabajo, en tanto que el 28/12/15 el día más nublado en comparación con los 6 días seleccionados (1 de cada mes). Se observa además que la radiación fue cambiando con los meses, en principio el rango positivo abarca desde las 6:00hs hasta las 18:00hs (curva azul) trasladándose desde las 07:00 hasta las 19:00hs aproximadamente (curva naranja). De estas muestras seleccionadas el punto de mayor valor registrado fue de 1021,51 W/m<sup>2</sup>, valor registrado el día 18/02/2016.

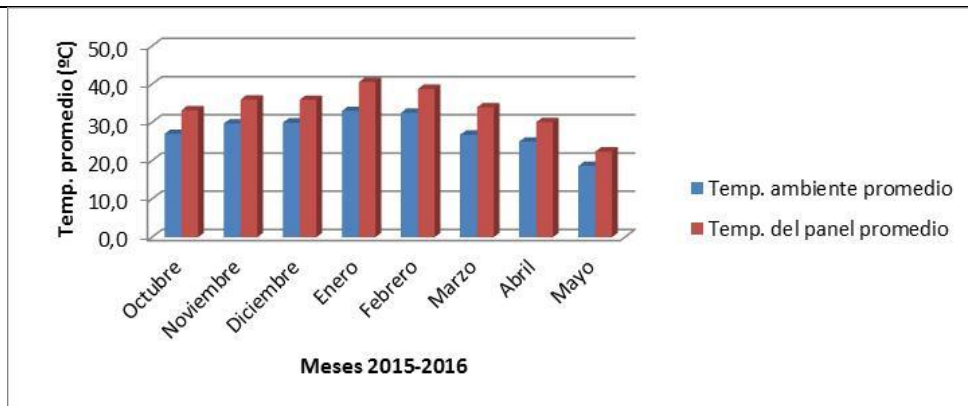


**Figura 9: Corriente en corto circuito (Isc) en función de la radiación**

La corriente Isc es la corriente del panel solar en la cual la tensión en abierto Voc=0V, y como se puede ver en la figura 9 Isc aumenta al incrementar la radiación; debido a que la tensión varía poco con la irradiancia, para efectos prácticos se puede considerar constante, razón por la cual se realizó solo un estudio de la dependencia de la Isc con relación a la radiación.

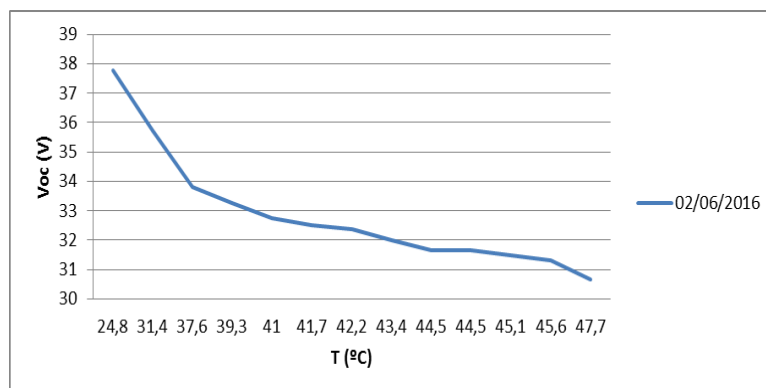
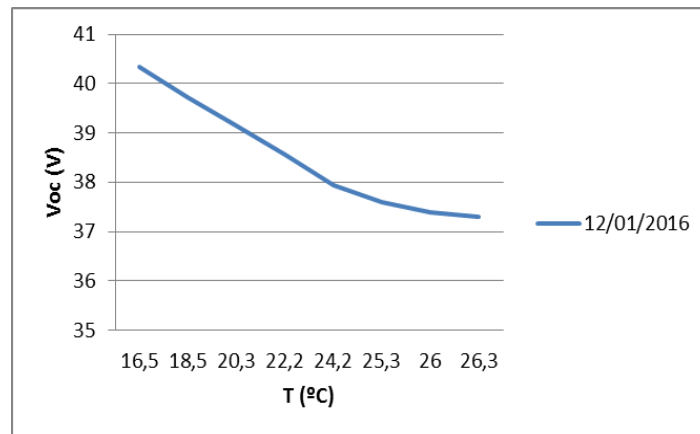
### 3.3. Ensayo con el sensor de temperatura

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016



**Figura 10: Distribución mensual de la temperatura promedio**

En la figura 10 se presenta la máxima temperatura promedio del ambiente registrada en el mes de enero con 33°C y la máxima temperatura promedio del panel registrada en el mismo mes con 41°C. Es importante mencionar que la temperatura de trabajo de una celda solar depende de la temperatura ambiente y del valor de la radiación. Para este caso el valor de la temperatura de operación nominal de la célula (TONC) es de 45°C, obtenido de la hoja característica del módulo fotovoltaico.



**Figura 11: Tensión en circuito abierto (Voc) en función de la temperatura**

En la figura 11 se observa que a medida que la temperatura ambiente aumenta la tensión en abierto Voc del panel solar disminuye. Este comportamiento es típico de todos los dispositivos basados en



XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

semiconductores. Cuanto menor sea la tensión, menor es la energía producida por la celda solar y por ende menor la eficiencia del panel.

Sin embargo, según las mediciones de temperatura obtenidas durante el periodo de muestreo (8 meses) el 42,45% corresponde a  $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ; el 49,31% a  $>25^{\circ}\text{C}$  y  $<40^{\circ}\text{C}$ ; en tanto que solo el 8,24% supera los  $40^{\circ}\text{C}$ . Como puede apreciarse en la figura no hay un decremento significativo entre  $25^{\circ}\text{C}$  y  $40^{\circ}\text{C}$ , rango de temperatura más registrado durante estos meses; por tanto no hay un cambio significativo en la eficiencia del panel.

#### 4 CONCLUSIONES

La utilización de WSNs para el monitoreo remoto de datos meteorológicos en localidades alejadas del Chaco Paraguayo surge como una opción viable citándose como beneficios destacables su autonomía energética, fácil instalación de los nodos, bajo costo, escalabilidad, versatilidad a la hora de adicionar nuevos sensores inclusive actuadores.

En función a la confiabilidad de la transmisión de datos, cabe resaltar el uso de redes tipo mesh, que permite una configuración dinámica de enlaces entre nodos cuya gestión es realizada por los mismos de forma automática. La posibilidad de localizar el nodo sensor en cualquier ubicación donde se logre alcance de radio para la transmisión de los datos, pudiendo inclusive en caso de que un nodo no tenga conexión directa con el concentrador, transmitirlo por intermedio de otros nodos sensores, esto implica una ventaja considerable con respecto a sistemas cableados tradicionales e inclusive otros sistemas de monitoreo inalámbricos.

El procesamiento y análisis estadísticos de los datos proporcionados por los sensores actualmente son utilizados como base para monitorear el desempeño del sistema de generación de energía instalado en la 1ra división de Caballería y a futuro podrán servir para hacer estudios de manera a optimizar y/o ampliar el sistema de generación de energía.

#### 5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] J. Cudas, M. Scavone, "Solución Energética Renovable para el cuartel Joel Estigarribia, Dpto. de Boquerón, Chaco", 2011.
- [2] S. Manzano, D. Guevara, A. Ríos. "Evolución Tecnológica de los sistemas Remotos de Monitoreo en las Instalaciones Fotovoltaicas". Revista Politécnica, vol. 36, No. 1, Septiembre 2015.
- [3] R. Ma, Y. Wang and C. Lee, "Wireless Remote Weather Monitoring System Based on MEMS Technologies", 2011, pp. 2715-2727.
- [4] M. Fauzi Othmana, K. Shazali, "Wireless Sensor Network Applications: A Study in Environment Monitoring System", Procedia Engineering, Vol. 41, pp. 1204 – 1210, 2012.
- [5] M. G. Molina, M.E. Andreoni López y F.J. Galdeano, "Monitoreo y Control Remoto Inalámbrico de una Instalación Solar Fotovoltaica Utilizando ZigBee", en XV Encuentro Regional Ibero-americano del CIGRÉ, Foz de Iguazú-PR, Brasil, Mayo 2013.
- [6] G. Piñeres Espitia, A. Mejía Neira, "Plataformas Tecnológicas Aplicadas al Monitoreo Climático" Corporación Universidad de la Costa, Diciembre 2013.
- [7] MSc. C. A. Vera Romero, Msc. J. E. Barbosa Jaimes, ESP. D. C. Pabón González. "Plataforma meteorológica de bajo costo basado en tecnología zigbee" Colombia, Octubre 2014