



“MEDICION DEL RECURSO EÓLICO CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN LA TRAZA DE LA MARGEN DERECHA DE LA PRESA DE YACYRETA”

**Guido Rafael Chávez, Ing. Electromecánico, Máster en Dirección y Gestión de Proyectos;
Nilda Jara, Ing. Electromecánica, Máster en Gestión de la Energía; Ing. Daniel Skrebec, Ing.
Electrónico.**

Universidad Nacional de Itapúa

Paraguay

1.1. Resumen

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de las mediciones de vientos realizadas en la margen derecha de la represa de Yacyretá específicamente en la cabecera de la presa en la localidad de San Cosme y Damián, Itapúa.

Esta investigación se lleva a cabo mediante la adjudicación por parte del Consejo Nacional de Ciencias y Tecnologías (CONACYT), de un fondo de financiación del 80%, al proyecto presentado por los docentes de la cátedra de Centrales Eléctricas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Itapúa (UNI), Paraguay. El 20% restante corresponde a contrapartida presupuestaria de la UNI.

El objetivo principal perseguido es mostrar que el microclima generado por el gran espejo de agua formado por el embalse de la presa de Yacyretá sobre el río Paraná, entre el Paraguay y la Argentina, con cota definitiva alcanzada en el año 2009, presenta condiciones ambientales óptimas para la implantación de un parque de Generación Eólica, es decir velocidades de viento superiores a 5m/s, por al menos un 30% del tiempo (aproximadamente al menos 2.600 hs años).

A la fecha se han analizado los datos registrados a partir del 16 de febrero del 2017, fecha desde la que se tienen datos válidos en la torre de medición eólica a 80m, 50m y 30m de altura.

Los resultados que se presentan son sumamente auspiciosos y la proyección realizada con los datos con los que se cuentan indica que los valores de vientos que se tienen en la zona justificarán el avanzar en un estudio de factibilidad posterior para la implantación de un parque eólico en la región.

1.2. Palabras clave

Energía Eólica, Medición de Vientos, Represa de Yacyretá.

1.3. Cuerpo del trabajo

Se presenta la justificativa del proyecto, los objetivos, la metodología utilizada, los resultados obtenidos y las conclusiones.

2. Justificativa del Proyecto

El Paraguay dispone actualmente de una capacidad de generación eléctrica instalada de 8.810 MW que corresponde a la suma del 50% de las capacidades instaladas en centrales hidroeléctricas de Itaipú y Yacyretá, más la totalidad de la capacidad de la central hidroeléctrica de Acaray. Además se encuentran en proyecto otras obras totalizando 6.185 MW (Presa de Yguazú 200 MW, Brazo Aña Cuá, 275 MW, Corpus 4.000 MW, Río Ypané 50 MW y presa compensadora de Itá Corá 1660 MW).

Todos estos emprendimiento sumarán en su conjunto una potencia instalada aprovechable por el Paraguay de aproximadamente 12.000 MW, los cuales considerando la tasa de aumento anual promedio del consumo eléctrico nacional de aproximadamente 8,6%, y con un pico de consumo actual de 3.200 MW, se verán agotadas para el año 2035, siempre y cuando estos proyectos sean concretados.

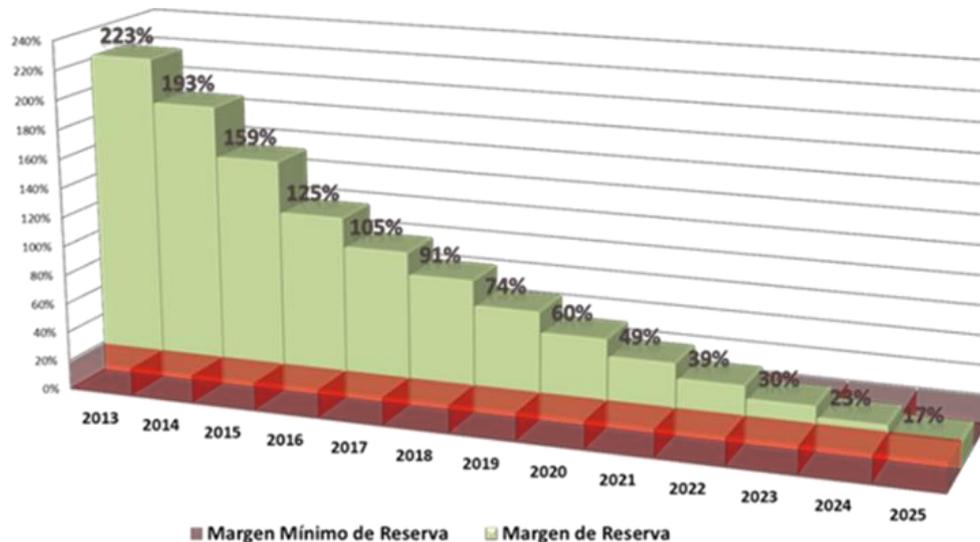


FIGURA 1

En la figura anterior se observa que la proyección de margen de reserva de generación en el Paraguay, indica que de no realizarse las inversiones mencionadas, el sector generación, ingresará a partir del año 2025 en un escenario de crisis. [1]

Debido a esto y atendiendo los compromisos medioambientales suscritos por el país, es necesario iniciar en la brevedad, estudios exhaustivos para la implementación de proyectos de energías renovables, entre los cuales una de las más promisorias y con costos de implementación en franca disminución es la generación eléctrica a partir de la Energía Eólica.

En la región sur del Paraguay se cuenta en la actualidad, a partir del llenado del embalse de la presa correspondiente a la Central Hidroeléctrica Yacyretá, con un embalse de 1.600 km², cuyo espejo de agua ha generado un microclima con un continuo flujo de vientos en las márgenes de la presa, debido a la diferencia de densidad y temperaturas del aire que se producen por la absorción de rayos solares por parte de este espejo artificial de agua, lo que da un importante potencial eoloeléctrico que con este estudio se desea cuantificar.

Para realizar este estudio, a Universidad Nacional de Itapúa (UNI), a propuesta de la Cátedra Centrales Eléctricas de la Facultad de Ingeniería [2], ha presentado el proyecto al Consejo Nacional de Ciencia y



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

Tecnología (CONACYT), entidad que aprobó el mismo y financia el proyecto en un 80% de un monto equivalente a US\$ 100.000 (valor del 2014). El 20% restante del monto indicado lo financia la UNI como contrapartida.

El desembolso de la financiación debería haberse dado inicialmente en enero del año 2015, pero debido a cuestiones de la ley nacional del presupuesto y la ley de administración del estado, recién se pudo contar con los recursos en setiembre del año 2016, por lo que el cronograma inicial ha sufrido modificaciones.

3. Objetivos

3.1. Objetivos Generales

Este proyecto tiene como objetivos principales:

- a)"Montar y poner en servicio una estación con el equipamiento adecuado para la medición del Recurso Eólico con fines de Generación Eléctrica";
- b)"Caracterizar el Régimen de Vientos en la traza de la Margen Derecha de la Represa Yacyretá";
- c)"Elaborar un modelo de predicción del Potencial Eólico a escala local para Generación Eléctrica a partir del Recurso Eólico disponible".

3.2. Objetivos Específicos

- a)"Clasificar las características meteorológicas que afectan al área de estudio y determinan los tipos de vientos resultantes";
- b)"Analizar estadísticamente las variables que definen el viento en la región";
- c)"Determinar las curvas de duración de velocidad y ajustes a las curvas teóricas de Weibull";
- d)"Valorar las herramientas de predicción aplicables a los datos obtenidos";
- e)"Desarrollar el modelo de predicción y validación del mismo en base a los datos capturados".

La mayoría de los objetivos serán alcanzados para marzo del 2018.

El desarrollo del modelo de predicción en conjunto con la validación de los mismos se hará en forma posterior debido a las modificaciones que ha sufrido el cronograma por los motivos indicados.

4 Metodología

4.1 La Torre de Medición

Para la elaboración de las especificaciones técnicas de la torre y su correspondiente instrumentación se han seguido las recomendaciones establecidas en la norma IEC 61400-12-1, y los manuales del Centro Regional de Energía Eólica (CREE, Argentina). [3]

El análisis inicial de este proyecto indicaba la necesidad de contar con dos torres de medición de vientos de 80 m, una en la cabecera de la presa en la localidad de San Cosme y Damián, y otra en la Isla de Yacyretá.



FIGURA 2

Pero debido a restricciones en la financiación se tomó la decisión de montar una sola torre en la cabecera de la presa en la margen derecha lado paraguayo (Torre 1 en la FIGURA 2).

Las características técnicas de la torre y los instrumentos son las siguientes:

Tipo de Torre: Reticulada con estructura de tubos de aceros soldados y arriostrada con tensores.

Altura: 82 m.

Cota de Ubicación: 84 m.

Instrumentación:

3 posiciones de anemómetros redundantes a 30m, 50m y 80 m.

2 posiciones de veletas a 78m y 48m.

1 pluviómetro.

1 humidímetro y termómetro

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

1 barómetro.

1 piranómetro

1 data logger para adquisición y registro de datos en conjunto con 1 modem de comunicación para transmisión de datos vía gprs.



FIGURA 3

El conjunto de los instrumentos son de la marca Lambretch.

4.2 Gestión y Análisis de Datos

4.2.1 Adquisición de Datos

Los datos son adquiridos desde los instrumentos por el equipo Data Logger que está programado para tomar una muestra de los anemómetros y veletas cada segundo y los integra cada 10 minutos. En los demás instrumentos se toman muestras cada 30 segundos con integración 10 minutales.

Para todos los parámetros se registran los valores medio, máximo y mínimo de las velocidades de viento, dirección de viento, presión atmosférica, humedad relativa ambiente, temperatura ambiente, precipitaciones y radiación solar.

Estos datos son almacenados en una tarjeta de memoria interna y transmitidos por medio de un sistema GPRS.

Los datos también son descargados semanalmente in-situ como medida de seguridad.

Los softwares utilizados para la gestión online e in-situ de los datos adquiridos son el Meteoware® y el Tropos-Comander® proveídos por la firma Lambrecht meteo GmbH.

4.2.2 Análisis de Datos

Para realizar el análisis de los datos además del software Meteoware®, se utiliza Excel® para ordenar y verificar cada línea de datos. También se utiliza el software WRPLOT View Freeware 8.0.

Para este trabajo se presenta el promedio de velocidades registradas, la distribución de frecuencia de velocidades, la distribución de probabilidades de Weibull tanto para velocidades de vientos como para la potencia unitaria disponible, estos valores calculados y graficados mediante la utilización de Excel®. La distribución de frecuencia de velocidades y dirección de vientos en forma de Rosa de los vientos han sido obtenidos utilizando WRPLOT®.

Para el análisis de Weibull se utiliza su expresión [4]:

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (1)$$

Donde: v : velocidad del viento

k : factor de forma

c : factor de escala

Y la expresión de la densidad de potencia eólica por unidad de área es:

$$p = \frac{1}{2} \delta * v^3 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (2)$$

Donde: δ : densidad del aire

5 Resultados Obtenidos

Para la elaboración de este trabajo se han analizado los datos registrados desde el 17 de febrero del 2017, fecha a partir de donde se tienen datos válidos, hasta el 19 de julio del 2017.

La cantidad de líneas de registros válidos analizados son 54.745.

Los resultados que se presentan son los correspondientes a las mediciones registradas en el anemómetro ubicado a 80 m de altura y los de la veleta instalada a 78 m de altura.

El **Promedio de Velocidad** registrado en este período a 80 m de altura es de **6,82 m/s**.

La **Distribución de Frecuencia de Velocidades** obtenido es:

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

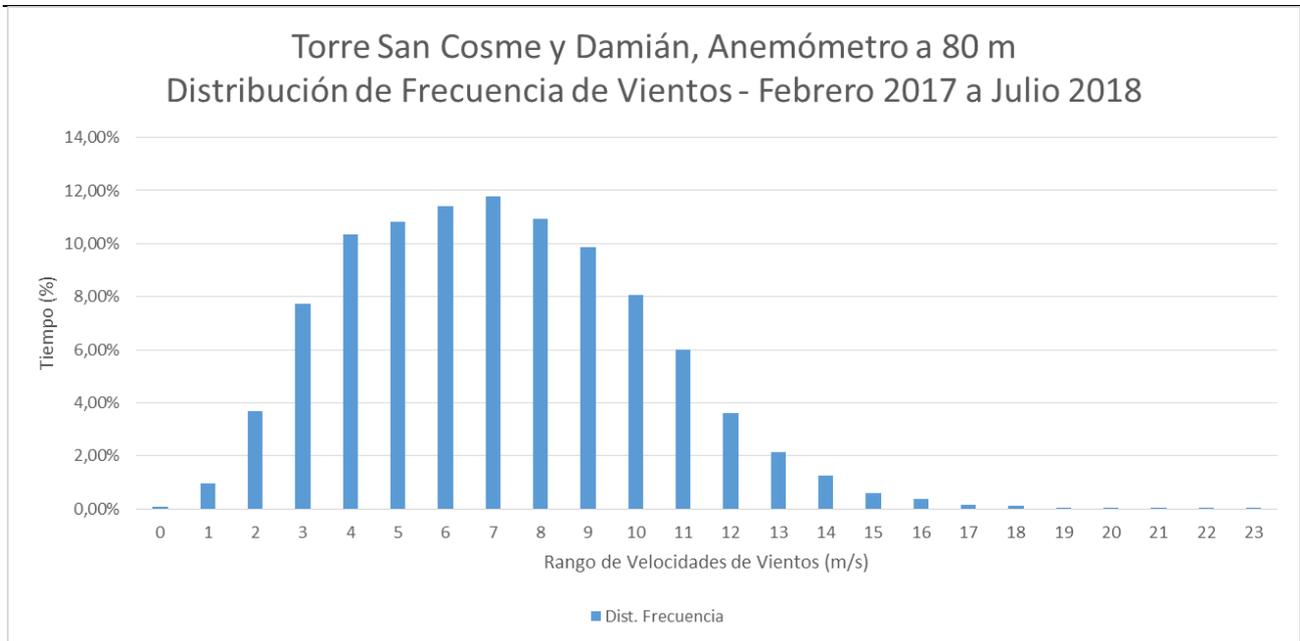


Figura 4

Donde se observa que al menos el **77,22%** del tiempo se tuvieron velocidades superiores a **5 m/s**.

Analizando la *Distribución de Probabilidades de Weibull* obtenemos que la probabilidad de tener velocidades de viento superiores a **5 m/s** es del **69,9%** del tiempo:

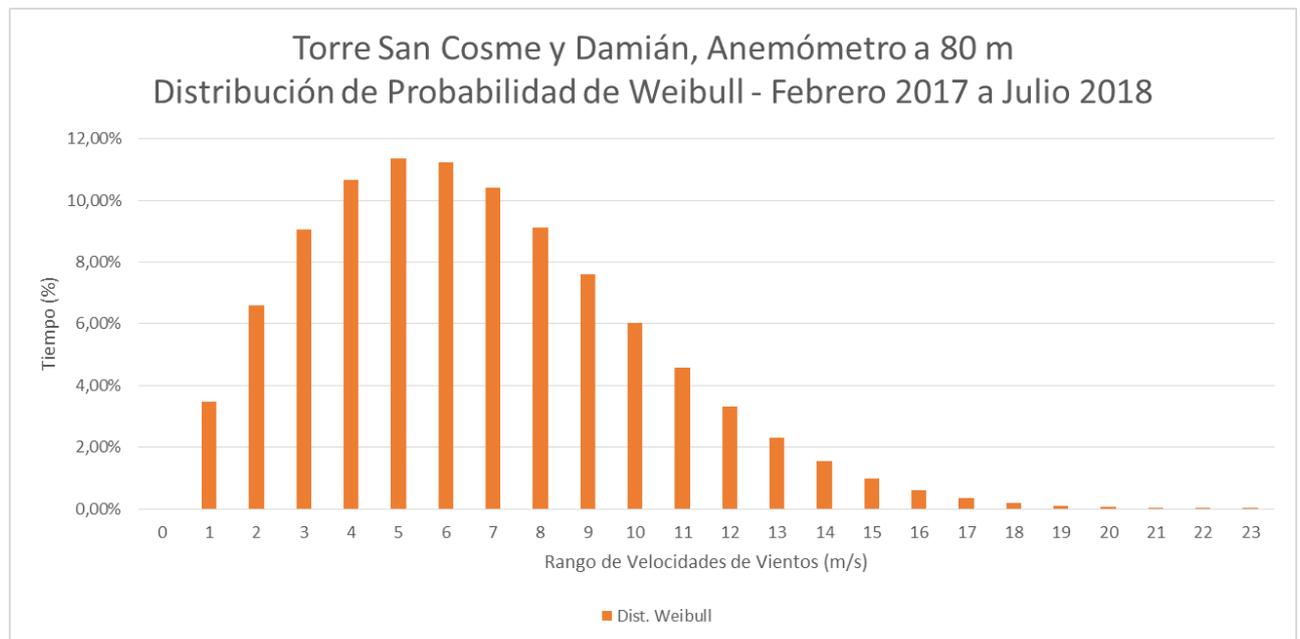


Figura 5

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

El análisis de los registros de la dirección de vientos nos muestra que la dirección predominante durante el período considerado han sido los vientos del NE durante al menos el 27% del tiempo.

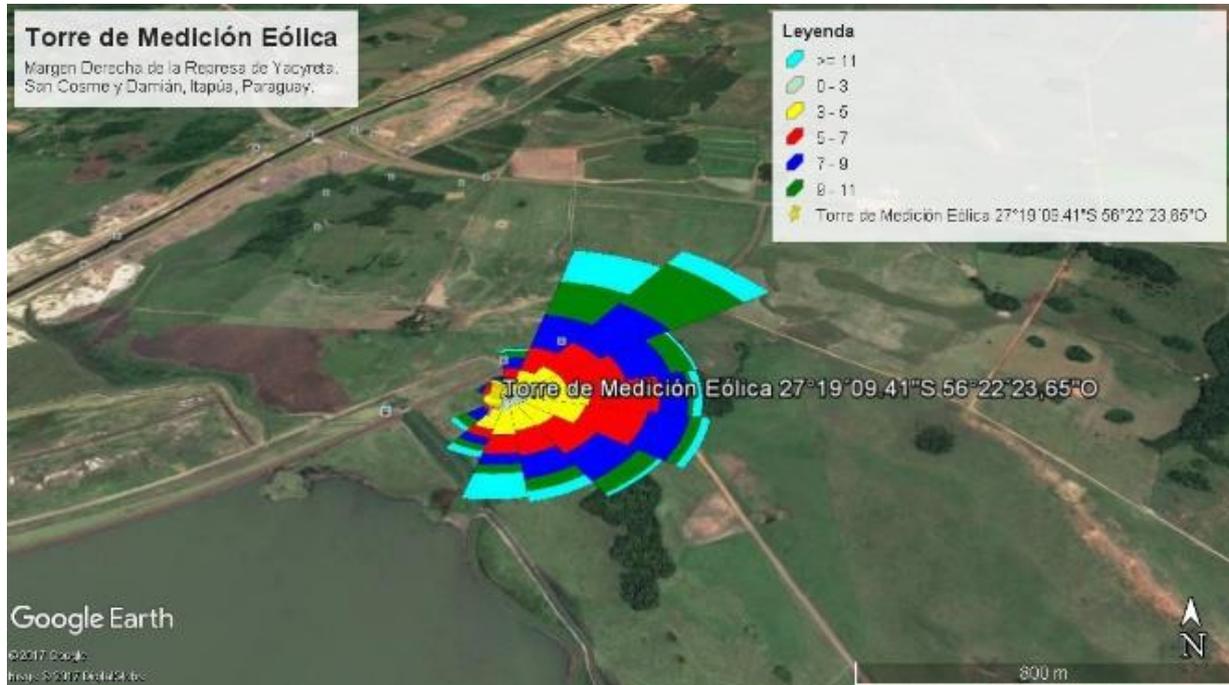


Figura 6

Teniendo en cuenta la distribución de Weibull y aplicando la expresión para el cálculo de la potencia eólica disponible, conforme los registros obtenidos se tiene que para el período medido el valor de la densidad de potencia eólica por unidad de área es: **345,70 W/m²**

6 Conclusiones

Atendiendo los objetivos que se han trazado para la elaboración y puesta en marcha de este proyecto y observando los resultados parciales obtenidos desde el 16 de febrero de 2017 hasta el 12 de julio de 2018, se tienen las siguientes consideraciones:

- 6.1. Es posible decir que los resultados obtenidos cumplen con las expectativas trazadas.
- 6.2. El microclima creado por la implantación del embalse de Yacyretá ha introducido un fenómeno de vientos continuos que no se tenían hasta el año 2009.
- 6.3. Los valores de vientos medidos indican inicialmente, que será factible avanzar hacia un estudio de pre factibilidad para la implantación en el lugar de un parque eólico.
- 6.4. Dado que para que los datos de vientos tengan la confiabilidad necesaria es preciso mantener en el tiempo esta torre de medición.
- 6.5. Con los datos que se tienen y se seguirán registrando será posible elaborar un modelo de predicción adaptado a este sitio.



7. Descripción de Figuras

Figura1: Proyección del margen de generación del sistema eléctrico Paraguayo.

Figura2: Trazado de la Presa de Yacyretá.

Figura3: Torre de Medición de este Proyecto.

Figura4: Distribución de Frecuencia de Velocidad de Vientos.

Figura5: Distribución de Probabilidades de Weibull.

Figura6: Gráfico de Rosa de Vientos superpuesto a las coordenadas de ubicación de la torre de medición.

8 Bibliografía

[1] Plan Maestro de Generación 2016 – 2025. Administración Nacional de Electricidad, Asunción, 2016
Página 7.

[2] Chávez, G. Jara, N. *Proyecto de Investigación para la Implementación de Puestos de Medición de Vientos en la traza Margen Derecha de la Represa de Yacyretá*. Encarnación, Paraguay. Revista sobre Estudios e Investigaciones del Saber Académico, 2016, Año 10, N°10, pág. 86 – 92.

[3] Mattio, H. F. (2002). *Nociones Generales de Energía Eólica*. Rawson, Chubut, Argentina: Centro Regional de Energía Eólica.

[4] Pinto, M. *Fundamentos de Energía Eólica*. Río de Janeiro, Brasil, 2016. LTC, pág. 69 – 73.