

# Proyecto de Investigación para la Implementación de Puestos de Medición de Vientos en la Traza Margen Derecha de la Represa de Yacyretá

Autor: Guido Rafael, Chávez Núñez Da Silveira<sup>1</sup>; Nilda Isabel, Jara León<sup>2</sup>

## RESUMEN

Este trabajo evalúa la factibilidad técnica de instalar puestos de medición de vientos en la margen derecha de la traza de la Presa de Yacyretá. Para ello, se han investigado los datos registrados sobre el recurso eólico en las instituciones meteorológicas que tienen su área de responsabilidad en la región. También se han considerado los datos proveídos en los mapas eólicos oficiales del Paraguay, la Argentina y el Brasil, y datos obtenidos de investigaciones realizadas por universidades de la región. Así, se elaboró una guía para la Universidad Nacional de Itapúa y otras instituciones que estén interesadas, donde se detalla el procedimiento para determinar el recurso eólico disponible.

**Palabras claves:** Recurso Eólico, Vientos, Mediciones

## ABSTRACT

This study evaluates the technical feasibility for the installation of wind measurement stations in the right margin of the Yacyretá dam. For this purpose, the data recorded on the wind resource have been examined in the meteorological institutions that have their area of responsibility in the region. It was also considered official data tested in the wind maps of Paraguay, Argentina and Brazil, and the information obtained from researches carried out by the universities of the area. Consequently, a guide has been prepared for the National University of Itapúa and other institutions that are interested in the study, where the availability of the wind resource is detailed.

**Keywords:** Wind Resource, Winds Measurements.

---

<sup>1</sup>Profesor Investigador de la UNI e-mail: [aldoaortiz.2009@hotmail.com](mailto:aldoaortiz.2009@hotmail.com)

Recibido: 10/06/2016 Aceptado: 25/08/2016

## Introducción

El Paraguay dispone en la actualidad 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 un total de 5560 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 emprendimientos 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 7% para los últimos 10 años (12% para el año 2012), y con un pico de consumo actual de 2.500 MW, se verán agotadas para el año 2035. Caso en que se implementen grandes emprendimientos industriales, harán disminuir este horizonte.

Estos datos indican que de no realizarse más inversiones en el área de las energías renovables, se deberá empezar a utilizar a partir del año 2035 fuentes no renovables como los combustibles fósiles (Petróleo, Gas y otros).

Es necesario iniciar a 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 en particular se cuenta, a partir del llenado del embalse de la presa correspondiente a la Central Hidroeléctrica Yacretá, de un continuo flujo de vientos generados a partir de la diferencia de densidad y temperaturas del aire que se producen por la absorción de rayos solares del espejo artificial de agua versus la de los campos circundantes, lo que da un importante potencial eoloeléctrico que debería ser cuantificado.

## Objetivos

La energía cinética del viento, es una forma secundaria de energía solar; la cual está disponible en todo el mundo, teniendo significativas diferencias espaciales y temporales.

Hay tres componentes del viento que determinan la potencia disponible de un Sistema de Conversión de Energía Eólica (SCEE):

**a) Velocidad del viento:** La potencia disponible es proporcional al cubo de la velocidad. Por lo tanto la meta para evaluar un sitio es cuantificar la velocidad del viento para estimar la energía disponible en dicho punto.

**b) Características del viento (turbulencia):** Depende de los rasgos locales que determinan las características del viento de una región, (topografía local, las formaciones geográficas, la flora y hasta las estructuras que puedan existir en la zona).

**c) Densidad del aire:** temperaturas bajas producen una densidad de aire más alta. Mayor densidad significa mayor fluidez de las moléculas en un volumen de aire dado, y mayor fluidez de las moléculas al pasar por las palas de un aerogenerador produce un rendimiento mayor para una velocidad del viento dada.

Estas tres propiedades físicas del viento determinan la denominada potencia del viento que está dada por la expresión:  $P=1/2 \rho AV^3$  [W]. Este valor es ajustado mediante

coeficientes relacionados a la reducción de la velocidad a consecuencia de las turbinas, el rendimiento mecánico-eléctrico del generador, las pérdidas aerodinámicas del aerogenerador, efectos de las características del terreno en el perfil de Velocidad del Viento, efectos de los obstáculos en terrenos llanos en el perfil de Velocidad del Viento.

**Sistema de Monitoreo del Viento:** Para determinar qué región será la más adecuada para iniciar los estudios, se deben conocer la distribución de las capas atmosféricas en el área, la dirección o direcciones principales de los vientos y las condiciones locales del área, como son los obstáculos (edificaciones, árboles, etc.), la rugosidad del terreno y la orografía de la zona.

En cuanto al período en el cual se realizarán las mediciones en el área, depende del tipo de proyecto a implementar. Si se trata de desarrollar de un mapa eólico completo de una región, se debe considerar la toma de mediciones durante un mínimo de 10 años (es decir, a largo plazo); de otro modo, si se trata de un análisis preliminar del recurso eólico, se debe considerar la realización de mediciones, como mínimo, durante un año en su fase inicial (es decir, a corto y mediano plazo).

Luego, se debe definir la cantidad y ubicación de las posiciones de medición que serán instaladas, teniendo en cuenta que es recomendable que el promedio de la superficie monitoreada por cada posición de medición sea de 2500 km<sup>2</sup>, lo que equivale a un radio de atención de 28 km, esto siempre que se trate de zonas con relativa homogeneidad en el terreno.

## Resultados y Discusión

Los primeros pasos realizados a este efecto, han sido verificar la existencia de estaciones meteorológicas en la zona de influencia y de que datos disponen. Las instituciones que cuentan con algún tipo de equipamientos instalados en la zona de influencia del proyecto son:

- La Dirección de Meteorología e Hidrología de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC), dependiente del Ministerio de Defensa Nacional del Paraguay
- La Entidad Binacional Yacretá.

- El Servicio Meteorológico Nacional Argentino.
- El Instituto Correntino de Agua y el Ambiente - Argentina.
- La Asociación Correntina de Plantadores de Arroz - Argentina.

Además de los datos meteorológicos proveídos por las instituciones citadas se cuentan con mapas eólicos del Paraguay, Argentina y Brasil:

- Mapa Eólico del Paraguay proveído por el Vice Ministerio de Minas y Energía
- Mapa Eólico de la Argentina proveído por el Centro Regional de Energía Eólica.
- Atlas Eólico del Brasil, publicado por el Centro de Pesquisas de Energía Eletrica.

Otras fuentes importantes de datos son los trabajos realizados por los centros de investigación de las Universidades de la zona.

Resultado del Análisis de los datos Meteorológicos: Se concluye en base a los datos disponibles, que se justifica plenamente realizar una inversión en la colocación de puestos de medición de vientos en la traza de la presa Yacyretá, en particular en la margen derecha. Solo resta definir los mejores emplazamientos para estos puestos, tema que se desarrolla a continuación.

Análisis de la traza de la Presa Yacyretá: La presa Yacyreta tiene una longitud total de 62 km, de los cuales 48 km corresponden a la margen derecha (Lado Paraguayo), y 14 km corresponden a la margen izquierda (Lado Argentino). De los 48 km de la margen derecha, 4 km corresponden al brazo Aña Cuá del Río Paraná y 3 km a la Presa de hormigón que alberga a la casa de máquinas y centro de control de la Central Hidroeléctrica en el brazo Santa María. En general la orientación del eje longitudinal de la presa en su margen derecha es de dirección E-O, con una leve desviación de NE a SO, manteniendo esta orientación por entorno de 35 km. Los tramos restantes tienen orientación N-S.

La superficie del espejo de agua formada debido a la presa es de 1.600 km<sup>2</sup>, y la misma se encuentra a un nivel promedio correspondiente a la cota 83 m sobre el nivel del mar.

En base a los datos presentados correspondientes a la traza de la Presa de Yacyretá, se sugiere la colocación de una torre de medición en el punto medio del coronamiento (ya que como se ha mencionado las mediciones de una torre permiten inferir los datos de viento en un radio entorno a los 30 km cuando disponemos de una superficie homogénea y regular como es este caso), dispondríamos de una medición apropiada. Por razones de procedimientos internos de la Entidad Binacional Yacyretá, lo anterior se torna imposible. Por ello la recomendación que realizamos en este caso es la de colocar dos torres de medición de vientos en las siguientes posiciones y características:

Punto 1: Torre de 100 m de altura en la cabecera de la margen derecha de la presa correspondiente a la zona de San Cosme y Damián.

Punto 2: Torre de 120 m de altura en la Isla Yacyretá, al menos 400 m por detrás de presa medido desde la base de la misma. Se deberá tener en cuenta el trazado de las líneas de transmisión existentes.

Los instrumentos instalados en la Torre 1 medirán sin obstáculos (lado correspondiente al espejo del lago), los vientos que se tengan en la dirección S-E, que conforme los datos que se han presentado, correspondería a la dirección con mayor frecuencia de vientos en la zona. Para el análisis de los vientos que provengan del lado opuesto se deberá realizar un análisis topográfico para determinar la longitud de rugosidad del terreno.

Los instrumentos instalados en la Torre 2 tendrán como obstáculo a la Presa, cuando la dirección de los vientos sea del S-E, pero al establecer una distancia de seguridad de al menos 400 m, podemos desestimar en general el efecto de turbulencia de los vientos provocados por la presa. De todos modos este efecto deberá ser modelado para tener máxima confiabilidad en los resultados de las mediciones. Para los vientos del lado opuesto se deberá proceder de la misma manera que lo indicado para la Torre 1.

**Figura 1.**

Esquema de ubicación recomendada de Torres de Medición



**Fuente:** elaboración propia en base a Google earth.

**Propuesta de Plan de Medición:** Para realizar la medición se requieren principalmente de los siguientes elementos:

- **Torre:** Se recomienda la utilización de torres arriostradas.

- **Anemómetros de Copa:** Para este caso se selecciona un anemómetro para medición de viento en terrenos llanos. Este tipo de equipos está caracterizado por la norma como "Anemómetros Clase 1,7A o Superior".

- **Veletas:** Se utilizarán 2 unidades de veletas que se instalarán en soportes que deberán ser montados 1,5 m por debajo del primer y segundo par de equipos anemómetros.

- **Otros Equipos de Medición:** Termómetro, Medidor de Humedad, Medidor de Radiación, Medidor de Presión Atmosférica. Estos equipos se colocarán a una altura de 4 m, en la proximidad de la caja que alojará al equipo Data Logger. Se instalarán 1 unidad de cada equipo.

- **Data Logger:** Para almacenar y procesar los datos recibidos de los sensores

- **Software de Procesamiento de Datos:** Deberá tener la capacidad de descargar los datos almacenados en el Data Logger ya sea mediante una computadora portátil insitu o por medio de adquisición de datos remotos por el sistema GSM/GPRS. Además deberá poder manejar y procesar todos los datos conforme las reglas estadísticas mostradas para los datos correspondientes a Mediciones Eólicas.

- **Calibración y Confiabilidad de los Equipos de Medición:** El equipo más sensible de todos los que componen una torre de medición de vientos

es sin dudas el anemómetro, la calibración deberá ser realizada por institutos especializados siguiendo las reglas nacionales e internacionales y los posibles acuerdos existentes. Además deberá ser avalada por un certificado oficial que junto con el equipo, el proveedor deberá entregar, que garantiza que la calibración se ha realizado conforme algunas de las siguientes normas internacionalmente

- **Panel Solar:** para generación de energía, en general el panel utilizado es de tensión nominal 12 V y potencia 5 W.

- **Balazamiento de Seguridad:** Durante el proceso de montaje de las torres y una vez finalizado su erección, se procederá al balazamiento diurno y nocturno.

- **Puesta a Tierra:** De este equipo depende en gran medida la vida útil de todo el resto de los equipos.

Costos Referenciales de Equipos, Logística y Recursos Humanos

Se recomienda que los equipos sean todos de un mismo fabricante, para evitar incongruencias o conflictos entre software y hardware a la hora de almacenar y procesar los datos. En la tabla 1 se indican los costos referenciales de equipos para este proyecto teniendo en cuenta las dos torres y los repuestos, así como los equipos de soporte y seguridad incluidos los costos de montaje e instalación:

**Tabla 1.**  
Costo Referencial de la Inversión

Descripción	Sub Totales US\$
Equipos de Medición	32.750
Equipos de Soporte y Seguridad	71.700
Infraestructura y Logística	51.300
Recursos Humanos	52.200
<b>Total de la Inversión</b>	<b>207.950</b>

El tiempo de seguimiento y procesamiento mínimo de los datos debe ser de 18 meses, que se miden a partir del montaje y puesta en servicio de las antenas, validación del

funcionamiento de los equipos, medición y seguimiento diario de los equipos durante 12 meses, revalidación posterior de los equipos y finalmente la entrega del relatorio anual.

El proceso de medición debe estar encabezado por profesionales.

## Conclusiones

Los datos de velocidades del viento con que se cuenta referente a la zona de la traza de la margen derecha de la presa de Yacretá indican que los vientos que se tienen en esa región son abundantes y que las velocidades de los mismos justifican analizar la instalación de puestos de medición para su correcta caracterización.

Dada las características topográficas y topológicas de la zona estudiada será necesario montar dos torres de medición, una en la cabecera de la presa en el área de dominio de la Entidad Binacional Yacretá en el lado de San Cosme y Damián. La otra en la Isla Yacretá a una distancia mínima de 400 m de la base de la presa.

Una campaña de medición de vientos en la traza de la presa de Yacretá, que cuente con 2 (dos) torres de medición, con los mejores equipos de los fabricantes más reconocidos, con la calibración adecuada, y que está diseñada para realizarse durante 18 (dieciocho) meses, tiene un costo que ronda los US\$ 210.000 (Doscientos diez mil Dolares Norteamericanos).

Para poder instalar los puestos de medición y acceder sin inconvenientes a los mismos se deberá tener un Convenio de Cooperación con la Entidad Binacional Yacretá.

## Recomendaciones

- Es recomendable establecer convenios con universidades de la región, que cuenten con experiencia previa en la medición del recurso eólico, en particular con aquellas que cuentan con túneles de vientos certificados de manera a capacitar a nuestros recursos humanos, y se pueda contar con una supervisión por parte estas.
- También se recomienda recurrir a

profesionales que ya tengan experiencia en la medición del recurso eólico con fines de generación como es el caso del Ing. Marcelo Aires, cuyo trabajo ha sido citado en esta investigación. El mismo es oriundo de la ciudad de Posadas.

## Bibliografía

- Aires, M., De Bórtoli, M. E., Frigerio, E., & Roko, S. R. (2012). Estimación de Potencial Eólico de la Provincia de Misiones. AVERMA, Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente.
- AMMONIT. (2000). Medición del Viento (17.5 ed.). Berlín, Alemania: AMMONIT.
- Dosil, J. (2013). Curso "Medición y Evaluación del Recurso Eólico". Montevideo, Uruguay: CIER.
- Escudero López, J. M. (2008). Manual de Energía Eólica (2da. ed.). Madrid, España: MP Libros S.A.
- Faiella, L. M., & Gesino, A. J. (2004). Gestión de Variables Meteorológicas y Mapeo Eólico.
- Asociación Argentina de Energía Eólica.
- Mattio, H. F. (2002). Nociones Generales de Energía Eólica. Rawson, Chubut, Argentina: Centro Regional de Energía Eólica.
- Mattio, H. F., & Tilca, F. (2009). Recomendaciones para Mediciones de Velocidad y Dirección del Viento. Rawson, Chubut, Argentina. Obtenido de <http://www.argentinaeolica.org.ar/>
- MEASNET. (2009). Evaluation of Site-Specific Wind Condition. Madrid, España: MEASNET.
- Oliva, R. (2010). Introducción a los Modelos y Control de Máquinas Eólicas. Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina: Universidad Nacional de la Patagonia Austral.
- Pedersen, B. M., Pedersen, T. F., Klug, H., Van del Borg, N., Kelley, N., & Dahlberg, J. A. (1999).
- Wind Speed Measurement and Use of Cup Anemometry. (R. S. Hunter, Ed.)
- Glasgow, Escocia, Gran Bretaña: Renewable Energy Systems Ltd.
- Pinilla, A. (1997). Manual de Aplicación de la Energía Eólica. Bogotá, Colombia: Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas.