

# PRIMERA ETAPA DEL ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONOMÍA Y AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, EN BASE A RECURSOS EOLICOS EVALUADA A PARTIR DE MEDICIONES DE CAMPO

Ezequiel Leiva<sup>(1)</sup>, Griselda Jeandrevin<sup>(2)</sup>, Carlos Sacco<sup>(2)</sup>, Mario D'errico<sup>(2)</sup>, Ricardo Santa Cruz<sup>(3)</sup>, Ramiro Rodríguez<sup>(3)</sup>, Gabriel Blanco<sup>(4)</sup>

(1) INFIQC, Unidad de Matemática y Física, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba, Ciudad Universitaria, 5000 Córdoba, Argentina<sup>1</sup>.

(2) Departamento de Ingeniería Mecánica Aeronáutica, Instituto Universitario Aeronáutico, Av. Fuerza Aérea Argentina 6500, 5022 Córdoba, Argentina.

(3) Universidad Empresarial Siglo 21, Departamento de Ciencias Físicas y Naturales, Av. Mons. Pablo Cabrera Km. 8 ½, 5010 Córdoba, Argentina.

(4) Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería.

**RESUMEN.** Según estimaciones recientes, los recursos necesarios para atender la demanda de energía a nivel nacional son muy limitados, encontrándose el margen de las reservas de combustible fósil líquido y gaseoso en el orden de los 10 años. Además de la criticidad en la disponibilidad de recursos para atender una demanda creciente, el estado de desarrollo actual provoca fuertes impactos ambientales a nivel local y global, a partir del uso intensivo de fuentes fósiles.

Ante la situación descripta y con el interés de aportar al conocimiento de la realidad política, social y económica de nuestra provincia en particular y nuestro país en general, se informan en este trabajo las primeras estimaciones -en el contexto del proyecto- del recurso eólico en la provincia de Córdoba con miras a evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la producción de Hidrógeno. Estos estudios realizados mediante mediciones de campo, caracterizan la zona estudiada como de buen potencial eólico.

**Palabras clave.** Ambiente, energía, recursos, contaminación, hidrógeno, sustentabilidad.

## INTRODUCCION

El agotamiento de las fuentes fósiles de energía, el aumento del costo de explotación y la contaminación ambiental que conlleva su uso, provoca un creciente interés en el desarrollo de energías limpias, de bajo costo y renovables; que le permitan al hombre mantener el consumo per cápita, hacer llegar los recursos energéticos a un mayor número de habitantes carecientes aún hoy en día de ellos y mitigar el alto impacto sobre el medio ambiente (Worldwatch Institute, 2000)<sup>1</sup>.

En la búsqueda de esas soluciones, se están llevando a cabo investigaciones, desarrollos y aplicaciones de fuentes de energías alternativas a los combustibles fósiles (Veziroglu, 2002)<sup>2</sup>.

Uno de estos combustibles alternativos, no primario, es el Hidrógeno, sustancia factible de almacenamiento, transporte, distribución y consumo. Actualmente se conducen acciones concretas a nivel internacional y nacional (Pico Truncado, 2005)<sup>3</sup> para el aprovechamiento de este combustible, con la participación de los sectores público y privado en el desarrollo de estrategias de investigación, que contribuirán de manera decisiva a una modificación de la producción y uso de la energía (Hidrógeno y la energía del futuro)<sup>4</sup>.

En este trabajo se presentan las primeras estimaciones del recurso eólico en la provincia de Córdoba con miras a evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la producción de Hidrógeno.

Estos estudios se realizan sobre una base empírica, con mediciones de campo que se complementarán con estudios teóricos de tipo predictivo (Pictor II)<sup>5</sup>.

*Objetivos específicos.* La factibilidad de la producción de hidrógeno como vector energético está estrechamente ligada a la disponibilidad y características de la fuente de energía primaria que se utilice para su producción (Aguer Hortal M. y Miranda Barreras A, 2004)<sup>6</sup>. Por este motivo, la caracterización del recurso eólico en la provincia de Córdoba desde el punto de vista de su aprovechamiento energético, es uno de los objetivos específicos del presente proyecto.

En este sentido, resultará fundamental la determinación del potencial eólico de las distintas regiones de la provincia, estableciendo los sitios potencialmente más aptos para el aprovechamiento del recurso eólico con fines energéticos y en particular para la producción de hidrógeno. Para alcanzar este objetivo se propone caracterizar el recurso eólico mediante mediciones de campo a realizarse en diferentes sitios a determinar y la utilización de herramientas computacionales para la estimación del potencial en otras áreas dentro del territorio provincial.

---

<sup>1</sup> Investigador Principal CONICET: Fax:+54-351-4344972, e-mail: eleiva@fcq.unc.edu.ar

Otro de los objetivos específicos de este proyecto consiste en el diseño y construcción de un generador eólico de 2 kW para la provisión de energía eléctrica en la producción de hidrógeno.

Conjuntamente con el diseño de este generador, se procederá al diseño electrónico necesario para proveer la tensión necesaria al electrolizador que producirá el hidrógeno.

En el plano económico se realizará una valoración de costos y beneficios privados y sociales para el presente sistema de producción de energía basado en la cadena eólica-hidrógeno. En la valoración privada, se considerarán a todos aquellos costos y beneficios inherentes a la actividad productiva de energía para determinar la rentabilidad esperada desde el punto de vista privado. En la valoración social, se valorarán los costos y beneficios inherentes a la actividad productiva a precios sociales y se les adicionarán aquellos costos y beneficios que aunque no forman parte de la función de producción de energía, afectan positiva o negativamente el bienestar de la región donde se lleve a cabo el asentamiento productivo (en función de la generación de empleo, efectos sobre la salud, distribución del ingreso, etc.), el medio ambiente circundante (flora, fauna, recursos naturales), el efecto global en la reducción del deterioro ambiental y finalmente el efecto en la economía global del país.

Aunque se ha avanzado mucho en el estudio para cuantificar estos efectos llamados externalidades (Stavins R., 2000)<sup>7</sup>, su aplicación en el sector privado y estatal no es aún generalizada, lo que comúnmente propicia el desarrollo de actividades que provocan secuelas económicas, sociales y ambientales a largo plazo difíciles de revertir y con las cuales todos estamos familiarizados. De aquí la importancia de contar con indicadores confiables que permitan medir la rentabilidad social de un sistema de producción de energía limpia como el que se propone en este documento.

En el plano de impacto ambiental, el objetivo propuesto es identificar, interpretar, predecir, prevenir y evaluar las consecuencias de las acciones generadas por la ejecución del proyecto de Producción de Hidrógeno a partir de Energía Eólica para la provincia de Córdoba, en aquellas zonas de mayor potencial eólico, identificadas a través del mapeo eólico mencionado arriba. De esta manera pretendemos realizar un aporte al conocimiento de la realidad política, social y económica de nuestra provincia en particular y nuestro país en general.

## **DESARROLLO**

*Selección del sitio de medición.* Para realizar la evaluación del recurso eólico es necesario instalar torres de medición donde se obtengan datos de velocidad y dirección de viento, temperatura y presión en las zonas de mayor potencial eólico de la provincia.

Con este objetivo, se evaluó la información existente provista por el Servicio Meteorológico Nacional sobre mediciones realizadas en todas las estaciones de superficie de la Provincia de Córdoba y el Atlas Mundial Eólico realizado por el departamento de Energía de Estados Unidos (DOE).

Este análisis permitió determinar una primera zona potencial, decidiéndose la instalación de una torre arriostrada de 48 metros en las cercanías de Coronel Moldes con coordenadas (*Latitud 33° 41' 51" y longitud 64° 46' 33"*); provista de los instrumentos de medición ubicados a 12 y 42 metros de altura, a fin de determinar el perfil de viento y de temperatura.

Los valores medios se registran en una tarjeta de memoria cada 10 minutos, con el objeto de eliminar las fluctuaciones turbulentas de menor período (De Juana J. M., 2003)<sup>8</sup> y se envían cada cuatro días a través de un módulo de comunicación GSM vía correo electrónico para su procesamiento.

*Correlaciones mediante software.* La información obtenida a partir de los sensores instalados en las torres de medición, sumada a la información topográfica y la información meteorológica existente, alimentarán el software que se utilizará para la correlación de datos y predicción del comportamiento del viento en otras regiones.

*Diseño y construcción de generador eólico de 2 kw.* En el ámbito específico de la generación de energía, se diseñará y construirá un aerogenerador de prueba que se adapte específicamente a las exigencias del proyecto y a las condiciones de viento predominantes.

El diseño aerodinámico del rotor del generador eólico se realizó mediante la utilización de modelos avanzados y herramientas computacionales disponibles a tal fin, obteniéndose la geometría de las palas que mejor cumple con los requerimientos de potencia generada para las condiciones dadas y teniendo en cuenta las limitaciones climáticas y tecnológicas existentes. Las palas del rotor se están construyendo en material compuesto.

Obtenida la geometría óptima, se extraerán las cargas actuantes y se procederá al cálculo detallado de la estructura, teniendo en cuenta los procesos de fabricación y la tecnología disponible.

Se seleccionará un sistema de control de actitud y freno del generador y se diseñarán los componentes mecánicos necesarios para cumplimentarlo.

En el marco del proyecto no se contempla el diseño de componentes electrónicos para el aerogenerador, por lo cual los mismos serán seleccionados de los disponibles comercialmente. Sin embargo se diseñará y construirá el sistema eléctrico, pensando especialmente en la alimentación del equipo para generación del hidrógeno.

Una vez instalada la torre, se llevará a cabo la integración del sistema eléctrico, el sistema de control y el rotor, para luego izar el generador eólico sobre la misma.

Luego de tener listos todos los componentes se llevarán a cabo la puesta en marcha del generador y la verificación de los parámetros fundamentales del funcionamiento. Tanto el sistema de control como el eléctrico serán puestos a punto para garantizar el correcto funcionamiento del aerogenerador.

Así, cuando el sistema esté funcionando completamente, se comenzará con los ensayos operativos y a través de ellos se evaluarán los comportamientos obtenidos en los distintos regímenes. Finalmente se trabajará en la utilización de la energía entregada para el uso en la generación del hidrógeno.

**Electrólisis del agua.** Para el proceso de obtención de hidrógeno se adquirirá un electrolizador comercial, dado que no es parte del objetivo del proyecto el desarrollo de este componente.

**Caracterización ambiental.** Se realiza al momento, la caracterización del estado cero del medio físico, biológico y socioeconómico de la región determinada como potencialmente más favorable para la implantación del proyecto.

Con este objetivo se realiza una búsqueda y análisis de la información disponible en los distintos órganos provinciales relacionados a la temática. (Agencia Córdoba Ambiente, Municipalidad de Río Cuarto, Universidad Nacional de Río Cuarto, Estadísticas y Censos de la Provincia de Córdoba), que permita la identificación de variables significativas para la evaluación.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se observa a partir de los datos obtenidos de las mediciones de campo, que las velocidades promedio de vientos entre las dos alturas a las que se colocaron los sensores son diferentes. Por otra parte, los valores medios adquiridos difieren significativamente de los que pueden obtenerse para la misma zona, a partir de programas online disponibles en la web (windguru, 2007)<sup>9</sup>.

Sin embargo, aún sin disponer de un promedio anual de las velocidades de viento, los valores adquiridos hasta el momento permiten corroborar que la zona determinada bajo estudio es de buen potencial eólico, coincidentemente con la que presenta el Atlas Mundial Eólico realizado por el departamento de Energía de Estados Unidos (DOE).

En cuanto al desarrollo de las palas para el aerogenerador, podemos decir que son un componente muy importante del mismo, ya que de su naturaleza dependen el buen funcionamiento y la duración de la vida de la máquina, así como su rendimiento. Contrariamente a lo que se establece comúnmente, la dificultad más grande no está en la aerodinámica, sino en la construcción y la resistencia de los materiales con los que se fabrican las palas.

El material a utilizar para construir las palas debe responder a diversas exigencias que son, a veces, contrapuestas. Esto es, el material debe ser liviano, homogéneo para facilitar la producción en serie, indeformable, resistente a la fatiga, resistente a la erosión y a la corrosión y finalmente de uso y producción sencillos y de bajo costo.

Una solución conveniente para esto es utilizar materiales compuestos como fibra de vidrio, resinas y madera. En nuestro caso se ha utilizado para la construcción fibra de vidrio de distintos gramajes, resina vinilester de baja contracción y madera.

Con las consideraciones expuestas sobre el material, se seleccionó un perfil NREL S822 para el diseño aerodinámico de las palas, constante a lo largo de la pala y de espesor relativo 16%. Se determinó una distribución de cuerdas adoptando un compromiso entre la distribución ideal de diseño y consideraciones constructivas. Se determinó una ley de torsión alrededor del 35% de la cuerda de la pala en base a una condición de diseño fijada en 150 r.p.m. y velocidad de viento de 7 m/s.

**ABSTRACT.** The necessary resources to account for national demand of energy are very restricted. Reserves of fossil fuels, liquid and gaseous are in the order of a decade. Not only the availability of fuels presents problems, the use of them also creates a great environmental impact. We present in this work the first steps in the studies of the technical, economical and environmental viability to produce hydrogen from wind, which is a clean energy, with the objective to produce political and social knowledge to the province and the country. Studies are carried out in an empirical way and measurements characterize the zone as having a good wind potential.

**Keywords.** Environment, energy, resources, contamination, hydrogen, sustainability.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

<sup>1</sup> Seth Dunn, World Watch, November/December 2000, Worldwatch Institute, pp14, 2000.

<sup>2</sup> Veziroglu T. N., Miscelánea N° 99 de la Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina, 2002.

<sup>3</sup> <http://www.inti.gov.ar/sabercomo/sc25/inti8.php>

<sup>4</sup> "Hidrógeno y la energía del futuro". Serie Publicaciones Científicas N°1 (2004). Publicado por Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y Academia Nacional de Ingeniería.

<sup>5</sup> *Crisis del Sector Energético Nacional y sus Políticas a Largo Plazo: Sistemas Alternativos de Generación Energética para la Provincia de Córdoba. Proyecto Pictor II, Agencia Córdoba Ciencia.*

---

<sup>6</sup> Aguer Hortal M., Miranda Barreras A (2004). “*El Hidrógeno. Fundamento de un futuro equilibrado*”. Editorial Díaz de Santos.

<sup>7</sup> Robert N. Stavins. *Economics of the Environment*, Selected readings (2000). Fourth Edition. W.W. Norton & Company. New York.

<sup>8</sup> De Juana J. M. *Energías Renovables para el Desarrollo* (2003) Editorial PARANINFO.

<sup>9</sup> <http://www.windguru.com/es>