

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA TORRE VORTICOSA PARA SER ENSAYADA EN TUNEL DE VIENTO

Ricardo A. Bastianon

Servicio Naval de Investigación y Desarrollo

y

Hugo Erramuspe

Comisión Nacional de Energía Atómica

Resumen

En este trabajo se presentan los ensayos experimentales que se están efectuando para evaluar las posibilidades de aprovechamiento de la energía eólica, por medio de un vórtice confinado en una torre cilíndrica.

De acuerdo a las consideraciones teóricas, parecería que este sistema supera las expectativas más optimistas de generación de energía. Por esta razón y para verificar los valores teóricos, se ha diseñado una torre vorticiosa que, montada en un soporte especial, está siendo ensayada en el túnel de viento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

El cilindro que representa la torre, tiene ventanillas longitudinales que permiten la entrada del aire en forma tangencial. El mismo es abierto en su extremo superior, mientras que en la base se ha efectuado un orificio donde una hélice, de eje vertical, aprovecha ventajosamente la elevada velocidad del aire y el salto de presión apreciable que existe entre el exterior y el núcleo del vórtice.

Para medir la rotación del aire y la corriente vertical ascendente, se emplea una sonda de conducto doble que permite determinar la magnitud y dirección del flujo. Además, el cilindro y las aletas han sido construidos en material acrílico a fin de visualizar el movimiento.

Estas tareas de mediciones se encuentran en curso, pudiéndose determinar las propiedades del fluido y, por lo tanto, la potencia que se puede extraer. Los ensayos son efectuados para varios diámetros del orificio inferior del cilindro y para distintas velocidades del viento.

* Este trabajo ha sido desarrollado con subsidio de la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología.

Abstract

This paper presents experimental tests performed to evaluate the possibilities of wind energy generation by a confined vortex in a cylindrical tower.

According to theoretical considerations, the vertical-vortex turbine appears to exceed the most optimistic estimates. For this reason and trying to verify the theory, a vortex tower has been designed and installed in the wind tunnel of the Engineering Faculty, University of Buenos Aires.

The tower is an open-top cylinder that lets the wind enter through longitudinal slots that are open to the windward side. A vertical axis turbine, placed in the tower floor, takes advantage of the high speed flow and pressure difference between the outside and the low pressure core of the vortex.

To measure the air circulation inside the cylinder a two tube pressure probe is used. In this way, speed and flow direction are determined.

These tests are now under development to evaluate the fluid properties and obtainable energy as a function of turbine diameter and wind velocity.

Introducción

El aprovechamiento de la energía eólica ha ido consolidándose en los últimos años, habiéndose pasado en poco tiempo de los típicos molinos de viento de viejas épocas a las sofisticadas y gigantes cas turbinas para grandes potencias. Estas turbinas fueron principalmente de eje horizontal y debieron superar una serie de problemas surgidos como consecuencia del tamaño y del gran peso de las palas de la hélice que, al rotar, debían subir y bajar decenas de metros (Ref.1).

Los complejos fenómenos alternativos fueron satisfactoriamente resueltos, pero también se evidenció las ventajas de las turbinas de eje vertical, ya que los movimientos desarrollados en planos horizontales no eran afectados por la gravedad.

Además, durante este proceso evolutivo de desarrollo de aerogeneradores, se pudo verificar que cualquier aerogenerador simple podía extraer energía a partir del viento, pero este aparato sólo tendría futuro si podía lograr elevadas performances a reducido costo. Con este objeto se estudiaron las ideas más variadas, analizando los conceptos teóricos y evaluando los resultados experimentales.

En la búsqueda de sistemas nuevos y originales, se destacó la torre cilíndrica con un vórtice confinado (Ref.2). Esta torre reúne las ventajas de las turbinas de eje vertical y, además, concen

tra la energía del viento en un núcleo central donde la extracción se efectúa con una turbina de dimensiones reducidas (Figura 1).

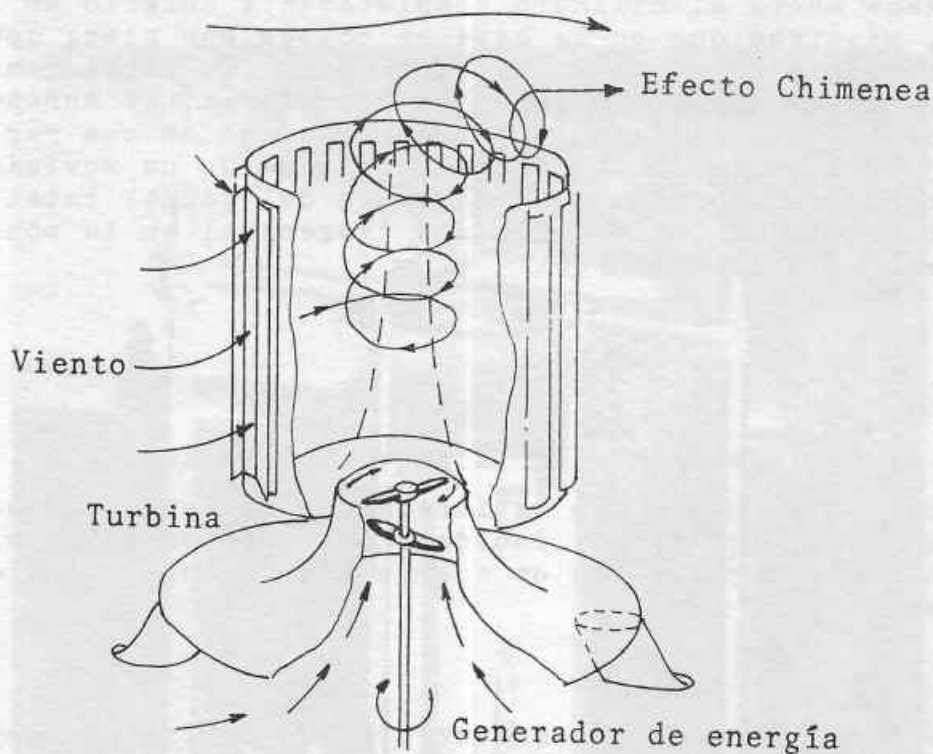


Figura 1

Eje vertical y reducción de tamaño resulta motivación suficiente para proseguir la investigación y determinar las reales posibilidades del sistema.

Torre Vorticosa

Este sistema consiste en un cilindro vertical con ventanillas largas y angostas en el sentido de la generatriz. Estas ventanillas pueden orientarse en distintas posiciones, permitiendo que el viento penetre al cilindro en forma tangencial induciendo una rotación del aire en su interior.

El caudal que ingresa por las ventanas debe luego salir de algún

modo. Investigaciones efectuadas sobre vórtices confinados en recipientes cilíndricos indican que, si ambos extremos tienen tapas con un orificio central de igual diámetro en cada una de ellas, el fluido escapa igualmente por ambos extremos. Si por el contrario, los orificios son de distintos diámetros, el fluido tiende a salir por el de mayor abertura, que le ofrece menor resistencia. Consideremos ahora al cilindro completamente abierto en la parte superior, mientras que en la base se coloca una placa con un pequeño orificio y se lo sitúa en el viento. En estas condiciones el aire penetra tangencialmente por las aletas, se enrosca en forma de espiral hacia el centro, concentrándose en una región denominada ojo del torbellino, la cual, animada de un movimiento axial ascendente, permite la evacuación del caudal total. La ley de variación de la velocidad tangencial en la zona del vórtice potencial está dada por:

$$v_{\theta} = \frac{K_1}{r} \quad (1)$$

donde K_1 es una constante y r la distancia radial.

Esta expresión no puede ser satisfecha en el centro, donde la velocidad se haría infinita y, debido a los efectos de la viscosidad, esta zona central rota como un cuerpo sólido cuya velocidad tangencial es:

$$v_{\theta} = K_2 \cdot r \quad (2)$$

Estos dos flujos coexistentes dentro de un cilindro, compuestos por un vórtice potencial y una zona central rotando como un sólido, forman lo que se denomina un vórtice confinado. El punto de transición entre ambas zonas posee la velocidad tangencial máxima y la ubicación de este punto representa uno de los aspectos más delicados del problema.

En la periferia del núcleo se tiene una elevada velocidad tangencial y, por consiguiente, la presión disminuye produciendo una succión a través del orificio inferior. Colocando una turbina en esta sección se puede extraer energía ventajosamente debido al salto de presión existente entre el exterior y la presión muy baja del núcleo, y también, por la elevada velocidad ascendente que es considerablemente superior a la del viento. Estas dos condiciones permiten captar la energía con una turbina de diámetro mucho menor y, por lo tanto, con mínimos problemas constructivos. Además, la turbina gira en el plano horizontal y va colocada en la zona inferior de la torre, con lo que se facilita la instalación del alternador.

Por otro lado y tal como ocurre en la naturaleza al formarse un torbellino, el núcleo del vórtice confinado es un centro de baja presión que succiona aire del medio ambiente en dimensiones que van mucho más allá de los límites del cilindro. De este modo, la captación de energía se extiende a un área mucho mayor que la superficie frontal de la torre, lo cual da como resultado un mejor

aprovechamiento del sistema.

Todas estas apreciaciones teóricas necesitan ser comprobadas experimentalmente y determinarse algunas magnitudes que son aún desconocidas, tales como el diámetro del núcleo del vórtice confinado, el tamaño óptimo del orificio en la placa de la base y un entendimiento acabado del comportamiento del fluido dentro del cilindro

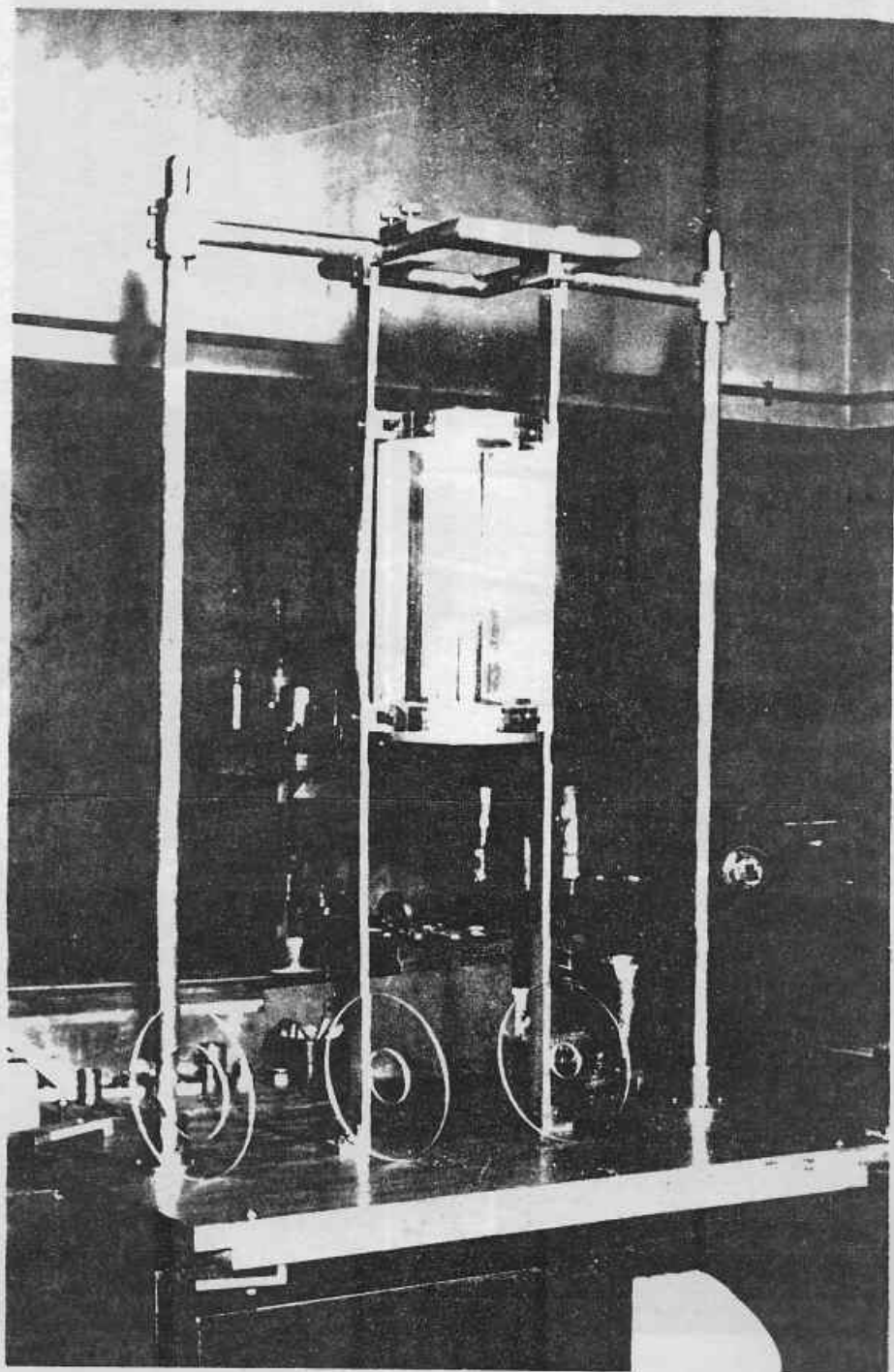


Figura 2

donde se desarrollan flujos secundarios sumamente complejos. Con este objetivo, se ha diseñado y construido un modelo experimental para ser ensayado en el túnel de viento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

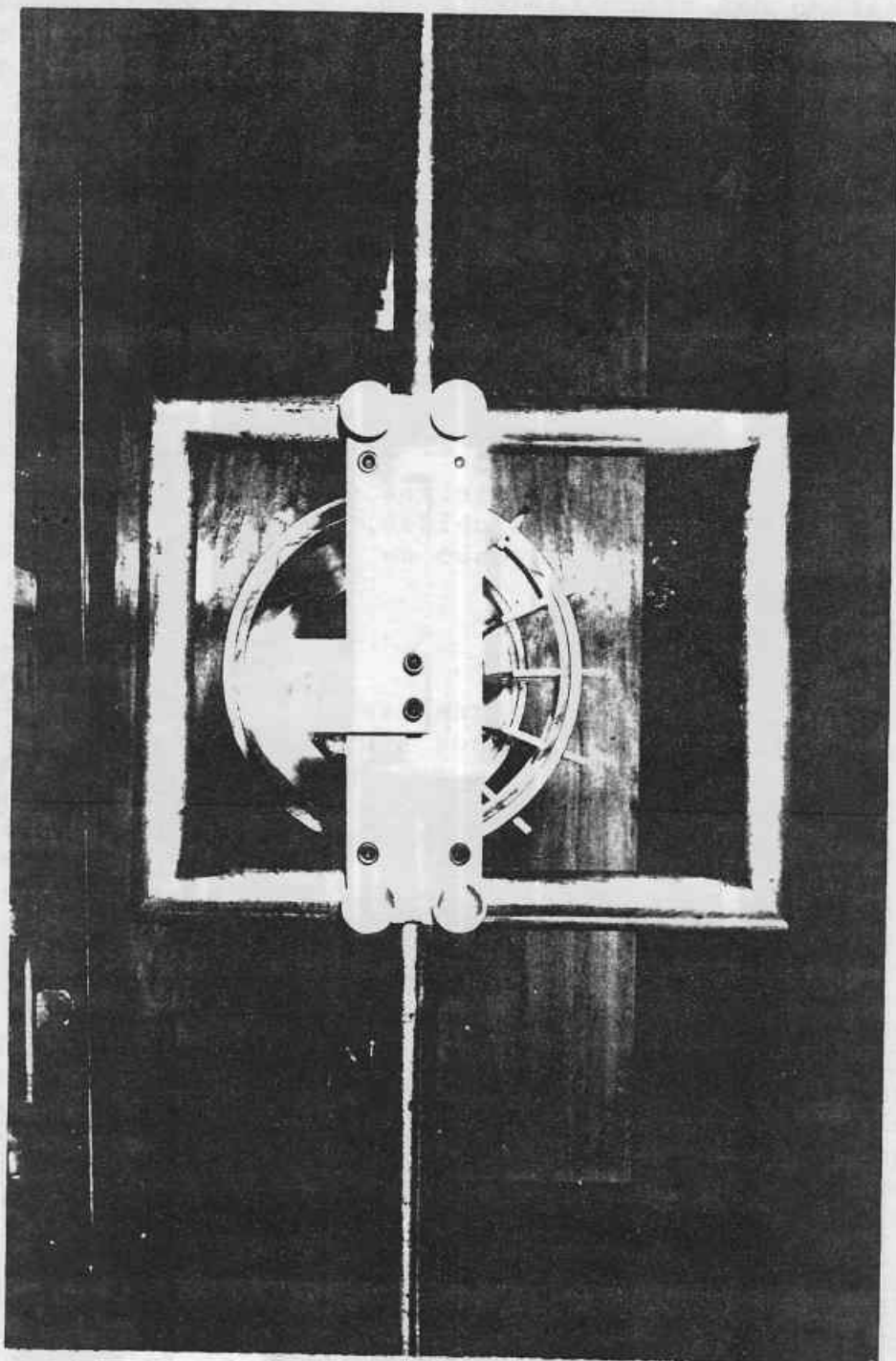


Figura 3

Equipo Experimental

El aparato construido se muestra de frente en la Figura 2 y desde arriba en la Figura 3. En las mismas se puede apreciar la torre cilíndrica soportada por dos columnas verticales que, a su vez, se apoyan en una plataforma de madera, la cual va sujeta a los soportes del túnel de viento, en la sección de experiencia (Figura 4).

En la parte superior y fuera de la corriente de aire se encuentra el soporte de la sonda para medición de presiones.

La sonda con forma de "L", penetra dentro del cilindro y puede explorar todo su interior. Para lograr esta finalidad, el soporte permite subir y bajar la sonda, como así también desplazarse en el sentido antero-posterior y transversal a la dirección principal de la corriente de aire del túnel. Estos tres movimientos permiten la ubicación de la toma de presión en cualquier punto del espacio.

Como en el interior del cilindro se desarrolla un movimiento de rotación de flujo de aire coexistiendo con una corriente vertical

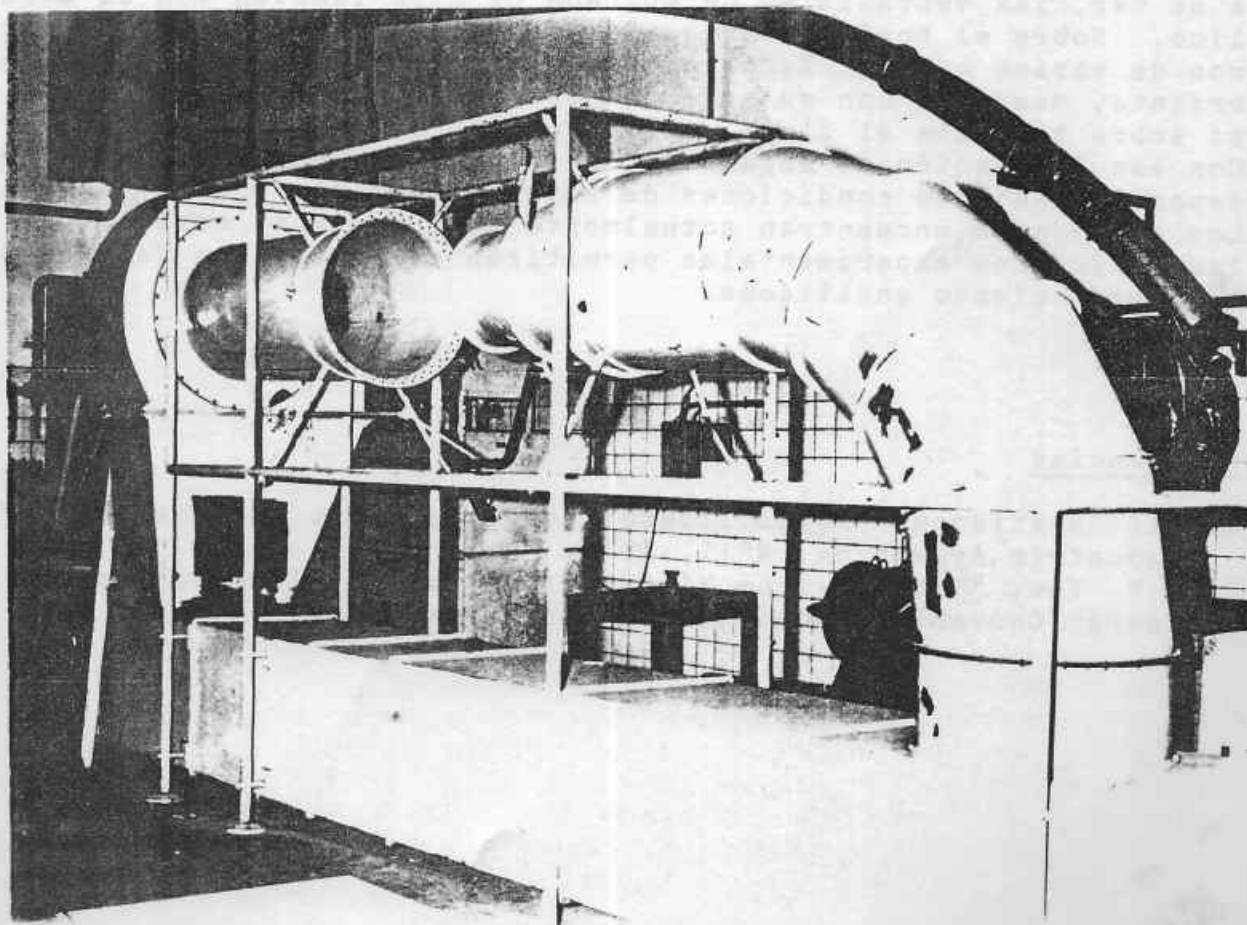


Figura 4

ascendente formando un complejo sistema de flujos denominados secundarios, es necesario contar con un elemento que permita medir la dirección local de la corriente de aire. Para ello se ha diseñado una sonda de doble conducto, en forma de L, que permite medir simultáneamente la dirección y velocidad del flujo. De este modo, todos los parámetros del flujo pueden ser determinados permitiendo el estudio del cilindro vorticoso para distintas velocidades del viento.

Como también puede observarse en el equipo experimental, el cilindro es abierto en la parte superior mientras que en la inferior posee un disco con un orificio central. En el diseño se ha incluido la posibilidad de cambiar este disco por otros con orificios de distintos tamaños para poder analizar el comportamiento del sistema en función del tamaño de la abertura, la cual puede coincidir o no, con el diámetro del ojo del torbellino que se desarrolla en el interior.

Las paredes del cilindro son de acrílico transparente, a fin de visualizar el flujo en el interior. Con esta finalidad se colocan durante los ensayos, hilos de un par de centímetros de longitud, adheridos a la pared cilíndrica y al fondo plano. Estos permiten observar la dirección de la corriente.

A su vez, las ventanillas de entrada de aire también son de acrílico. Sobre el borde de ataque de las mismas, se pegan los extremos de varios hilos. Estos hilos, al ser arrastrados por la corriente, muestran con su adhesión o separación de la superficie si sobre la aleta el flujo es laminar, turbulento o separado.

Con esa indicación el ángulo de la aleta puede ajustarse para obtener las mejores condiciones de entrada de aire.

Los ensayos se encuentran actualmente en curso y se estima que las mediciones experimentales permitirán establecer la validez de las predicciones analíticas.

Referencias

1. R.A. Bastianon, "Posibilidades Actuales de la Energía Eólica", Industria Argentina, N°11, 1978.
2. J.T. Yen, "Tornado-Type Wind Energy System", Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, 1975.