

AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL PARA ENERGÍAS DISTRIBUIDAS CON GENERADOR CILÍNDRICO DE IMANES PERMANENTES Y FLUJO TRANSVERSAL.

Dr. Horacio R. di Prátula¹
,Dr. Alejandro Vitale²
Mg. Eduardo Guillermo, Esp. Ing. Andrea P. Rossi, Ing. Rodolfo Bocero³,
Docente-Investigador-cat V- GESE UTN FRBB
Edgardo J. Stacul⁴,
Becario del GESE UTN FRBB
Gustavo Rinaldi⁵, Alumnos y docentes FRTL UTN

RESUMEN: El diseño de los generadores aplicados al aprovechamiento del viento son generalmente (bobina o imanes permanentes) de flujo radial o axial.

El generador que se presenta en este trabajo se ha efectuado a partir del análisis de una máquina eléctrica de flujo transversal con imanes permanentes [Dmitry SvechKarenko, 2007] para aprovechamiento del recurso eólico en el mar, de potencia superior a los 5 Mw. Se incluirá la geometría espacial y la determinación de los valores paramétricos y las variables de salida de la máquina en función de la velocidad rotórica y el perfil de las palas tipo NACA.

Este generador con diseño novedoso, se usará en turbinas eólicas de eje horizontal fundamentalmente (por su formato) y funcionará con una velocidad media aproximada de 300 a 600 rpm siendo la geometría espacial cilíndrica y disponiéndose los conductores y los polos magnéticos de manera de generar tensión trifásica.

Palabras clave: generador – turbina eólica – flujo transversal – imanes permanentes – geometría espacial cilíndrica.

INTRODUCCIÓN

Se ha decidido el uso de imanes permanentes porque se consideró una serie de ventajas en dicho aspecto de diseño [Jacek F. Gieras, et al, 2002]. Podemos citar: evita la utilización de sistema de excitación y los dispositivos que se requieren para producir los campos magnéticos evitando al mismo tiempo las pérdidas en dicho sistema, se logra una mayor potencia de salida por unidad de volumen, mejor performance dinámica (mayor densidad de flujo magnético en el entrehierro), simplificación en la construcción y mantenimiento y reducción del precio según el tipo de máquina.

Al mismo tiempo el diseño particular cilíndrico se eligió considerando que el aerogenerador será de eje horizontal y la disposición para un diseño con flujo transversal trifásico permite mayor cantidad de imanes aumentando la densidad magnética pero disminuyendo el volumen total del aerogenerador.

El diseño con flujo transversal permite además una mayor tensión generada y mayor frecuencia mejorando la rectificación. El análisis de la máxima energía posible producida por los imanes en el generador [Santos J. Alfonso et al 2005, Jacek F. Gieras et al.2004]:

$$W_m = \frac{(B-H)_{\max} V N}{2} \quad (1)$$

Siendo V el volumen del imán, N el número de imanes y finalmente (B-H)máx depende de las características magnéticas del imán elegido.

Esta ecuación permitirá obtener la potencia del aerogenerador considerando las posibles velocidades del aerogenerador en relación al viento y las palas diseñadas para el mismo:

$$P_m = W_m \omega = \frac{(B-H)_{\max} V N \omega}{2} \quad (2)$$

Basándose en estos elementos de juicio, inicialmente, puede determinarse la posible potencia del aerogenerador en función del número de polos y la velocidad. Si consideramos el tipo de imán [Vorgelegt von et al, Laboratorio Elettrofisico Engineering SRL, 2005] (ver Fig. 1), la cantidad y el volumen individual, podemos finalmente determinar el tamaño final del generador.

¹ Director GESE UTN FRBB (Grupo Estudios Sobre Energía – UTN – FRBB)

² Investigador del IADO CONICET UNS

³ Investigadores del GESE UTN FRBB

⁴ Becario GESE UTN FRBB

⁵ Decano UTN FRTL

General Property Comparison of magnetic materials					
Magnet Material	Cost	Max. Magnetic Energy	Max Working Temperature	Corrosion Resistance	Magnetic Properties
Alnico	Moderate	9.0 MGOe	550°C	Fair	Medium
Ceramic	Very Low	3.5 MGOe	350°C	Excellent	Low
Bonded Ferrite	Moderate	2.1 MGOe	150°C	Excellent	Low
SmCo5	Very High	22 MGOe	250°C	Excellent	High
Sm2Co17	Very High	32 MGOe	375°C	Excellent	High
Sintered NdFeB	Moderate High	50 MGOe	200°C	Poor	Very High
Bonded NdFeB	High	12 MGOe	150°C	Poor	Medium
Low Energy Flexible	Low	0.7 MGOe	85°C	Good	Very Low
High Energy Flexible	Moderate Low	1.6 MGOe	85°C	Good	Low

Fig. 1 curva de desimantación de diferentes imanes (Dr. Ing. Prof. Mario Guillermo Macri, 2012)

En la Fig. 2 se observan las curvas de imanes de diferentes materiales (hard and soft). El material elegido NdFeB pertenece a los denominados hard (Fig. 2) (ancho en H).

El material denominado soft se caracteriza por alta saturación de campo (B_s), alto valor de permeabilidad (μ) y bajo valor coercitivo (H_c) (Fig. 2).

El material denominado hard, tiene las siguientes características (Figs. 3..4):

1. Alto valor coercitivo H_c
2. Alta remanencia B_r
3. Gran energía almacenada por unidad de volumen en el campo magnético externo
4. Esto depende del producto $(BH)_{max}$ en el segundo cuadrante (Fig. 3)

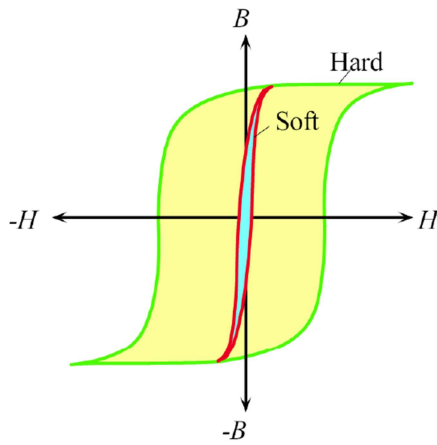


Fig. 2 materiales magnéticos hard (ancho en H) y soft (fino en H) (S.O. Kasap, © McGraw-Hill, 2005)

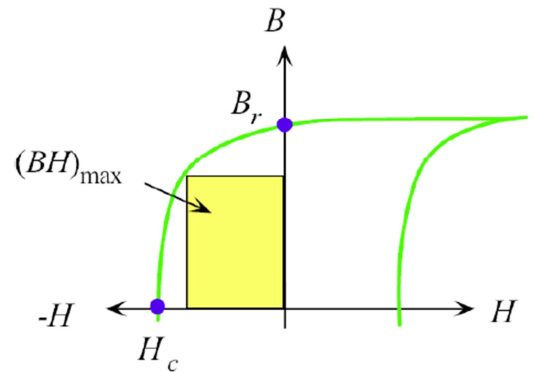


Fig. 3 $(BH)_{max}$ de un material magnético hard (S.O. Kasap, © McGraw-Hill, 2005)

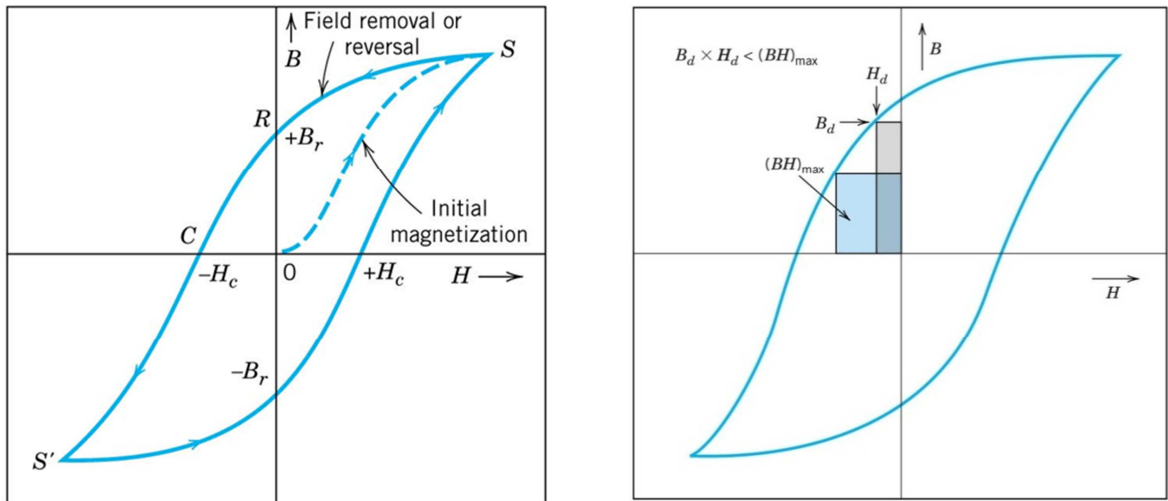


Fig. 3 material magnético hard y sus características(S. Palmir Apayr, 2012)

Para el diseño se ha adoptado un modelo geométrico que permite la utilización de los imanes sobre una base rotante que irá solidaria al eje, mientras que los conductores estarán dispuestos sobre el estator fijo.

DISEÑO

DISEÑO ESTRUCTURAL Y ANÁLISIS TEÓRICO

Diseño del Rotor

El aspecto del rotor con los imanes se observa en la Fig. 4.

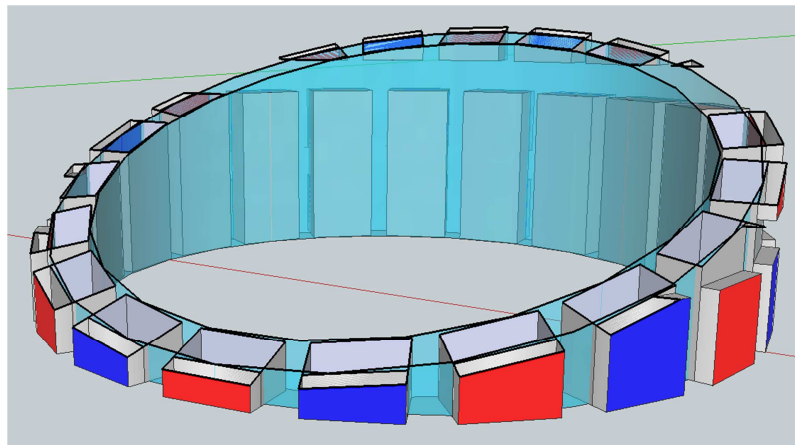


Fig. 4 rotor en corte

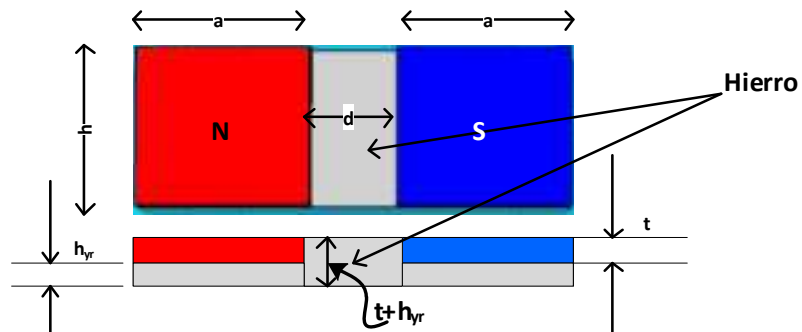


Fig. 5 conformación geométrica del par de polos del generador

Se calculó el ancho y diámetro del rotor con la siguiente ecuación:

$$\text{Ancho del rotor} = n^{\circ} \text{ imanes} \times h + \text{excedente} + \text{espacio entre las dos líneas de imanes} \quad (3)$$

$$\text{Radio del rotor} = \frac{\text{Perímetro}}{2 \times \pi} \quad (4)$$

$$\text{Perímetro} = N^{\circ} \text{ imanes de una fase} \times (a+d) \quad (5)$$

La determinación de la frecuencia de generación se realiza en función de la velocidad de giro del dispositivo y el número de polos totales existentes.

$$f = \frac{P \times \text{velocidad}}{2 \times 60} \quad (6)$$

En base a las ecuaciones (1) y (2) se obtienen las curvas de potencia en función de la velocidad y la cantidad de polos. De este modo se puede analizar la potencia en función de la cantidad de polos considerando las posibles velocidades de rotación del aerogenerador.

Se adopta las dimensiones del imán y se determina el volumen ocupado por el mismo:

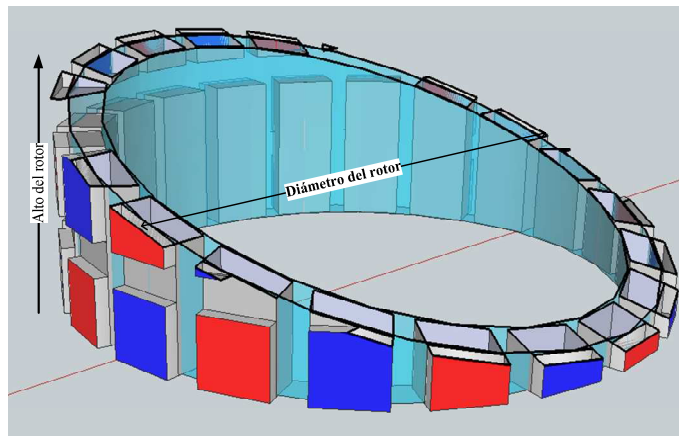


Fig. 6 Alto y diámetro del rotor

Diseño del Estator

La distribución del bobinado respecto a los imanes del rotor se efectuarán siguiendo la concepción de que al girar la pieza rotórica los imanes producirán un flujo (ver Fig. 7) tal que irá variando según la posición de la pieza rotórica relativa a la estática. Este método permite duplicar el bobinado con el fin de obtener mayor tensión en bornes de salida de la máquina.

El núcleo será laminado conformando una pila de chapas de espesor adecuado.

El bobinado estará en serie eléctrica ya que la tensión inducida estará instantáneamente en fase por simultaneidad de variación de flujo a lo largo del mismo.

En la Fig. 7 puede verse el camino del flujo y cortes del conjunto rotor y estator del generador.

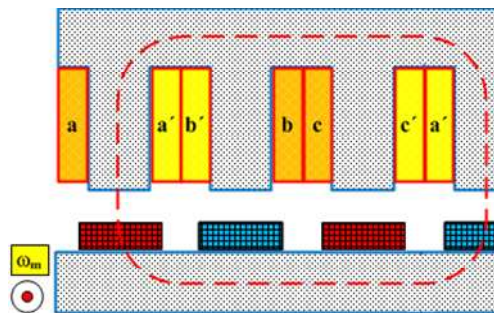


Fig. 7a camino del flujo entre estator y rotor pasando por entrehierro

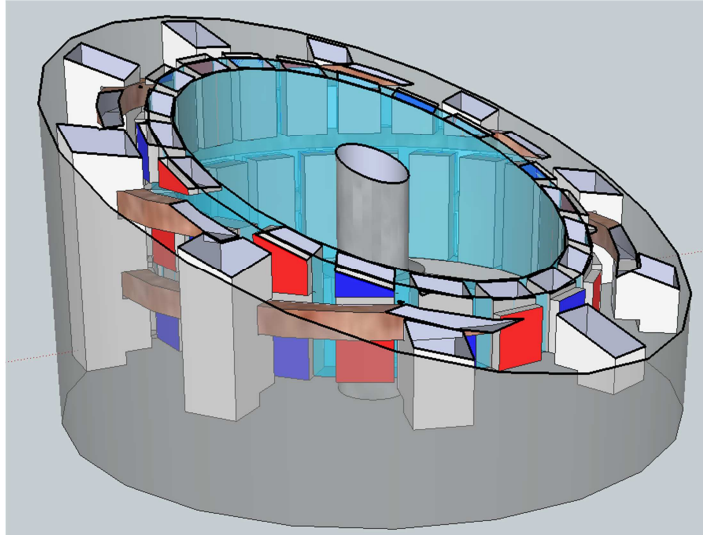


Fig. 7b Conjunto de rotor y estator (corte)

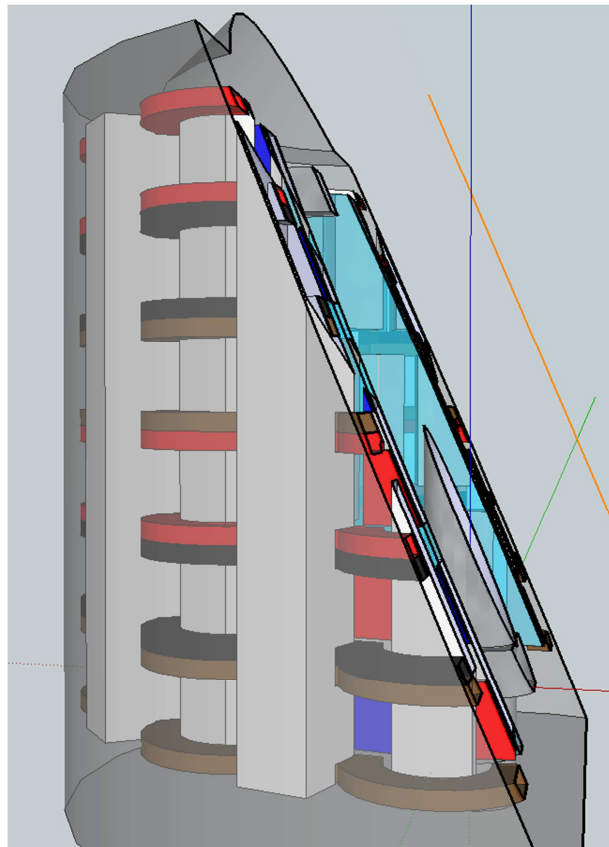


Fig. 7c corte del conjunto estator y rotor

El principio de funcionamiento, como en todos los generadores, se basa en la variación del flujo concatenado por las espiras al girar la máquina. La variación del flujo se produce en cada fase por la posición de los imanes y el circuito magnético que abraza los conductores alternando el flujo concatenado debido a que simultáneamente son abrazados en un sentido (ver Fig. 7a) y al siguiente en sentido contrario.

Dado que los conductores se encuentran en serie esto produce tensiones inducidas en el mismo sentido en cada grupo de conductores.

Las variables fundamentales como la tensión y la potencia se determinan en base a las medidas de la estructura del rotor y estator considerando la velocidad de giro y el circuito magnético adoptado.

La tensión surgirá de la velocidad de rotación y la variación del flujo concatenado entre el circuito magnético del rotor y el estator al abrazar los conductores dispuestos de modo que se produzca dicha variación (Fig. 7a).

Diseño de las Palas

Fig. 8 Pala para el aerogenerador horizontal

La pala ha sido diseñada con características que le permiten generar la potencia para la velocidad de rotación de acuerdo a la figura expuesta a continuación (Fig. 9)

Se han efectuado otros diseños considerando mayor potencia y similar velocidad, incluso un aerogenerador vertical pero con un diseño de generador diferente que será publicado en breve.

Simulación Teórica de la performance de las Palas

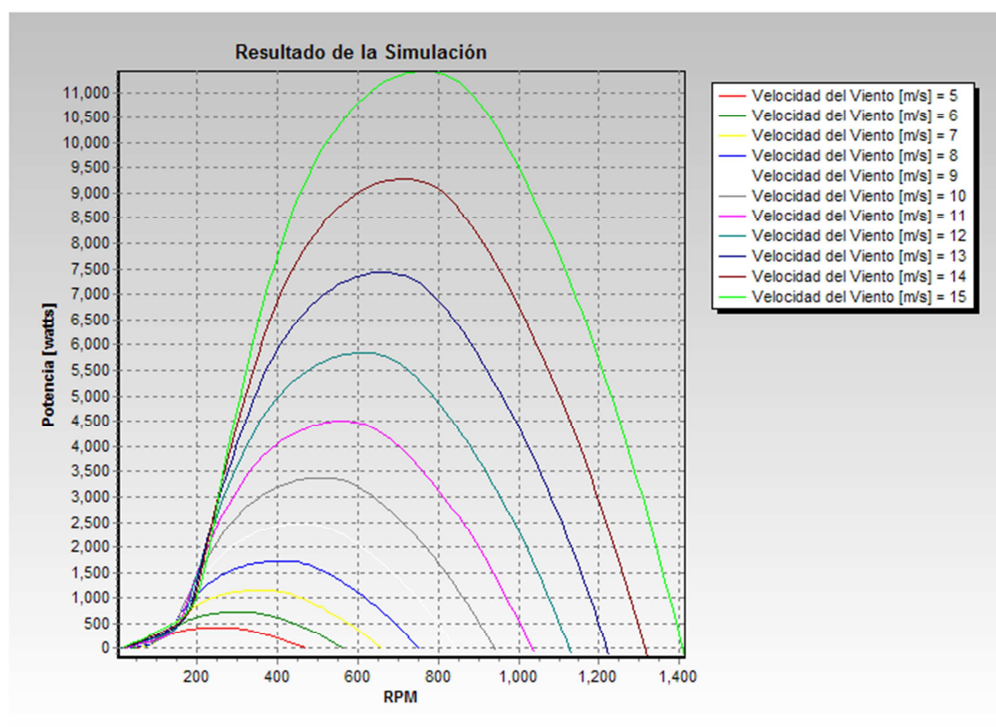


Fig. 9 Resultados de la simulación

CONCLUSIONES

Se ha elegido este tipo de diseño porque el objetivo es la construcción de un aerogenerador de eje horizontal para vientos medios entre 5 y 6 m/s a 10 mts de altura para zona semi-rural o rural.

Bajo estas condiciones los siguientes aspectos del diseño deben destacarse:

1. El material magnético presenta características excelentes para este diseño y es de fabricación nacional.
2. El generador presenta las mejores condiciones de funcionamiento considerando fundamentalmente la elevada tensión y frecuencia de generación.
3. Debemos reconocer que presenta algunas dificultades para la disposición de los conductores en serie.
4. Se destaca el bajo peso del rotor.
5. La estructura y disposición del estator – rotor son muy originales y útiles considerando el tamaño y peso total del generador.

REFERENCIAS

Dmitry SvechKarenko, Licentiate Thesis Stockholm, Sweden 2007 “On Analytical Modeling and Design of a Novel Transverse Flux Generator for Offshore Wind Turbines”, - ISSN 1653-5146 - ISBN 978-91-7178-682-1 – KTH Electrical Engineering –

Jacek F. Gieras, Mitchell Wing, ISBN: 0-8247-0739-1 - 2002 by Marcel Dekker “Permanent Magnet Motor Technology: Design and Applications”

Santos J. Alfonso y Álvaro E. Pinilla Sepúlveda- 07/06/2005 - <http://hdl.handle.net/1992/224> Universidad de Los Andes Colombia “Adaptación de un generador eléctrico de imanes permanentes y flujo radial”, -

Jacek F. Gieras, Rong-Jie Wang, Maarten J. Kamper - ISBN 1-4020-26-67r (HB) ISBN 1 - 4020-2720 – 6 (e –book) - 2004 Kluwer Academic Publis “Axial flux permanent magnet brushless machines”, hers.

Vorgelegt von - M.Sc. Mohammad S. Widyan - Doktor der Ingenieur - 03. Juli 2006 - Berlin 2006 “Design, Optimization, Construction and Test of Rare-Earth Permanent-Magnet Electrical Machines with New Topology for Wind Energy Applications”

Laboratorio Elettrofisico Engineering SRL Via G. Ferrari 14, 2005– 20014 Nerviano (MI) Italy “Hard and soft magnetic materials”

Dr. Ing. Prof. Mario Guillermo Macri, 2012, “Máquinas de Imanes Permanentes”, Universidad Nacional de Mar del Plata

Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Eléctrica

S.O. Kasap (© McGraw-Hill, 2005) “Principles of Electronic Materials and Devices”, Third Edition

S. Palmir Apayr, 2012, “Magnetic Properties I”, University Connecticut.

ABSTRACT

The design of generators applied to the wind profit are generally (permanent coil or magnets) of radial or axial flux.-

The generator presented in this work was made from the analysis of an electric machine of transversal flux with permanent magnets (1) to exploit the wind resource at sea, of power superior to 5 Mw. Spatial geometry will be included, and the setting of parameters values and output variables of the machine will be according to the rotor velocity and the side face of NACA type blades.-

This generator with novel design will be used basically (due to its shape or format) in horizontal axis (or hub) wind turbines, and will operate with an approximate average velocity of 300 to 600 rpm being the spatial geometry cylindrical and arranging the conductors and magnetic poles in order to generate triphasic voltage.-

Keywords: generator – wind turbine – transverse flux – Permanent Magnet– cylindrical spatial geometry.