

DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA. 1^{ER} ETAPA.

José Luis Rodríguez, Mario Guerrero, Ana María Giménez, Marcelo Ruiz, Jorge Carvajal, Juan Vuanello

Área de Energías Alternativas. Instituto de Mecánica Aplicada. Facultad de Ingeniería. U.N.S.J.

Av. Libertador San Martín 1109 Sur, (5400) – San Juan. Tel.: 211700, int. 320.

Fax: 064-210277. E-mail: jlrodri@unsj.edu.ar.

RESUMEN.

El objetivo planteado es el diseño, desarrollo y construcción de: perfiles alares, alternadores, sistemas de freno y transmisión, bombas, elementos para control, etc. de un aerogenerador de potencia entre 3000 y 4000 W, con el objeto de generar corriente que pueda ser usada en zonas aisladas para bombeo de agua y para iluminación de pequeños asentamientos rurales.

DETERMINACIÓN DEL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO Y MEDICIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO.

Se hicieron dos visitas al lugar elegido. El año pasado a instancias del Intendente de Valle Fértil, y con el objeto de solucionar el problema puntual de falta de agua de algunas pequeñas comunidades aisladas, se había preseleccionado la zona de Baldecito en la que existía un antiguo molino multipala, ahora fuera de servicio.

El único equipo completo de mediciones que poseemos, en conjunto con la Subsecretaría de Recursos Energéticos de la Provincia, se encontraba instalado desde hace 2 ½ años en la localidad precordillerana de Rodeo. Luego de desmontarlo y traerlo, se comprobó que estaba descalibrado. Este equipo es importado, tanto el anemómetro, la veleta, como el datalogger, por lo que recién se pudo reparar en el mes de octubre. A principios de noviembre del año pasado, se lo instaló en la antena de la policía a 10 m de altura. De todas maneras hemos realizado estimaciones geográficas y de antecedentes, que nos permiten suponer que en ese paraje tendremos el potencial eólico necesario para el aerogenerador a diseñar.

DISEÑO DE PALAS.

Se estudiaron los perfiles alares existentes para adoptar el más cercano a lo predimensionado en la etapa anterior. Luego de analizar una serie de alternativas se optó por trabajar en forma conjunta con un fabricante de pequeños aerogeneradores (menor de 1000 Watts) quien construyó las tres palas, de plástico reforzadas con fibra de vidrio. Se prosiguió con la tarea de diseñar, calcular y construir el ensamble necesario. La fijación de las palas al rotor se realiza a través de un encastre cónico a efecto de permitir el ajuste y variar el ángulo de calaje.

SISTEMA DE FRENOS.

Si bien el prototipo de generador eólico es de una potencia de 3 a 4 kW, a los fines de análisis se adoptó un valor mínimo de 7 kW, suponiendo posibles embalamientos del rotor o inercia del sistema actuador para el control de frenado.

A fin de evitar construir un sistema de frenos, se decidió analizar distintas alternativas de frenos que se encuentran funcionando en diversos sistemas para adaptarlos a esta aplicación, y fundamentalmente en el caso de recambio de algún elemento constitutivo, que pueda encontrarse en cualquier negocio del ramo con costos razonables.

El par que hay que frenar en el generador, suponiendo una potencia de 7 HP y una velocidad de rotación de 500 rpm es:

$$P=(M*N)/716 \text{ [HP]} \Rightarrow M=7*716/500=10.024 \text{ kg.m}$$

Luego de analizar y calcular distintos sistemas de frenos comerciales, se encontró que utilizando el tambor delantero de motos de 50cc. (tipo Daelin) puede frenar un torque de $M=25.7 \text{ kg.m}$ verificando que es posible frenar el generador sin mayor problema.

Se debe modificar la posición del eje de la zapata para hacer que este freno sea auto-aplicable, de tal forma que a la velocidad determinada, una veleta adicional, accione la palanca que mueve la zapata hasta ponerla en contacto con el tambor. En este momento el freno se autoaplica, o sea frena hasta que haya cesado el viento o las ráfagas de alta velocidad. Este sistema de frenado a cero, evita el excesivo desgaste de la materia antifricción de la zapata.

GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA.

La investigación se ha centrado en la selección de la máquina eléctrica de generación más apropiada para la aplicación. Dentro de las pautas de selección consideramos de fundamental importancia el costo de la misma y su disponibilidad en el mercado.

Basándonos en esta última consideración se optó por estudiar el comportamiento eléctrico de un alternador de los utilizados en la industria automotriz, pues cumple con ambos requisitos.

Evaluando cualitativamente las prestaciones de este tipo de alternador podemos enunciar las siguientes ventajas:

- Amplio rango de velocidad de funcionamiento, tanto desde el punto de vista del sistema eléctrico como del sistema mecánico.
- Posibilidad de transformar y elevar la tensión generada para un más eficiente transporte de energía a distancias relativamente grandes.
- Posee anillos rozantes en lugar de colector (máquina de C.C.), lo que reduce sustancialmente el mantenimiento.
- Posibilidad de encontrar alternadores comerciales de bajo costo.

De acuerdo a lo expresado precedentemente se iniciaron los estudios utilizando un alternador marca Indiel de 24 Volt y 35 Amp.

DEFINICIÓN DE LOS ENSAYOS.

Con el objeto de conocer las características de funcionamiento del alternador se realizaron los siguientes ensayos:

a) Determinación de la característica de vacío

$V_{sal} = f(I_{ex})$ para $n = cte$ y $I_{sal} = 0$

V_{sal} : Tensión rectificada en bornes de la máquina

I_{ex} : Corriente de excitación (arrollamiento de campo).

n : número de revoluciones por minuto.

Los datos obtenidos de este ensayo permiten determinar el valor inicial del rango de velocidades de giro.

Este valor mínimo de rpm se determina en base a:

Máxima corriente de excitación admisible por el arrollamiento de campo.

Saturación del circuito magnético de la máquina.

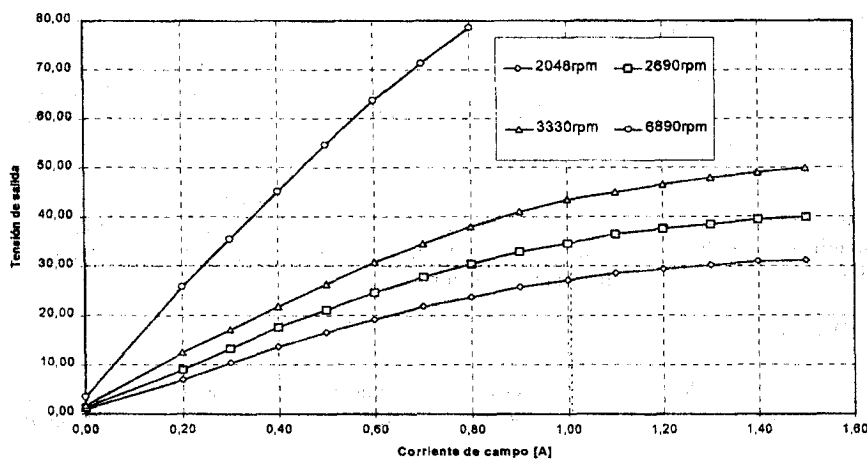
Mínima tensión necesaria para el funcionamiento del controlador electrónico que administra la potencia a la unidad de consumo (bomba o baterías).

Alternador: Marca Indiel, 24 Vdc 35 Amp.

Valores medidos

I_{ex}	V_{sal} para			
	2048rp	2690rp	3330rp	6890rp
0,00	0,95	1,25	1,70	3,32
0,20	1,00	1,40	1,75	2,38
0,30	1,05	1,55	1,77	3,54
0,40	1,35	1,75	2,18	4,51
0,50	1,68	2,12	2,62	5,46
0,60	1,92	2,42	3,08	6,37
0,70	2,18	2,78	3,45	7,13
0,80	2,38	3,05	3,80	7,86
0,90	2,58	3,29	4,10	
1,00	2,72	3,46	4,35	
1,10	2,86	3,65	4,50	
1,20	2,94	3,76	4,65	
1,30	3,02	3,85	4,80	
1,40	3,10	3,95	4,90	
1,50	3,12	4,00	5,00	

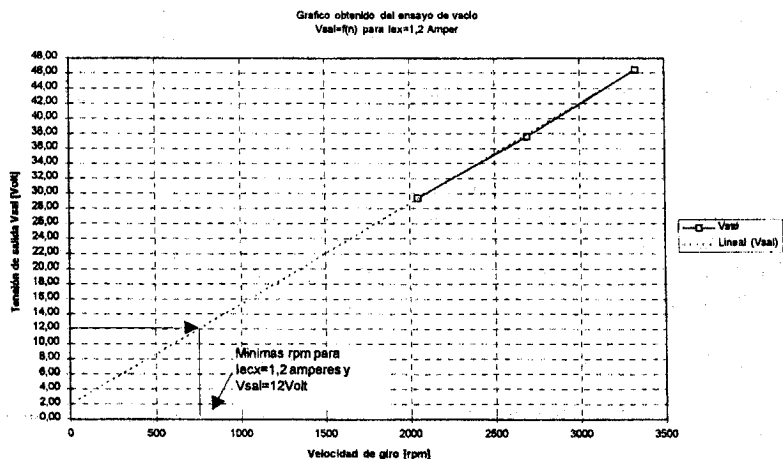
Característica de vacío $V_{sal} = f(I_{ex})$ para $n = Cte$.



La figura muestra los valores de tensión rectificada, en terminales de salida en función de la corriente de excitación para distintos números de revoluciones. Estas curvas fueron determinadas en forma experimental en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas del Departamento de Ing. Electromecánica utilizando una dinamo-péndulo como motor de impulso con transmisión mediante correa "V". De este ensayo se obtiene el valor de la corriente de excitación máxima.

Considerando que en nuestra aplicación el número de revoluciones puede variar entre amplios límites según la velocidad del viento, se estimó necesario determinar el mínimo número de revoluciones para el cual es posible obtener una tensión de salida mínima de 12 Vdc (Para el funcionamiento de la electrónica de regulación), con corriente de excitación máxima.

De los valores de ensayo se obtuvo la siguiente tabla:



Alternador: Marca Indiel, 24 Vdc 35 Amp.
Iex max: 1,2 amp

n	Vsal
2048	29,40
2690	37,60
3330	46,50

Graficando los valores tabulados y extrapolándolos se obtuvo que el número de revoluciones por minuto mínimo para el funcionamiento del sistema es 750 rpm. Cabe aclarar que a este régimen de funcionamiento la potencia a transferir es también mínima.

b) Determinación de la característica de potencia de salida y rendimiento en función de la corriente de excitación.

$P_{sal} = f(I_{ex})$ para $V_{sal} = cte$ y $n = cte$

P_{sal} : Potencia útil en terminales de máquina

V_{sal} : Tensión rectificada en bornes de la máquina

I_{ex} : Corriente de excitación (arrollamiento de campo).

n : número de revoluciones por minuto.

Los datos obtenidos de este ensayo son útiles para el diseño del controlador. Este será el que determine la corriente de excitación para todos los regímenes de funcionamiento del sistema.

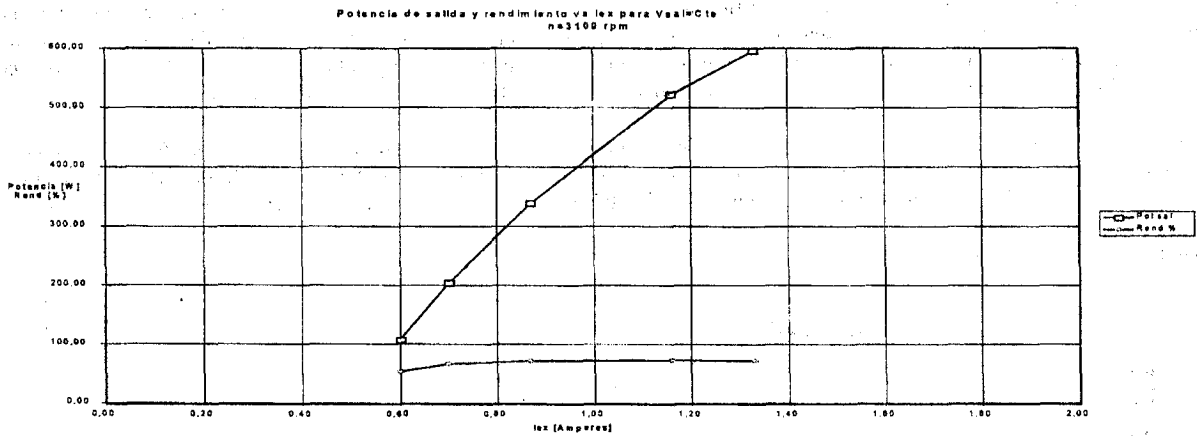
En este ensayo, realizado mediante el uso de una dinamo-péndulo (como motor de impulso) se determinó también el rendimiento de la máquina para dos valores de velocidad de giro distintos. A continuación se muestran las dos tablas y uno de los gráficos correspondientes.

ENSAYO EN CARGA DE ALTERNADOR

Alternador: Marca Indiel, 24 Vdc 35 Amp.

Amp Iex	Amp Isal	Kgm T	Volt V	rpm ndp	rpm n	rad/seg n	Kgm/seg Pot ent	CV Pot ent	Watt Pot ent	Watt Pot sal	% Rend %
0,60	4,50	0,13	24,00	1492,59	3100,00	158,30	20,32	0,27	199,83	108,00	54,18
0,70	8,50	0,20	24,00	1487,78	3090,00	155,80	31,16	0,42	305,88	204,00	66,74
0,87	14,10	0,31	24,00	1478,15	3070,00	154,79	47,99	0,64	470,74	338,40	71,89
1,16	21,75	0,48	24,00	1453,11	3018,00	152,17	73,04	0,97	718,54	522,00	72,85
1,33	24,80	0,57	24,00	1408,78	2928,00	147,83	84,15	1,12	826,51	595,20	72,10

Amp Iex	Amp Isal	Kgm T	Volt V	rpm ndp	rpm n	rad/seg n	Kgm/seg Pot ent	CV Pot ent	Watt Pot ent	Watt Pot sal	% Rend %
0,76	0,00	0,05	24,00	1023,15	2125,00	107,14	5,38	0,07	52,55	0,00	0,00
0,92	4,48	0,17	24,00	1030,85	2141,00	107,95	18,35	0,24	180,03	107,52	59,72
1,15	8,80	0,29	24,00	1011,11	2109,00	105,88	30,60	0,41	300,19	211,20	70,38
1,83	15,10	0,49	24,00	985,59	2047,00	103,21	50,57	0,67	496,13	362,40	73,05



En las gráficas se ha representado el rendimiento y la potencia de salida para distintos valores de la corriente de excitación para V_{sal} constante en 24 Vdc y a dos regímenes de rpm distintos. Se puede observar que para la corriente de excitación máxima I_{ex} = 1,2 Amperes, la potencia de salida es de aproximadamente 540 W para 3100 rpm y de 215 W para 2100 rpm. La banda de rpm de funcionamiento del alternador deberá adaptarse al de la hélice para un máximo aprovechamiento de la potencia disponible mediante una caja multiplicadora.

El rendimiento determinado de esta máquina es del orden del 70%, lo que se considera algo bajo.

Se está analizando la posibilidad de repetir estos ensayos con máquinas de distintos fabricantes y de la potencia adaptada a la mecánica nominal de la hélice que se está desarrollando.

SISTEMA DE CONTROL

Partiendo del tipo de generador seleccionado, y tomando en cuenta los ensayos ya realizados en el alternador de tipo comercial, se está diseñando un sistema de control PID, para que el alternador suministre la máxima potencia para los distintos rangos de r.p.m. al que va a estar sometido, por las variaciones de los vientos. Esto lleva a controlar la máxima potencia, en función de la corriente de excitación del mismo, perturbado por las variaciones de las r.p.m. y los distintos estados de carga. A tal fin se está trabajando con el microcontrolador Motorola 68hc11 que tiene incorporado convertidores analógico-digitales, permitiendo realizar lecturas con pocos circuitos anexos de las variables a controlar y necesitando para su funcionamiento una fuente de poder de muy baja potencia y por ende de bajo mantenimiento y costo.

REFERENCIAS.

- Kreider, J.F. and Kreith, F. 1981 "Solar energy hand book". E.E.U.U.
- Miner, 1997. "Principios de conversión de la energía eólica". Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) Madrid, España.
- Rosato, M.A. 1991 "Diseño de máquinas eólicas de pequeña potencia". Sevilla, España.
- United States Government Printing Office. Annual Reports NACA.
- Progensa. 1997. "Energía Eólica". Madrid. España.