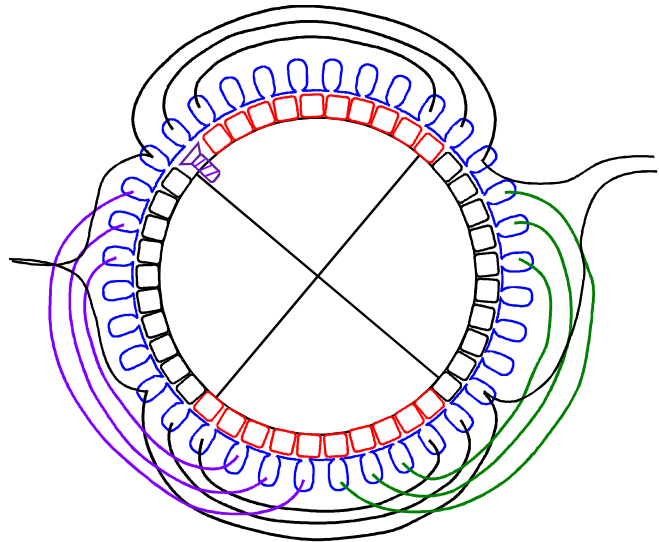
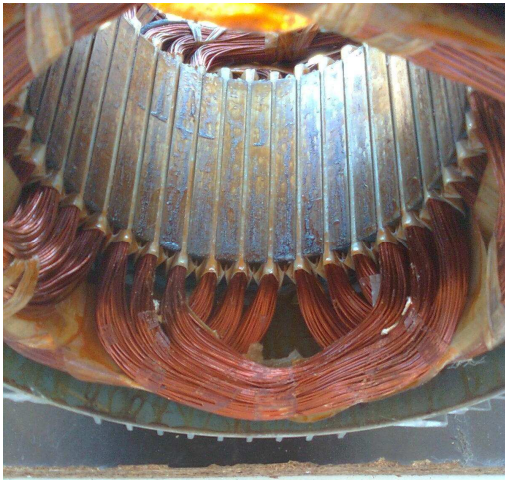


MANUAL PRÁCTICO DE TRANSFORMACIÓN DE UN MOTOR TRIFÁSICO DE JAULA DE ARDILLA DE CUATRO POLOS, EN GENERADOR ELÉCTRICO.

Introducción.

El motor trifásico de jaula de ardilla de cuatro polos, posee un bobinado formado por 18 bobinas, seis por cada fase, enfrentadas tres a tres. El estator donde están las bobinas tiene 36 dientes de hierro. Cada grupo de tres bobinas posee una bobina interior, una intermedia y otra exterior como se aprecia en la siguiente foto, y en el dibujo



La bobina interior engloba 7 dientes de hierro, la intermedia 9 dientes y la exterior 11 dientes. Como el número total de dientes es 36 y se tienen cuatro polos, cada polo está formado por 9 dientes.

Las 6 bobinas negras forman una fase, la igual que las verdes y las moradas, pero en éstas faltan las bobinas de enfrente, que sí están dibujadas para el caso de las bobinas negras.

Las bobinas de cada fase están unidas en serie, por lo que salen solo dos cables por cada fase, como se aprecia en el dibujo.

La idea básica de la transformación consiste en hacer cuatro polos magnéticos usando imanes estrechos, para que se adapten bien a la circunferencia del rotor. Mi propuesta es usar imanes de 10 mm de ancho, y en base a esa idea, explicaré el proceso a seguir para obtener los cuatro polos magnéticos.

Como ejemplo práctico que explique bien los pasos a seguir, usaré las medidas del motor cuya foto aparece arriba.

Primer paso: medidas del rotor

Lo primero que se debe hacer es tomar medidas muy precisas del diámetro del estator, y de su longitud. Para ello se debería utilizar un calibre, pero es una herramienta

que no esta al alcance de la mayoría de personas, por eso se puede hacer el siguiente “truco”: con un palillo de pinchos, se corta un trozo algo superior al diámetro del estator. Posteriormente se va lijando con un papel de lija, y se va probando hasta que entre ajustado entre dos dientes enfrentados.



Conseguido esto, se mide la longitud del palillo con una cinta métrica. En última instancia, y como el rotor se debe llevar a un taller de torno, en el propio taller se puede medir el diámetro el rotor, que suele ser 1 mm. inferior al diámetro del estator.

La longitud del estator se puede medir directamente con la cinta métrica, y el resultado de esta medición no es crítico. Para el motor de las fotos anteriores, las medidas obtenidas han sido

- Diámetro de rotor = 165 mm.
- Longitud de rotor = 130 mm

Segundo paso: mecanizado del rotor

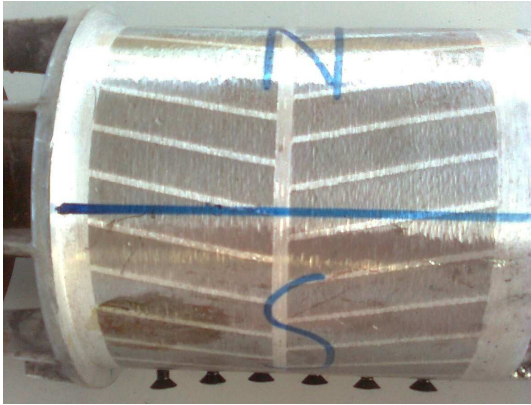
Si el diámetro del estator es superior a 100 mm., recomiendo usar imanes de 10 mm. de grosor (el ancho es también 10 mm. como se ha dicho en la introducción), porque crean un campo magnético bastante elevado y ello contribuye a obtener un mayor rendimiento en el generador.

Para poder colocar los imanes en el rotor, hay que rebajar su diámetro una cierta cantidad que viene determinada por el grosor de dos imanes juntos, mas unos milímetros para colocar un hilo de acero que abrace a los imanes, y una cierta cantidad de pegamento. Hay que hacer una camisa de fuerza a los imanes, para que no se muevan ni se salgan del rotor cuando el generador alcance grandes revoluciones. Por ello he decidido añadir 5 milímetros más al grosor de dos imanes, y así hay espacio suficiente para la realización de la camisa de fuerza. Llamando D al diámetro original del rotor, mi decisión es reducirlo a $d = D - 25$ mm. Este mecanizado del rotor debe hacerse obligatoriamente en un torno..

Para el motor anterior, el diámetro final será $165 - 25 = 140$ mm.

Tercer paso: preparación del rotor

Una vez rebajado el rotor, y antes de empezar a colocar los imanes, se debe preparar unos agujeros de métrica 6, para que sirvan de sujeción al hilo de acero que abrazará los imanes. Se dibuja una línea recta a lo largo del rotor, y se harán dos agujeros por cada imán. La longitud del imán que se usará es de 40 mm. y el número de imanes que se colocaran a lo largo del mismo viene determinado por su longitud (medida en el primer paso). Así pues el número de agujeros será el doble de los imanes que quepan a lo largo del rotor. La situación de los dos agujeros puede ser a 7 mm. de cada extremo del imán. Posteriormente se dividirá la circunferencia del rotor en cuatro partes, cada una de las cuales se llenará de imanes de un único polo



Para este motor, la longitud de 130 mm. determina que hay que colocar 3 imanes a lo largo del rotor, faltando 1 cm por cubrir toda la longitud.

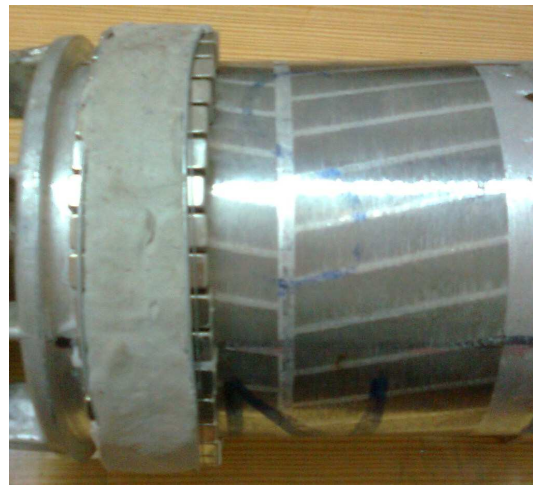
Cuarto paso: colocación de la primera circunferencia de imanes

Como hay que colocar juntos varios imanes de la misma polaridad magnética, hay que idear una “técnica que impida que salgan repelidos” en cuanto se acerquen unos a otros. Antes que nada, es conveniente nombrar los polos de los imanes, para poder colocarlos adecuadamente. Para saber que cara del imán es un polo, se le acerca un destornillador y la punta del mismo buscará la cara que corresponda al polo. Entonces se escribe una N en dicha cara. No importa que en realidad esa cara sea la del polo Sur, lo que importa es la posición relativa de los polos de los imanes en el rotor. La técnica para colocar los imanes es la siguiente:

- Colocar unos pocos imanes separados entre si de modo que las fuerzas de repulsión no impidan su colocación en el rotor. Usar unas gotas de cianocrilato.
- Para asegurar que en la separación entre imanes, caben otros imanes, usaremos como separadores, barritas de aluminio de la misma sección del imán, cortadas una longitud de al menos 10 mm. mayor de la longitud del imán.



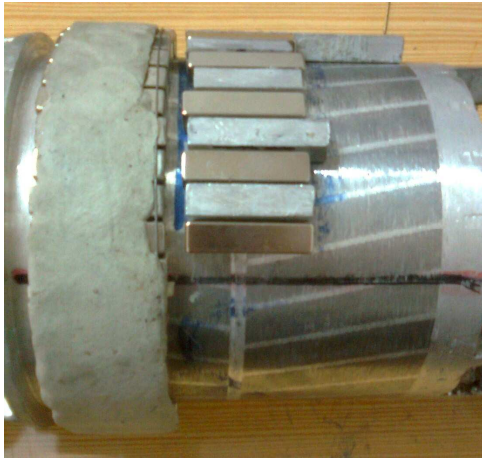
- Después de colocar los imanes y los separadores en una circunferencia completa, se colocan dos tornillos de métrica 6 y se enrollan tres o cuatro vueltas de hilo de acero de tornillo a tornillo, procurando que quede bien tensado.
- Luego se hacen dos abrazaderas con hilos de hierro de un diámetro aproximado de 1.5 mm, sobre la circunferencia de imanes, apretando lo máximo posible.
- A continuación se van quitando uno a uno los separadores de aluminio, y en su lugar se coloca el imán correspondiente.
- Por último se recubren los imanes con masilla Poxilina u otro pegamento (como masilla de carrocería de coches) para hacer la camisa de fuerza, junto con el hilo de acero, que mantenga los imanes en su sitio. Los hilos de hierro pueden servir como enrase del grosor de la capa de pegamento, y hay que quitarlos en cuanto la masilla empiece a endurecer.



Quinto paso: colocación de las siguientes circunferencias de imanes

El proceso a seguir es idéntico al explicado en el paso cuarto, por lo que se mostraran solo las fotos correspondientes al proceso seguido:

- Imanes de la misma polaridad separados por separadores de aluminio



- Hilo de acero y cable de hierro para sujetar los imanes



- Todos los imanes colocados y recubiertos de Poxilina



- Última circunferencia de imanes



Rotor totalmente terminado



Sexto paso: colocación del rotor dentro del estator

Antes de colocar el rotor en el interior del estator, es conveniente medir el diámetro final para asegurarse que no roza con el estator. En caso de que el diámetro sea excesivo, la Poxilina se puede lijar y rebajar hasta conseguir un diámetro que sea inferior al del interior del estator.

La colocación del rotor dentro del estator es una operación **MUY PELIGROSA**, puesto que la fuerza de atracción entre los imanes del rotor y los dientes de hierro del estator, hace que el rotor se mueva con mucha rapidez hacia el interior del estator.

La forma de realizar esta operación con seguridad es poner

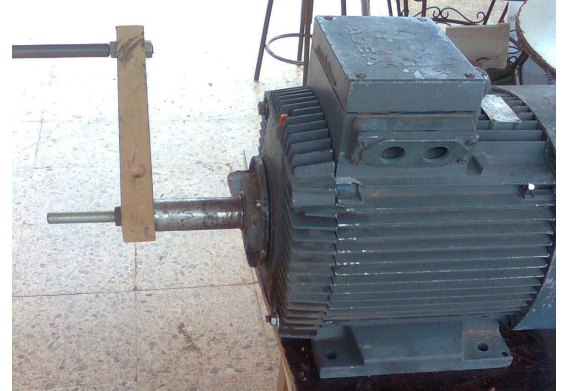
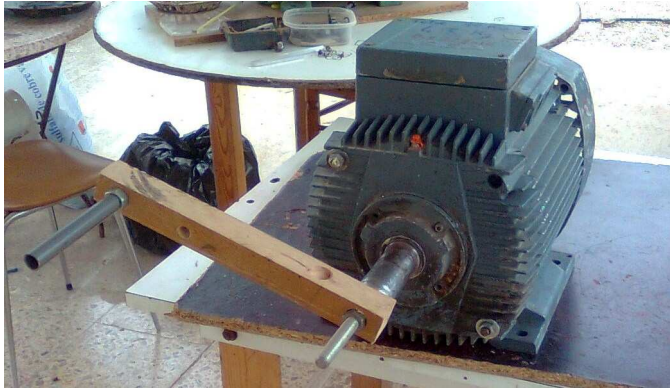
- Poner la tapa posterior del motor al eje del rotor.
- Colocar y apoyar el extremo frontal del rotor dentro del estator (solo el extremo)
- Coger por detrás la tapa del rotor **SIN PONER LAS MANOS ENTRE ESTA TAPA Y EL MOTOR**
- Ir empujando el rotor dentro del estator, cogiendo siempre por la parte externa de la tapa **SIN PONER LAS MANOS ENTRE LA TAPA Y EL MOTOR.**
- Cuando los imanes se acerquen a los dientes de hierro del estator, el rotor sufrirá un movimiento rápido y brusco hasta colocarse en el interior del estator.

LA PERSONA QUE QUIERA SEGUIR ESTE MANUAL Y NO TENGA EL CUIDADO NECESARIO PARA REALIZAR ESTA ULTIMA OPERACIÓN, PUEDE SUFRIR LA FRACTURA DE LOS DEDOS DE LA MANO Y TAL VEZ LA PERDIDA DE ALGUNO DE ELLOS..

EL AUTOR DE ESTE MANUAL NO SE HACE RESPONSABLE DE LOS ACCIDENTES QUE PUEDA SUFRIR LA PERSONA QUE INTENTE TRANSFORMAR UN MOTOR EN GENERADOR Y NO TENGA CUIDADO EN EL MANEJO DEL ROTOR EN SU COLOCACION DENTRO DEL ESTATOR

Prueba final del generador.

El aspecto final del motor transformado en generador se muestra en las siguientes fotos

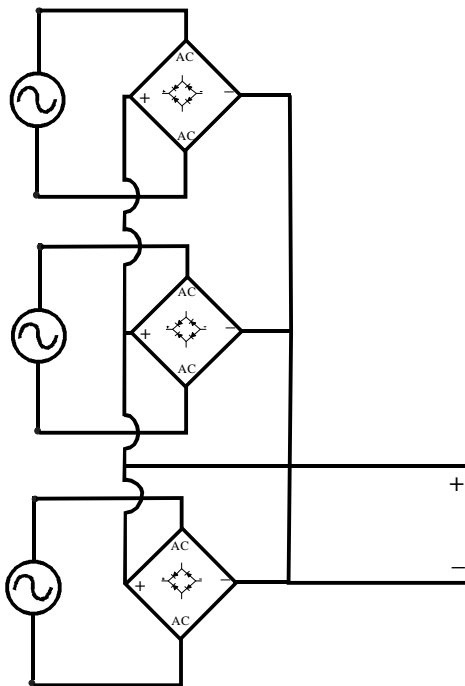


Con la manivela de madera se puede conseguir hacer girar al generador a 60, 120 e incluso 180 rpms. Con la ayuda de un reloj de cocina que marca los segundos, se puede hacer girar el eje del motor a 1, 2 e incluso 3 vueltas por segundo, sin conectar ninguna carga al bobinado, pues en este caso, habría que hacer mucha mas fuerza y no se podría llegar a 180 rpms.

La tensión obtenida en un generador es directamente proporcional a las rpms. Para este generador se han obtenido 28 voltios en cada fase, para unas 120 rpms. La resistencia de cada fase es de 0.8 ohmios.

En cada fase del generador se pondrá un puente de diodos, como se ve en el dibujo, y por tanto se supondrá que las tres fases están en paralelo, por lo tanto la resistencia total del generador será $0.8/3 = 0.26$ ohmios.

Un puente de diodos absorbe 2 voltios aproximadamente. Con todos estos datos, se puede saber la intensidad de corriente y la potencia del generador en función de las rpms para cargar 12, 24 o 48 voltios. La intensidad de corriente se calcula por la expresión



$$I = \frac{\text{Voltaje}_{\text{generador}} - \text{Voltaje}_{\text{puente}} - \text{Voltaje}_{\text{bateria}}}{\text{Resistencia}_{\text{generador}}}$$

sin tener en cuenta la resistencia interna de la batería ni la de los cables de conexión entre generador y batería

La potencia almacenada en la batería se obtiene por la expresión

$$P = \text{Intensidad} \times \text{Voltaje}_{\text{bateria}}$$

y la potencia consumida en el propio generador se obtiene por la expresión

$$P_g = \text{Intensidad}^2 \times \text{Resistencia}_{\text{generador}}$$

Sumando ambas potencias se obtiene la potencia total que el viento está suministrando al generador, despreciando rozamientos con el aire y en los propios rodamientos del generador. El rendimiento del generador es el cociente entre la potencia almacenada y la potencia total

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Potencia almacenada}}{\text{Potencia total}}$$

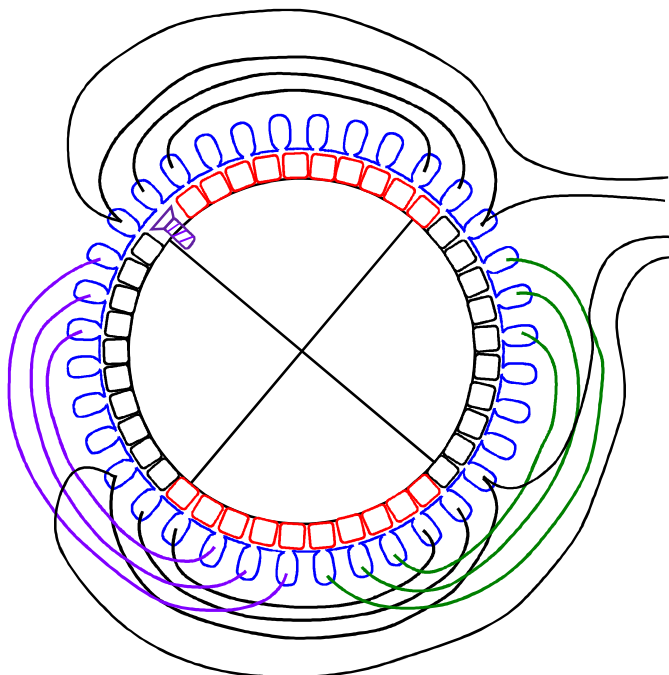
Pruebas realizadas con viento

Las palas del generador miden 130 cm de longitud, 14 cm de anchura y la inclinación aproximada es de 12 °. En la primera prueba con viento, el generador estaba conectado a una batería de 12 voltios y se observó que la potencia suministrada era muy poca, apenas 70 watios. La explicación se debe a que el potencial generado es demasiado grande respecto al potencial de la batería, con lo cual la intensidad de corriente sería tan grande que el frenado que produce es muy grande y el aerogenerador disminuye sus rpms, y como consecuencia disminuye el voltaje y la potencia generada.

Cuando un generador empieza a suministrar corriente a una batería, sufre un frenado que aumenta con la intensidad de corriente. Este frenado es la reacción de las bobinas al movimiento de los imanes, y fué enunciado por Lenz. También es la explicación del principio de conservación de la energía: cuando los imanes se mueven tienen energía cinética, la cual pasa a las bobinas en forma de energía eléctrica, por tanto la energía cinética de los imanes disminuye, y se nota el frenado de los imanes.

Es el mismo fenómeno que se produce cuando se cortocircuita el generador y se queda prácticamente parado por el gran frenado que produciría la corriente de cortocircuito.

La decisión que he tomado es separar las bobinas de cada fase y conectarlas en paralelo en vez de en serie para disminuir el potencial generado. La nueva conexión de las bobinas se ve en el dibujo siguiente:



Ahora salen cuatro cables de cada fase, que se pueden conectar en paralelo. Así el potencial generado es de 14 voltios a 120 rpms., y la potencia suministrada a la batería ha aumentado para la misma velocidad de viento, llegando a 250 watios a una velocidad de viento de 30 Km/h

También he realizado otra prueba consistente en cambiar de 12 voltios a 24 voltios cuando está soplando el viento y el resultado ha sido que la corriente

suministrada ha sido casi la misma a 12 que a 24 voltios, con lo cual la potencia suministrada a la batería se duplica. Esto se debe a lo mismo explicado antes, al aumentar el potencial de la batería, aumentan las rpms del generador necesarias para alcanzar el nuevo potencial y la intensidad permanece casi idéntica. Por ello, la conexión ideal del generador es a una batería de 24 voltios para obtener más potencia y más rendimiento del aerogenerador.