

# motor tico

BOLETÍN MENSUAL PREPARADO POR [WWW.MOTORTICO.COM](http://WWW.MOTORTICO.COM), COSTA RICA

JULIO 2014

## Fallas en Aerogeneradores Eléctricos

Los sistemas de generación eólica son diseñados y construidos para convertir la energía cinética del viento, en potencia mecánica que moverá a su vez un generador eléctrico, y entregará electricidad para su aprovechamiento. El uso de la energía del viento se remonta muchos años atrás, donde las primeras máquinas fueron molinos de viento, probablemente de eje vertical, que se usaron para moler granos, esto en Persia unos 200 años antes de Cristo. Actualmente, cerca del 20% de la generación eléctrica mundial se hace con fuentes renovables, el resto es con fuentes fósiles. De este 20%, el uso del viento para generación eléctrica representa un nivel cercano al 1%, en el mundo, y siguen aumentando. Algunos datos importantes del sector de generación eólica son los siguientes:

- Aproximadamente el **99%** de aerogeneradores están conectados por medio de convertidores electrónica de potencia.
- Cerca del **70%** de los aerogeneradores usan máquinas inducción de rotor bobinado (**DFIG** por las siglas en inglés de Generador de Inducción Doblemente Alimentado).
- Se clasifican según la velocidad de giro en:
  1. De Baja velocidad: con transmisión directa, sin cajas de engranajes. Velocidades típicas de 30rpm. Usan **PMSG** (por sus siglas en inglés de Generador Síncrono de Imanes permanentes).
  2. De Media velocidad: con cajas de engranajes de 1 ó 2 etapas. Velocidades típicas de 100 a 500rpm. Usan PMSG.
  3. De Alta velocidad: con cajas engranajes de 3 etapas. Velocidades típicas de 1000-2000rpm. Usan DFIG.
- Se clasifican por la potencia de las unidades en:
  1. Pequeñas (<1 MW).
  2. Medianas (**1-2MW**). Este es tamaño más utilizado en los parques eólicos hoy día.
  3. Grandes (> 2 MW).

Por lo que se usa actualmente, nos concentramos en este boletín en el generador doblemente alimentado (DFIG), para analizar el tema de fallas, como aporte al mejor uso de esta tecnología de generación eléctrica.

### Máquina de Inducción como Generador

Supongamos que con un motor de inducción se arranca, y luego se acelera por acción de una fuerza externa, donde el rotor de la máquina gira a una velocidad mayor a la del campo magnético rotatorio, o lo que es igual: más rápido que la velocidad sincrónica (o de sincronismo)  $n_s$ . En este caso, el deslizamiento se hace negativo y el sentido de rotación del flujo magnético con respecto al rotor cambia por el contrario al sentido que tenía la máquina cuando funcionaba como motor. En correspondencia, con esto se invierte el sentido de la tensión inducida en estator y el de la corriente. Por lo tanto, la máquina pasa de su fase de motor, donde absorbe potencia eléctrica de la red, a la fase como generador, y ahora entrega potencia a la red. La *Figura 1* muestra la curva característica Torque-Velocidad, donde se observa los sentidos del torque, potencia, velocidad. Nótese el cambio de signo y sentido del torque (de+ a -).

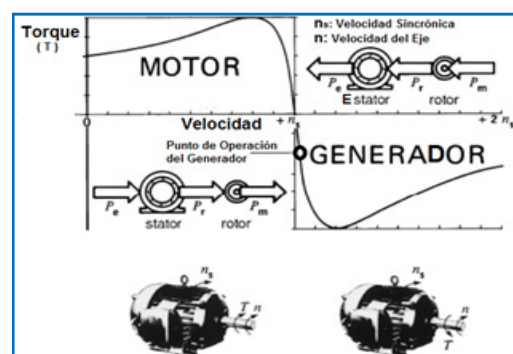


Figura 1 La máquina de inducción como motor y generador

### Evolución Histórica-Tipos de Aerogeneradores

Los aerogeneradores eléctricos se empiezan a usar en la década de 1970, donde surgen las primeras propuestas. Pero, fue en la década de 1990 donde su uso se extendió. Varios tipos de unidades se han desarrollado, en la gama de medianos tamaños son los siguientes:

1. El primer tipo fue el de velocidad fija, usando cajas de engranajes y una máquina de inducción estandar, tipo Jaula de Ardilla (**SCIG** por sus siglas en inglés). Dinamarca fue el principal constructor de este tipo de máquinas entre los años 1980 a 1990. Se conectaban directamente a la red, y requerían un banco de condensadores ya que se necesitaba potencia reactiva para magnetizar el generador. Se arrancaban por medio de un arrancador suave, y luego el viento se encargaba de devolver la potencia a la red. Adicionalmente, algunas unidades se construían con doble bobinado (O un bobinado con 2 velocidades), para ser aplicado en 2 condiciones de velocidad, según el viento imperante.
2. A mediados de los años 1990, se desarrolló un nuevo tipo de aerogeneradores, por un fabricante Danés. Se llamó Generador de Inducción con Rotor Bobinado (**WRIG** por sus siglas en inglés), controlado por cambios en la resistencia de rotor, por medio de electrónica de potencia, que se accede a éste por medio de anillos con escobillas. Hoy en día el concepto se sigue aplicando por algunos fabricantes. Son de limitada velocidad variable. El estator se conecta directamente a la red. Adicionalmente, se requiere un banco de condensadores y arrancador suave.
3. Avanzada la década de los 90's, aparecieron los generadores de inducción doblemente alimentados, donde se incluía un rotor bobinado, y se accede a éste por medio de anillos con escobillas. Este era también conectado a la red por medio de electrónica de potencia. Con esto se controla la potencia activa y reactiva según las condiciones. Por el rotor puede circular 20-30% de la potencia de la unidad, y así se dimensiona la electrónica de potencia. Es la máquina más usada hoy día, como se mencionó anteriormente.
4. Otro tipo de generador que se usa es el tipo Sincrónico, o **SG** (Similar al usado en generación hidroeléctrica), con rotor de excitación en CD, existen versiones: con y sin escobillas. Son unidades grandes, hasta 4.5MW.
5. Finalmente, en los últimos años se desarrolló lo que para muchos será (o es el del presente) el aerogenerador del futuro: El generador de rotor con imanes permanentes. Conocido como **PMSG**. Tiene muchas ventajas frente a los otros, como es que NO usa caja de engranajes, y es la electrónica de potencia que se encarga de producir la tensión de salida a frecuencia deseada. El impulso de los últimos tiempos se debe al menor precio de las tierras raras (como neodimio) usadas para fabricar los magnétos. Lamentablemente, los mayores yacimientos de estos materiales están en China, por lo que este país controla los precios.

### Análisis Causa-Raíz en Aerogeneradores

Por las condiciones de operación que tienen los aerogeneradores doblemente alimentados, las unidades tienen las siguientes solicitaciones de diseño y construcción, para soportar:

- Solicitaciones Eléctricas:
  1. Soportar transitorios de tensión.
  2. Selección de los materiales aislantes (Cables Rotor, Bobinados).
- Solicitaciones Térmicas:
  3. Exposición a Altas Temperaturas (Enfriamiento).
- Solicitaciones Mecánicas:
  4. Alta Vibración presente.
  5. Enormes Fuerzas Centrífugas en rotor (Fijación del Rotor).
  6. El fenómeno de Corrientes en Rodamientos se presenta.
  7. Cuidados con la Lubricación.
- Otras: Contaminación.



Figura 2 Partes de un Aerogenerador DFIG

Si se revisa la literatura existente, se encuentran algunos análisis causa-raíz en aerogeneradores, que analiza porqué las cosas salen mal. Además, los modos de falla, esto es: la manifestación, forma u orden de la falla. En un estudio realizado en una población de 1200 unidades falladas, entre 2005-2010 se encontraron las fallas más comunes. La Figura 3 muestra los resultados.

Figura 3 Fallas más comunes en Aerogeneradores 1 a 2 MW

Se observa en la Figura 3 que la falla más común es en los rodamientos. A continuación se presentan las fallas separadas en Eléctricas y Mecánicas.

#### A. Fallas Eléctricas en Aerogeneradores

Las fallas eléctricas que se presentan son las siguientes:

1. Daños es aislamiento en Estator.
2. Daños aislamiento en Rotor.
3. Fallas en los cables de salida del Rotor.
4. Fallas en anillos colectores.
5. Fallas en las cuñas magnéticas usadas en el estator.
6. Otras fallas eléctricas.

Las siguientes fotografías ilustran estas fallas.



Corto en Estator



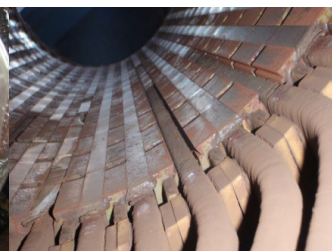
Corto en Rotor



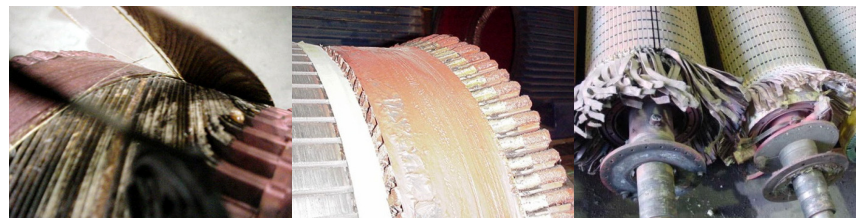
Falla Cables de Rotor



Falla en Cuñas Magnéticas



Falla en el encintado del rotor bobinado



#### B. Fallas Mecánicas en Aerogeneradores

Las fallas mecánicas que se presentan son las siguientes:

1. Fallas rodamientos.
2. Fallas sistemas de enfriamiento.
3. Otras fallas mecánicas.

Las siguientes fotografías ilustran las fallas:

Rodamiento con falla



Rodamiento Quebrado



Falla de Lubricación



Exceso de Lubricante

