

# Prevención de daños en rodamientos por corrientes parásitas en los motores de vehículos eléctricos

Ricardo Berizzo  
Cátedra Movilidad Eléctrica  
UTN Rosario  
rberizzo@gmail.com

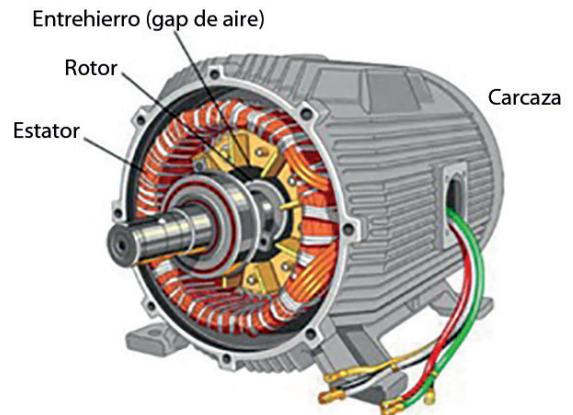


Figura 1. Motor eléctrico

## Conformación básica de un motor de inducción

Como ejemplo, se tomará un motor trifásico de inducción aunque, en general, cualquier motor mono-trifásico, de corriente continua o alterna, tiene un rotor que gira dentro de un campo magnético externo generado en la parte fija, estator.

La manera óptima de sostener y posibilitar el giro del rotor es montarlo sobre rodamientos de manera que el rotor gire lo más libre posible de impedimentos y bien centrado.

## Motores para vehículos eléctricos

Los motores de corriente alterna (trifásico inducción, sincrónicos imanes permanentes, etc.) funcionan con un controlador electrónico (llamado "inverter") que suministra una tensión determinada a frecuencias variables. Por ejemplo, rango de frecuencia de 0.01 a 120 Hz; frecuencia de portadora de 0.7 a 15 kHz hasta 22 kW, 0.7 a 10 kHz para 30 kW, 0.7 a 4 kHz hasta 75 kW, 0.7 a 3 kHz hasta 280 kW y 0.7 a 2 kHz hasta 450 kW.

Este mecanismo trae aparejado algunos inconvenientes, entre otros, el fenómeno de onda reflejada que en la electricidad se da cuando la señal conmutada cambia rápidamente de un medio a otro en los sistemas electrónicos del drive (transistores de potencia IGBT). En el caso de un siste-

ma de inverter y motor, tenemos como sistemas al conjunto variador-cable-motor. La onda generada por un variador de frecuencia común y corriente (seis pulsos) tiene una gran repercusión sobre este fenómeno por su forma control PWM de la señal. La solución es acortar al máximo la distancia de conexión entre el inverter y el motor.

Otro problema es la corriente en los rodamientos. Cuando las tensiones en el eje del motor son superiores a la capacidad de aislamiento de la grasa de los rodamientos, se producirán descargas eléctricas disruptivas hacia el exterior que pueden originar picaduras y ranuras en las pistas de los rodamientos. Los primeros síntomas de este problema serán el ruido excesivo y el sobrecalentamiento.

*A medida que los rodamientos pierden su forma original y que las partículas metálicas se mezclan con la grasa, aumenta el rozamiento*

A medida que los rodamientos pierden su forma original y que las partículas metálicas se mezclan con la grasa, aumenta el rozamiento. Esto puede provocar su destrucción al cabo de un corto tiempo de funcionamiento del variador de velocidad, con todo lo que ello representa.

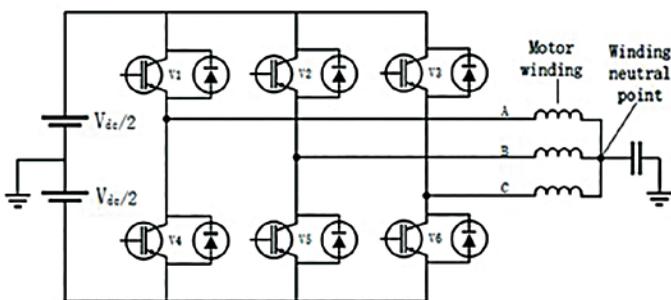


Figura 3. Diagrama de circuito de conexión de motor e inverter



Figura 2. Cambios en la grasa de los rodamientos después de quinientas horas de operación a diferentes voltajes. De izquierda a derecha: 1.2 V ; 1.3 V ; Sin voltaje

Cuando una corriente parásita presente en una máquina utiliza un rodamiento como camino de descarga a tierra, el daño resultante se denomina "daño del rodamiento por erosión eléctrica". Entre las causas más comunes del daño de los rodamientos por erosión eléctrica se encuentran la asimetría en el circuito magnético del motor, cables sin blindaje y los variadores de frecuencia (VFD) de conmutación rápida para los motores de velocidad variable.

Una vez iniciado el daño por erosión eléctrica, el alcance del daño en los rodamientos dependerá de la cantidad de energía y su duración. Sin embargo, el efecto que tendrá sobre ellos será normalmente el mismo: daños por picaduras en los elementos rodantes y caminos de rodadura, rápi-

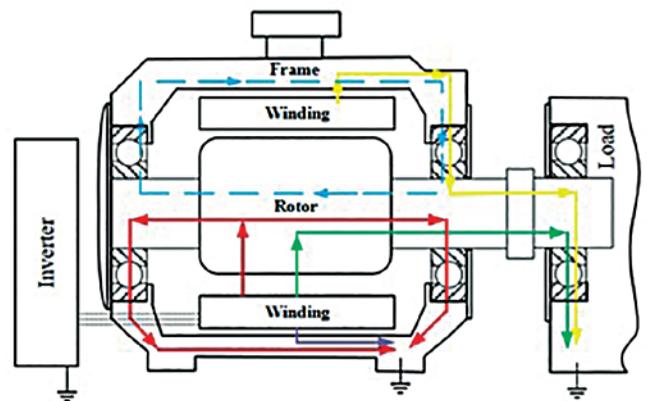


Figura 4. Caminos de corriente de rodamientos en un sistema de motor de inducción accionado por inverter

da degradación del lubricante y averías prematuras de los rodamientos del motor.

La formación de arcos eléctricos tiene lugar si existe diferencia de potencial entre el eje del motor y el soporte del rodamiento. Cuando tiene lugar la formación del arco, el nivel de tensión depende del tamaño de las bolas, la velocidad de funcionamiento, la frecuencia de la corriente y la geometría del rodamiento.

---

*La formación de cráteres es quizá el efecto más común del daño por erosión eléctrica. Se caracteriza por deposiciones de metal fundido invisibles a simple vista*

---

Cuando una corriente eléctrica atraviesa la zona de contacto de los elementos rodantes y el camino de rodadura de un rodamiento, la energía de la descarga eléctrica genera calor, lo que provoca una fusión localizada de la superficie. El efecto que esto tiene en un rodamiento es similar al de una serie de pequeños relámpagos, que funden y vuelven a templar las superficies internas del rodamiento. Como resultado, parte del material superficial se descascara, provocando una picadura muy pequeña que contribuye a aumentar el ruido en el rodamiento y a acortar potencialmente su vida útil. La formación de cráteres es quizá el efecto más común del daño por erosión eléctrica. Se caracteriza por deposiciones de metal fundido invisibles a simple vista.

El mecanismo de generación de corriente de los rodamientos y el proceso de daño de la corriente de los rodamientos son complejos y es materia de estudio profundo.

Como parte importante de los motores eléctricos, la predicción de la vida útil de los rodamientos bajo la acción de las corrientes sigue siendo una tarea de investigación necesaria en este campo, y los problemas anteriores se resolverán gradualmente.



Figura 5. Rodamiento híbrido

No obstante, se van probando alternativas. Por ejemplo, una solución consiste en utilizar rodamientos de bolas híbridos que sustituyen las bolas de acero por elementos rodantes cerámicos.

Estas alternativas a los rodamientos solo de acero cuentan con aros de acero para rodamientos, mientras que los elementos rodantes están fabricados con nitruro de silicio. Debido a la alta resistividad del nitruro de silicio, los rodamientos híbridos ofrecen un aislamiento idóneo contra las corrientes eléctricas.

---

*Debido a la alta resistividad del nitruro de silicio, los rodamientos híbridos ofrecen un aislamiento idóneo contra las corrientes eléctricas*

---

Además, los rodamientos híbridos poseen una alta capacidad de velocidad de giro y pueden alcanzar, por diversas razones, una vida útil más larga que los rodamientos totalmente de acero en la mayoría de las aplicaciones.

Entre las características principales de los rodamientos híbridos, comparados con los rodamientos totalmente de acero tradicionales, se encuentran los siguientes:

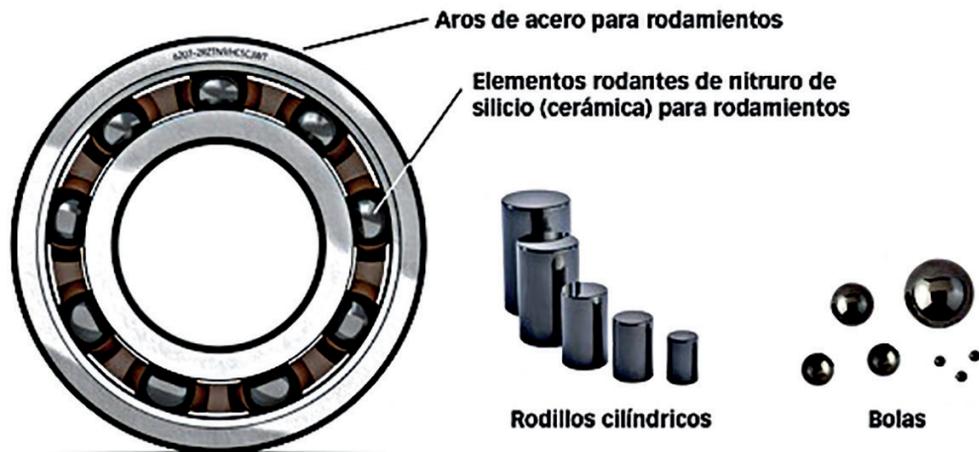


Figura 6. Materiales de composición de los elementos de un rodamiento híbrido

- » Menor densidad. Las bolas de nitruro de silicio son un 40% menos densas que las bolas de acero del mismo tamaño, lo que reduce la fuerza centrífuga y la fricción. Esto significa velocidades más altas, menos peso, menor inercia y arranques y paradas más rápidas. En resumen, los rodamientos pueden funcionar a más velocidad y con menor temperatura, por lo que ahorran energía.
- » Mayor dureza. Las bolas cerámicas son más duras que el acero y que la mayoría de las partículas contaminantes. Esto significa que los rodamientos pueden eliminar las partículas contaminantes triturándolas o presionándolas hasta los aros de acero (más blandos), donde resultan menos dañinas.
- » Menor fricción. El bajo coeficiente de rozamiento del nitruro de silicio mejora la resistencia al desgaste, que permite un funcionamiento del rodamiento a menor temperatura incluso bajo condiciones de lubricación escasa. Esto significa una mejor lubricación, menos ruido y menor temperatura de funcionamiento.
- » Módulo de elasticidad más alto. Los elementos rodantes cerámicos tienen un módulo de elasticidad un 50% más alto que el acero. Esto significa mayor rigidez del rodamiento y

menor deformación bajo carga, lo que promueve un rendimiento fiable.

- » Menor coeficiente de dilatación térmica. Los elementos rodantes cerámicos tienen una dilatación de tan solo el 29% de la de los elementos rodantes de acero. Esto significa menos sensibilidad a los gradientes de temperatura, lo que facilita una distribución más precisa de la carga.

Este tipo de rodamientos híbridos ya se utilizan en una amplia gama de aplicaciones: vehículos eléctricos, generadores de energía eólica, equipos de fabricación de semiconductores y otros.

#### Bibliografía:

- [1] [https://www.interempresas.net/Componentes\\_Mecanicos/Articulos/29534-](https://www.interempresas.net/Componentes_Mecanicos/Articulos/29534-)
- [2] Motor Bearing Damage Induced. Ma, J.; Xue, Y.; Han, Q.; Li, X.; Yu, C.
- [3] <https://slideplayer.es>
- [4] <https://www.sciopen.com/article/10.1007/s40544-019-0356-5?issn=2223-7690>