

# El motor de reluctancia conmutado - Un motor eléctrico con gran par motor y poco volumen

J. Wolff, G. Gómez

## Funcionamiento

El principio de funcionamiento del motor de reluctancia conmutado, que en muchas publicaciones de habla inglesa aparece bajo el nombre de „Switched-Reluctance-Motor“, es fácilmente imaginable: Un eje de hierro que puede girar apoyado sobre unos rodamientos, o también los dientes de un rotor de hierro, se orientan en un campo magnético producido gracias a una corriente eléctrica en los polos del estator. Mediante una determinada conmutación del campo magnético se conseguirá un movimiento rotatorio del núcleo de hierro. En el caso de que este rotor posea mas dientes, se puede comparar su forma a la de una rueda dentada de gran espesor. El concepto „Reluctancia“ se corresponde con la resistencia magnética, la cual opone dicho rotor al campo electromagnético. La generación y posterior conmutación del campo magnético se realiza en los bobinados de los polos de la parte fija de la máquina, a través de la electrónica de potencia conectada al motor. Con la electrónica de potencia, mediante la cual nos referimos al convertidor de corriente así como al convertidor de frecuencia, se pueden influir de la manera deseada tanto en las revoluciones como en el par de giro del motor. Los motores de reluctancia conmutados permiten ser realizados desde los accionamientos más pequeños hasta los grandes motores.

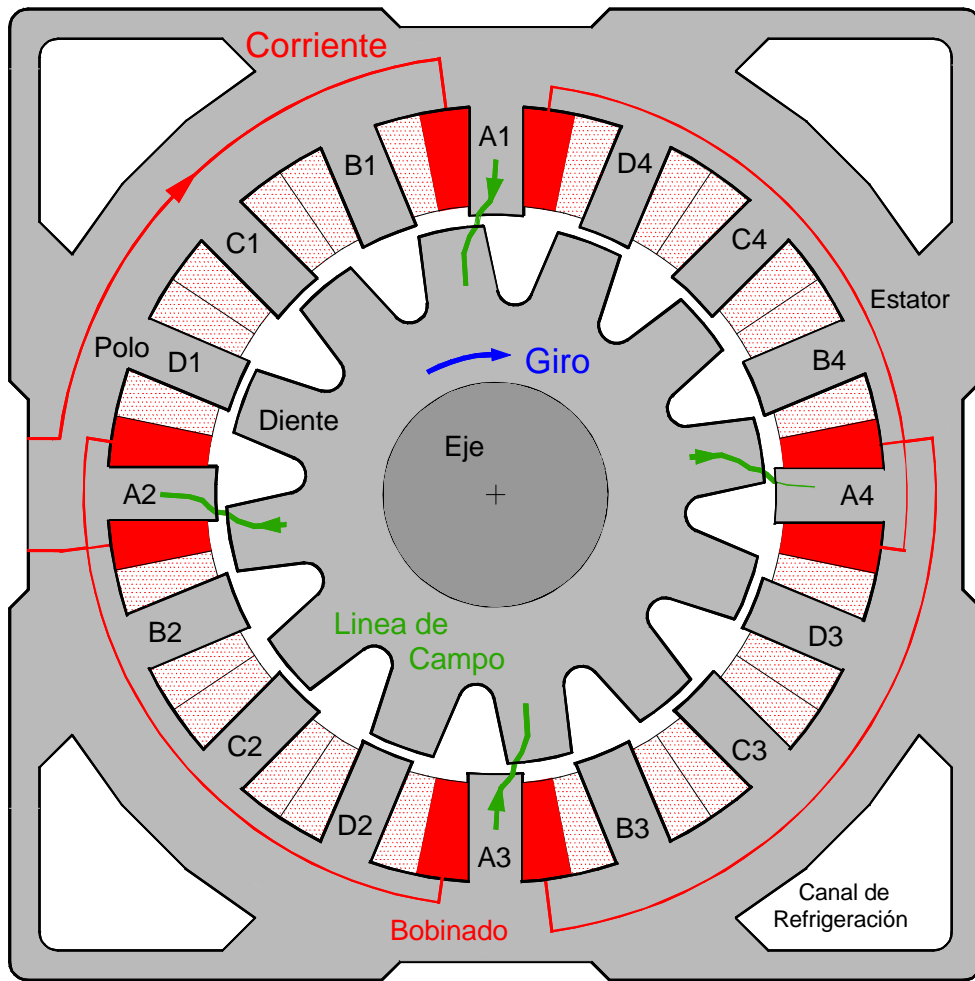


Figura 1: Corte transversal de un motor de reluctancia conmutado

### Motor de prueba

En el instituto de Electrotecnia de la Universidad de Karlsruhe en Alemania se ha desarrollado, optimizado y probado un motor de reluctancia conmutado con una potencia nominal de 26 kW a una velocidad de 1500 r.p.m. El convertidor se ha conectado directamente a la red trifásica de 400V/50Hz. Algunos resultados de las mediciones sobre dicho dispositivo de prueba deberán mostrar como ejemplo las potentes facultades del motor de reluctancia conmutado. El encargo para la construcción del motor lo tomó la empresa Elbtalwerk Heidenau GmbH. En la figura 1 se muestra la forma de funcionamiento y el corte transversal principal del motor

desarrollado. Dicho motor se compone de un estator de 16 polos y de un rotor de 12 dientes.

La siguiente figura muestra la foto del rotor, cuyos dientes poseen una cierta inclinación a fin de minimizar la emisión de ruido.



Figura 2: Rotor de un motor de reluctancia conmutado

### **Pequeno momento de inercia. Gran respuesta dinámica**

El motor de reluctancia conmutado posee un momento de inercia muy pequeño, debido a la ausencia de masa en los huecos entre los dientes del rotor. El rotor está compuesto únicamente por el eje y el conjunto de chapas. No posee ni bobinados ni imán permanente alguno. La tabla 1 muestra la comparación entre los momentos de inercia de un motor asíncrono normal, un motor trifásico asíncrono optimizado para requerimientos dinámicos muy fuertes y el motor de reluctancia conmutado. Éste último aventaja claramente a sus competidores. En cuanto a los valores nominales, la clase térmica y la refrigeración, los tres motores disponen de los mismos datos técnicos.

	Motor de reluctancia conmutado MFR 132.5	Motor asíncrono (Optimizado) ACHA 132.5	Motor asíncrono (Normal) 1LA5 186
<b>Momento de inercia</b>	0,0883 kgm <sup>2</sup> 59%	0,105 kgm <sup>2</sup> 70%	0,150 kgm <sup>2</sup> 100%

Tabla 1: Momentos de inercia

### Esencialmente un mejor aprovechamiento para bajas revoluciones

Al contrario que en los motores asíncronos, las pérdidas en el hierro en el motor de reluctancia conmutado suponen una parte importante de las pérdidas totales. Sin embargo, para regímenes de revoluciones bajos el valor de estas pérdidas en el hierro cae fuertemente. Este efecto puede ser aprovechado para elevar las pérdidas por efecto Joule en los bobinados de los polos del estator y permitir de este modo un mayor par motor a bajas velocidades. Además se producen en el rotor escasas pérdidas en el hierro para bajas revoluciones funcionando en régimen permanente, esto es, el calentamiento del rotor es también bajo. En los motores asíncronos las pérdidas en el cobre de los bobinados del estator y del rotor representan con mucho la mayor parte de las pérdidas totales. Partiendo del reposo hasta la velocidad nominal, las pérdidas permanecen aproximadamente constantes para un par motor determinado. De este modo se explica que en los motores asíncronos funcionando en régimen permanente, hasta la velocidad nominal solamente pueden ser sometidos a un par de carga nominal. A partir del número de revoluciones nominal comienza para los tres motores el funcionamiento en shunt magnético.

En la figura 3 está representado el máximo par motor permitido en régimen permanente, referido respecto al momento de inercia en un intervalo de revoluciones desde 0 hasta 1500 r.p.m. y bajo funcionamiento en clase térmica F. Los dos motores de reluctancia se distinguen entre sí básicamente en la calidad de la chapa eléctrica utilizada. Para un estado en reposo en régimen permanente se le

permite al motor de reluctancia un par de bloqueo igual al 145% del par nominal. Sin embargo, nada más empieza a girar el rotor, todos los bobinados de los polos son solicitados térmicamente por igual, y por tanto el par en régimen permanente para bajas revoluciones puede llegar a suponer el 190% del par nominal. El motor puede ser solicitado en principio con pares de carga dos o tres veces superiores al par de carga nominal, en regímenes transitorios para todo el intervalo de velocidades.

Las líneas características y los valores de los motores asíncronos trifásicos han sido tomados de las hojas de datos [1] y [2] proporcionados por los fabricantes. El volumen, dimensiones externas y tamaño de los paquetes de chapas del motor asíncrono optimizado ACHA 132.5, son idénticos a los valores del motor de reluctancia conmutado MFR 132.5.

Par Motor en Régimen Permante / Momento de Inercia en  
Nm/kgm<sup>2</sup>

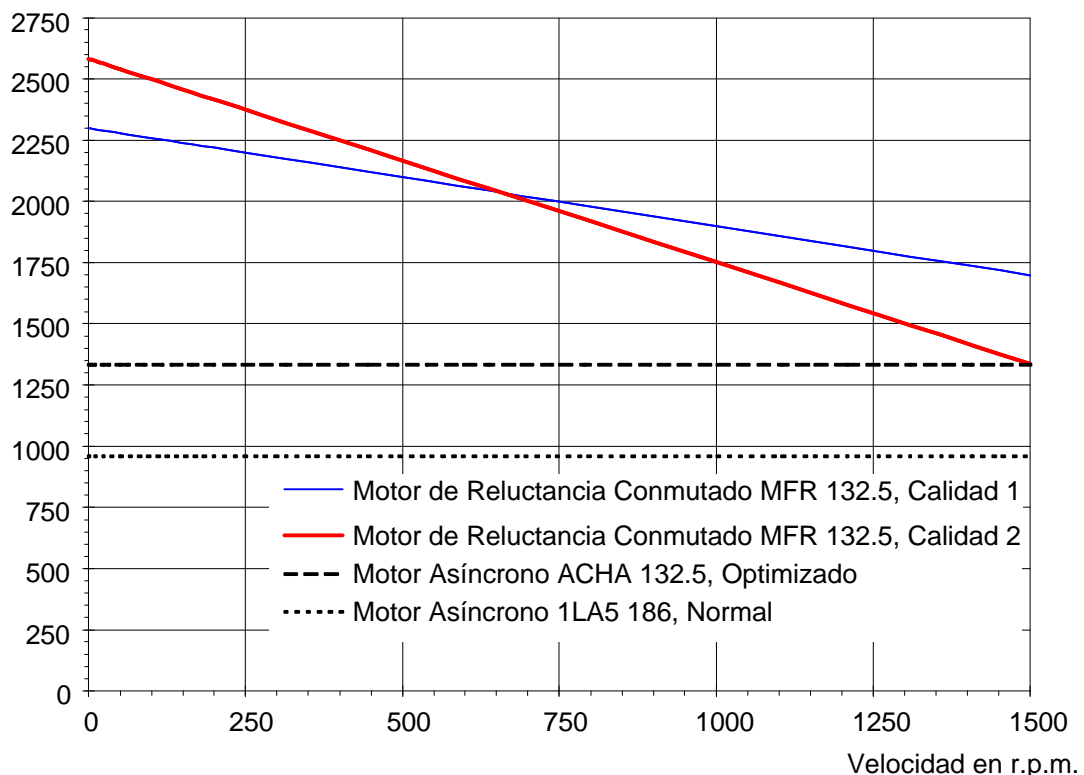


Figura 3: Par motor permitido en régimen permanente referido respecto al momento de inercia bajo utilización en clase térmica F

El rendimiento del motor de reluctancia ronda en regimen de vueltas nominal el valor habitual para motores trifasicos de esa clase de potencia. Sin embargo, el rendimiento para bajas revoluciones cae suavemente. Para un par de carga nominal y a un regimen de 300 r.p.m se encuentra por encima del 80%, y asciende gradualmente hasta cerca del 90% a la velocidad nominal. Aqui reside otra de las ventajas de este motor.

La regulaci3n de la velocidad del motor de reluctancia conmutado ha sido desarrollada siguiendo una t3cnica habitual en el campo de la tracci3n el3ctrica, y optimizada para la eliminaci3n de perturbaciones en la velocidad. Un regulador asegura que para un salto nominal en el numero de revoluciones, apenas aparecer3n sobreoscilaciones en el valor real de las revoluciones. En la figura 4 esta representado el comportamiento del motor durante la aceleraci3n hasta la velocidad nominal. El motor es acelerado en este caso mediante un par motor con un valor aprox. de 170 Nm. La inercia de la m3quina de trabajo empleada en esta medici3n es cinco veces superior a la del motor de reluctancia. De aqui resulta un tiempo de aceleraci3n que asciende a 630 ms.

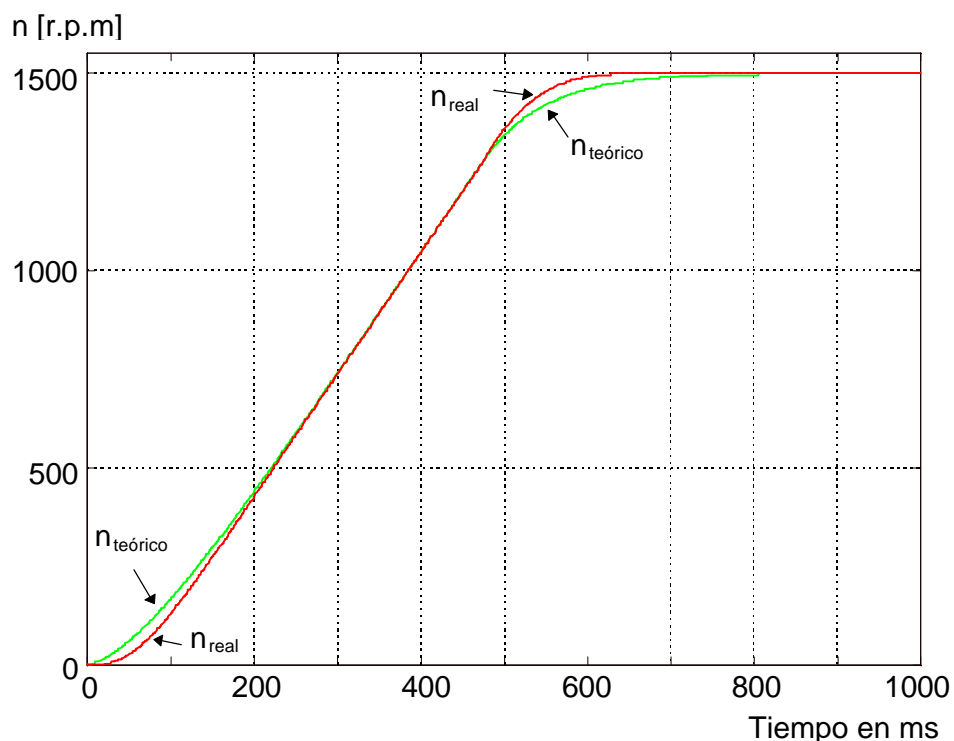


Figura 4: Aceleraci3n desde reposo hasta velocidad nominal  
 $I_{total} = 0,54 \text{ kgm}^2$  (Medici3n)

Ante la pérdidas de una o más fases, el motor de reluctancia conmutado se comporta de forma muy segura. En caso de producirse semejante incidente, el motor continúa en funcionamiento aun sometido a un par de carga, pudiendo ser todavía frenado o acelerado. De todos modos aparecen pares y oscilaciones medibles del número de revoluciones que pueden provocar que el arranque del motor no esté asegurado. Aun así, en determinados tipos de aplicaciones se permite llevar a nuestra máquina o proceso de trabajo hasta un estado que no revista peligro.

### **Empleo en tareas de posicionamiento**

Una de las funciones habituales de los motores eléctricos son también el posicionamiento de piezas, herramientas, partes de máquinas, montacargas y demás. El motor de reluctancia conmutado es, en principio, apropiado para dichas aplicaciones. La figura 5 representa el comportamiento oscilatorio tras una rotación de 180°. El rotor gira media vuelta y alcanza el valor nominal exigido tras aproximadamente 600 ms. En muchas tareas de posicionamiento, en particular en máquinas-herramienta, no se permiten sobreoscilaciones en la posición final. Así, los parámetros de la regulación de posición serán tomados teniendo en cuenta dicha exigencia.

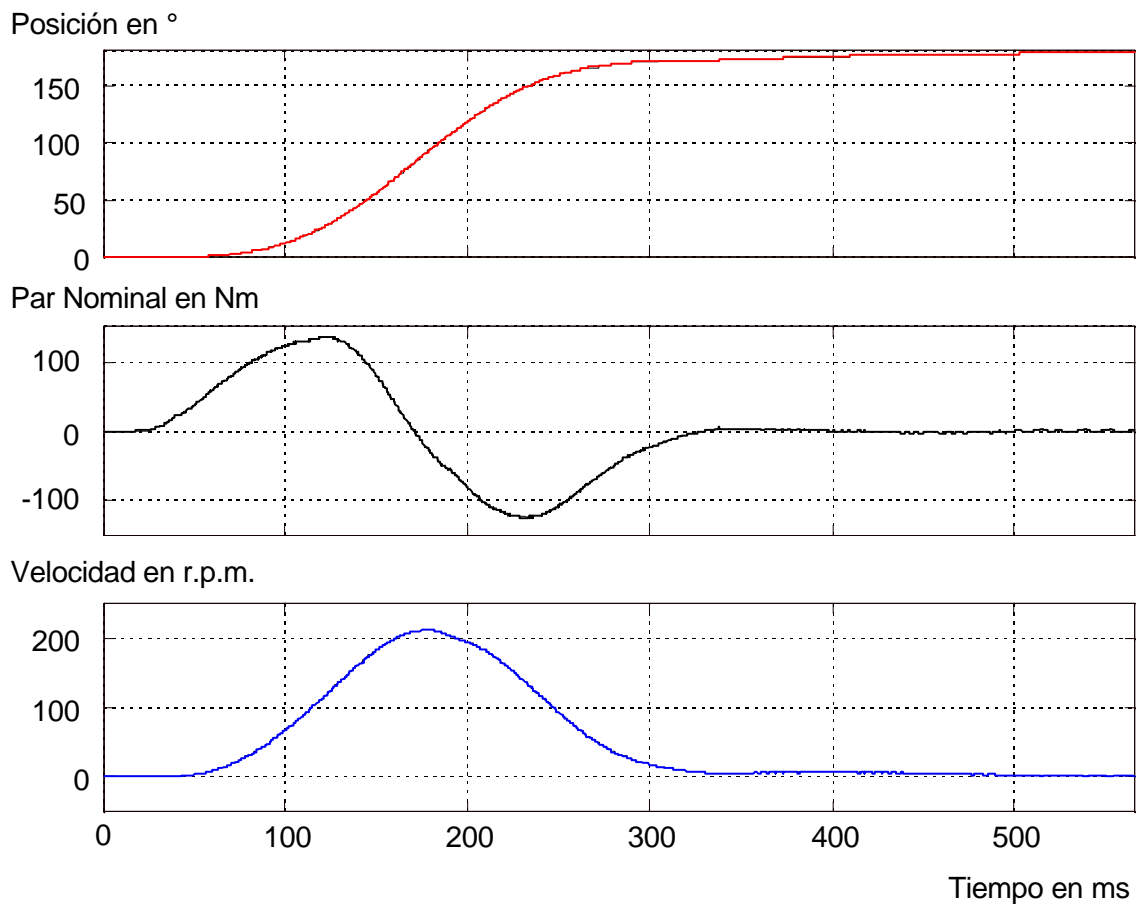


Figura 5: Giro de 180°  
 $I_{\text{total}} = 0,54 \text{ kgm}^2$  (medición)

Bibliografía:

- [1] Hojas de datos „Motores trifasicos en tracción eléctrica“, Elbtalwerk GmbH
- [2] Catálogo „Tracción eléctrica“, Siemens AG