

---

## DEMÉRITO EN MOTORES DE INDUCCIÓN POR ARMÓNICOS Y DESEQUILIBRIO DE TENSIÓN

**P. D. DONOLO\***  
Universidad Nacional  
de Río Cuarto  
Argentina

**G. R. BOSSIO**  
Universidad Nacional  
de Río Cuarto  
Argentina

**C. H. DE ANGELO**  
Universidad Nacional  
de Río Cuarto  
Argentina

**Resumen** –En este trabajo se propone determinar la potencia máxima disponible en el motor de inducción (MI) cuando se alimenta con tensiones trifásicas desequilibradas y no sinusoidales, con el fin de evitar su utilización en condiciones de pérdidas mayores a la nominal. Se proponen dos modelos en régimen permanente en redes de secuencia del MI para determinar las pérdidas en cualquier condición de suministro. Con los modelos propuestos se calculan las pérdidas del MI y se reduce la potencia de carga hasta que sean iguales a las pérdidas nominales. De este modo se obtiene la potencia máxima del MI para tensiones de alimentación desequilibradas y distorsionadas. Como el tipo de rotor del MI modifica el comportamiento de éste frente a los armónicos y el desequilibrio de tensión, se comparan los resultados de MI con rotores de barras abiertas y cerradas.

**Palabras clave:** Armónicos y desequilibrios de tensión – motor de inducción – rotor de barras abiertas y cerradas – calidad de energía

### 1 INTRODUCCIÓN

Los armónicos y el desequilibrio de tensión son perturbaciones en el suministro que afectan en gran medida el comportamiento de los motores de inducción (MI) [1]. Tanto los armónicos como el desequilibrio de tensión producen un incremento en las pérdidas y una disminución considerable de la eficiencia del MI [2] [3]. Este incremento en las pérdidas puede conducir a sobrecalentamientos de los bobinados y a una reducción en su vida útil [1]. Asimismo, estas perturbaciones en las tensiones de alimentación generan oscilaciones en el par y la potencia, las que se manifiestan como un aumento de las vibraciones mecánicas en la carcasa y el ruido del MI [4] [5].

Además de los problemas directos que estos efectos generan sobre el MI y la carga, este comportamiento anormal puede generar falsas alarmas en las técnicas de detección y diagnóstico de fallas en el MI. En particular, los desequilibrios en las corrientes, producidos por las tensiones desequilibradas, pueden ser atribuidos a posibles fallas en el estátor del MI [6], mientras que las oscilaciones en el par producen un aumento considerable de las vibraciones en la carcasa del MI [4] [5], lo que puede ser atribuido erróneamente a una falla en el MI por exceder los límites establecidos en la norma ISO10816-1 [7].

Para contrarrestar la elevación de pérdidas es común analizar el efecto de cada una de las perturbaciones por separado [8]. En este sentido, la norma NEMA MG1 2003 establece en el apartado 12.45 los factores de demérito de la potencia de placa del MI en función del nivel de desequilibrio de tensión; mientras que en el apartado 30.1.2 se pueden observar los factores de reducción para los diferentes contenidos armónicos [9]. Estos factores de demérito definidos en la norma tienen en cuenta sólo una de las perturbaciones en el suministro y deben ser aplicados a todos los MI de todas las potencias, independientemente de sus características constructivas.

---

\* Ruta #36 km 601– (X5802BYA) Río Cuarto, Córdoba. Argentina. e-mail [pdonolo@ing.unrc.edu.ar](mailto:pdonolo@ing.unrc.edu.ar)

Sin embargo, las características constructivas del MI, y principalmente la forma del rotor, modifican el comportamiento de éste frente a los armónicos y el desequilibrio de tensión. A mayor frecuencia la resistencia es mayor debido a que se produce un mayor efecto pelicular o *skin* en los conductores. Por su parte, las reactancias de dispersión pueden variar significativamente con el estado de carga, dependiendo del tipo de rotor [5],[10].

Los MI que poseen rotores tipo jaula de ardillas pueden tener las barras abiertas o cerradas. Los MI con rotor de barras abiertas tienen, en general, mejor rendimiento. A pesar de ello, los rotores con barras cerradas son muy utilizados en MI de pequeñas y medianas potencias, ya que la inyección del material fundido para formar las barras es más sencilla. En los MI con rotor tipo jaula de ardillas con barras abiertas, el flujo de dispersión tiene un camino de alta reluctancia por el aire para cualquier estado de carga, haciendo que los parámetros no varíen significativamente con el estado de carga. Por el contrario, en los MI con rotor jaula de ardillas de barras cerradas el hierro que cubre las barras no se encuentra completamente saturado para bajos niveles de carga, dejando un camino de baja reluctancia para el flujo de dispersión [10].

En este trabajo se propone determinar la potencia máxima disponible en el MI cuando se alimenta con tensiones trifásicas desequilibradas y no sinusoidales, con el fin de evitar la utilización del MI en condiciones de pérdidas mayores a la nominal. Para ello se obtienen los modelos en régimen permanente del MI para condiciones desequilibradas y no sinusoidales. Se proponen dos modelos, un modelo de secuencia positiva y otro de secuencia negativa. Estos modelos permiten analizar la componente fundamental y las armónicas impares no múltiplos de tres. Si bien cada armónico posee su secuencia característica para condiciones equilibradas de tensión [1], cuando las tensiones difieren en magnitud y/o ángulo aparecen componentes de ambas secuencias. No aparecen componentes de secuencia cero debido a que la alimentación de los MI es en estrella aislada o en triángulo, con lo que no existe un camino de baja impedancia para la circulación de tales corrientes. Con los modelos propuestos se calculan las pérdidas del MI y se reduce la potencia de carga hasta que sean iguales a las pérdidas nominales. De este modo se obtiene la potencia máxima del MI para tensiones de alimentación desequilibradas y distorsionadas. Como el tipo de rotor del MI modifica el comportamiento de éste frente a los armónicos y el desequilibrio de tensión, se comparan los resultados de MI con rotores de barras abiertas y cerradas.

## 2 EFECTOS DEL DESEQUILIBRIO Y LOS ARMÓNICOS DE TENSIÓN EN EL MI

Las máquinas eléctricas en general y los MI en particular sufren importantes efectos adversos debido a la presencia de armónicos y desequilibrios de tensión. Los armónicos en la tensión generan corrientes armónicas en el estátor y rotor del MI. Por su parte, el desequilibrio de tensión produce corrientes altamente desequilibradas, las que se manifiestan como una corriente de secuencia negativa del MI. Cuando los problemas se manifiestan en forma conjunta aparecen componentes de ambas secuencias de la componente fundamental y de los armónicos presentes. La corriente fundamental de secuencia negativa y todas las corrientes armónicas producen varios efectos adversos en el MI, entre los que se destacan el incremento de las pérdidas, vibraciones y ruido del MI y la reducción de su rendimiento [1].

### 2.1 Incremento de pérdidas por el desequilibrio de corriente y la distorsión armónica.

Las corrientes desequilibradas y/o con alto contenido armónico generan mayores pérdidas en el estátor y el rotor del MI que las corrientes equilibradas y sinusoidales del mismo valor *rms*. Mayores pérdidas pueden conducir a un incremento en la temperatura de funcionamiento del MI, originando un deterioro prematuro de la aislación y una disminución de la vida útil del MI.

Las mayores pérdidas son producidas porque las corrientes a frecuencias mayores a la fundamental encuentran impedancias diferentes a las de la componente fundamental.

Las resistencias del estátor y del rotor a estas frecuencias son varias veces mayores que las de la componente fundamental de secuencia positiva, debido a que existe un mayor efecto pelicular o *skin*. Por su parte, las reactancias de dispersión, y especialmente las del rotor, pueden variar significativamente con el estado de carga del MI, dependiendo de las características constructivas.

En los MI con rotor tipo jaula de ardillas con barras abiertas (ba), Fig. 1-(a), el flujo de dispersión tiene un camino de alta reluctancia por el aire para cualquier estado de carga, haciendo que los parámetros no varíen significativamente con la carga. Por el contrario, en los motores con rotor tipo jaula de ardillas que poseen barras cerradas (bc), Fig. 1-(b), el hierro que cubre las barras no se encuentra saturado para bajos niveles de carga, dejando un camino de baja reluctancia para el flujo de dispersión. Este fenómeno hace que los parámetros del motor varíen considerablemente respecto a los valores nominales [5][10].

El incremento de la reactancia de dispersión del rotor de barras cerradas trae asociado corrientes más pequeñas que en el caso de un rotor de barras abiertas. Como consecuencia de ello, las corrientes de alta frecuencia son menores y el incremento de pérdidas es menor que en el caso de motores con rotor de jaula de ardillas con barras abiertas.

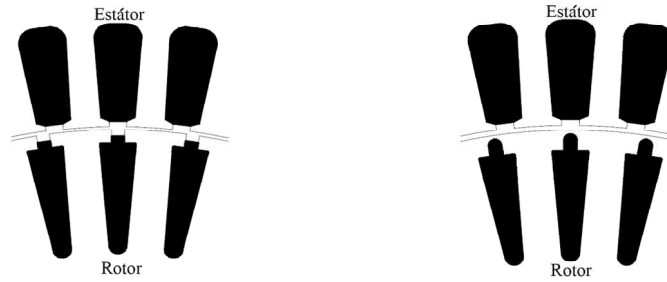


Fig. 1-(a) Rotor con barras abiertas Fig 1-(b) Rotor con barras cerradas

## 2.2 Reducción de la potencia de placa del MI para evitar deterioros prematuros

La norma NEMA MG1 establece en el apartado 12.45 que el factor de desequilibrio de tensión (LVUR) no deberá superar el 1% para que el MI funcione satisfactoriamente. Si existen desequilibrios superiores de tensión, la potencia de placa deberá ser reducida de acuerdo con la Tabla I para evitar deterioros prematuros de la aislación (apartado 14.36) [9].

En esta misma norma, en el apartado 30.1.2, se establece que para que el MI funcione satisfactoriamente, es recomendable que el factor de armónicos de tensión (HVF) no supere el 3%. Si el nivel armónico es mayor, la potencia del MI deberá reducirse como se muestra en la Tabla I.

Es importante notar que los factores de reducción mostrados en la Tabla I sólo consideran la presencia los armónicos impares de la frecuencia fundamental (excepto los divisibles por tres). El desequilibrio de tensión y/o cualquier armónico par presente en la tensión se supone insignificante. Asimismo, estos factores no se pueden aplicar en caso de operar con tensiones o frecuencias diferentes a la nominal [9].

Cuando los problemas se manifiestan de manera conjunta la norma no establece recomendaciones a seguir. Es por ello que en este trabajo se propone estimar las pérdidas del MI a partir los circuitos equivalentes y reducir la potencia de salida para que las pérdidas no sean superiores a las de régimen permanente.

TABLA I: FACTORES DE DEMÉRITO

LVUR	1	2	3	4	5	HVF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11.5
FD <sub>U</sub>	100	95	88	82	75	FD <sub>h</sub>	100		99.7	98.5	97	95	92	88.8	85	80	73.5	70

## 3 MODELOS DEL MI CON DESEQUILIBRIO Y ARMÓNICOS DE TENSIÓN

### 3.1 Circuito equivalente del MI

Para determinar el incremento de pérdidas producido en el MI por tensiones desequilibradas y no sinusoidales se utilizan como base los modelos sinusoidales *qd* del MI [11]. A partir de estos modelos se pueden obtener modelos en régimen, como los mostrados en la Figura 2. El modelo para cada componente fundamental y los armónicos de secuencia positiva se puede observar en la Figura 2-(a). Por su parte, el modelo para las componentes de secuencia negativa se observa en la Figura 2-(b). En ambas figuras *h* representa el orden del armónico considerado.

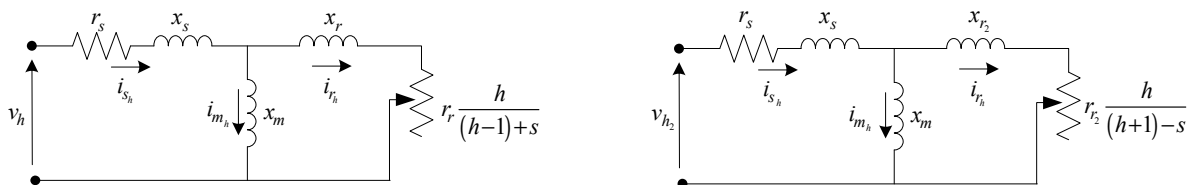


Fig. 2 Circuitos equivalentes del MI. (a) De secuencia positiva. (b) De secuencia negativa.

A partir de las ecuaciones que modelan el funcionamiento del MI y las obtenidas de los circuitos equivalentes, se puede determinar el comportamiento del MI frente al desequilibrio y a los armónicos de tensión.

La potencia total disponible en el eje del MI ( $P_M$ ) se puede calcular como se muestra en la ecuación

$$P_M = P_1 + P_2 + P_{h_1} + P_{h_2} \quad (1)$$

donde

$$P_1 = 3(I_{r_1})^2 \left( \frac{1-s}{s} \right) r_{r_1} \quad (2)$$

$$P_2 = 3(I_{r_2})^2 \left( \frac{1-s}{2-s} \right) r_{r_2} \quad (3)$$

$$P_{h_1} = \sum_{h=6k+1}^{\infty} 3(i_{r_h})^2 \left( \frac{1-s}{h-1+s} \right) r_{r_h} ; \forall k \in \mathbb{N} : k > 0 \quad (4)$$

$$P_{h_2} = \sum_{h=6k-1}^{\infty} 3(i_{r_h})^2 \left( \frac{1-s}{h+1-s} \right) r_{r_h} ; \forall k \in \mathbb{N} : k > 0 \quad (5)$$

Del análisis de las ecuaciones (2) a (5) se desprende que para deslizamientos cercanos al nominal, la componente principal de potencia en el eje es producida por la componente fundamental ( $P_1$ ). Asimismo, se observa que los armónicos de secuencia negativa se oponen al efecto de la potencia de secuencia positiva, reduciendo la potencia mecánica total disponible en el eje. Por su parte, las componentes de secuencia positiva contribuyen al par medio. Las pérdidas totales en el MI ( $p_t$ ) son la suma de las pérdidas óhmicas ( $p_c$ ), las pérdidas en el hierro ( $p_h$ ), las pérdidas por fricción ( $p_f$ ) y las pérdidas adicionales ( $p_a$ ), tal como se describe en la ecuación

$$p_t = p_c + p_h + p_f + p_a \quad (6)$$

donde

$$p_c = p_{c_r} + p_{c_s} \quad (7)$$

$$p_{c_r} = 3(I_{r_1})^2 r_{r_1} + \sum_{h=6k \pm 1}^{\infty} 3(I_{r_h})^2 r_{r_h} ; \forall k \in \mathbb{N} : k > 0 \quad (8)$$

$$p_{c_s} = 3(I_{s_1})^2 r_{s_1} + \sum_{h=6k \pm 1}^{\infty} 3(I_{s_h})^2 r_{s_h} ; \forall k \in \mathbb{N} : k > 0 \quad (9)$$

### 3.2 Estimación de los parámetros del MI

El estudio para la obtención de los parámetros del MI a la frecuencia de alimentación está ampliamente desarrollado en la literatura y por lo tanto es posible encontrar los parámetros correctos en función de los datos y el equipamiento del que se disponga [12]-[15].

En este trabajo los parámetros utilizados para el modelo de la componente fundamental de secuencia positiva fueron obtenidos de los ensayos de vacío y rotor bloqueado [15]. Se utilizó un MI de 5.5 kW con rotor de tipo jaula de ardillas con barras abiertas, posteriormente se reemplazó el rotor por uno de jaula de ardillas con barras cerradas. Los datos de catálogo y los parámetros para la secuencia positiva se muestran en la Tabla V del apéndice.

Los parámetros para los circuitos equivalentes de la componente fundamental de secuencia negativa y las armónicas fueron obtenidos como se describe a continuación. Para las diferentes condiciones de carga, se aplicaron al MI tensiones desequilibradas sinusoidales y se calcularon las tensiones y corrientes de secuencia negativa. Con las tensiones y corrientes se obtuvieron las impedancias de la componente fundamental de secuencia negativa del MI en función de la carga aplicada.

En las figuras 3-(a) y 3-(b) se observa como varían con el estado de carga la resistencia y la reactancia del circuito equivalente de secuencia negativa para los rotores de barras abiertas y barras cerradas. Este cambio en la impedancia fundamental de secuencia negativa, en el MI de barras cerradas, hace que las corrientes fundamental de secuencia negativa y armónicas varíen significativamente con el estado de carga.

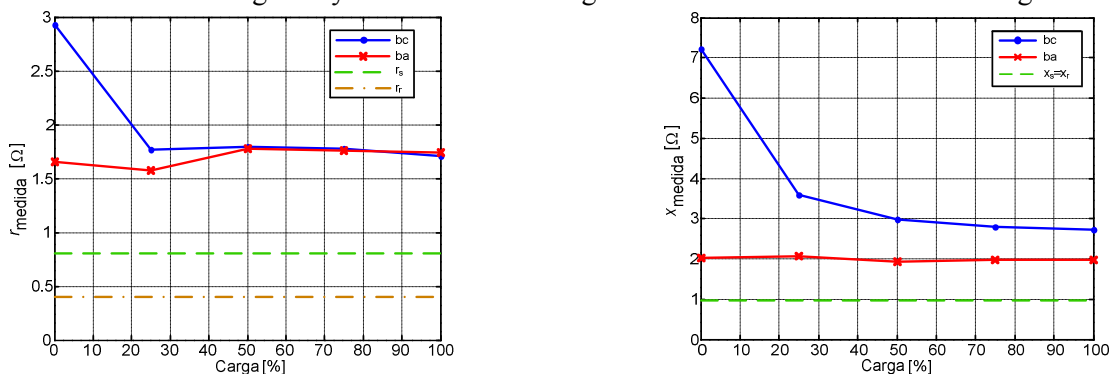


Fig. 3-Parámetros de la componente fundamental de secuencia negativa. (a) Resistencia (b) Reactancia

A partir del circuito equivalente de la componente fundamental de secuencia negativa se puede obtener la resistencia del rotor correspondiente a dicha secuencia. Considerando que la resistencia en el estator se mantiene constante para ambas redes de secuencia y que la impedancia de magnetización es muy grande, la resistencia de secuencia negativa para el MI se obtiene como se muestra en la ecuación

$$r_{r_2} = (r_{medida} - r_s)(2 - s) \quad (10)$$

A partir de las resistencias de secuencia negativa medidas, que se observan en la Figura 3-(a), y aplicando la ecuación (9) se obtiene la resistencia de secuencia negativa del rotor. Refiriendo los resultados al valor de resistencia fundamental se obtiene la Tabla II.

TABLA II: RESISTENCIA DE LA COMPONENTE FUNDAMENTAL DE SECUENCIA NEGATIVA DEL ROTOR REFERIDA A  $R_2$

$r_{r_2} \setminus$ Carga [%]	0	25	50	75	100
Rotor bc [PU de $r_2$ ]	10.7	4.83	4.94	4.87	4.5
Rotor ba [PU de $r_2$ ]	4.28	3.87	4.87	4.75	4.68

Se puede observar en la Tabla II que la resistencia de secuencia negativa es aproximadamente 4.5 veces la resistencia de secuencia positiva ( $r_{2sn} \approx 4.5 \cdot r_2$ ). Sin embargo, en el rotor con barras cerradas y para cargas inferiores al 25%, la resistencia de secuencia negativa es más de 10 veces la resistencia del rotor de secuencia directa.

En la figura 3-(b) se observa que la reactancia de dispersión del rotor es similar a la fundamental de secuencia positiva para el MI con rotor de barras abiertas a plena carga. Sin embargo, en el MI con un rotor de barras cerradas la dispersión crece significativamente cuando se disminuye la carga. La reactancia de dispersión del rotor se muestra a continuación en la Tabla III.

TABLA III: REACTANCIA DE LA COMPONENTE FUNDAMENTAL DE SECUENCIA NEGATIVA DEL ROTOR

$x_{2sn} \setminus$ Carga [%]	0	25	50	75	100
Rotor bc [ $\Omega$ ]	6.25	2.62	2.01	1.83	1.76
Rotor ba [ $\Omega$ ]	1.07	1.12	0.96	1.01	1.02

#### 4 Demérito en el MI con desequilibrio y armónicos de tensión

Para la determinación de la potencia mecánica máxima disponible en el eje se considera que las pérdidas totales deben permanecer en el mismo nivel que en condiciones ideales para cualquier grado de desequilibrio y/o armónicos de tensión.

El primer paso en este análisis consiste en determinar las pérdidas nominales en condiciones ideales de suministro, utilizando el modelo de la componente fundamental de secuencia positiva y los parámetros resumidos en la Tabla V del apéndice.

Determinado el nivel nominal de pérdidas se incrementan el desequilibrio y/o el contenido armónico de tensión y se trazan las nuevas curvas de pérdidas para todo el rango de funcionamiento teórico. La intersección de esta curva con el límite, establecido en las pérdidas nominales, determina la máxima potencia que se puede solicitar al MI. De esta manera se obtiene el factor de demérito a aplicar sobre la potencia de placa en función del nivel de desequilibrio y/o armónicos de la tensión, que no sobrepasan el nivel de pérdidas del MI.

En este trabajo se considera que las pérdidas en el hierro, las pérdidas por fricción y las pérdidas adicionales son constantes para cualquier condición de desequilibrio y armónicos, e iguales a las observadas en condiciones sinusoidales. Por lo tanto, cualquier variación en las pérdidas será producida por un incremento en las pérdidas óhmicas del MI.

Para la determinación del nivel de desequilibrio se utilizó como base la norma IEC, aumentando la componente fundamental de secuencia negativa de tensión entre 0 y el 10% de la tensión fundamental de secuencia positiva. Asimismo se considera que el factor de armónicos de tensión varía entre 0 y 20%, incrementando los armónicos 5to y 7mo, ya que son los de mayor importancia en la red [16]. En todos los casos se supone que el 7mo armónico tiene una amplitud del 70% de la amplitud del 5to armónico. Como la componente fundamental de secuencia positiva de tensión se mantiene en su valor nominal, esta metodología implica niveles de tensión superiores al nominal a medida que crece el nivel armónico y el desequilibrio de tensión, pero permite cuantificar correctamente los incrementos de pérdidas.

Un análisis gráfico para un motor de 5.5 kW con rotor jaula de ardillas con las barras cerradas se puede ver en la Figura 4.

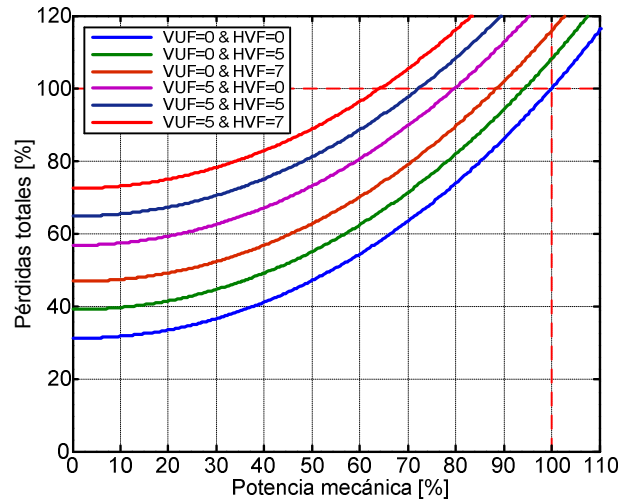


Fig. 4. Pérdidas en el MI con desequilibrios y armónicos de tensión.

Analizando la Figura 4 se puede observar que a medida que se incrementa la distorsión armónica y/o el desequilibrio, hay un incremento en las pérdidas para todos los estados de carga. Asimismo, se comprende la necesidad de emplear factores de reducción de la potencia nominal del MI para evitar el incremento de pérdidas.

#### 4.1 Casos de estudio

En este trabajo se analiza el comportamiento de un MI de 5.5 kW con dos rotores de características constructivas diferentes. Un rotor posee las barras cerradas y el otro tiene las barras abiertas.

Los parámetros para la componente fundamental del MI son los obtenidos a partir de los ensayos de vacío y rotor bloqueado y están resumidos en la Tabla V del apéndice.

Los parámetros para las componentes fundamental de secuencia negativa y para todos los armónicos se aproximan con las impedancias de secuencia negativa del MI, obtenidas mediante los ensayos detallados anteriormente.

Para el caso del MI con rotor de tipo jaula de ardillas con las barras cerradas las impedancias del rotor y la forma de variación con la carga se resumen en la Tabla IV.

TABLA IV. IMPEDANCIA DE SECUENCIA NEGATIVA DEL ROTOR REFERIDA A LA SECUENCIA POSITIVA.

Caso I \ Carga [%]	0	25	50	75	100
$r_{rh}$ [PU de $r_2$ ]	10	4.5			
$x_{rh}$ [PU de $x_2$ ]	6.49	2.72	2.09	1.90	1.83

Para el caso del MI con rotor de tipo jaula de ardillas con las barras abiertas la resistencia del rotor de la componente fundamental de secuencia negativa y armónicas se tomó como  $r_{r_h} = 4.5 \cdot r_r$ , mientras que las reactancias de dispersión del rotor se consideraron iguales a la fundamental de secuencia positiva ( $x_{r_h} = x_r$ ).

## 5 Resultados

Como resultados del trabajo se presentan gráficas tridimensionales que nos indican la potencia máxima que es posible aprovechar en el eje del MI para distintas condiciones de armónicos y desequilibrios de tensión.

Para conocer cual es la potencia máxima que es posible aprovechar en el eje del MI, sin reducción de la vida útil, se muestra el factor de demérito (FD) que se deberá aplicar para mantener el mismo nivel de pérdidas que en condiciones sinusoidales. Asimismo se muestran los factores de demérito obtenidos si se mantiene el mismo nivel de pérdidas en el rotor que en condiciones nominales ( $FD_{rotor}$ ).

### 5.1 MI con rotor de barras cerradas

Los resultados obtenidos para el MI con rotor jaula de ardillas de barras cerradas se pueden ver en la Figura 5. En esta figura se observa que los MI con rotor de barras cerradas no es muy afectado por el bajo contenido de armónicos y/o desequilibrio en las tensiones. Solo si el desequilibrio y los armónicos son importantes el MI con rotor de barras es altamente afectado.

Asimismo, se observa claramente que el efecto conjunto de los desequilibrio y los armónicos de tensión requiere una mayor reducción de la potencia entregada por el MI para mantener las pérdidas en su valor nominal.

### 5.2 MI con rotor de barras abiertas

Los resultados obtenidos para el MI con rotor jaula de ardigas de barras abiertas se pueden ver en la Figura 6. En esta figura se observa que los MI con rotor de barras abiertas es muy afectado por los desequilibrios y armónicos de tensión. Es interesante notar que, al igual que en el caso anterior, la reducción en la potencia del MI es más importante cuando se mantienen las pérdidas en el rotor en su valor nominal, que cuando se mantienen las pérdidas totales en el valor nominal.

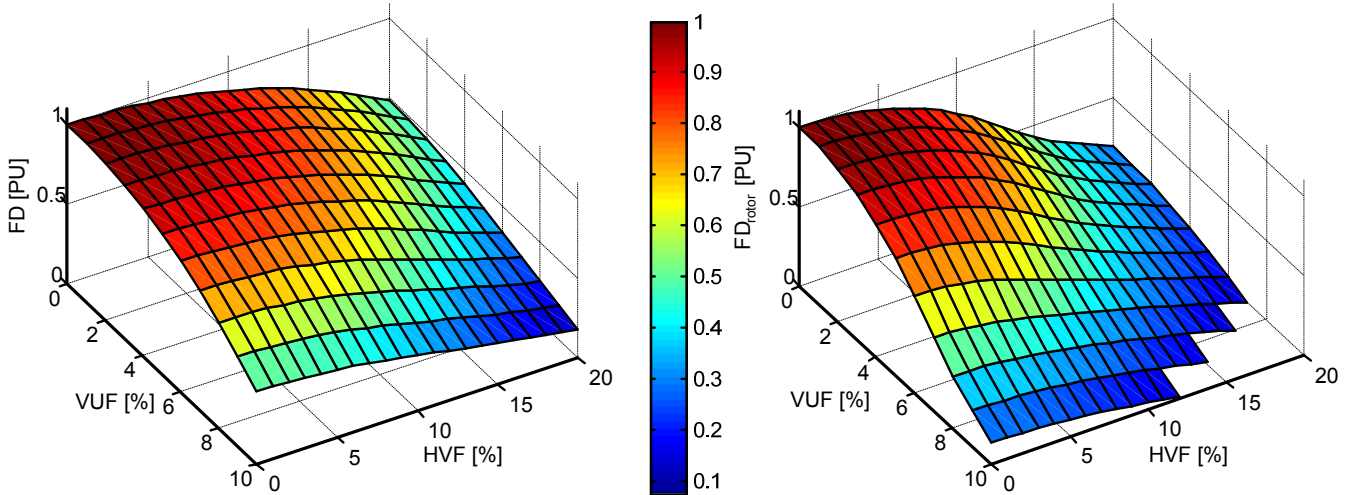


Fig. 5 Factores de demérito para el MI de barras cerradas. (a) Pérdidas totales nominales (b) Pérdidas en el rotor nominales

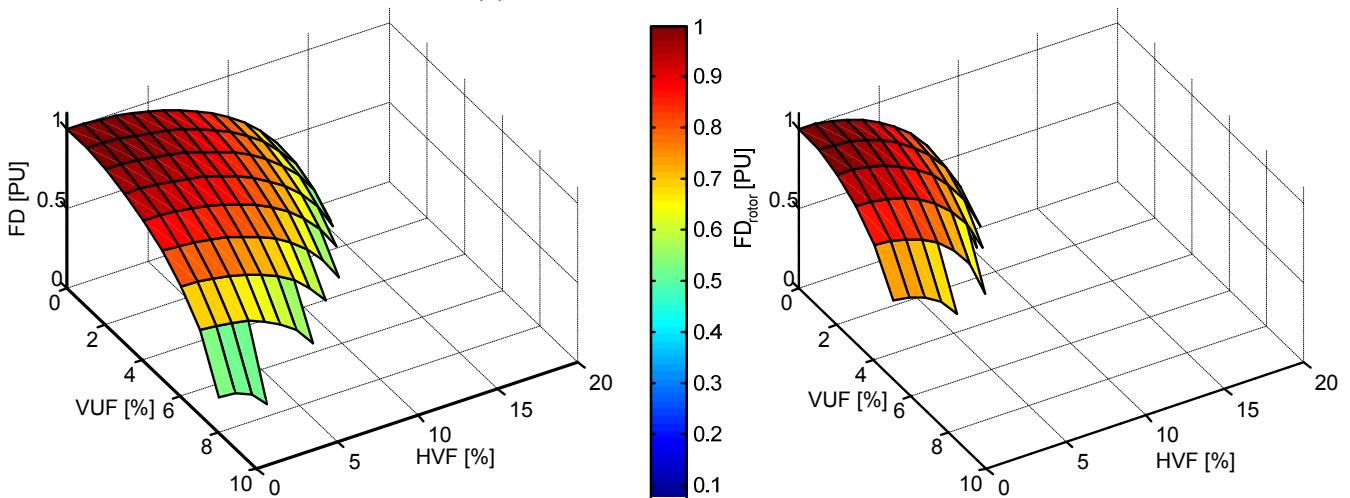


Fig. 6 Factores de demérito para el MI de barras abiertas. (a) Pérdidas totales nominales (b) Pérdidas en el rotor nominales

## 6 CONCLUSIONES

Los armónicos y el desequilibrio en las tensiones de alimentación producen en los MI un aumento de pérdidas que compromete su correcto desempeño. La magnitud de este fenómeno es diferente en función del tipo del rotor del MI.

En el MI con rotor de jaula de ardigas de barras cerradas existe una variación importante de la reactancia de dispersión del rotor con el estado de carga. El aumento en la reactancia de dispersión, por la disminución del estado de carga, produce en el MI un efecto protector contra los armónicos y el desequilibrio de tensión.

Por otra parte, esta variación de la reactancia no ocurre en los MI con barras abiertas, las corrientes en el mismo son más grandes, lo que incrementa las pérdidas y hace necesario un mayor demérito que en el caso de los MI de barras cerradas

## 7 AGRADECIMIENTOS

El trabajo contó con el apoyo de la Universidad Nacional de Río Cuarto, CONICET, la Fundación YPF, FONCYT y el MinCyT-Cba.

## 8 APÉNDICE

Datos técnicos y parámetros del motor de inducción utilizados para la simulación.

TABLA V: DATOS TÉCNICOS DEL MI  
Y PARÁMETROS DE SECUENCIA POSITIVA DEL MI

Frecuencia	50	[Hz]	$V_1$	220	[V]
Velocidad	1470	[R.P.M]	$r_1$	0.8	[ $\Omega$ ]
Potencia	5.5	[kW]	$r_2$	0.4	[ $\Omega$ ]
Tensión	380	[V]	$x_1$	0.9625	[ $\Omega$ ]
Corriente	11.1	[A]	$x_2$	0.9625	[ $\Omega$ ]
$\cos(\phi)$	0.85	-	$x_m$	39.27	[ $\Omega$ ]

## 9 REFERENCIAS

- [1] R. Dugan, M. McGranaghan, and H. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*. Mc Graw Hill. New York, 1996.
- [2] P. G. Cummings “Estimating Effect of System Harmonics on Losses and Temperature Rise of Squirrel-Cage Motors”, *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol. IA-22, pp. 1121-1126. 1986.
- [3] P. Pillay, P. Hofmann, and M. Manyage, “Derating of Induction Motors Operating With a Combination of Unbalanced Voltages and Over or Undervoltages,” *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. 17, N° 4, pp. 485-491. 2002.
- [4] J.C.A. Escobar Martinez and F. de la Rosa, “Shaft torsional vibration due to non-linear loads in low capacity turbine units”, *Power Engineering Society Summer Meeting. IEEE*, pp. 1403-1408 vol.3. 2001.
- [5] G. Bossio, C. De Angelo, P. Donolo, A. Castellino, and G. Garcia, “Effects of voltage unbalance on IM power, torque and vibrations”, in *Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives. SDEMPED 2009. IEEE International Symposium on*, Cargèse. France. Sep. 2009.
- [6] D. Kostic-Perovic, M. Arkan and P. Unsworth, “Induction motor fault detection by space vector angular fluctuation”, *Industry Applications Conference, 2000. Conference Record of the 2000 IEEE*, vol.1, no., pp.388-394 vol.1, 2000
- [7] ISO 10816-1:1995, “Mechanical vibration- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part I: General guidelines”, International Standards Organization, 1995.
- [8] J.P. G. de Abreu, and A. Eigeles Emanuel, “Induction Motors Loss Of Life Due To Voltage Imbalance And Harmonics: A Preliminary Study” *Harmonics and Quality of Power, 2000. Proceedings. Ninth International Conference on* Vol. 1, Oct. 2000 Page(s):75 – 80.
- [9] ANSI NEMA Standard MG 1-2003, Motors and Generators. Revision 1-2004.
- [10] M. Arkan, D. Kostic-Perovic and P.J. Unsworth, “Closed rotor slot effect on negative sequence impedance [in induction motors]”, *Industry Applications Conference, Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE*, vol.2, pp.751-753. 2001.
- [11] D. Novotny and T. Lipo, *Vector Control and Dynamics of AC Drivers*. Clarendon Press. Oxford. 1996.
- [12] P. Zhou, J. Gilmore, Z. Badics and Z. Cendes “Finite Element Analysis of Induction Motors Based on Computing Detailed Equivalent Circuit Parameters”, *IEEE Transactions on Magnetics*. Vol. 34. N°5. Pittsburgh, USA. 1998
- [13] M. Sonnaillon, G. Bisheimer, C. De Angelo and G. García, “Automatic Induction Machine Parameters Measurement Using Standstill Frequency-Domain Tests”. *Electric Power Applications, IET*. Vol.1. N°5. pp.833-838. 2007.
- [14] M. H. Haque “Determination of NEMA Design Induction Motor Parameters From Manufacturer Data”, *Energy conversion, IEEE transactions on*, vol.23, no.4, pp.997-1004. 2008.
- [15] A. Fitzgerald, C. Kingsley, and S. Umans, *Máquinas Eléctricas*. McGraw Hill. Mexico. 2004
- [16] E. Wiedenbrug, A. Ramme, E. Matheson, A. von Jouanne and A. Wallace, “Modern on-line testing of induction motors for predictive maintenance and monitoring”, in *Pulp and Paper Industry Technical Conference, Conference Record of*, Portland. pp. 163-168. 2001.