



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# Influencia de la temperatura en la potencia mecánica desarrollada por un motor de inducción

<b>Apellidos, nombre</b>	<sup>1</sup> Pérez Cruz, Juan (juperez@die.upv.es) <sup>1</sup> Pineda Sánchez, Manuel (mpineda@die.upv.es) <sup>2</sup> Puche Panadero, Rubén (rupucpa@die.upv.es) <sup>1</sup> Roger Folch, José (jroger@die.upv.es)
<b>Departamento</b>	Departamento de Ingeniería Eléctrica
<b>Centro</b>	<sup>1</sup> Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales <sup>2</sup> Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño Universidad Politécnica de Valencia



## 1 Resumen

Las potencias disponibles en el eje de un motor son determinadas por una característica térmica. Por tanto en este trabajo se plantean y enseña a resolver la verdadera potencia disponible en función de los parámetros que determina un rendimiento térmico.

Se expone cuales son las partes más débiles desde el punto de vista térmico, se analiza como varia la potencia útil del motor en función de la temperatura ambiente, de la altitud de la aplicación.

Como ejemplo, se ponen tanto gráficamente como desde el punto de vista de los valores la capacidad o variación de dicha potencia con respecto a las variables mencionadas.

## 2 Introducción

La utilización de motores eléctricos de inducción está muy extendida entre las aplicaciones industriales. Entre los motores eléctricos empleados destaca muy por encima del resto de máquinas eléctricas, el motor eléctrico de inducción o también denominado motor asíncrono con rotor en jaula de ardilla.

Como en cualquier tipo de aplicación, de forma usual se usan como parámetros de selección en las diferentes aplicaciones los datos de las placas de características y/o datos de catálogo. Pero hay que decir que estos datos son los adecuados cuando en la aplicación concurren unas determinadas condiciones. Sin embargo cada aplicación tiene sus características particulares que hacen que los datos del catálogo o la placa de características sean realmente los apropiados o no lo sean. Casi todos estos datos informativos vienen ajustados teniendo en cuenta el punto térmico de funcionamiento del motor, que es el que viene a determinar la vida media de la máquina eléctrica. Así entre otros condicionantes se pueden citar:

- Clases de servicio. Que no es más que la utilización en un régimen no continuo de trabajo, como sucede en infinidad de procesos de aplicación.
- Temperatura máxima ambiental. Esta determina el mínimo salto térmico entre el motor y el medio que lo rodea, lo que condiciona la temperatura de funcionamiento.
- Densidad del aire. Que determina la capacidad de evacuación de calor del motor. Esta densidad del aire puede ser diferente según la altitud (sobre el nivel del mar) de la aplicación del motor.
- Grado de protección (IP) del motor. Que también determina como se transfiere el calor desde el interior del motor hacia el medio ambiente.
- El tamaño del motor. Este determina la superficie útil de transferencia de calor entre la máquina y el exterior.



- Tipo de aislante. Este parámetro fija la temperatura máxima que puede alcanzar una máquina sin que se deteriore de forma acelerada.

Todos estos aspectos se necesitan tener en cuenta al utilizar un motor eléctrico o cualquier máquina eléctrica ya que tienen una relación directa con la temperatura de funcionamiento y con la vida media del motor, lo que acaba modificando los valores de trabajo del motor con respecto a los reflejados en las hojas de catálogos y/o placa de características.

### 3 Objetivos

Los principales objetivos que se quieren alcanzar con este artículo es la educación del alumno en la elección óptima en una aplicación determinada. Así desde el punto de vista térmico se pretende que el lector aprenda:

- Identificar las partes más débiles de un motor asíncrono convencional, y como vienen determinadas por una determinada letra.
- A que en la mayoría de aplicaciones el límite de potencia no es de tipo mecánico/eléctrico, sino que es de otro tipo.
- Conocer las limitaciones que la temperatura ambiente determina en una aplicación industrial.
- A conocer que una misma máquina eléctrica, puede aportar diferentes potencias según la altitud de la aplicación.
- A resolver situaciones y optimizar los recursos que normalmente pasan desapercibidos a la gran mayoría de técnicos.

Las demostraciones de las expresiones utilizadas NO son causa de este trabajo, ya que existe suficiente bibliografía y tratados tanto eléctricos como térmicos, en los que se puede encontrar dichos análisis. Siendo este trabajo una aplicación práctica lo más real y útil posible, en la que no se quiere teorizar.

### 4 Desarrollo

Se estima que la vida media de un motor asíncrono de rotor jaula dispone de una vida media útil de 40 años. Un porcentaje muy alto de averías y destrucción de este tipo de máquinas es de carácter térmico, siendo los aislantes los que normalmente sufren las primeras consecuencias de este deterioro. Otra de las causas importantes (en el entorno de un 20%) de avería es de tipo mecánico, fundamentalmente por agotamiento o deterioro de los rodamientos, que son causados por desajustes en la lubricación y por fallos en la alineación de las transmisiones, ambos acaban generando desequilibrios en los esfuerzos mecánicos soportados.

En el caso de avería de carácter térmico, que es sin duda el más preocupante el motor sufre un deterioro, tanto más rápido cuanto mayor es el exceso de temperatura. De modo empírico y aproximado, se puede establecer una relación entre la duración o vida útil del aislante,  $D$ , y la temperatura  $T$ , según la ecuación 1, donde  $a$  y  $b$  son constantes propias del material con que se fabrican:



$$D = a * e^{\frac{b}{T}}$$

*Ecuación 1. Definición de la vida útil del aislante en función de la temperatura.*

Por otro lado se conoce que las variaciones de temperatura que experimenta el motor NO son instantáneas, dependen asimismo de las capacidades térmicas de los materiales que lo componen. La evolución se representa en la figura 1 y la expresión que rige el calentamiento en la ecuación 2:

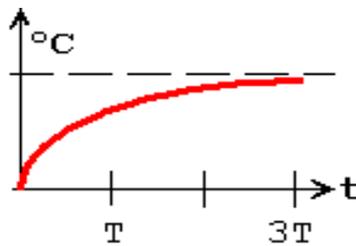


Figura 1.- Evolución de la temperatura

$$Q_I - Q_E = M \cdot C_e \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

*Ecuación 2. Definición de la ecuación de calor.*

Dónde  $Q_I$  es el calor interno generado,  $Q_E$  es el calor evacuado,  $M$  es la masa del motor,  $C$  el calor específico y  $\theta$  es el incremento de temperatura respecto al ambiente.

Una vez indicados que los parámetros térmicos son los que van a determinar el límite de funcionamiento del motor para que no tenga un envejecimiento prematuro, vamos a ver una serie de valores que pueden influir en el comportamiento térmico del motor: El primero a tener en cuenta es el relativo a de la **“clases de servicio”** parámetro muy importante pero que queda fuera de este artículo. Otros de los valores más representativos de los indicados, se tratan en los siguientes apartados.

## 4.1 Límite de seguridad térmica y la evolución con respecto al tamaño y potencia

Realmente el límite térmico del motor se encuentra en los aislantes. Estos son sin duda la parte más débil de la máquina (térmicamente hablando), por lo tanto ellos son los que limitan la seguridad térmica, y establecen que la máxima temperatura que alcanza el motor no debe superar la temperatura máxima del aislante La temperatura límite permisible del aislante depende de la calidad del



mismo (ver estos límites en la tabla1). Evidentemente, cuanto mejor sea la clase de aislamiento, mayor coste tiene el motor. Según la norma UNE 21-304:

Clase de aislamiento	Y	A	E	B	F	H	C
Temperatura límite en °C	90	105	120	130	155	180	>180

Tabla 1.- Valores de temperatura según el tipo de aislante

Por otro lado cuanto mayor sea la temperatura límite del aislante, mayor potencia nominal puede proporcionar una misma máquina. O bien, para una potencia nominal dada, menor será su tamaño. De hecho, la continua mejora tanto de las características térmicas de los aislantes como de los métodos de refrigeración ha permitido la siguiente evolución en la potencia de una máquina con una determinada carcasa (NEMA 404)

Años	1898	1903	1905	1914	1924	1929	1940	1956	1961	1966	1978	1985
Pot. Nom. (C.V)	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	100	115	125

Tabla2.- Evolución de la potencia de un motor para un determinado tamaño

En la tabla 2, se observa la importancia que ha tenido, en la evolución del motor asíncrono a lo largo del tiempo, el tratamiento de la característica térmica de este tipo de máquinas, ya que para un mismo tamaño la potencia se ha multiplicado prácticamente por 15.

El éxito ha radicado tanto en la mejora de los aislantes como en la evolución de las características de los sistemas de ventilación y transmisión de calor.

## 4.2 Influencia de la temperatura ambiente

Si se analiza la expresión (2) se puede observar que hay muchas variables que inciden en el calentamiento del motor. Algunas de ellas han quedado incluidas en el análisis del apartado anterior (3.1), que han permitido la evolución entre la relación entre la potencia y el tamaño, pero tanto antes como ahora hay otros datos que también son importantes, tal como es la temperatura ambiente.

A partir de la ecuación (2), tomando como constantes todas las variables excepto la temperatura ambiente y el valor de la potencia nominal, y sabiendo que según la Norma, para obtener los valores nominales de trabajo (que son los que nos ofrecen los catálogos y/o placa de características), el valor de temperatura tomado es el de 40°C como máximo, en la tabla 3, se aporta la evolución de la potencia nominal en función de la temperatura ambiente. En la gráfica de la figura 2, se puede observar la evolución mencionada.



Tª ambiente (°C)	<30	30 a 40	45	50	55	60
Potencia admisible en %de la nominal	107%	100%	96%	92%	87%	82%

Tabla 3.- % de potencia disponible

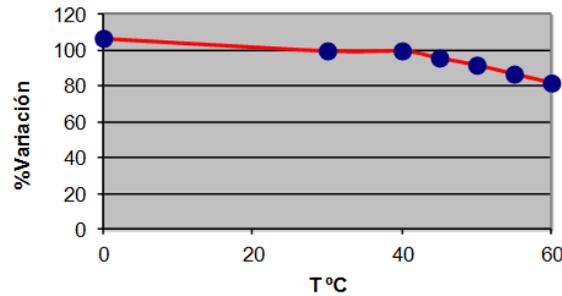


Figura 2.- Relación entre Tª y P<sub>N</sub> ante incrementos de temperatura.

### 4.3 Influencia de la altitud sobre el nivel del mar de la aplicación

La composición del aire no es homogénea, si no que depende de la altitud, entre otras razones debido al valor de la presión atmosférica, que va disminuyendo con la altitud. La ecuación (2) está deducida para valores de elevación de hasta 1.000 metros sobre el nivel del mar, donde la variación de la presión, y su repercusión sobre las características del aire, son pequeñas.

Conocido que las características térmicas son las que limitan la potencia del motor. Es muy importante a tener en cuenta, en la elección del motor, la citada altitud de la aplicación. Ante la escasez de datos objetivos que permitan la corrección de los parámetros de catálogos y/o placas de características, la normativa sobre las aplicaciones de motores, establecen unos correctores que permiten adecuar los valores características de altitudes convencionales a otras aplicaciones. Así en la tabla 4, y en la gráfica de la figura 3, se tiene los valores de ajuste y su evolución, en función de la altitud.

Altitud (metros)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Potencia admisible en % de la nominal	100%	97%	94%	90%	86%	82%	77%

Tabla 4.- Relación entre altitud y potencia nominal del motor (P<sub>N</sub>)

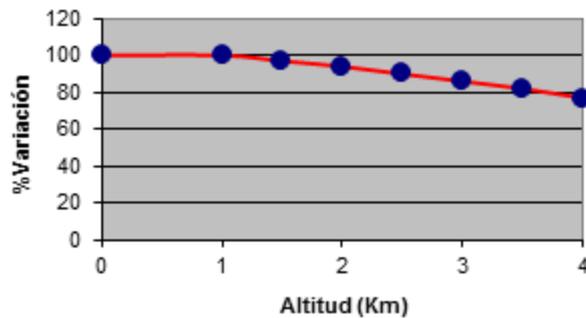


Figura 3.- Relación gráfica entre altitud y potencia nominal del motor ( $P_N$ )

Como se puede observar en ambas representaciones, la altitud fija una reducción de la potencia nominal o máxima en régimen de trabajo denominado continuo, pudiendo llegar esta a provocar una disminución de hasta un 23 % de la potencia disponible en un motor. La importancia de este tipo de rectificaciones, viene dada por la gran cantidad de aplicaciones en las que la altitud esté por encima de estos 1.000 metros mencionados. Solo hay que recordar que hay infinidad de ciudades en todo el mundo con cotas de altitud bastante mayores, y si además se consideran aplicaciones tales como los remontes de estaciones de esquí, ascensores en hoteles de estas estaciones de esquí, etc., el conocimiento de estas consideraciones es esencial.

#### 4.4 El límite mecánico del motor eléctrico de inducción

Cabría pensar si los análisis efectuados en los apartados anteriores pueden incidir sobre la potencia mecánica a desarrollar por el motor. Por tal motivo volviendo a estudiar de nuevo a la Norma, pero ahora atendiendo a la disponibilidad mecánica de un motor, se puede comprobar que según la norma VDE 0530 (norma alemana de aplicación en toda Europa) se especifica lo siguiente:

Los motores polifásicos de inducción deben ser sobrecargables hasta 1'6 veces el par nominal durante 15 segundos, a tensión y frecuencia nominal, independientemente de su clase de servicio y ejecución

Como los datos del catálogo están referidos a una serie de fabricación de motores, siendo cada uno diferente a cualquier otro, la norma obliga a que los datos de catálogo y/o placa de características, estarán sometidos a una tolerancia del 10%, así por ejemplo, la relación entre el par máximo del motor y el par mecánico de la carga que resulta de la aplicación del criterio anterior es:

$$\frac{T_{m\acute{a}x}}{T_{carga\ m\acute{a}x}} \geq 1'6/0'9 = 1'8 \rightarrow P_{carga\ m\acute{a}x} = T_{carga\ m\acute{a}x} \cdot \omega_{nom} \leq \frac{T_{m\acute{a}x}}{1'8} \cdot \omega_{nom}$$

Y como:

$$P_{nom} = T_{nom} \cdot \omega_{nom}$$



Se tiene que:

$$P_{\text{carga máx}} \leq \frac{T_{\text{máx}}}{1'8} \cdot \omega_{\text{nom}} = \frac{T_{\text{máx}}}{1'8} \cdot \frac{P_{\text{nom}}}{T_{\text{nom}}}$$

*Ecuación 3. Definición de la potencia mecánica interna.*

Es decir, la potencia mecánica máxima que puede proporcionar el motor respecto a la nominal que figura en su placa de características, atendiendo al criterio de sobrecarga impuesto por la norma, es:

$$P_{\text{carga máx}} \leq \frac{T_{\text{máx}}}{1'8 \cdot T_{\text{nom}}} \cdot P_{\text{nom}}$$

*Ecuación 4. Definición de la potencia mecánica máxima en función de la nominal.*

Lo que a efectos prácticos implica que un motor con un par máximo superior a 1'8 veces el nominal podría dar una potencia mecánica superior a la que viene especificada en su catálogo. A título de ejemplo, para algunos motores resultan las siguientes potencias mecánicas máximas para algunos casos de la tabla siguiente (tabla 5):

<b>P<sub>Nominal</sub></b>	<b>T máximo/T nominal</b>	<b>P Mecánica-Máxima</b>	<b>% incremento</b>
0.06	2	0.07 Kw	11%
1'5	2'8	2'33 Kw	55%
4	3	6'7 Kw	66%
15	3'2	26'7 Kw	77%
45	3'3	82'5 Kw	83%
250	2,8	389 Kw	55%
1000	2,6	1444 Kw	44%

*Tabla 5.- Posible incremento de potencia disponible en un motor.*

Como caso particularmente y significativo, cabe observar que un motor de 45 kW. de potencia nominal podría suministrar hasta 82'5 kW., sin superar el límite de sobrecarga impuesto por la norma. ¿Por qué, en ese caso, el fabricante limita voluntariamente la potencia del motor hasta tal extremo?. Porque interviene una



segunda limitación de la potencia basada en factores térmicos, ya estudiados en los apartados anteriores.

## 5 Cierre

Clásicamente ante cualquier aplicación de un motor de arrastre, y fundamentalmente un motor asíncrono en jaula de ardilla, los técnicos suelen sobredimensionar dicha máquina impulsora. Sin embargo, cada vez más el grado de competitividad es más exigente y para conseguir ser lo más eficaz posible se debe de optimizar todos los recursos posible.

Una mala elección bien por defecto como por exceso, tienen diferentes repercusiones que son muy importantes y se deben de tener en cuenta, tales como pueden ser:

- El dimensionado adecuado de una protección, ya que si la elección del motor no es apropiada y óptima, como los valores de esta máquina son los que determina la elección del tipo y valor de la protección, al no ser óptima la máquina tampoco lo es la protección.
- Una máquina eléctrica rotativa tiene un rendimiento alto (cercano al 80 o 90%), pero el resto son pérdidas si se elige un motor inadecuado también lo son las pérdidas que se están soportando.
- Los tamaños y grados de protección (IPs) implican un diseño de bancadas y ubicaciones a tener en cuenta en el conjunto de la máquina, si la elección no es óptima tampoco son sus consecuencias.

Se podría seguir exponiendo incidencias que determinan una mala selección de este tipo de máquinas eléctricas y además como estos motores eléctricos son muy ampliamente utilizadas, la repercusión que tiene es importantísima, independientemente del tipo de especialidad que se haya cursado el técnico. Se ha evitado incluir cálculos que distraigan la atención del lector sobre los objetivos fundamentales del texto que son fundamentalmente la de instruir y avisar de las malas prácticas que se tienen en la elección de los motores de inducción.

Los datos y repercusiones se han presentado tanto en forma de tabla como en forma de gráfica de forma que puedan ser familiares en cualquiera de ambos lenguajes. Y por último se ha apuntado la idea de tener en cuenta también (por su importancia) en la elección las clases de servicio de las aplicaciones, aunque no se traten en este texto.

## 6 Bibliografía

### 6.1 Libros:

[1] Pérez Cruz, J., Pineda Sánchez, M., Pucho Panadero, R. "Aplicaciones Técnicas Industriales de Motores de Inducción". UPV. 2010.

[2] Roger Folch, J., Riera Guasp, M., Roldán Porta, C. "Tecnología Eléctrica". Síntesis.2010.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

- [3] J.M. Merino Azcarraga. "*Arranque Industrial de Motores Asíncronos*", Mc Grau Hill. 1995.
- [4] Pérez Cruz, J., Pineda Sánchez, M., Puche Panadero, R. "Introducción a las Instalaciones y Tecnología Eléctrica". UPV. 2009.
- [5] Martínez Román, JA, Pérez Cruz, J., Pineda Sánchez, M. "Prácticas de Laboratorio de Máquinas Eléctricas". UPV. 2009.
- [6] Roger Folch, J., Riera Guasp, M., Pineda Sánchez, M., Pérez Cruz, J. "Prácticas de Laboratorio de Tecnología Eléctrica". UPV. 2011.

## 6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

- [7] Catálogos de motores eléctricos de inducción. Ver páginas web de:

<http://www.abb.es/product/es/9AAC133417.aspx?country=ES>

<http://www.automation.siemens.com/mcms/drives/en/motor/Pages/Default.aspx>