

motor tico

BOLETÍN TRIMESTRAL PREPARADO POR WWW.MOTORTICO.COM, COSTA RICA



OCTUBRE-DICIEMBRE 2018

Efecto de la altitud (*mayor a 1000 m.s.n.m.*) en el funcionamiento del motor eléctrico

Introducción

Las máquinas eléctricas rotativas deben ser diseñadas/seleccionadas acorde con el **ambiente en el cual éstas operarán**. Normalmente un motor se diseña para ser aplicado bajo presión de aire y humedad normales, definidas así por debajo de los **1000 m.s.n.m.** (metros sobre el nivel del mar) y **baja humedad relativa**. En el caso de la altitud, aquellos motores que operan en zonas geográficas con altitud sobre los 1000 m.s.n.m. van a requerir consideraciones especiales en sus cálculos, así como en los procedimientos de ensayos y pruebas. La principal influencia de la altitud sobre el desempeño del motor es debido a la reducción en la densidad del aire, la cual provocará dos efectos principales, que son: *i)* cambios en la eficiencia del enfriamiento; y, *ii)* modificaciones en la fuerza dieléctrica del aire. Ambos aspectos son revisados en este boletín.

Presión de aire y temperatura ambiente versus altitud

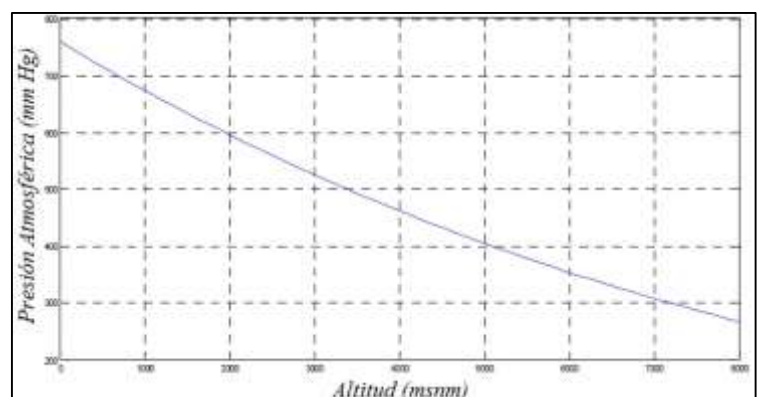
El aire es una mezcla de gases, mayormente compuesto de nitrógeno y oxígeno. Asimismo, la atmósfera tiene agua y partículas sólidas en suspensión. El aire es materia y tiene masa. Por ejemplo, a nivel del mar, el peso de una columna de aire de 1 pulgada cuadrada de superficie es de 14,7 libras (es decir: 14,7 psi). Esto se conoce como "una atmósfera". Los valores de la Fig. 1 corresponden a las condiciones atmosféricas estándar, adoptadas como referencia para los cálculos realizados en distintos ámbitos de la ingeniería eléctrica, como es el caso de los motores.

Magnitud	Valor	Unidad
Temperatura ambiente	20	°C
Presión atmosférica	1,013 (760)	Milibares (mm Hg)
Humedad Absoluta	11	g/m ³

Figura 1 Condiciones ambientales estándar

En primer lugar, se sabe que el aire tiene presión. Como la altura de la columna de aire disminuye cuando se aumenta la altitud, ésta "pesa menos" y se obtiene una menor presión, y **menor densidad de aire**. La Fig. 2 muestra la variación de la presión atmosférica en función de la altitud. La forma de la curva es aproximadamente "exponencial decreciente". Se observa en la Fig. 2 que a 5000 m.s.n.m. la presión atmosférica es aproximadamente la mitad que a nivel del mar(0 m.s.n.m.).

Figura 2 Variación de la presión atmosférica con la altitud



En segundo lugar, la **temperatura ambiente** presenta un comportamiento decreciente (casi lineal) con respecto a la altitud. Esto significa que se espera una menor temperatura ambiente conforme la altitud aumenta. Este comportamiento favorece al enfriamiento del motor, como se verá a continuación.

Efectos de la altitud en el comportamiento del motor

A. Sobre el enfriamiento

Un motor eléctrico **producirá calor** por efecto de sus pérdidas (efecto Joule, en núcleos, fricción, otras), y necesita traspasar el calor hacia el ambiente. Por tal motivo, precisa de la masa de un fluido que sirva como medio de transferencia de calor. Por ejemplo, en un motor cerrado con ventilador (**TEFC** siglas de *Totally Enclosed and Fan Cooled* motor NEMA; **IP54-5** e **IC411** motor IEC), la potencia P_{vent} utilizada para impulsar una masa de aire externo sobre la carcasa de la máquina se calcula según la siguiente expresión:

$$P_{vent} = K \cdot \rho_{aire} \cdot n^3 [W] \quad (1)$$

donde K es un factor que depende de la geometría del ventilador, ρ_{aire} es la densidad del aire, y n es la velocidad del rotor. Se observa en la Ecuación (1) que la potencia usada para ventilar es proporcional a la densidad del aire. Por ello, si el motor opera a la misma velocidad, pero a mayor altitud, como el aire es menos denso, la masa de aire que se ingresa como medio de **refrigeración será menor**. Según los estándares NEMA e IEC, no hay diferencia con la temperatura máxima de levantamiento para altitudes por debajo de los 1000 m.s.n.m. En el caso de la temperatura ambiente, el diseño estándar considera una **máxima de 40 °C**. Como regla general, la temperatura de levantamiento del motor se incrementará en 1% por cada 100 m de altitud sobre los 1000 m.s.n.m. Para compensar este efecto, y evitar un deterioro aumentado en el aislamiento, se podría operar el motor a menor carga (aplicar un **factor de reducción** o "derate"), o bien, restringir la temperatura ambiente máxima. Ambos estándares indican que la reducción de la temperatura ambiente debe ser de un 1% del levantamiento de temperatura especificada para la clase de aislamiento por cada 100 m de altitud. Esta regla opera **hasta los 4000 m.s.n.m.**, en motores que no han sido preparados para operar por encima de los 1000 m.s.n.m. En aplicaciones sobre los 4000 m.s.n.m. se recomienda consultar al fabricante.

B. Sobre el aislamiento

La **rigidez dieléctrica** de un aislante se define como el límite de la intensidad de campo eléctrico, para el cual un material pierde sus propiedades dieléctricas y pasa a ser conductor. En el caso del aire, su rigidez depende de la presión atmosférica y la temperatura ambiente. Cuando un equipo se diseña para ser instalado en sitios con altitudes sobre los 1.000 m.s.n.m., la disminución en la rigidez dieléctrica del aire, puede ocasionar que no sean soportadas sobretensiones que al nivel del mar no traerían consecuencias. En los motores de media y alta tensión, a medida que aumenta la altitud, la tensión de inyección corona disminuye, por lo que la **actividad de descargas parciales** aumentará (si se le compara con altitudes menores). Por lo tanto, es importante especificar los requisitos de altitud en motores con tensiones de **2300 V y más**, para garantizar así que el aislamiento seleccionado es el adecuado para el servicio.

Ejemplos numéricos

- A. Considere un motor de 100 HP (75 kW), S.F. 1.0, clase aislamiento F, con incremento de temperatura B (ΔT 80 K), trabaja a 1.500 m.s.n.m. (esto equivale a 5x100m sobre los 1000 m.s.n.m.), temperatura ambiente máxima de 40 °C. ¿Cuál es su nueva temperatura máxima ambiente? **SOLUCIÓN:** Por efecto de la altitud, la temperatura ambiente de 40 °C deberá ser corregida en 5%, resultando en una nueva temperatura ambiente máxima estable de 36 °C ($T_{ambiente_nueva} = 40 - 80 \cdot 0,05 = 36$ °C).
- B. Se tiene un motor de 15300 kW, clase de aislamiento e incremento tipo B (ΔT 80 K), para operar a 1000 m.s.n.m., el cual será trasladado a una planta minera que está a 1880 m.s.n.m. Para evitar sobrecalentamiento, el personal de operación restringirá la potencia útil del motor. ¿Cuál debe ser la nueva potencia? **SOLUCIÓN:** existe una regla empírica que dice que se puede reducir en 1 °C por cada 100 m de altitud la temperatura de levantamiento. Así, la nueva temperatura de levantamiento será: $T_{levant} = 80 - 8,8 \cdot 1 = 71$ °C (con $T_{ambiente} = 40$ °C). Se puede asumir que la temperatura de levantamiento en el motor es aproximadamente proporcional al cuadrado de la corriente, así, la nueva potencia del motor será: $15300 \cdot \left(\frac{71}{80}\right)^2 = 15300 \cdot 0,80 = 12240$ kW.

Conclusión

En virtud de lo presentado en este boletín, se recomienda tener cuidados especiales en el diseño, selección y pruebas de motores eléctricos que serán operados en altitudes mayores a los 1000 m.s.n.m., teniendo mayor cuidado con aquellas máquinas en altitudes sobre los 4000 m.s.n.m., para tomar los resguardos que garanticen una operación segura y confiable. Siempre conviene consultar al fabricante, que confirme los cálculos realizados.