

LA CORRECCIÓN DE LA POTENCIA EN LOS MOTORES



de aceptación universal que permita corregir de manera exacta la potencia del motor cuando trabaja en condiciones diferentes a las normales; esto es una consecuencia de que, además de la condición atmosférica, hay un factor 'motor', que depende de la relación que existe entre la cilindrada del motor y la cantidad de combustible inyectado, fijada por fabricante del motor, o sea, función de la relación aire/combustible en las condiciones de trabajo.

Por ello, cuando se realiza el ensayo del motor en un laboratorio se deben dar, junto con la potencia, las condiciones atmosféricas (presión, temperatura y humedad relativa) que existían en el momento de la medición.

CONDICIONES DE 'REFERENCIA'

Puedan considerarse que las pérdidas de potencia, para un motor de aspiración natural (sin turbo), en una primera aproximación, son del 1.0 - 1.5% por cada 100 m de aumento de la altitud. Esto significa que un tractor de 50 CV (36.8 kW) medidos a nivel del mar y en condiciones de presión y temperatura normales, al hacerlo trabajar a 1 000 m (por ejemplo en Ávila), suponiendo que se mantiene aproximadamente la misma temperatura, sólo podrá dar una potencia de 45.0 - 42.5 CV (33.1 - 30.5 kW). O sea, el motor proporciona más 'caballos' cuando trabaja con mayor presión atmosférica y con menor temperatura ambiente.

Para poder comparar los resultados

de los ensayos de potencia a que se somete al motor en condiciones atmosféricas diferentes, hay que acordar unas condiciones tipo a las que se puedan referir todos los ensayos realizados. Como ya se indicó al analizar la medida de la potencia en los tractores agrícolas (ver *agrotécnica* nº 2), las condiciones que se consideran como referencia, en la actualidad, son de 100 kPa y 25°C (equivalente a 298 grados Kelvin).

Asimismo, si se dispone de una fórmula de corrección suficientemente precisa, será posible calcular la potencia disponible en determinada situación geográfica, ya que, como es el caso de una gran parte de nuestros campos de cultivo en los que tienen que trabajar los tractores, se encuentran muy por encima del nivel del mar.

Sin embargo, no hay una fórmula

'CORRECCIONES' EN LA HOMOLOGACIÓN ESPAÑOLA

Motores de aspiración natural

En algunos países cuyos laboratorios de ensayo se encuentran situados a una cierta altitud sobre el nivel del mar, como es el caso de España, se corrigen las potencias medidas durante los ensayos oficiales para poder ofrecer valores equivalentes a los que se obtendrán en condiciones atmosféricas 'normales', que hagan posible la comparación entre ensayos realizados en otras situaciones

Los factores de corrección que se

Para que se produzca el funcionamiento de un motor se necesita que el combustible que se inyecta en los cilindros encuentre en ellos oxígeno suficiente para su combustión.

Las variaciones en la presión atmosférica y en la temperatura ambiente, así como en la humedad relativa del aire, modifican la cantidad de oxígeno contenido en el aire que llega a los cilindros, lo que afecta al funcionamiento del motor, y, de una manera especial, a la potencia máxima que puede suministrar y al nivel de emisión de gases en el escape. En consecuencia, la potencia máxima que puede proporcionar el motor será diferente cuando trabaja a nivel del mar que cuando lo hace sobre una montaña. Esto hace necesario analizar, de una manera detallada, el efecto de las condiciones atmosféricas en el funcionamiento de los motores, tanto si son de aspiración natural, como si utilizan un sistema de sobrealimentación basado en el aprovechamiento de la energía residual de los gases de escape (motores con 'turbo').

utilizan para la 'homologación de la potencia' (medida de la 'potencia de inscripción' realizada por la EMA del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) en España, proceden de una fórmula, recomendada por ISO en la década de los 60 para motores de aspiración natural.

Aunque en la actualidad ISO propone otra fórmula más precisa, que tiene en cuenta, además, las características del motor ('factor motor'), la antigua proporciona una corrección aceptable para los motores que no disponen de 'turbo'.

La fórmula que se viene utilizando es la siguiente:

$$f = (760 / Pa) \times (T / 288)^{0.5}$$

Siendo Pa, la presión atmosférica medida de mm de columna de mercurio (mm de Hg) y T la temperatura ambiente en grados Kelvin.

Esto indica que la potencia varía en relación directa a como lo hace la presión atmosférica (mayor presión, más potencia) y en relación inversa a la raíz cuadrada de como lo hace la temperatura ambiente (mayor temperatura, menos potencia en el motor)

Los grados Kelvin se obtienen tomando como referencia el cero absoluto de temperatura, por lo que 0°C equivalen a 273 grados Kelvin (°K). O sea, para pasar de grados centígrados a grados Kelvin, hay que sumar 273 al valor medido en grados centígrados.

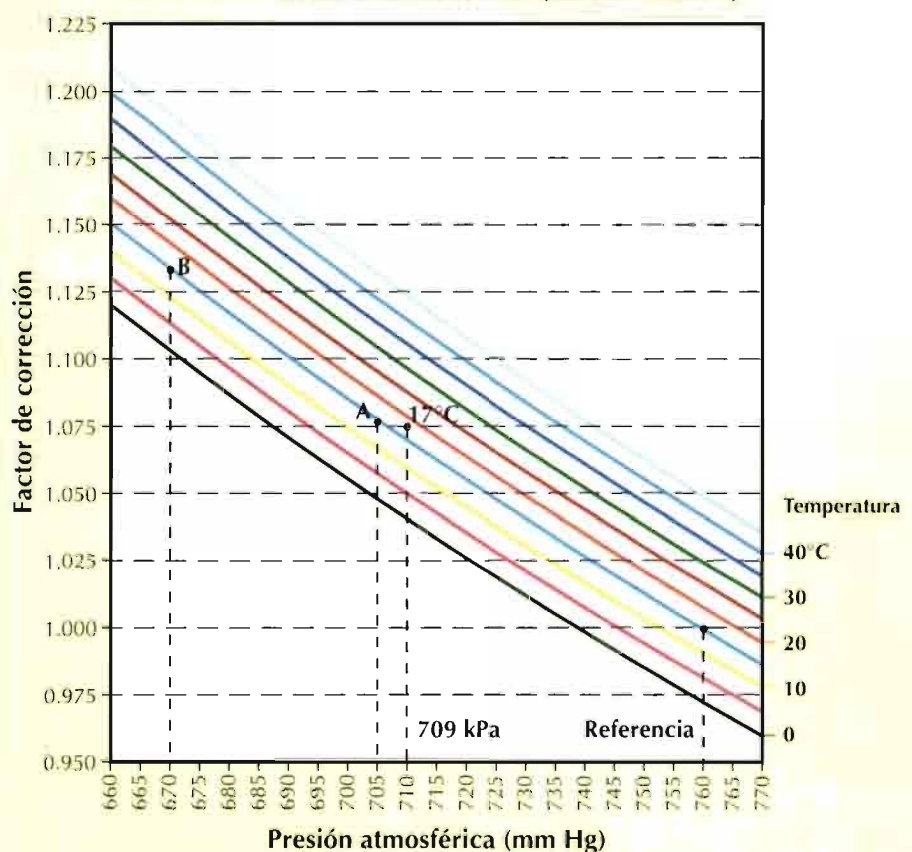
Por otra parte, las condiciones de referencia que se utilizan a efectos de

esta corrección son: 760 mm de Hg para la presión y 15°C de temperatura, equivalentes a 288°K.

En el gráfico 1 se presentan los valores de la corrección que se aplica

en la homologación española (MAPA) a efectos de asignar la 'potencia de inscripción', así como unos ejemplos que indican la forma en la que se puede utilizar.

GRÁFICO 1
Corrección de la potencia en función de las condiciones atmosféricas (oficial MAPA)



Para calcular la potencia que proporcionaría el motor en 'condiciones normales', hay que multiplicar la potencia medida por el factor de corrección en función de las condiciones atmosféricas. A partir de la potencia referida a condiciones normales de presión y temperatura se puede calcular la potencia disponible en otra situación atmosférica dividiendo por el correspondiente factor de corrección.

El consumo de combustible medido en el ensayo no admite ningún tipo de corrección, por lo que, a efectos comparativos, sólo puede tomarse como una referencia aproximada. Una comparación precisa obligaría a medir este consumo controlando las condiciones atmosféricas existentes durante el ensayo, para que coincidieran con las definidas como normales. lo cual puede hacerse en bancos de ensayos para motores, pero resulta muy difícil cuando el ensayo se realiza con el motor integrado en el tractor, a no ser que el laboratorio esté situado a una altitud próxima al nivel del mar.

Las fórmulas de corrección de la potencia (tanto la fórmula comentada, como otras más modernas), se han obtenido de manera experimental, a partir de múltiples ensayos realizados en condiciones atmosféricas diferentes, sobre la base de la potencia máxima, del motor, por lo que cuando se utilizan para corregir la potencia medida en puntos de funcionamiento que no coinciden con el de potencia máxima, pierden precisión. Esto puede aplicarse a nuestra homologación oficial, ya que se corrige la potencia correspondiente al régimen del motor que proporciona la velocidad normalizada de la toma de fuerza.

En consecuencia, hay que conocer que un tractor con 100 CV de potencia homologada, sólo podrá suministrar esta potencia si se encuentra a nivel del mar.



por ejemplo en Alicante, siempre que la temperatura ambiente sea de 15°C.

Si lo situamos en la meseta inferior (por ejemplo en La Mancha), normalmente la presión bajará 50 mm de Hg, por lo que, sobre la base de 15°C de temperatura ambiente, su potencia será de 93.5 CV (factor de corrección 1.0695 – gráfico 1; punto A)

Continuando la progresión, al situarlo a 1 000 metros sobre el nivel del mar, la presión habrá bajado cerca de 90 mm de Hg, lo que hace perder 11.8 CV, por lo que se quedará en 88.2 CV de potencia máxima (factor de corrección 1.1333 – gráfico 1; punto B).

Por último, si lo vamos a hacer trabajar a una altitud de 2 000 metros, donde la presión atmosférica puede ser de sólo 600 mm de Hg, la potencia máxima disponible será sólo de 79.0 CV (factor de corrección 1.2656).

Esto sólo es aplicable a motores de aspiración natural, ya que para los motores con 'turbo', la pérdida de potencia por cambios en la presión atmosférica, como más adelante se indica detalladamente, no sigue esta progresión.

Motores con 'turbo'

En los motores turboalimentados, la energía residual de los gases de escape se utiliza para aumentar la presión a la que llega el aire a los cilindros. Esto tiene como consecuencia que, a medida que se reduce la presión atmosférica, los gases de escape salen con más facilidad, por lo que compensan la menor densidad del aire en el ambiente. Esto significa que el motor tiende a autocompensarse (en relación con las variaciones de presión atmosférica) y las variaciones de la potencia obtenida en diferentes condiciones de presión atmosférica son mucho menores que en los motores de aspiración natural.

Sin embargo, la sobrepresión del aire que llega a los cilindros induce a su calentamiento, lo cual reduce en cierto modo la cantidad de oxígeno que puede utilizarse en la combustión, por lo que la fórmula de corrección debe de considerar, de manera especial, el efecto de la temperatura en el comportamiento del motor.

En consecuencia, en el caso de motores con 'turbo', la corrección realizada con la fórmula 'oficial' actualmente utilizada por el MAPA, proporciona valores por encima de los reales, ya que el momento en el que se publicó (década de los 60) no se consideraban este tipo de motores.

■ LA POTENCIA 'REAL'

La medida de la potencia 'real' para cada situación tendría que hacerse en un laboratorio en el que se pudieran modificar las condiciones ambientales para las diferentes circunstancias en las que va a trabajar el usuario.

En las condiciones de las regiones centrales de España, situadas en me-



setas con altitud sobre el nivel del mar entre 500 y 800 metros, las medidas realizadas en Madrid (600 m) pueden tomarse como suficientemente precisas, sin que sea necesario efectuar ninguna corrección, incluso para los tractores de aspiración natural.

La necesidad de conseguir valores que permitan comparar las prestaciones de motores ensayados en condiciones diferentes ha obligado a estudiar unas fórmulas de corrección más precisas, que en cualquier caso deben de tomarse como aproximadas, como consecuencia de la influencia que tiene el tipo de motor en las prestaciones obtenidas en cada situación atmosférica.

La versión más moderna de estas fórmulas de corrección es la que está incluida en la norma española UNE 68028 (ISO 2288 A1) que se indican en el cuadro 1.

Se puede observar que las condiciones consideradas como 'referencia' han cambiado con respecto a las que se utilizaban en la fórmula tradicional. En primer lugar, se utiliza el Sistema Internacional de Unidades (SI), para referirse a la presión atmosférica, de manera que en vez de apa-

CUADRO 1 Fórmulas de corrección según la norma UNE 68028

Para motores de encendido por compresión (diésel) son:

$$N_o = \eta_d \times N$$

siendo:

N_o = potencia en las condiciones de referencia

N = potencia medida

η_d = factor de corrección = $f_a \times f_m$

El factor de corrección se calcula como producto de un factor atmosférico (f_a) por un factor debido al motor. El factor atmosférico será:

• para **motores de aspiración natural**: $f_a = (99/P_s) \times (T/298)^{0.7}$

• para **motores sobrealimentados con turbo**: $f_a = (99/P_s)^{0.7} \times (T/298)^{1.5}$
(P_s = Presión atmosférica seca; T = Temperatura absoluta en °K)

El factor motor (f_m) viene definido por la expresión:

$$f_m = 0.036 q_c - 1.14$$

siendo:

$$q_c = q / r$$

donde:

q = caudal máximo de combustible inyectado por la bomba [mg/h ciclo]

r = relación de presión entre la entrada y la salida del compresor

($r = 1$ para motores de aspiración natural)

El valor total del factor de corrección (η_d) debe estar comprendido entre 0.9 y 1.1 para que la fórmula de corrección sea de la máxima precisión.

Si se sobrepasan estos valores conviene además de realizar la corrección incluir las condiciones de presión y temperatura a la que se realizaron los ensayos.

recer mm de Hg (columna de mercurio) aparecen kPa (kilopascales); 760 mm de Hg equivalen a 101.3 kPa, lo

que pone de manifiesto que la condición de 'nivel del mar' también ha cambiado, ya que 100 kPa equivalen aproximadamente a 750 mm de Hg. Esto indica que ha prevalecido el criterio de que los motores para vehículos terrestres trabajan a cierta altura sobre el nivel del mar, por lo que es preferible la nueva 'referencia'.

Por otra parte, se observa que hace referencia a la presión atmosférica 'seca', sin tener en cuenta la presión del vapor de agua que se encuentra en la atmósfera. Como la presión del vapor de agua se puede considerar, con suficiente aproximación, que vale 1 kPa, en la fórmula de corrección se debe utilizar la presión atmosférica medida descontando una unidad.

Asimismo, se indica como temperatura ambiente de referencia 25°C (10°C más que en la referencia anterior) y se distingue claramente las correcciones para motores turbo, con respecto a las que se aplican a los que son de aplicación natural.

Los gráficos 2 y 3 permiten calcular los valores del coeficiente de corrección para diferentes condiciones ambientales en las que se sitúe el motor.





El cambio de las condiciones de referencia tiene como consecuencia una variación de la potencia medida en condiciones 'normales'. Así, sobre la base de utilizar la fórmula 'antigua' (MAPA - EMA), pasar de 760 mm de Hg y 15°C a 750 mm de Hg (100 kPa de presión total) y 25°C, significa 'perder' un 3% en la potencia 'homologada' (tabla 1), aunque esta nueva referencia sea más aproximada a las condiciones normales en las que se utilizan los tractores (por encima del nivel del mar).

CORRECCIONES EN LOS MOTORES 'TURBO'

Si bien la nueva fórmula de corrección aplicada a motores de aspiración natural proporciona valores similares a los de la que actualmente se utiliza para asignar la 'potencia de inscripción', las diferencias en relación con los motores turbo son muy significativas.

El factor de corrección atmosférico se relaciona con la presión atmosférica según un exponente de 0.7 (menor que 1, valor que se utiliza en los motores de aspiración natural), mientras que la temperatura se relaciona con exponente 1.5 (doble del que se aplica en el caso de motores de aspiración natural).

Observado los valores calculados en la última columna de la tabla 1, en comparación con los que se obtienen aplicando los de la corrección 'oficial' (MAPA-EMA), se encuentra que con 100 kPa de presión atmosférica (750 mm de Hg), para 5°C bajo cero, el motor turbo incrementa su potencia, respecto a la que desarrolla a 25°C, en un 17.2%, mientras que a 40°C pierde un 7.1%, valores todos ellos muy superiores a los calculados según la fórmula antigua.

Por otra parte, pasar de 100 a 85 kPa, manteniendo 25°C de temperatura ambiente llevaría a una pérdida del 10.9% de la potencia en un motor turbo (UNE 68028), mientras que con la homologación oficial se daría una 'bonificación' del 17.8%, o sea, un 7% de potencia de 'regalo'.

En consecuencia, cuando hay que homologar un motor turbo, con la normativa que se aplica en España, con-

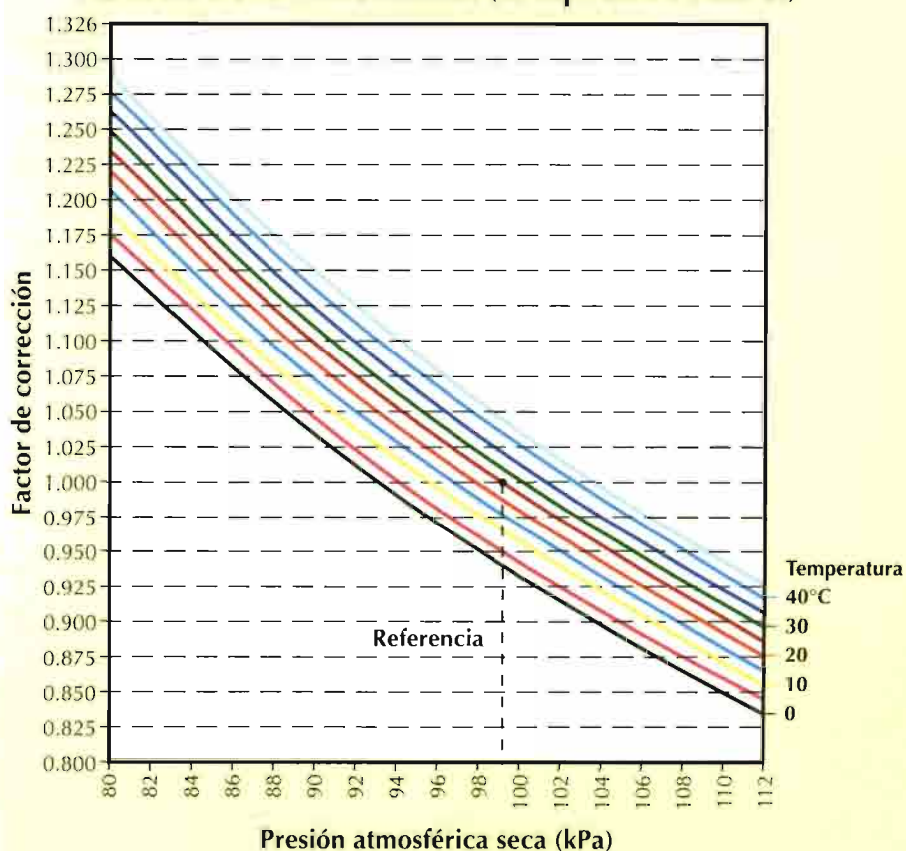
viene realizar los ensayos en Madrid, con tiempo frío y baja presión atmosférica. La ganancia puede ser notable a la hora de conseguir 'caballos de inscripción'.

EL FACTOR MOTOR

La fórmula de corrección más actualizada incluye una segunda corrección que considera el efecto que puede tener la regulación del motor en las prestaciones que se consiguen para diferentes condiciones atmosféricas (cuadro 1).

Con el factor motor (fm) se pretende tener en cuenta la relación aire/combustible que ha establecido el fabricante para cada condición de funcionamiento. Así, si se trata de un motor muy 'apretado', en el que se inyecta mucho combustible por litro de cilindrada para conseguir mayor poten-

GRÁFICO 2
Corrección de la potencia en función de las condiciones atmosféricas (fa-aspiración natural)



$$f_a = (99/P_s) \times (T/298)^{1.5}$$

P_s = presión atmosférica seca en kPa
 T = Temperatura absoluta en °K

cia, aunque el consumo específico sea muy elevado, cualquier reducción de la cantidad de aire que llega a los cilindros significa una fuerte caída de la potencia del motor, mientras que si la inyección es baja (exceso de aire), una reducción de la cantidad de aire que llega a los cilindros (menor presión atmosférica, o más alta temperatura) tiene escasa influencia en las prestaciones del motor.

De acuerdo con lo que indica la norma UNE 68028, si el caudal máximo de combustible inyectado es igual a 59.44 mg/hora y ciclo, el factor de corrección debido al motor (fm) se hace igual a 1 (motor sin turbo). A medida que la inyección supera este valor, aumenta el factor fm.

En el caso de motores con turbo la cantidad de combustible inyectado puede aumentar en la misma proporción que lo hace la sobrepresión del turbo, sin que varía el factor 'motor'.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Las condiciones atmosféricas influyen en las prestaciones de los motores, de manera que una bajada de la presión (trabajando a mayor altura sobre el nivel del mar) o un aumento de la temperatura ambiente, produce una reducción de la potencia disponible.

Las condiciones de referencia que actualmente se recomiendan corresponden a 100 kPa de presión atmosférica (750 mm de Hg) y 25°C de temperatura ambiente (ensayo de motores según Reglamento ECE R-24), aunque en los ensayos para 'homologación de la potencia' (MAPA-EMA) se siguen utilizando 760 mm de Hg y 15°C, lo que permite ofrecer una 'ganancia' de potencia del 3.8 % para los motores de aspiración natural y del 6.2 % en los motores turbo.

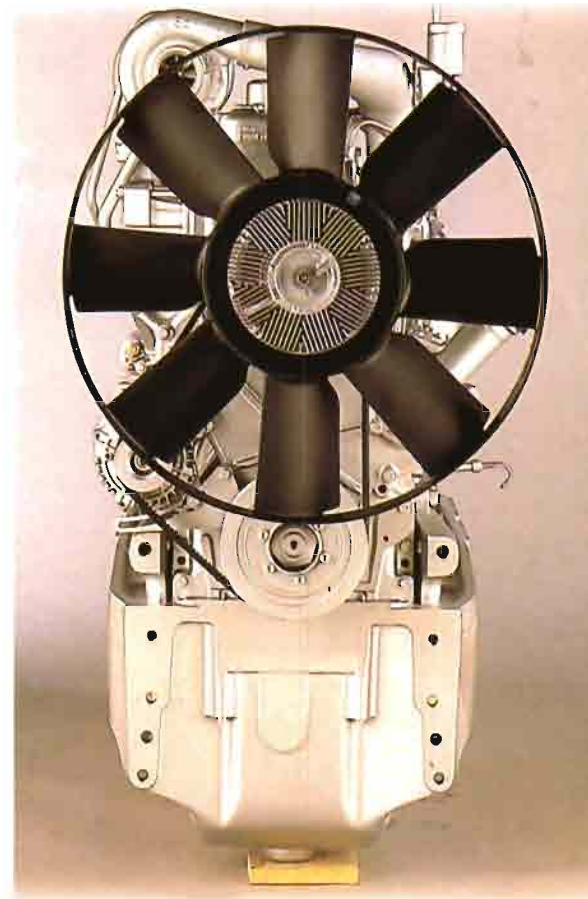
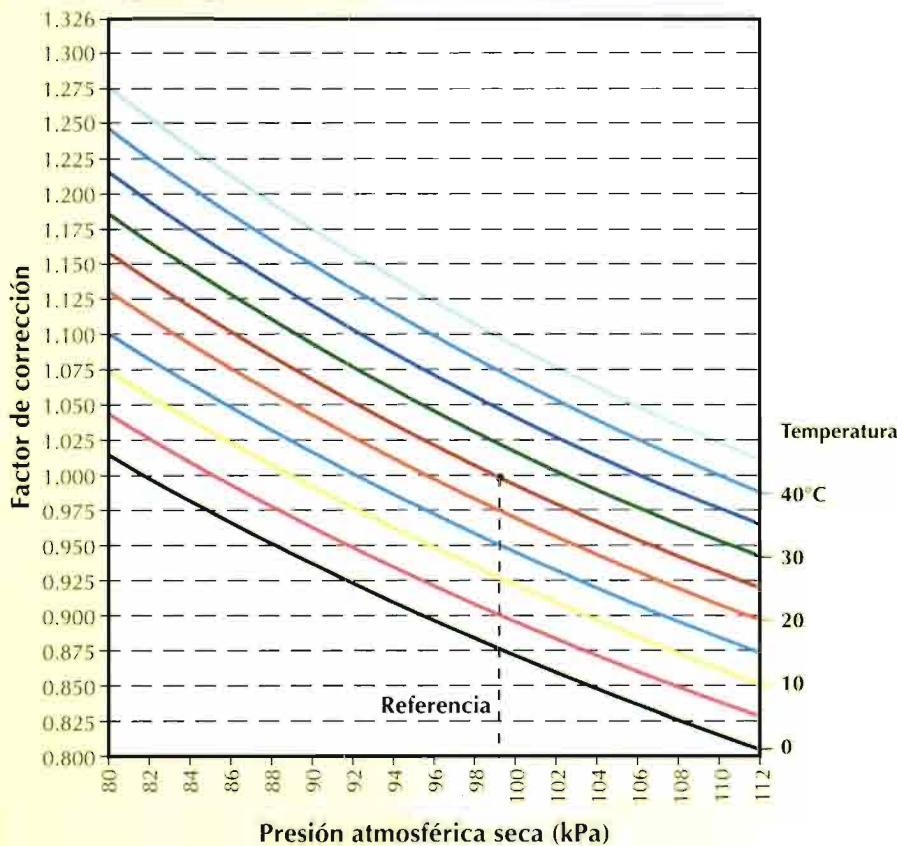


GRÁFICO 3
Corrección de la potencia en función de las condiciones atmosféricas (fa-motores turboalimentados)



$$f_a = (99/P_s)^{0.7} \times (T/298)^{-1.4}$$

P_s = presión atmosférica seca en kPa
 T = Temperatura absoluta en °K

El cálculo de la potencia disponible en diferentes condiciones atmosféricas puede hacerse utilizando diferentes fórmulas matemáticas, que siempre tienen que considerarse como aproximadas. La más precisa es la que se incluye en la norma UNE 68028 (ISO 2288 A1), que diferencia el caso de los motores con aspiración natural de los que incorporan un turbo.

En la tabla 1 se encuentran las potencias disponibles, con diferentes situaciones atmosféricas, aplicando las correcciones recomendadas por las normas técnicas, que pueden utilizarse para conocer la que puede suministrar el motor de un tractor en diferentes situaciones de trabajo.

Hay que destacar, como más significativo, que los tractores con turbo, en comparación con los de aspiración natural, pierden menos potencia cuando baja la presión atmosférica, aunque no sucede lo mismo cuando la temperatura ambiente aumenta.

En cualquier caso, no hay que olvidar que el desgaste del motor, o un filtro de aire obstruido, reduce la eficiencia del llenado de los cilindros, lo que repercute en la potencia disponible.

TABLA 1
Variación porcentual de la potencia de un motor para diferentes situaciones atmosféricas, según la fórmula de corrección utilizada

ALTITUD (m)	PRESIÓN		TEMPERATURA		CORRECCIÓN		
	mm DE Hg	kPA	°C	°K	MAPA-EMA	ISO - NAT.	ISO - TURB.
< 300	760	101.3	15	288	100.0	103.8	106.2
	750	100.0	25	298	97.0	100.0	100.0
	750	100.0	-5	268	102.3	107.7	117.2
			10	283	99.6	103.6	108.0
300 - 700	713	95.0	25	298	97.0	100.0	100.0
			40	313	94.7	96.6	92.9
			-5	268	97.2	102.3	113.1
			10	283	94.6	98.4	104.2
700 - 1200	675	90.0	25	298	92.2	94.9	96.4
			40	313	89.9	91.7	89.6
			-5	268	92.1	96.8	108.8
			10	283	89.6	93.2	100.3
1200 - 1700	638	85.0	25	298	87.3	89.9	92.8
			40	313	85.2	86.9	86.2
			-5	268	87.0	91.4	104.5
			10	283	84.6	88.0	96.3
			25	298	82.5	84.8	89.1
			40	313	80.5	82.0	82.8

Observaciones:

En la primera columna de la tabla se presentan los valores de la altitud sobre el nivel del mar en los que la presión atmosférica alcanza los valores indicados en las dos columnas siguientes.

Para cada una de las condiciones de presión considerada, se han calculado los factores de corrección, según las diferentes fórmulas, para 4 temperaturas en el intervalo de -5 y 40°C.

Los valores que aparecen en la columna MAPA-EMA, son los que sirven para calcular la 'potencia de inscripción' en la homologación oficial española; en las dos últimas columnas se han incluido, respectivamente, los valores calculados según la norma UNE 68 025 (ISO 2288 A1).

Para conocer la potencia disponible de un tractor, en una determinada situación atmosférica, basta multiplicar la potencia en 'condiciones normales' por el factor de corrección.

- Así, un tractor de 90 CV, trabajando a una altitud entre 700 y 1 200 m sobre el nivel del mar, con 10°C de temperatura ambiente sólo dispone de 83.9 CV (90 x 93.2 / 100), si se trata de un tractor de aspiración normal; en el caso de tener un motor sobrealimentado con turbo la potencia disponible es de 90.3 CV (90 x 100.3 / 100).
- Si para el mismo caso anterior se hubiera considerado una temperatura ambiente de 40°C, las potencias máximas disponibles (90 CV de potencia de referencia) serían respectivamente: 78.2 y 77.6 CV (mayor en el tractor de aspiración natural que en el que incorpora turbo).

Ejemplo de aplicación:

Un tractor ensayado en Madrid a 17°C de temperatura ambiente y 709 mm de Hg de presión atmosférica proporcionaba en la toma de fuerza 57.6 CV (2 414 rev/min de motor equivalentes a 540 rev/min de la toma de fuerza), con un consumo específico de combustible de 214 g/CVh.

El factor de corrección para determinar la potencia que

se obtendría en condiciones 'normales' (15°C y 760 mm de Hg) sería $f_a = 1.075$

Por lo que multiplicando este factor (obtenido en la tabla) por la potencia medida 57.6 CV, daría un valor de 61.9 CV (por el redon-

deo establecido, este tractor se inscribiría con 62 CV).

Para este mismo tractor la potencia máxima medida fue de 58.4 CV (2 500 rev/min del motor, equivalentes a 599 de la toma de fuerza), que en las mismas condiciones de presión y de temperatura, tendría que aplicarse el mismo factor de corrección,

lo que llevaría a una potencia máxima de 62.7 CV.

Este mismo tractor, trabajando con 30°C de temperatura ambiente, en un lugar en el que la presión atmosférica sea de 730 mm de Hg, podría suministrar una potencia máxima de $62.7 / 1.0669 = 58.8$ CV. 🔥

