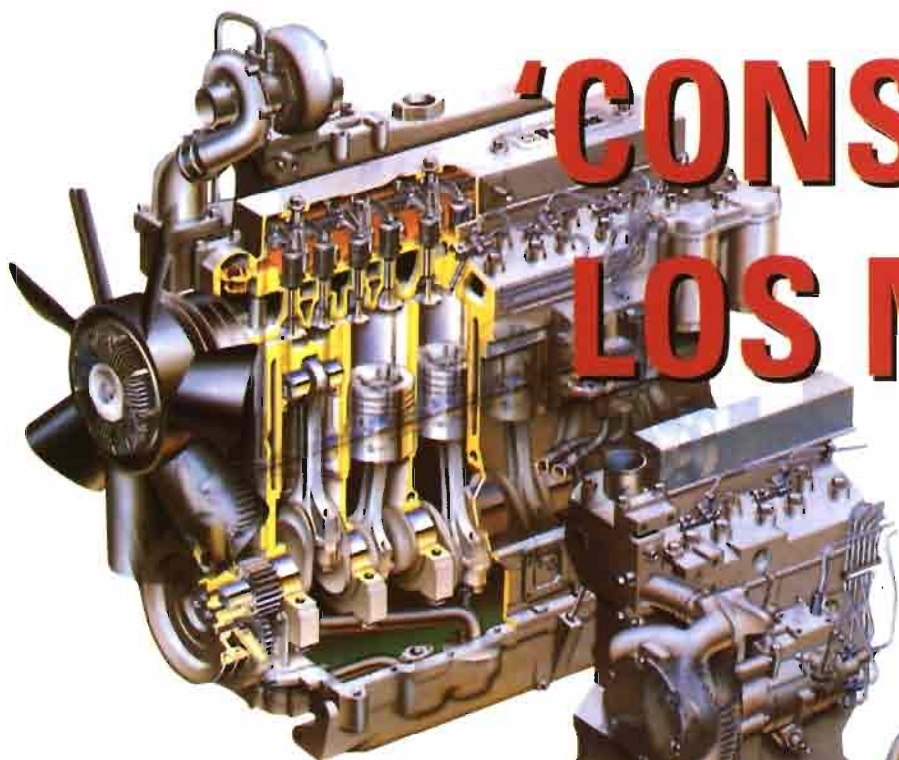


# LA POTENCIA

# 'CONSTANTE' Y

# LOS MOTORES

# 'TURBO'



**D**esde hace algunos años, las curvas características de los motores de uso agrícola han cambiado de forma. Tradicionalmente, la potencia máxima se obtenía en las proximidades del régimen nominal de funcionamiento, antes de que el regulador empezara a cortar la inyección. Ahora, en los tractores más modernos la potencia máxima se obtiene a un régimen mucho menor, o mejor dicho, la potencia se mantiene prácticamente constante en un intervalo amplio del régimen del funcionamiento del motor.

En las líneas que siguen a continuación se analizan la forma de conseguir esta potencia 'constante', junto con las variaciones que se producen en el motor con la incorporación del turbocompresor.

## ■ AIRE + COMBUSTIBLE

Para que se produzca el funcionamiento de un motor se necesita que el combustible que llega a los cilindros encuentre aire suficiente para la com-

bustión. Es más, en un motor diésel precisa un exceso de oxígeno, por encima del imprescindible en la combustión, para que los gases emitidos por el escape no arrastren abundantes residuos carbonosos, restos del combustible que no se ha quemado en su totalidad.

La energía mecánica producida en el motor procede de la combustión del

gasoil en el interior de los cilindros, gracias a la presencia del oxígeno del aire. La potencia suministrada será función de la cilindrada del motor, ya que la cantidad de oxígeno que pueda 'entrar' depende del volumen del cilindro, pero, también, de la presión atmosférica, y de la facilidad con la que se produce su 'llenado', evitándose en lo posible las pérdidas de carga en la

admisión (filtros, colector, válvulas, etc.).

A nivel del mar o con atmósfera estable (anticiclónica), la presión será más alta que cuando se sube a una montaña o 'pasa' una borrasca, luego el motor, al tener más aire (y más oxígeno), con la misma cilindrada, desarrollará mayor potencia en el primer caso que en el segundo, siempre que se suministre con la inyección una cantidad de combustible suficiente.

También hay que tener en cuenta que el aire, al calentarse, pesa menos, por lo que con mayor temperatura ambiente, o si se calienta en el recorrido, entraría menos cantidad en los cilindros.

Para poder comparar los resultados entre los ensayos de potencia a que se somete al motor en condiciones atmosféricas diferentes, hay que acordar unas condiciones tipo a las que puedan referir todos los ensayos realizados. Como ya se indicó al analizar la medida de la potencia en los tractores agrícolas (ver *agrotécnica* n° 2) las condiciones que se consideran como referencia son de 100 kPa y 25°C (equivalente a 298 grados Kelvin).



En el esquema puede observarse cómo el diseño de la cámara de pistón genera una turbulencia de aire que mejora el llenado del cilindro.



Al elevarse el pistón en la fase de compresión, la forma de la cámara del pistón impulsa el aire dentro de la propia cámara, mejorando la combustión.

ra que el par motor se ajuste a las variaciones de carga.

La regulación sigue siendo, en la mayoría de los tractores, mecánica, por su simplicidad y menor coste, y se basa en la fuerza centrífuga que se genera sobre masas en rotación situadas sobre un eje con velocidad proporcional a la del motor, aunque empieza a introducirse progresivamente la electrónica en el control de la inyección.

na la bomba al motor, aumentando o reduciendo, según el caso, la inyección para compensar la variación de carga.

Esta actuación admite una pequeña variación del régimen de funcionamiento, de manera que entre el régimen seleccionado cuando el motor se encuentra sin carga (inyección mínima) y el régimen de plena carga (inyección máxima), la caída del régimen se encuentra habitualmente entre valores del 7 al 15 %.

Si se sobrepasa la carga que compensa el incremento de la inyección el motor cae rápidamente de vueltas (zona de sobrecarga de la curva del par) hasta que se compense o se alcanza el par máximo (ver *agrotécnica* n° 2).

Cuando la palanca del acelerador se encuentra al final de su recorrido, la actuación del regulador es similar. En estas condiciones se consigue, cuando la inyección es máxima, la potencia nominal del motor.

**“ La regulación sigue siendo, en la mayoría de los tractores, mecánica por su simplicidad y menor coste ”**

La palanca del acelerador selecciona el régimen de funcionamiento al que debe actuar el regulador y cualquier modificación de la carga que ocasione variación de la velocidad de giro hace que el regulador modifique el caudal de inyección que proporcio-

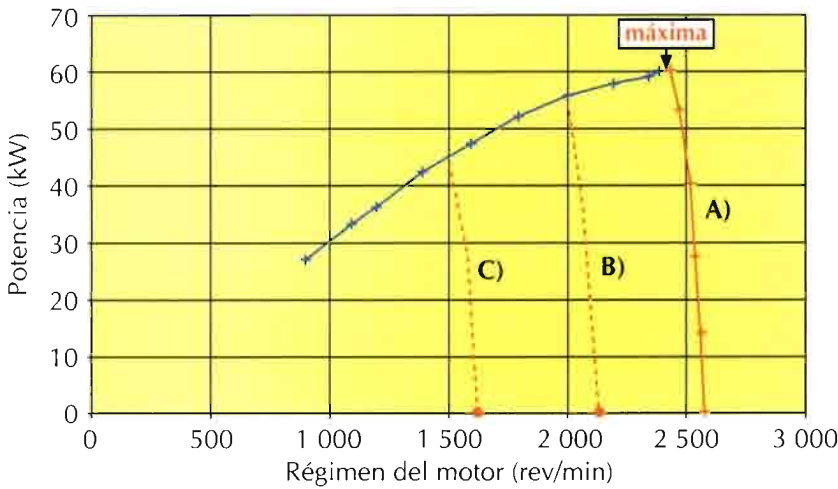
## LA REGULACIÓN DE LA INYECCIÓN

Los diferentes motores diesel, tanto si montan bomba rotativa como en línea, disponen un sistema de regulación diferente del que se utiliza en automoción.

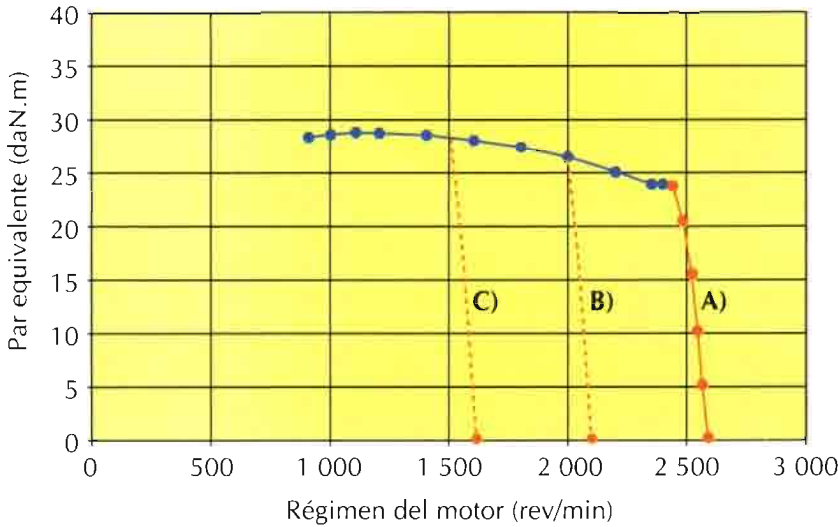
Este regulador, además de limitar el régimen máximo y mínimo de funcionamiento, permite mantener constante el régimen de rotación del motor seleccionado por el conductor, con independencia de las variaciones de carga. Esto se consigue modificando la inyección de combustible pa-

## LIMITACIONES EN LAS PRESTACIONES DE LOS MOTORES IMPUESTAS POR LAS POSICIONES DE LA PALANCA DEL ACELERADOR

Potencia del motor medida en la tdf



Par equivalente en el motor



Modificando la posición del acelerador se produce una limitación en el régimen de funcionamiento del motor, a la vez que se reduce la potencia máxima disponible. Así:

- Con el acelerador a tope (posición A) las prestaciones del motor son las máximas posibles establecidas por diseño.
- Con el acelerador en posición B), el régimen de funcionamiento para el que se obtiene la máxima potencia (56 kW) es de 2 000 rev/min.
- Con el acelerador en posición C) el régimen se limita a 1 500 rev/min y sólo se dispone de 45 kW de potencia máxima.

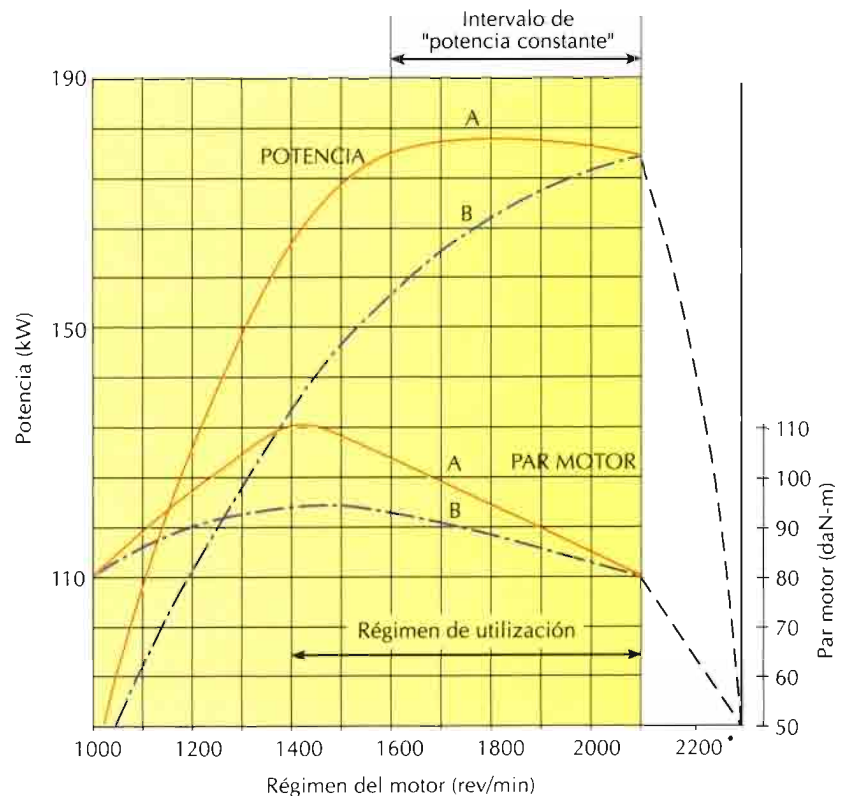
En resumen, no puede utilizarse la zona funcionamiento del motor a la derecha de la línea de puntos que impone la posición de la palanca del acelerador en cada momento. De esta manera, para la posición C), sólo se puede obtener una potencia del 75% de la que se obtendría con el acelerador a tope - posición A).

### CURVAS CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES TIPOS DE MOTORES

**A)** Motor de 'potencia constante': la potencia máxima que puede proporcionar el motor se mantiene prácticamente constante en el intervalo de 1 600 a 2 100 rev/min.

**B)** Motor 'normal', cuya potencia máxima se obtiene a las 2 100 rev/min, pero que, funcionando a un régimen más bajo, no mantiene este nivel de potencia.

El motor de potencia constante dispone de mayor 'reserva de par'.



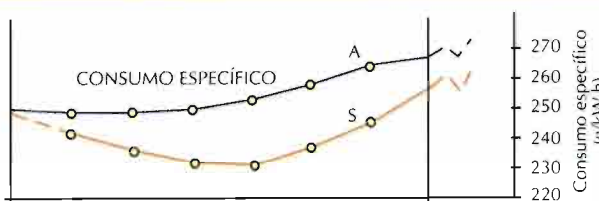
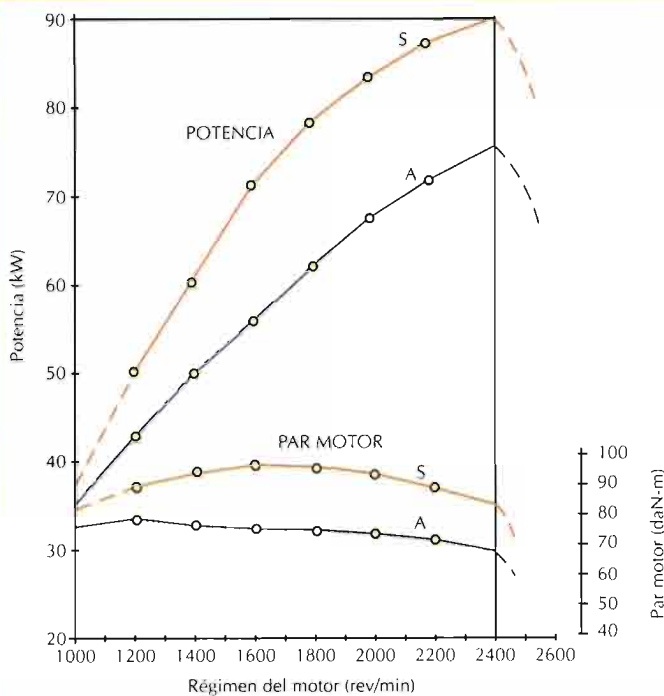
## MODIFICACIÓN EN LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR POR LA INCORPORACIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR

El aprovechamiento de la energía residual de los gases de escape permite aumentar la potencia que puede suministrar el motor, que para el caso representado significa un incremento del 18%.

El par motor aumenta, a la vez que el consumo horario de combustible (litros/hora), y la presión interna en los cilindros, lo que produce un incremento de las tensiones internas a las que está sometido el motor durante su funcionamiento.

En consumo específico del motor (g/kWh), que es el indicador de la eficiencia de la combustión, se reduce considerablemente, lo que marca una clara ventaja para los motores equipados con 'turbo'.

A=aspiración normal  
S=sobrealimentado con "turbo"

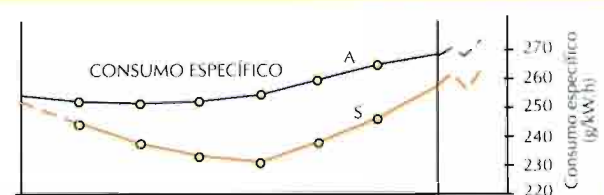
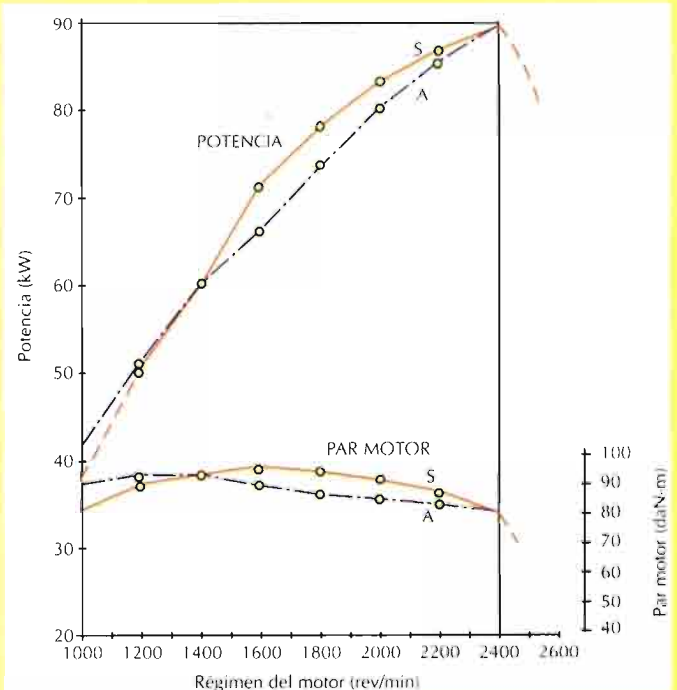


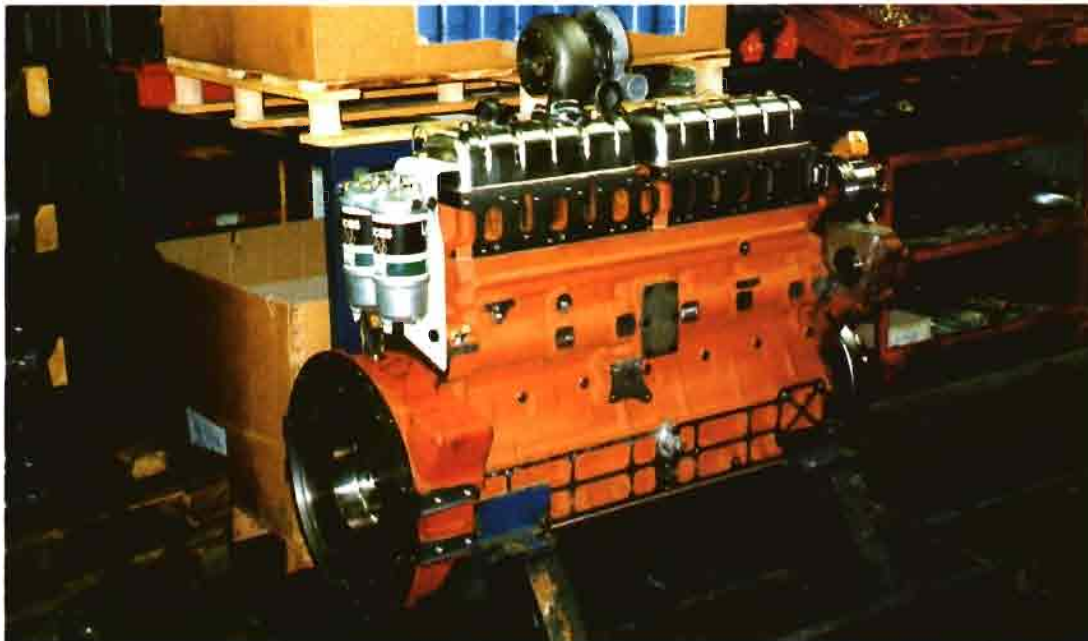
## COMPARACIÓN ENTRE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE MOTORES CON IDENTICA POTENCIA MÁXIMA SEGÚN INCORPOREN, O NO, UN TURBOCOMPRESOR

La potencia suministrada depende del régimen de funcionamiento considerado. Así:

- A régimen nominal (2 400 rev/min) ambos motores proporcionan la misma potencia.
- A 1 800 rev/min, la potencia del motor con 'turbo' es algo mayor de la que se obtiene en el motor de aspiración natural.
- A 1 400 rev/min las potencias de ambos motores e igualan de nuevo.
- A menos de 1 400 rev/min, el motor de aspiración natural puede suministrar mayor potencia que el turboalimentado. Esto es una consecuencia de que el 'turbo', a bajo régimen de funcionamiento del motor, no 'sopla' con suficiente intensidad (esto se puede mejorar con cambios en el diseño del sistema de turboalimentación).

En cualquier caso, como indican las curvas correspondientes al consumo específico de combustible, el motor turboalimentado es más eficiente, ya que proporciona más energía por gramo de combustible consumido.





*La necesidad de conseguir elevada potencia cuando el régimen de funcionamiento del motor se reduce ha hecho conveniente el empleo de sistemas de regulación de la inyección.*

## LA POTENCIA 'CONSTANTE'

La idea de conseguir la potencia máxima (nominal) con la palanca del acelerador al final de su carrera, que hasta hace pocos años era lo normal, empieza a modificarse con la incorporación de motores con una regulación diferente, que permite conseguir lo que ha venido a llamarse 'potencia constante' por la forma casi plana de la curva que representa la potencia que puede proporcionar el motor para diferentes regímenes de funcionamiento, llegando a obtenerse la máxima potencia a un régimen inferior al 'nominal'.

El objetivo de esta modificación ha sido lograr un aumento de la elasticidad del motor, sacrificando algo de la potencia máxima que, con la cilindrada disponible, podría conseguirse.

Esto se realiza generalmente en motores sobrealimentados (turbo) utilizando una bomba de inyección con un regulador de dos etapas. En la primera etapa, la inyección se modifica de manera similar a como se hace en los motores convencionales. En la segunda, la inyección continúa aumentado de manera que la caída de vueltas (zona de sobrecarga) se compensa con el aumento de la presión media de combustión en el cilindro (más combustible y mejor 'llenado' de los cilindros) y la potencia se mantiene constante o aumenta en vez de disminuir.

Con el empleo de la electrónica

los sistemas de inyección se simplifican considerablemente, en comparación con los sistemas mecánicos.

El sistema de inyección en dos etapas permite aprovechar el mejor llenado de aire de los cilindros que se produce cuando el régimen de funcionamiento desciende, pero exige un motor sobredimensionado al que voluntariamente se le limita la potencia máxima que podría producir. A pesar de ello es una solución ampliamente aceptada en los tractores de mayor potencia, ya que permite un mejor aprovechamiento del motor sin recurrir de manera continua al cambio de marchas.

Asimismo, utilizando la electrónica se pueden conseguir motores con dos curvas de potencia diferentes en el mismo motor, seleccionables automáticamente en función de la demanda de potencia, o voluntariamente por el conductor.

## EL TURBOCOMPRESOR

Con el turbocompresor, se consigue un aprovechamiento de la energía residual de los gases de escape, para aumentar la presión del aire de admisión que llega a los cilindros.

Para ello, la turbina que 'interrompe' la salida de los gases de escape se une, mediante un eje, a un compresor situado en las conducciones de aspiración.

El aire de admisión resulta comprimido, de manera que aumenta su

densidad, y con mayor cantidad de aire (en masa) también puede aumentarse en combustible inyectado, lo cual provoca un incremento notable de la potencia que puede proporcionar el motor de la misma cilindrada cuando sólo cuenta con aspiración atmosférica.

El aire, al ser sometido a presión se hace más denso, pero también aumenta su temperatura (hasta 140° C), lo que en cierto modo se opone al aumento de la densidad.

## EL 'INTERCOOLER' O POSTENFRIADO

Si se utiliza un intercambiador de calor ('intercooler') que reduzca esta temperatura del aire comprimido por el turbo, hasta niveles normales en la

*El turbocompresor impone la necesidad de materiales de primera calidad, equilibrado perfecto y lubricación excelente.*



admisión (70° C), habrá un nuevo aumento de la densidad, lo que favorece el incremento de potencia que puede conseguirse en el motor.

En un motor sobrealimentado se puede conseguir una presión de admisión de poco más de 1.6 bar lo que en términos de potencia significa un incremento del 15% sobre la del motor con aspiración normal.

Si además, se refrigera el aire de aspiración, la presión en la aspiración puede aumentar a 2.5 bar y el incremento de potencia puede ser del 60% con respecto al mismo motor con aspiración atmosférica, aunque hay una pérdida de energía para el funcionamiento del sistema de refrigeración.

Además de esto, y como consecuencia de la turbulencia del aire de aspiración y del mejor llenado de los cilindros, el consumo específico disminuye notablemente.

Con el empleo del 'turbo' se ha conseguido sobre la misma cilindrada, un motor más potente y más eficiente, aunque para ello tenga que estar sometido a mayores tensiones internas, por lo que, si no está suficientemente dimensionado, resultará afectada su vida útil.

La actuación del turbocompresor es diferente para cada régimen de funcionamiento del motor. Para dos motores con igual potencia máxima, uno turboalimentado y otro atmosférico (éste último de mayor cilindrada), a bajo régimen de giro el motor de aspiración atmosférica proporciona más potencia de la que puede obtenerse en el motor sobrealimentado,

aunque con los nuevos diseños de 'turbos' y la incorporación de válvulas de descarga, se pueden conseguir motores turboalimentados que se comporten a bajo régimen de giro de forma similar a como lo hacen los de aspiración natural.

marchas, ha hecho conveniente el empleo de sistemas de regulación de la inyección que proporcionan potencia 'constante', con el correspondiente incremento de los que se define como 'reserva de par'.

Para conseguir un mejor llenado

## “ Con el empleo del turbo se ha conseguido, sobre la misma cilindrada, un motor más potente y eficiente ”

### ■ CONCLUSIONES

Los motores de los tractores agrícolas, por las condiciones de funcionamiento a las que se encuentran sometidos, precisan adaptaciones específicas en relación con lo que se ofrece para otras aplicaciones industriales o de automoción. Lo más importante es la presencia de un regulador multi-régimen, controlado por la posición en la que se encuentra el acelerador de mano.

Por otra parte, la necesidad que existe en los tractores agrícolas de conseguir elevada potencia cuando el régimen de funcionamiento del motor se reduce, para no tener que actuar continuamente sobre el cambio de

de los cilindros, y la correspondiente mejora de la combustión con la reducción del consumo específico de combustible, cada vez con mayor frecuencia, se incorpora un turbocompresor que permita aprovechar la energía residual de los gases de escape.

De esta manera, aumenta la potencia disponible con la misma cilindrada en el motor, pero durante su funcionamiento estará sometido a mayores tensiones internas, lo que hay que tener en cuenta para el diseño de sus componentes.

También, el turbocompresor impone sus reglas: con una velocidad de giro en el eje del 'turbo' que puede superar las 100 000 rev/min, los materiales deben de ser de primerísima calidad, el equilibrado perfecto y la lubricación excelente.

Además, después de un periodo de trabajo más o menos largo, nunca se debe de parar el motor sin mantenerlo un tiempo funcionando a régimen lento, permitiendo que el turbo se enfríe progresivamente, a la vez que se lubrica perfectamente.

Los motores que incorporan los tractores modernos permiten conseguir elevadas prestaciones, pero sus exigencias son muy superiores, sobre todo en lo que se refiere a la lubricación y a las condiciones de mantenimiento en general, lo que significa una mayor atención y capacitación de las personas que los manejan. ♠

