

TRACTORES AGRICOLAS

el motor DIESEL y el consumo de COMBUSTIBLE

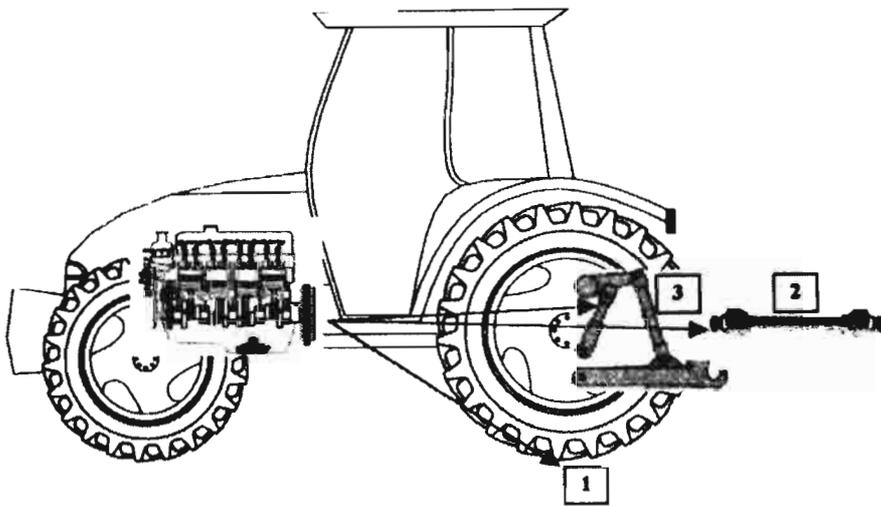


Figura 1.

Distribución de la energía aportada por el motor del tractor. 1, trabajos de tracción. 2, trabajos con la TDF, y 3, trabajos con el sistema oleohidráulico.

INTRODUCCION

El motor diesel de un tractor agrícola podría considerarse su corazón puesto que es el componente que genera la energía o potencia mecánica que luego se utilizará de diferentes formas, como trabajos de tracción, trabajos al eje de la toma de fuerza, o trabajos con el sistema oleohidráulico (figura 1).

La potencia mecánica generada en el volante del motor, caracterizada por un momento de fuerzas o par de torsión ($M = N \cdot m$ o $kg \cdot m$) y una velocidad de giro ($n = r/min$), procede de la energía potencial del combustible utilizado. El combustible consumido se quema liberando energía, que se emplea, en parte, para dar el movimiento rotativo al cigüeñal y volante del motor. Este movimiento representa la energía

aprovechada por el motor; y su valor, en porcentaje sobre el total liberado por el combustible, es muy variable; dependiendo del propio diseño del motor, de su mantenimiento, y muy especialmente, de las condiciones de trabajo a que se le someta.

A modo de ejemplo, se estima que con un funcionamiento correcto de un motor diesel, en buen estado de mantenimiento, los porcentajes de aprovechamiento de energía al volante varían entre el 25 y el 50%; es decir, que entre la mitad y las tres cuartas partes de la energía liberada por el combustible no se utiliza para mover su volante, siendo utilizada para suministrar energía a elementos propios del motor (refrigeración, lubricación) o se pierde en los gases de escape u otras formas.

Cuando la energía obtenida en el volante del motor es utilizada por el tractor, en cualquiera de sus formas, sufre pérdidas debidas a los sistemas de transmisión de energía del propio tractor (cadenas cine-

Por: Juan Antonio Boto Fidalgo*,
Francisco Javier López Díaz** y
Luis Herráez Ortega**

máticas o circuitos oleohidráulicos) y a la forma de su utilización.

Se puede indicar que, en un trabajo de tracción en campo, difícilmente se podrá aprovechar más de un 60% de la energía obtenida al volante del motor (del 15 al 30% de la liberada por la combustión del combustible); estos porcentajes pueden ser muy inferiores si el trabajo no se hace de forma correcta.

EL MOTOR DIESEL.

Es una máquina térmica, que transforma la energía química del combustible (gasóleo) en mecánica, mediante un movimiento alternativo, describiendo un ciclo termodinámico en el que se diferencian 4 tiempos y que requiere de dos giros para su conclusión. El fluido operante de la transformación termodinámica es el aire y la energía del gasóleo es liberada al fluido, por su combustión, dentro de un recinto cerrado (los cilindros), por lo que se denomina "de combustión interna".

La energía obtenida en el volante dependerá de la cantidad de combustible que se consume, lo que a su vez está en función de la cantidad del combustible aportado y de su grado de combustión; ésta puede verse afectada por la relación combustible/aire, considerándose necesarios entre 15 a 20 g de aire por 1 g de gasóleo (relación estequiométrica).

El motor "diesel" actual presenta un ciclo termodinámico teórico que se corresponde con el denominado Mixto o de Sabatier, y uno real, derivado del teórico. El funcionamiento del motor se puede representar por el esquema de funcionamiento del sistema de distribución.

Las características y prestaciones del motor y su funcionamiento dependen de las características y modo de regulación

(*) Dr. Ingeniero Agrónomo. Universidad de León.

(**) Ingeniero Agrónomo. Universidad de León.



de los diferentes sistemas de que se compone. En todo motor diesel de un tractor se pueden diferenciar los siguientes sistemas funcionales.

- el motor básico (geometría de cilindros, pistones, cigüeñal, bielas, etc.)
- el sistema de distribución (admisión del aire y escape de gases)
- el sistema de lubricación
- el circuito de refrigeración
- la alimentación de combustible y su regulación.

El ciclo termodinámico teórico de Sabatier (figura 2 A), representa los cambios termodinámicos producidos en el aire dentro de los cilindros, se representa en un plano, con ejes de coordenadas volumen y presión. Este ciclo (la superficie que encierra) indica el trabajo máximo que se puede obtener con él. El ciclo real (figura 2 B), se presenta con bordes redondeados, reduciendo la superficie cerrada respecto del teórico. Las diferencias en cuanto trabajo desarrollado entre los ciclos teórico y real se deben a muchas causas, como pueden ser, esquema de distribución, velocidad y

carga del motor, características del combustible, características de la inyección, que exista sobrealimentación, etc.

El ciclo termodinámico es regulado por las válvulas, tanto de admisión de aire como de escape de gases, siendo necesario conocer exactamente el momento en que se han de abrir y cerrar en relación con el momento del ciclo (posición del pistón dentro del cilindro). La representación de estos momentos, junto con el de la inyección, se hace en un diagrama circular de distribución (figura 3).

LA APORTACION DE COMBUSTIBLE

Todos los sistemas descritos en el apartado anterior condicionan las características del ciclo termodinámico real del motor. De todos ellos es el sistema de alimentación de combustible el que más diferencia el motor del tractor de otros motores diesel, y además es el que en mayor medida condiciona uno de los factores más importantes en la práctica: el consumo de combustible.

El gasóleo que se ha de quemar para liberar su energía, se inyecta a presión en los cilindros con unos inyectores. La cantidad inyectada en cada ciclo de funcionamiento es dosificada por la bomba de inyección; esta cantidad, puede variar según la posición de una cremallera desplazable accionada por el mando del acelerador y por el automatismo del regulador (figura 4).

Para cada posición del acelerador se consigue una dosificación que, en vacío, permite alcanzar un determinado régimen. Para una posición determinada del acelerador el automatismo del regulador (contrapesos giratorios) actúa sobre la cremallera desplazable en función de la carga a que se ve sometido el motor.

Cuando está en funcionamiento el motor, con una posición determinada del acelerador, y desconectada la caja de cambios (pisado el pedal del embrague), se puede considerar que el motor trabaja en vacío (no recibe carga o par resistente); cuando ponemos una marcha e iniciamos el trabajo, el motor recibe una determinada carga, lo que provoca un descenso de régimen en el motor sobre el existente en vacío.

Cuando se carga el motor, la respuesta del automatismo del regulador de contrapesos es desplazar la cremallera para incrementar la dosificación y evitar que descienda demasiado el régimen del motor, entre la situación de vacío y carga. Esta respuesta del regulador tiene una limitación física entre las posiciones extremas de los contrapesos, de tal manera que, sometido a la carga máxima que admite al régimen de trabajo desarrollado, no puede desplazar más la cremallera; en estos momentos, un incremento de carga provocaría un descenso brusco de régimen. Si se limita el aporte de combustible, se limita la potencia desarrollada y, como consecuencia, un incremento de par debe ser

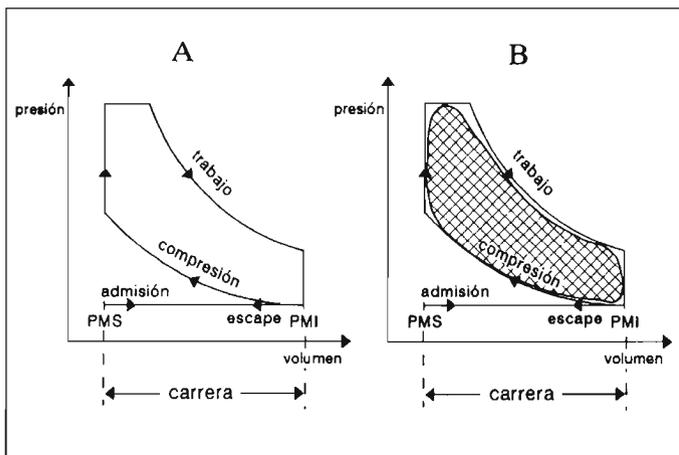


Figura 2.

- A.- Ciclo termodinámico teórico de Sabatier
- B.- Ciclo termodinámico real de Sabatier

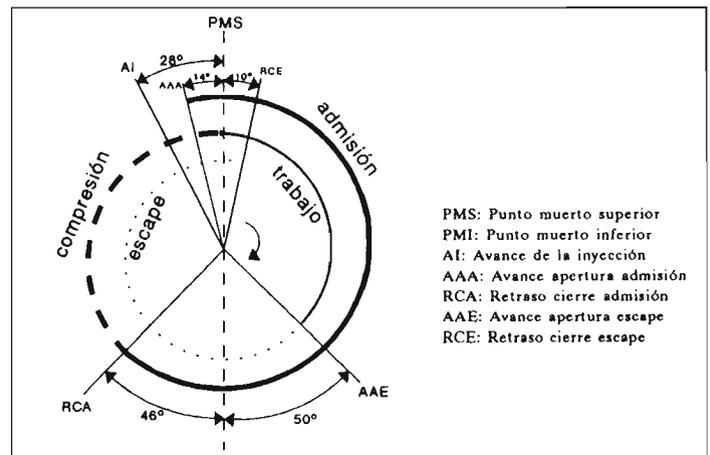


Figura 3.

Esquema de distribución de un motor diesel

pensado con un descenso de régimen. Resulta importante conocer el valor de lo que se denomina "intervalo de acción del regulador", o descenso de régimen que sufre el motor al pasar de vacío a carga máxima; dicho valor, en motores con reguladores mecánicos varía de 150 a 250 r/min.

Si para una posición del acelerador con el embrague pisado obtenemos 2.000 r/min. y, después de poner una marcha de la caja de cambios y pasar a posición de trabajo, nos descende el régimen unas 200 r/min. (1.800 r/min. en el motor), podemos pensar que el aporte correspondiente a la acción de los contrapesos del regulador es prácticamente total, y que si durante el trabajo se incrementa momentáneamente algo la carga (por ejemplo, un terreno más duro en labor de arada) será acompañado de un descenso brusco de régimen. Si al pasar de vacío a carga el descenso de régimen fuese menor de 200 r/min. un incremento de carga momentánea no tiene por qué provocar descenso brusco de régimen, porque el regulador podrá aportar combustible e incrementar la potencia desarrollada.

REGULADOR ELECTRONICO

En algunos tractores modernos empieza a establecerse un sistema de regulación electrónica de la alimentación que sustituye los sistemas mecánicos de contrapesos convencionalmente utilizados. En este sistema, todos los órganos de regulación mecánica se ven reemplazados por un circuito electrónico que incluye un microprocesador; a éste, le llega la información pro-

cedente de diferentes sensores y, tras procesarla, obtiene una respuesta que es convertida, a través de un actuador electrónico, en una determinada dosificación aportada por la bomba de inyección. (figura 5).

El regulador electrónico consta de una pequeña central o microprocesador que recibe dos señales de entrada; la primera, es la posición del acelerador a través de un sensor potenciométrico, que representa el régimen de giro deseado por el conductor; la segunda, es el régimen real registrado por un medidor electrónico de giro. El microprocesador compara ambos valores dando como resultado una respuesta, que es la actuación sobre el desplazamiento de la cremallera que regula el aporte de la bomba de inyección, a fin de que el régimen obtenido se corresponda con el deseado (posición del mando del acelerador). El microprocesador establece también los regímenes de ralentí y de corte de inyección.

El regulador electrónico, cuya utilización parece ser creciente en orden a sustituir a los sistemas de regulación mecánica, consigue los mismos resultados que estos, dando lugar a un similar intervalo de regulación al que se ha hecho referencia al hablar del regulador de contrapesos. Las ventajas de este sistema son la mayor sencillez de construcción, la rapidez de respuesta y la adaptación del motor a los cambios en el estado de carga.

LAS CURVAS DE FUNCIONAMIENTO

Cada motor presenta unas características de funcionamiento que se pueden

poner de manifiesto mediante ensayos. Los valores que se pueden medir, para cada uno de los regímenes de funcionamiento (n), son,

- el par o carga desarrollado (M), a partir del cual se obtiene la potencia, $[P (W) = M (N.m) \times n (r/min) \times (2\pi/60)]$ y,
- el consumo horario de combustible (Ch), a partir del cual se obtiene el consumo específico $[Ce (l/kW.h) = Ch (l/h) / P (kW)]$. El valor del consumo específico representa un índice de la eficacia o rendimiento del trabajo desarrollado, sirviendo de valor comparativo entre diferentes tractores y situaciones de trabajo.

Merece especial mención destacar, para cada régimen, el funcionamiento a máximas aportaciones de combustible (a carga máxima o aportación máxima por el regulador). Los puntos representados por este funcionamiento forman lo que se conocen como curvas de corte o curvas características (figura 6). En la figura, también se representa la actuación del regulador de contrapesos en la dosificación y su relación con las curvas de funcionamiento.

La curva característica de par presenta los valores de par máximo que puede suministrar el motor para cada uno de los regímenes de trabajo, obteniendo un valor máximo absoluto para un régimen determinado denominado "régimen de par máximo". De igual forma, la curva característica de potencia nos indica la potencia máxima suministrada para cada régimen, obteniendo su valor máximo absoluto al régimen denominado "régimen nominal", que es el máximo recomendado de utilización en el motor.

La curva característica de consumo específico nos indica el consumo específico

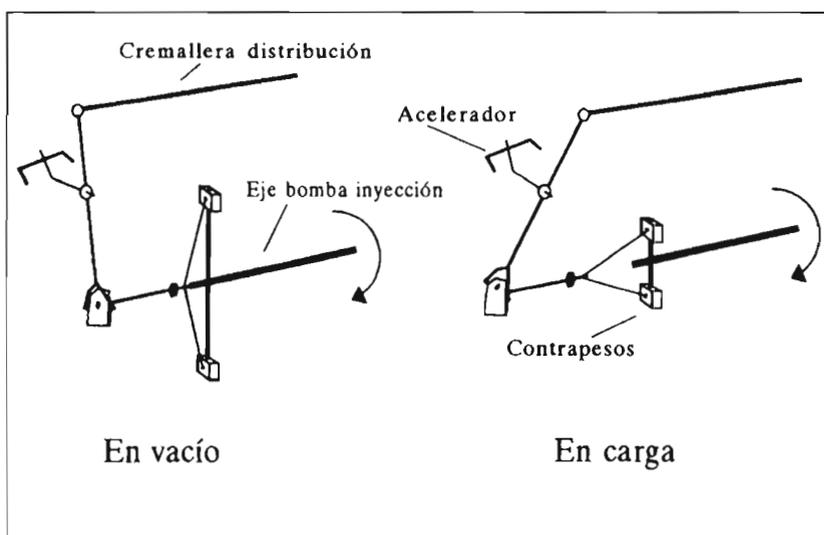


Figura 4.
Regulador de contrapesos

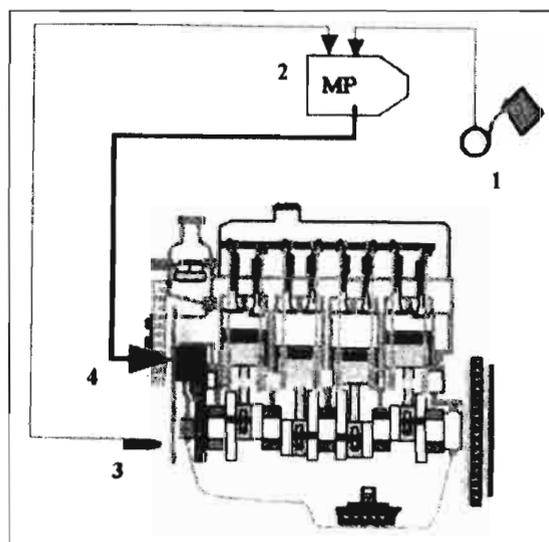


Figura 5.
Regulador electrónico. (1) Sensor potenciométrico. (2) Microprocesador. (3) Medidor electrónico de giro. (4) Actuador sobre el desplazamiento de la cremallera

MAQUINARIA

mínimo que se obtiene para cada régimen, presentando un valor mínimo absoluto para un régimen determinado que está en las proximidades del régimen de par máximo. La curva de consumo horario (a veces no se incluye) representa los consumos máximos que el motor tiene para cada régimen.

EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Cuando se trabaja con el tractor, el motor no tiene porqué trabajar a prestaciones máximas, es decir, se puede trabajar a cualquier régimen con un par inferior al máximo disponible (valor de la curva característica).

El par suministrado por el motor coincidirá con la carga o par resistente a la que se le somete (el motor suministra lo que se le demanda si está dentro de sus posibilidades), y podrá ser modificado en el tractor variando de marcha.

En la figura 6, en trazos discontinuos, se representa el funcionamiento de un motor que parte de una situación de vacío a 1.800 r/min y se carga progresivamente hasta llegar a un valor de unos 480 N•m, donde alcanza la curva característica o de

corte a un régimen de 1.637 r/min. Puede comprobarse como evolucionan las curvas en esta progresión, especialmente las de consumo; en vacío (1.800 r/min) el consumo específico supera los 260 g/kW•h (el consumo horario baja de los 20 l/h), mientras que a plena carga (1.637 r/min) el consumo específico supera ligeramente los 220 g/kW•h (el consumo horario supera los 24 l/h).

La posibilidad de utilizar diferentes marchas para variar la carga a que se somete el motor permite obtener una misma potencia a diferentes regímenes de funcionamiento del motor (figura 7).

En la figura 7 se representan las isolinéas de consumo específico del motor de un tractor con una potencia nominal de 100 kW. Este motor podría desarrollar una potencia de 60 kW, para ser utilizados en un trabajo de tracción, con diferentes combinaciones régimen - par. Por ejemplo, utilizando una marcha trabajamos en la situación "A", que implica, 2.100 r/min, de régimen, 273 N.m de par y 250 g/kW.m de consumo específico; si utilizamos otra, podemos trabajar en la situación "B", que implica, 1.600 r/min, de régimen, 364 N.m de par y 230 g/kW.m de consumo específico.

La generalización de estos ejemplos nos permite hacer las siguientes afirmaciones:

La obtención de una determinada potencia exigirá de un consumo

específico más bajo cuanto menor sea el régimen de trabajo al que se consigue; o lo que es igual, a un régimen de trabajo determinado, cuanto más carga se utilice (mayor aporte del regulador) se consume más combustible a la hora pero el consumo específico es menor (consumo en relación con la potencia desarrollada).

Frente a lo anterior, hay que tener en cuenta que, cuanto más consumo específico se produzca, debido a una menor aportación del regulador, el motor tendrá mayor capacidad para absorber incrementos de carga sin que ello represente grandes variaciones de régimen, y por tanto de velocidad de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- ARNAL ATARES, P.V.; LAGUNA BLANCA, A. Tractores y motores agrícolas. - Ed. Mundi Prensa. Madrid, 1.989.
- CÉDRA Camille. Les tracteurs agricoles (Technologies de l'agriculture). Coed. CEMAGREF- DICOVA, LAVOISIER TEC- DOC.- Paris, 1.991 Collection FORMAGRI, Volume 2.
- GOERING C.E. Engine & Tractor power, Ed. ASAE. Michigan, USA, 1.992
- HELSDON R.M., Termodinámica aplicada. Ed. URMO. Bilbao 1.968
- MÁRQUEZ DELGADO, L. Solo tractor'90.- Ed. Laboreo S.A. Madrid, 1.990
- SEGURA CLAVELL, J. Termodinámica técnica. Ed. Reverté, S.A. Barcelona, 1.990
- SRIVASTAVA, A.K.; GOERING, C.E.; ROHRBACH, R.P. Engineering Principles of Agricultural Machines. Ed. ASAE. Michigan. USA, 1.993

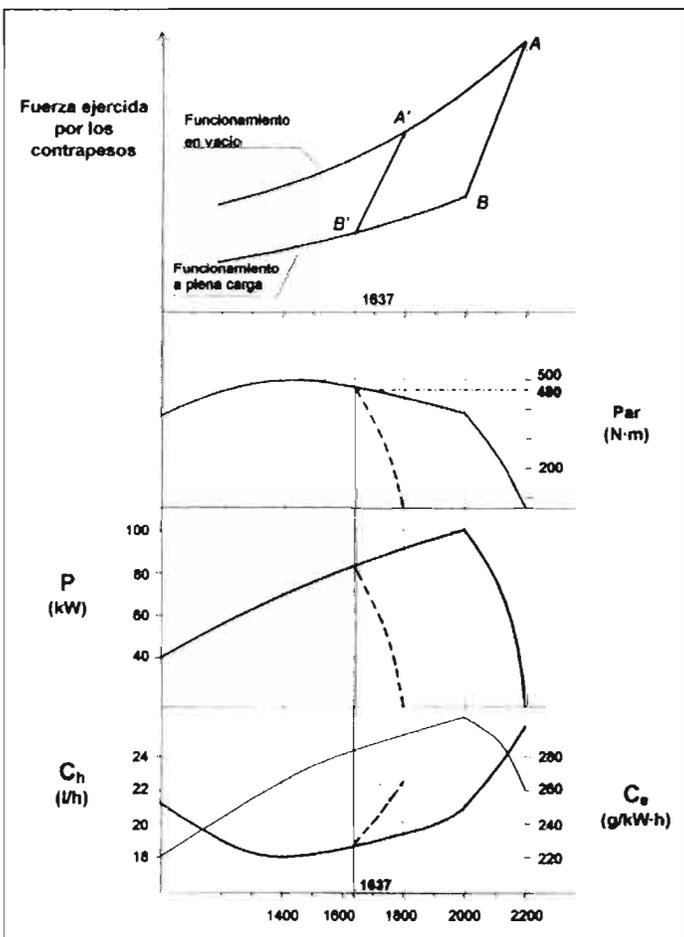


Figura 6. Representación de curvas características

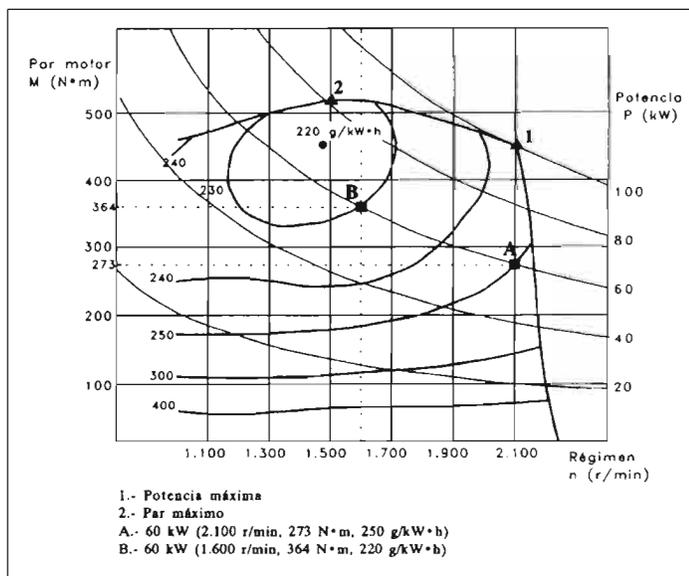


Figura 7. Curvas de isoconsumo específico (g/kW•h)