

Ahorro energético en el uso del tractor

El mantenimiento de la rentabilidad de una explotación agrícola parte de la disminución de los costes. Dentro de éstos, los derivados de la mecanización de las diferentes operaciones suponen un capítulo importante en el total. En mecanización agraria, la reducción de los costes puede efectuarse mediante la reducción del número de operaciones realizadas en el cultivo y/o el dimensionado y uso adecuado del parque de maquinaria de la explotación.

Juan Agüera Vega, Gregorio L. Blanco Roldán ⁽¹⁾

En primer lugar, debido a que las operaciones de laboreo suponen mayor coste, se puede llegar a su eliminación parcial, mediante la adopción de técnicas de Agricultura de Conservación.

Por otra parte, el dimensionado correcto de la combinación tractor-apero para el tipo y características particulares de la explotación, concretamente de la capacidad de trabajo del apero y de la potencia del tractor, reduce los costes de amortización, mantenimiento y seguros. Por último, el uso adecuado de los equipos incide, principalmente, en el coste del combustible, que, además, es el coste variable más importante en el tractor, representando más de la mitad del total.

Por este motivo, dentro de la III Jornada Iberoamericana de Agricultura de Conservación, esta estación se centra en el ahorro de combustible en el tractor. Su necesidad radica tanto en la disminución de costes en la explotación como en la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Ahorro de combustible en el uso del tractor

Las seis reglas básicas para una conducción económica son (CEMAGREF, 1992): mantenimiento y regulación del motor; adaptación del régimen del motor y de la marcha; optimización del lastrado; mantenimiento de los neumáticos y correcta presión de inflado; utilización de la doble tracción y del bloqueo del diferencial; y adecuación y mantenimiento de los aperos.

El mantenimiento y regulación del motor implica la limpieza de los filtros de aire y combustible, el control de la bomba de inyección e inyectores y el uso de los lubricantes adecuados. Todas las especificaciones al respecto vienen recogidas en el Manual de Instrucciones del tractor.

La velocidad de giro del motor y la selección de la marcha son factores sobre los que se puede actuar como usuario. Una adecuada combinación de estos parámetros originará el máximo rendimiento energético de la operación y,



Figura1. Sistema de información al tractorista (izquierda) y sensores para la medida del consumo de combustible y velocidad de avance (radar) (derecha).

por tanto, el mínimo consumo de combustible. Esto se basa en el análisis de las curvas características del motor y será desarrollado en el siguiente punto.

La resistencia a la rodadura y el resbalamiento suponen pérdidas de potencia que dependen del peso del tractor, de las características del suelo y del neumático. Para reducir al máximo estas pérdidas, que suponen un incremento de consumo aproximado del 15%, se aconseja realizar las siguientes prácticas: optimizar el lastrado en función del trabajo a realizar, mantener en buen estado de conservación los neumáticos, adaptar la presión de inflado al trabajo y al terreno, utilizar la tracción a la cuatro ruedas en trabajos pesados y conectar el bloqueo del diferencial.

La utilización de aperos adaptados a las características del tractor, así como su adecuado mantenimiento también influye en la reducción del consumo de combustible. Se aconseja seguir las especificaciones del Manual de Instrucciones de ambos equipos.

Por último, es importante señalar que la utilización de la maquinaria agrícola de forma organizada y controlada produce un ahorro considerable de combustible y de tiempo de trabajo superior al 15% (IDAE, 2005). La organización del trabajo depende de la operación, de las características de la máquina y de la estructura de la parcela, de tal forma que una correcta organización y ejecución de la tarea supone ahorrar combustible al suprimir pasadas dobles o recorridos innecesarios. Este aspecto será desarrollado en el punto 4, donde se analizará el uso de los sistemas de ayuda al guiado y guiado automático de tractores.

Actualmente, los tractores tienden a incorporar Sistemas de Información al Tractorista basados en la información procedente de sensores electrónicos ubicados en el tractor (Figura 1). Así, la indicación del consumo instantáneo de combustible permite conocer durante el trabajo en campo la forma de conducir del trac-

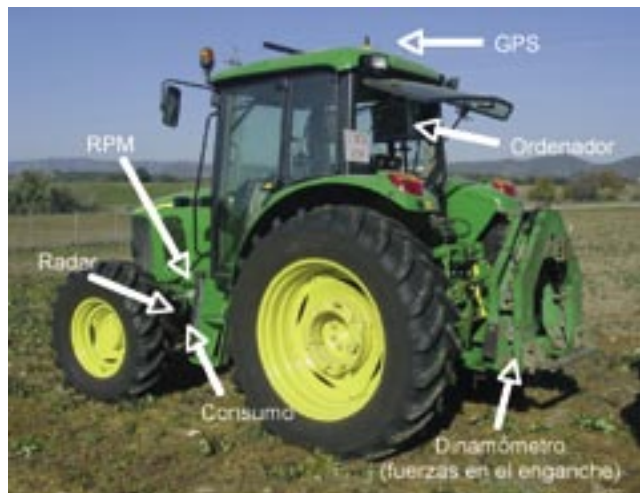


Figura 2. Tractor equipado con sensores para la medida de sus principales parámetros de funcionamiento.

torista y la demanda de la operación. Si estos datos se almacenan pueden ser procesados posteriormente y extraer información sobre las distintas operaciones que se realizan en la explotación, para comprobar si se mantienen los consumos o aumentan y, en este caso, analizar las posibles causas (Figura 2).

Adaptación del régimen del motor y de la marcha

Mediante el ensayo al freno del motor se determina su capacidad de trabajo real. Consiste en aplicar resistencia al giro del motor (carga) y estudiar su comportamiento. De esta forma se simula la resistencia que ofrecerá la máquina que debe ser accionada con el motor.



Figura 3. Ensayo del motor del tractor a la tdf mediante un freno dinámico móvil.

El punto de funcionamiento de un motor vendrá dado por el valor de par (capacidad para vencer la carga que se le opone) y velocidad de giro para una situación concreta. El producto de ambos se denomina potencia al freno. Además es necesario medir el consumo de combustible en la unidad de tiempo o consumo horario, expresado en litros/hora.

El consumo específico es el cociente entre el consumo horario y la potencia desarrollada. Se expresa en g/kW-h, que representa los gramos de combustible quemados por el motor para conseguir un trabajo de 1 kW-h, siendo, por tanto, una forma de valorar la eficacia energética del motor.

En el caso de los tractores, el ensayo se realiza sobre la toma de fuerza (Figura 3), modificando posteriormente los valores obtenidos para referirlos al eje del motor. Así se obtienen las llamadas curvas características que representan el par (Mm), la potencia (Nf) y el consumo específico (qs) en función de la velocidad de giro o régimen del motor en condiciones de alimentación máxima (Figura 4).

La curva de consumo específico presenta un mínimo

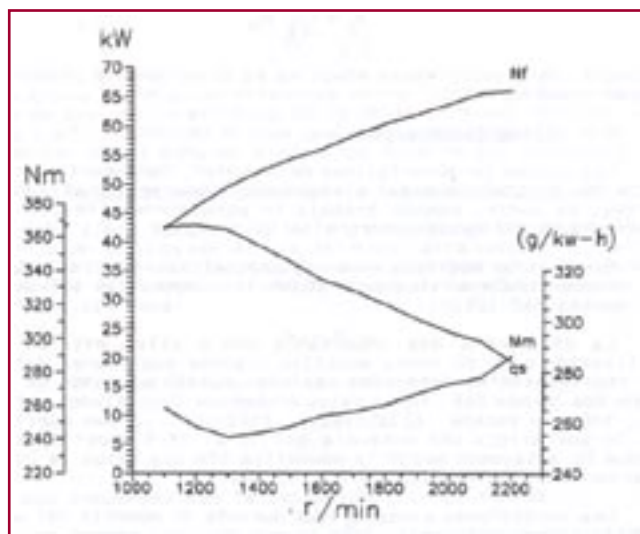


Figura 4. Curvas características de un motor.

relativo para un determinado valor de velocidad de giro. A este régimen el motor tendrá su máximo rendimiento económico en alimentación máxima. Éste se define como la relación entre la potencia medida al freno y la potencia ideal o potencia obtenida si toda la energía del combustible se convirtiera en trabajo útil y no hubiera pérdidas en el motor debidas, por ejemplo, a fugas de calor, de compresión, rozamientos, etc.

En la curva de par se aprecia un máximo relativo para una velocidad de giro diferente a la que se presenta para el mínimo consumo específico. La curva de potencia suele ser creciente con la velocidad de giro aunque en algunos motores puede presentarse un suave máximo relativo para un régimen cercano al máximo.

Tanto la curva de par como la de potencia en alimentación máxima muestran los valores máximos de dichos parámetros que el motor puede alcanzar para cada velocidad de giro de su intervalo normal de funcionamiento. La superficie que hay bajo cada curva representa todos los posibles puntos de funcionamiento del motor en alimentación parcial, es decir, cuando la cantidad de combustible inyectada por ciclo no corresponde a la máxima y, por tanto, el regulador de la bomba de inyección no se ha saturado.

Se llama Reserva de Par a la diferencia entre el par máximo y el par que corresponde al régimen de potencia máxima. Suele aparecer entre las especificaciones de los motores como indicador de la capacidad para superar aumentos momentáneos de la carga a cambio de una disminución en el régimen.

En la práctica, un motor sólo debe trabajar en condiciones extremas de alimentación máxima en periodos cortos de tiempo. El trabajo normal debe ser en alimentación parcial, ya que, de esta manera las oscilaciones de carga no ocasionarán variaciones importantes en la velocidad de giro, con lo que el trabajo será más uniforme.

En la Figura 5 se muestra una curva de corte bajo la

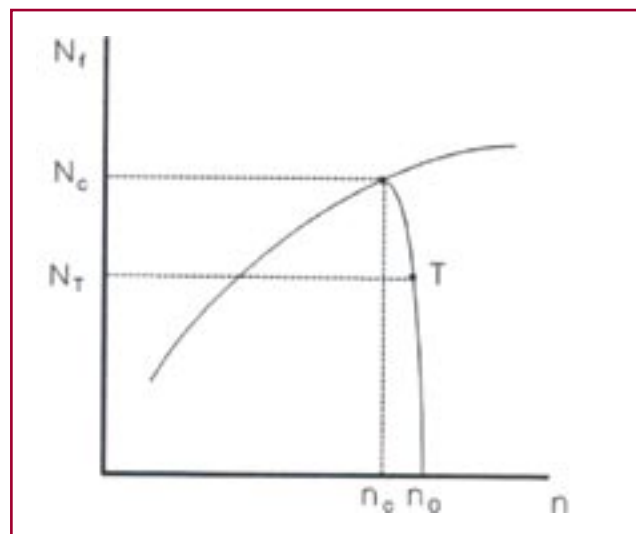


Figura 5. Curva de corte bajo la curva de potencia en alimentación máxima.

curva de potencia en alimentación máxima. Cuando el motor trabaja sin carga, su velocidad de giro (n_0) vendrá dada por la posición de la palanca o pedal del acelerador. La cantidad de combustible que reciben los cilindros en cada ciclo será la mínima para esa velocidad de giro y la energía que se obtiene se emplea en vencer los rozamientos y mover los órganos auxiliares internos del propio motor. Cuando aplicamos una carga creciente el regulador de la bomba de inyección se encargará de incrementar el combustible inyectado de tal forma que la velocidad de giro no se vea alterada (reguladores electrónicos) o se produzca un leve descenso (reguladores mecánicos). Para esta posición del acelerador, el motor girará en vacío a la velocidad n_0 y alcanzará la curva de alimentación máxima a la velocidad n_c .

En este caso, N_c es la potencia máxima que el motor puede desarrollar para esa determinada posición del acelerador. Cuando el motor trabaja en un punto T en alimentación parcial, se dice que tiene una Reserva de Potencia dada por la expresión: $((N_c - N_T)/N_c) \cdot 100$. Este parámetro se utiliza para cuantificar el margen de actuación que le queda al regulador para compensar aumentos de carga manteniendo la velocidad de giro sin cambios apreciables. En todos los trabajos del tractor es interesante mantener una cierta reserva de potencia para absorber las posibles variaciones de carga (subidas de pendientes, durezas del terreno, etc.) y que debe ser mayor cuanto mayor sean las oscilaciones previsibles (Agüera, 1993). Se recomiendan valores que van desde el 40 % para el laboreo primario hasta el 10 % para el accionamiento de máquinas estacionarias.

Cada punto de funcionamiento del motor en alimentación parcial lleva asociado un consumo de combustible. En la Figura 6 se representa mediante un plano acotado de isoconsumo específico en el que cada línea une puntos de funcionamiento del motor con igual consumo específico.

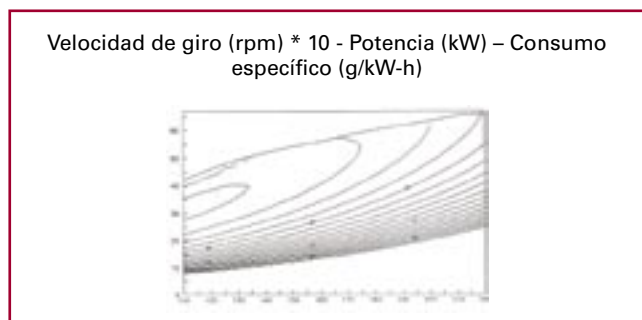


Figura 6. Plano acotado de isoconsumo específico.

El desarrollo de la potencia requerida por una determinada labor podrá realizarse a distintas velocidades de giro por encima de un valor dado. En la Figura 6 se aprecia que para una misma potencia el menor consumo específico se obtiene para velocidades de giro del motor bajas. Suponiendo una operación con un tractor que requiere una potencia de 30 kW y una velocidad de avance de 7 km/h, esta potencia puede ser desarrollada a cualquier velocidad de giro entre 1.100 y 2.200 rpm. Según la información de la caja de cambios, la velocidad requerida puede obtenerse utilizando 3 combinaciones de marcha y velocidad de giro del motor diferentes: 7a a 2.170 rpm, 8a a 1.170 rpm y 9a a 1.240 rpm. Esto origina puntos de funcionamiento con diferentes consumos específicos y reserva de potencia, de forma que cuanto mayor sea la velocidad de giro mayor será la reserva de potencia pero también el consumo específico.

La elección del punto óptimo de funcionamiento se realizará en función de los requerimientos de reserva de potencia de la operación. Si es reducida se elegirá la velocidad de giro más baja y marcha más larga y a la inversa si la reserva de potencia es elevada.

Sistemas de guiado de tractores

Otra forma de ahorro energético se deriva de la correcta alineación de las pasadas del tractor ya que el mismo porcentaje de solape innecesario que tengamos entre líneas, será el que tengamos de incremento de combustible, lubricantes, agroquímicos, tiempo etc. Según estudios realizados se pueden conseguir reducciones en torno al 10% con el uso de sistemas de ayuda al guiado (Pérez *et al.*, 2005).

En la conducción de un tractor, se destina la mayor parte de la atención a mantener la dirección adecuada y efectuar las correcciones que en cada momento sean necesarias para evitar obstáculos puntuales (postes, rocas, árboles...). Pero el vehículo, además de seguir una dirección, debe realizar un trabajo como labrar, sembrar, abonar o cosechar, el cual también debe ser supervisado por el conductor para prevenir las consecuencias de un posible fallo.

Por lo general las operaciones mecanizadas se llevan a cabo mediante pasadas paralelas rectas y a veces curvas, distanciadas según el ancho de trabajo de la máquina empleada y el solape que estimemos adecuado. En la práctica, mantener una perfecta alineación recta y paralela a la anterior requiere una gran experiencia y atención por parte del conductor, debiendo apoyarse éste en referencias visibles como las marcas de espuma, líneas sobre el suelo generadas por discos o rejas trazadoras, o simplemente la propia labor que se está realizando. A veces se hace necesaria la intervención de uno o más operarios de apoyo al tractorista para cambiar en cada pasada las varas o cualquier otro elemento visible a distancia utilizado como referencia.

Esta forma de trabajar plantea de inicio tres inconvenientes importantes. Por un lado el agotamiento del conductor sometido a una tarea rutinaria como es la conducción monótona y supervisando además el estado general del tractor y la máquina que lleva acoplada. Por otra, la limitación que supone la necesidad de visualizar las marcas de referencia dejadas en el pase anterior o proporcionadas por el personal de apoyo. En condiciones de poca luz, polvo o niebla es casi imposible trabajar. Por último, los errores que se cometen al desviarse de la trayectoria correcta son acumulativos ya que van a repercutir en el pase siguiente que también va a resultar desviado (Figura 7).

Los sistemas de ayuda al guiado y guiado automático surgen con el objetivo de resolver estos inconvenientes presentando entre otras las siguientes ventajas:

- Reducción de la fatiga del conductor, lo que permite mayor atención al desarrollo de la labor que se está realizando, mayor calidad de la misma incluso con tractoristas poco experimentados y la posibilidad de aumentar la jornada de trabajo en caso de necesidad.
- Mayor rendimiento de campo al permitir mayores veloci-



Figura 7. Mapa de aplicación con guiado manual mostrando huecos y solapes.

dades y reducir los tiempos muertos.

- Posibilidad de trabajar de noche, al amanecer, con niebla o con polvo en el aire que limite la visibilidad, ya sea por la necesidad de terminar un trabajo en una fecha determinada o por aprovechar las ventajas que para algunas tareas agrícolas supone el realizarlas antes del amanecer (temperatura más favorable, rocío en las hojas para favorecer la adhesión de los productos aplicados, escasez de viento, etc.).
- Reducción de costes fijos del tractor al aumentar el número de horas trabajadas al año.
- Facilidad para la aplicación de tránsito por calles fijas (tráfico controlado) a la hora de efectuar las distintas operaciones mecanizadas en las parcelas, lo que reduce la compactación del suelo.
- Eliminación de solapes o huecos no deseados entre las sucesivas pasadas.
- Disminución del gasto en agroquímicos, combustible y personal.
- Mayor beneficio ambiental.
- En caso de complementar el sistema de guiado con un equipo de registro, la información generada permite el análisis posterior de la labor realizada y su inclusión en un sistema de gestión integral de la explotación o de la empresa de servicios, lo que facilita la toma de decisiones.

La forma de trabajo de los sistemas de guiado no es más que una imitación del procedimiento normal que un conductor lleva a cabo: en cada momento compara su situación y trayectoria con las que debería tener y que previamente fueron establecidas, corrigiendo en uno u otro sentido en caso de que la divergencia entre ambas supere un valor umbral. Aunque se han ensayado diversos métodos en el desarrollo de los sistemas de guiado, es el sistema de posicionamiento global (GPS) el que mejores resultados ofrece frente a sistemas basados en tecnología láser, visión artificial, etc.

El método empleado para llevar a cabo la corrección del error detectado en la posición y/o rumbo, da origen a los dos sistemas actualmente disponibles: ayuda al guiado y guiado automático.

El primero informa al conductor de la magnitud y sentido de la desviación siendo éste el encargado de actuar sobre el volante o control de la dirección en vehículos de cadenas, para volver a la trayectoria ideal (Figura 8). El segundo supone un control en lazo cerrado ya que directamente interactúan sobre el mecanismo de dirección manteniendo automáticamente el vehículo en la posición correcta dentro de un margen de tolerancia.

La tecnología empleada en los sistemas de ayuda al guiado y guiado automático de tractores y maquinaria agrícola no es de reciente aparición. Desde hace más de 10 años se



Figura 8. Sistema de ayuda al guiado (barra de luces).

viene utilizando en sistemas de navegación para el transporte aéreo, marítimo y en la minería, encontrando en el medio agroforestal un nuevo campo de expansión donde las ventajas que proporciona son indudables. Al igual que ocurrió con otras tecnologías como la aparición de los tractores, agroquímicos etc.; su adopción por parte del agricultor puede ser lenta al principio pero sin marcha atrás, por lo que conocerlas y tenerlas en cuenta para un futuro que se aproxima a pasos agigantados resulta más que conveniente sobre todo para empresas de servicios y explotaciones medianas-grandes, en una agricultura donde la competitividad es el marco de referencia.

Agradecimientos: al Proyecto INIA RTA 2006-00058-C03 del Plan Nacional de I+D ●

Bibliografía

Agüera, J., 1993. Balance energético del tractor. Punto de funcionamiento óptimo. Máquinas y Tractores, 71-74.

CEMAGREF, 1992. Les tracteurs agricoles. Ed. Service Formation. CEMAGREF.

IDAE, 2005. Ahorro de combustible en el tractor agrícola. Ed. IDAE-Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid.

Pérez, M.; Agüera, J.; Gil, J.; Blanco, G.L., 2005. Implementación y evaluación de un sistema de guiado automático. III Congreso Nacional de Agroingeniería. León.

1. Grupo de Investigación "Mecanización y Tecnología Rural"
Dpto. de Ingeniería Rural. E.T.S.I. Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba.