

Influencia del Guiado Automático del Tractor en la Capacidad de Trabajo y Consumo de Combustible en el Trabajo de Campo con una Rastra de discos

J. Guadalupe Gaytán-Ruelas; Gilberto de Jesús López-Canteñs; Francisco Muñoz-Gómez

Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México – Texcoco. Chapingo, Estado de México. E-mail: jgpegaytan@yahoo.com.mx

Resumen

Se utilizó un sistema de guiado automático en un tractor agrícola trabajando en el campo con una rastra de discos en dos condiciones: con y sin traslape, para investigar la influencia del guiado automático en la productividad del conjunto (ha/h) y en el consumo de combustible (l/h), para una misma calidad del trabajo. El sistema de guiado automático FJD Autosteering, permitió realizar la operación de rastreo con y sin traslape con una misma profundidad y velocidad de trabajo (7.8 km/h); al comparar el desempeño con un traslape convencional de 10 % y el trabajo sin traslape, durante el trabajo sin traslape se incrementa 16.5 % la capacidad de trabajo (has/h), y se reduce en 14 % el consumo de combustible, equivalente a 1.868 (l/ha) litros por hectárea de terreno trabajada.

Palabras clave: agricultura de precisión, sistema de guiado automático, mecanización agrícola.

Abstract

An automatic guidance system was used in an agricultural tractor working in the field with a disc harrow in two conditions: with and without overlap, to investigate the influence of automatic guidance on the productivity of the tractor-implement set (ha/h) and in fuel consumption (l/h), for the same quality of work. The FJD Autosteering automatic guidance system allowed the tracking operation to be carried out with and without overlap with the same depth and working speed (7.8 km/h); When comparing the performance with a conventional overlap of 10% and work without overlap, during work without overlap the work capacity (has/h) increases by 16.5%, and fuel consumption is reduced by 14%, equivalent to 1,868 (l/ha) liters per hectare of land worked.

Keywords: precision agriculture, automatic guidance system, agricultural mechanization

1. Introducción

En la producción agrícola los costos por concepto de uso de la maquinaria agrícola constituyen uno de los rubros más altos, por lo que durante el trabajo de la maquinaria agrícola es importante determinar cuál es el costo por unidad de trabajo realizado o producto obtenido, ya sea en pesos/hectárea (\$/ha), pesos/tonelada cosechada (\$/t), pesos/metro cúbico (\$/m³) de aceite, leche agua, etc., pesos/kilómetro recorrido (\$/km) o (\$/t*km) en las operaciones de transporte, entre otras unidades. El costo por unidad de medida de la cantidad de trabajo o de la unidad de producción se conoce como costo unitario. En la medida que este costo se logra reducir, es factible obtener un margen de ganancia mayor para los productores agrícolas.

Una de las formas de lograr reducir los costos unitarios de producción consiste en obtener una alta productividad en el uso de la maquinaria agrícola; es decir, maximizar su capacidad de trabajo en el campo: (has/h).

El rendimiento, capacidad de trabajo o productividad del conjunto tractor-implemento es la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo, con una determinada calidad (Jróbstov, 1977).

Según el tipo de trabajo, el rendimiento del conjunto puede medirse en hectáreas del área labrada o cosechada (aradura, siembra, cultivo, recolección) o en toneladas de productos (trilla, ensilaje, molienda del grano). El rendimiento de las unidades de transporte se mide en toneladas-kilómetros y la productividad de los trabajos de carga y descarga, en toneladas.

El rendimiento técnico o la capacidad de trabajo potencial del conjunto tractor-implemento se determina por medio del cálculo, teniendo en cuenta las condiciones de trabajo reales y las posibilidades técnicas de las máquinas.

El rendimiento técnico o potencial (W_h) de un conjunto tractor-implemento se determina por la siguiente expresión (Jróbstov, 1977):

$$W_h = \frac{B_p \cdot V_{tr} \cdot \tau}{10} \left(\frac{ha}{h} \right) \quad (1)$$

Donde:

B_p -Ancho de trabajo promedio del implemento durante los recorridos de trabajo en el campo, (m).

V_{tr} -Velocidad de traslación promedio durante los recorridos de trabajo en el campo, (km/h).

τ -Coeficiente de utilización del tiempo de una jornada de trabajo en el campo, (adimensional).

El ancho de trabajo promedio del conjunto (B_p) obtenido durante el trabajo, en la mayoría de los casos no es igual al ancho constructivo (B) del implemento.

El grado de utilización del ancho de trabajo constructivo (B) del implemento, se caracteriza por el coeficiente de utilización del ancho de trabajo, (β).

$$\beta = \frac{B_p}{B} \quad (2)$$

El grado de utilización del ancho de trabajo constructivo (β), depende del tipo de operación agrícola, del tipo de implemento utilizado, de la experiencia y habilidad del operador, del enganche correcto de los implementos y de su estado técnico.

La utilización incompleta del ancho de trabajo total B, en algunos casos se debe a las condiciones de trabajo. Por ejemplo, en la recolección de cereales cuando se trata de especies de gran rendimiento y con una alta relación paja/grano, cuando la trilladora no es capaz de transformar o procesar toda la masa que ingresa al sistema de trilla, trabajan con un ancho menor al constructivo ($\beta < 1$).

Durante las operaciones agrícolas de rastreo, corte de forrajes, cosecha de cereales, aplicación de pesticidas, entre otras, es necesario que se produzca un pequeño montaje o trasape del proceso (ΔB) para evitar dejar partes del terreno sin trabajar.

Esto significa que una pequeña fracción del ancho constructivo (ΔB) está laborando sobre una superficie ya trabajada, lo que impide avanzar todo el ancho constructivo (B), o bien, existe una pequeña fracción del ancho constructivo (ΔB) que en cada carrera de

trabajo trabaja en vacío (cosechadoras de cereales, segadoras de forraje). En estos casos la magnitud del coeficiente $\beta = 0.90-0.92$ (Jróbstov, 1977).

Dejar un área sin tratar es menos deseable que superponer o traslapar, de tal manera que una cierta cantidad de superposición se convierte en una parte integral del proceso de trabajo. Estudios anteriores han demostrado que esta superposición es aproximadamente del 9 % del ancho constructivo del implemento (Palmer, et al., 2003).

Existen implementos y máquinas agrícolas que, por la naturaleza de la operación que realizan, su ancho constructivo y de trabajo real, coinciden, es decir $\beta = 1$. Entre este tipo de implementos están los surcadores, sembradoras unitarias, cosechadoras de maíz, cosechadoras de algodón, entre otras (Jróbstov, 1977).

Por otra parte, también existen implementos en que el ancho constructivo (B) es menor que el ancho real de trabajo (B_p). Tal es el caso de los arados de discos, de vertederas, de subsuelo, entre otros, los que hacen fallar al suelo más allá de la sección o área que abarca el ancho constructivo del disco, reja o punta. En estos casos el coeficiente de utilización del ancho de trabajo, $\beta = 1.05-1.15$ (Jróbstov, 1977).

Durante el trabajo del conjunto tienen lugar ciertas pérdidas de tiempo: en los virajes en vacío en los extremos de las parcelas, en los traslados de un lote o parcela a otro y en las paradas por diferentes causas. Lo anterior implica que un conjunto tractor implemento no puede estar desarrollando trabajo neto o efectivo todo el tiempo de una jornada laboral.

Se denomina coeficiente de utilización del tiempo del turno (τ) a la relación entre el tiempo (T_c) real, neto o efectivo de trabajo del conjunto y el tiempo total del turno o jornada de trabajo (T_{tur}), o sea:

$$\tau = \frac{T_c}{T_{tur}} \quad (3)$$

El rendimiento de los conjuntos depende del tiempo T_c en que se realiza trabajo neto o efectivo por parte del conjunto durante la duración de una jornada de trabajo T_{tur} ; es decir, cuanto mayor sea el coeficiente de utilización del tiempo de turno (τ), mayor será el rendimiento del conjunto (Jróbstov, 1977).

Al realizar las distintas operaciones agrícolas, el tractor, junto con las máquinas agrícolas, realiza en cada temporada de trabajo un enorme kilometraje de recorrido por el campo, del cual 5-10% corresponde a recorridos en los que no se realiza trabajo útil.

Los movimientos en vacío de los agregados se pueden dividir en dos grupos (Jróbostov, 1977):

1. Movimientos en vacío relacionados directamente con la ejecución o realización del proceso de trabajo (durante los virajes al final de cada carrera de trabajo, en los traslados para carga o descarga de materiales de trabajo como semillas, abonos, fertilizantes, descarga de granos). Estos traslados o pérdidas aumentan o disminuyen proporcionalmente al trabajo efectivo y determinan la denominada eficiencia de campo. No se pueden eliminar porque forman parte del ciclo de trabajo.

2. Movimientos en vacío, no relacionados directamente con el proceso de trabajo, pero necesarios para que éste pueda realizarse (traslados de un campo a otro, traslados desde el almacén hasta el campo de trabajo y del campo de trabajo al almacén o albergue de la maquinaria, el tiempo empleado en los ajustes, regulaciones y calibración de los equipos, los tiempos empleados en las reparaciones mayores, el mantenimiento preventivo, las actividades de servicio diarias al equipo y la imposibilidad de trabajar por causas meteorológicas y de tipo organizativo durante el trabajo). Los traslados y/o pérdidas de tiempo de este grupo no son proporcionales al trabajo efectivo y reducen el tiempo de trabajo efectivo de una jornada.

Este tipo de pérdidas de tiempo en las jornadas de trabajo de los equipos agrícolas, no están considerados en la eficiencia de trabajo porque cada explotación agrícola tiene grandes diferencias en este tipo de pérdidas, lo cual no significa que no deban tenerse en cuenta al momento de determinar la capacidad de trabajo requerida de un parque de maquinaria para una empresa agrícola.

La capacidad de trabajo en el campo aumenta a velocidades más rápidas, anchos de trabajo más grandes y mayores eficiencias. En estas condiciones se pueden trabajar más hectáreas en la misma cantidad de tiempo. El aumento de la capacidad de campo implica una compensación de mayores costos de inversión y consumo de combustible por menos mano de obra. La eficiencia en el uso del tiempo de una jornada de trabajo en el campo es parte de la ecuación porque no se dedica cada minuto a realizar la tarea; se pasa tiempo en el campo al realizar virajes, ajustando y lubricando; cargando semillas, fertilizantes y pesticidas; y otras tareas. La eficiencia del campo varía según el tipo de operación que se realiza y el tamaño y forma del campo; los campos más pequeños son menos eficientes para trabajar que los campos más grandes porque se dedica más tiempo a girar los extremos del campo en relación con el área cubierta. Ciertas actividades como la siembra o la cosecha pueden tener eficiencias de campo de sólo el 50 por ciento, mientras que otras

actividades como labranza o el cultivo en el campo pueden tener eficiencias superiores al 80 por ciento (Palmer, et al., 2003).

Con el empleo de los sistemas de guiado de los tractores, al dejar de depender de la experiencia y pericia de los operarios, es posible incrementar la velocidad a la que se realizan distintos trabajos agrícolas, siempre que se garantice la calidad de las operaciones, y siempre que no se sobrecargue al motor.

De acuerdo con IDAE (2010), un sistema de guiado de un tractor o de una máquina agrícola, bien sea de asistencia al guiado o de guiado autónomo, es un sistema complejo que se puede considerar integrado por dos bloques; si es un sistema de ayuda al guiado: Sistema de posicionamiento y Panel de información; si es un sistema de guiado automático: Sistema de posicionamiento y Panel de información y actuador. El bloque principal sobre el que trabaja un sistema de guiado es el sistema de posicionamiento, que proporciona la posición del tractor dentro de la parcela para permitir el guiado a través de la trayectoria deseada.

Un sistema de posicionamiento puede ser absoluto, relativo, o una combinación de ambos IDAE (2010). Cuando la referencia de posición es con respecto al globo terráqueo, se dice que el sistema de posicionamiento es global. Cuando la posición es con respecto a posiciones anteriores dentro de un campo, el sistema de posicionamiento se dice que es relativo.

Disponer de un sistema de ayuda al guiado permite ciertos tipos de ahorro y beneficios a los agricultores. Todos ellos, de una forma u otra, conducen al ahorro y a la mejora de la eficiencia energética. Estos ahorros pueden estar relacionados con: la reducción del consumo de combustible; la reducción de insumos; la reducción del tiempo de operación; la mejora en la calidad de la labor; la posibilidad de realizar la labor en el momento idóneo (IDEA, 2010).

Un sistema de guiado autónomo permite un ahorro de combustible en ciertas labores agrícolas, ya que permite que el tractor realice menos pasadas en cada parcela. Este ahorro de combustible deriva de una disminución de los solapes y de un aumento en el ancho de trabajo efectivo. La cuantificación de este ahorro depende de las labores a realizar en el terreno y de los aperos empleados (IDAE, 2010).

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la influencia del sistema de guiado automático del tractor, sobre la capacidad de trabajo (ha/h) y el consumo de combustible (l/ha), en dos condiciones: sin traslape ($\beta = 1$) y con un traslape de uso común de un 10 % del ancho de trabajo de una rastra de 24 discos.

2. Materiales y métodos

Se utilizó el tractor NHTS6 110, equipado con el sistema de guiado automático FJD Autosteering fabricado en China, que incluye una estación base RTK, un volante de dirección electro-hidráulica, dos antenas GNSS, dos antenas de radio, un sensor IMU, un sensor de ángulo de giro de las ruedas de dirección y una terminal de control (Figura 1-4).



Figura 1. Conjunto tractor NH TS6.110 y, rastra de 24 discos equipado con sistema de guiado.



Figura 2. Estación base RTK.



Figura 3. Volante de dirección electro-hidráulica, FJD.



Figura 4. Terminal de control del sistema de dirección automática FJD Autosteering.

Para trabajar en la opción de mantener la guía del tractor en línea recta, se requiere establecer dos puntos de referencia en el campo, antes de comenzar a trabajar. En este caso se selecciona en el monitor la opción de trabajar siguiendo una línea; se elige una pasada de referencia con el tractor avanzando pero sin realizar el trabajo, seleccionando un punto A y al avanzar, cuando el sistema lo permita, se elige el punto B y se los indican al sistema pulsando los botones correspondientes en el monitor. Una vez establecida esta línea de referencia y el ancho de trabajo, el sistema está listo para realizar la operación.

En posición de trabajo la rastra deja una marca en el suelo de 240 cm de ancho; en el sistema de guiado se introdujo este dato como el ancho del implemento sin traslape (Figura 5). Se realizaron 12 recorridos de trabajo de la rastra con un traslape de 10% (Figura 6) y sin traslape (Figura 7). Se midieron los anchos de trabajo en cada pasada de trabajo, la velocidad de avance, el área total, el tiempo utilizado en 12 recorridos de 126.5 m de longitud y el consumo de combustible, con el acelerador del motor totalmente abierto en ambos casos y una misma posición de la palanca (4-I), para mantener una misma velocidad de avance. Con la finalidad de garantizar en ambos casos una misma calidad del trabajo, en las dos condiciones las ruedas de la rastra estuvieron totalmente levantadas para que se tuviera la misma profundidad de trabajo.



Figura 5. Ancho de trabajo sin traslape de la rastra de 24 discos, medida directamente en el terreno, del primero al último disco.

Se utilizaron también otros materiales y dispositivos tales como: cinta métrica de 5 m y de 50 m; 2 cronómetros; banderillas y varillas metálicas para señalar y medir el ancho de trabajo en cada pasada; 2 probetas para medir el combustible consumido por el tractor y una base metálica nivelada para colocar las probetas. Para determinar el consumo de combustible, se utilizó el método de aforo (Figura 8), que consiste en llenar totalmente el tanque de combustible antes de iniciar los recorridos de trabajo, asegurando que salga totalmente el aire atrapado en el depósito; después de

completados los 12 recorridos de trabajo, se apaga el motor y se procede a rellenar el depósito de combustible hasta el nivel que tenía al inicio; el combustible faltante es el combustible que consume el motor durante el trabajo.



Figura 6. Rastra de 24 discos trabajando con un traslape de 10 %.



Figura 7. Rastra de 24 discos trabajando sin traslape.

3. Resultados y discusión

En las Tablas 1 y 2, se muestran los resultados obtenidos en campo, en las condiciones con traslape ($\beta = 0.90$) y sin traslape ($\beta = 1$).

En las dos condiciones con y sin traslape, se obtuvieron 20 y 15 mediciones del ancho real de trabajo durante los 12 recorridos de 126.5 m de longitud, obteniendo para la condición sin traslape ($\beta = 1$), un valor promedio de 2.444 m, de tal manera que el área trabajada sin traslape fue de 3,710 m², empleando un tiempo total de 22'43'' y un consumo de combustible de 4.295 litros, lo que equivale a 11.577 l/ha.

Al trabajar con 10 % de traslape ($\beta = 0.90$), se introdujo al sistema de guiado automático un ancho de trabajo de 216 cm. Se obtuvieron 20 mediciones del ancho real de trabajo durante los 12 recorridos, obteniendo un promedio de 2.004 m, de tal forma que el área total trabajada fue de 3,097 m², empleando un tiempo total de 22'00'' y un consumo de combustible de 4.160 litros, lo que equivale a 13.445 l/ha.

No obstante que se utilizó un sistema de precisión centimétrica (RTK), al tratarse de un implemento como la rastra de discos que se acopla a la barra de tracción del tractor mediante un solo punto, se observan amplias oscilaciones en la trayectoria del implemento, especialmente cuando la dureza del suelo es excesiva.



Figura 8. Medición del consumo de combustible empleando el método de aforo.

Tabla 1. Datos de ancho de trabajo obtenidos en distintas las distintas pasadas con y sin traslape de la rastra.

Datos de ancho de trabajo obtenidos sin traslape (m)		Datos de ancho de trabajo obtenidos con traslape (m)	
2.30	2.35	2.04	2.30
2.40	2.40	2.07	2.18
2.38	2.54	2.04	1.88
2.30	2.40	2.04	2.26
2.40	2.49	2.04	2.14
2.38		2.35	2.10
2.60		2.31	2.35
2.63		2.14	1.98
2.49		2.18	2.26
2.60		2.12	2.03

Tabla 2. Datos obtenidos durante la prueba en 12 recorridos de trabajo de la rastra de discos, con y sin traslape.

Indicador o parámetro	Con 10 % de traslape	Sin traslape
Ancho real de trabajo promedio en 20 mediciones	2.04 m	2.444 m
Ancho total cubierto en 12 recorridos	24.48 m	29.33 m
Área total trabajada en 12 recorridos de 126.5 m	3,097 m ²	3,710 m ²
Tiempo total empleado en los 12 recorridos	22'00''	22'43''
Velocidad de avance promedio	7.8 km/h	7.8 km/h
Combustible consumido en el área trabajada	4.160 litros	4.295 litros
Combustible consumido por hectárea	13.445 l/ha	11.577 l/ha
Capacidad de trabajo en hectáreas/hora *	1.6 ha/h	1.9 ha/h

* En ambos casos solo se están considerando las pérdidas de tiempo durante los virajes en las cabeceras.

4. Conclusiones

El sistema de guiado automático FJD Autosteering, permitió realizar la operación de rastreo con y sin traslape con una misma profundidad y velocidad de trabajo (7.8 km/h); al comparar el desempeño con un traslape convencional de 10 % ($\beta = 0.90$) y el trabajo sin traslape ($\beta = 1$), durante el trabajo sin traslape se incrementa 16.5 % la capacidad de trabajo (has/h), y se reduce en 14 % el consumo de combustible, equivalente a 1.868 (l/ha) litros por hectárea de terreno trabajada.

A partir de este estudio se concluye que hay margen para una mejora significativa en la eficiencia del trabajo agrícola empleando los sistemas de guiado automático, ya que el trabajo sin traslapes solo es posible empleando sistemas de guiado del tractor.

5. Referencias

- [1] Jróbstov, S.N., 1977. "Explotación del Parque de Tractores y Máquinas", Moscú: Editorial Mir.
- [2] Palmer, R.J.; Wild, D. and Runtz, K., 2003. Improving the Efficiency of Field Operations. Biosystems Engineering (2003) 84 (3), 283–288 doi:10.1016/S1537-5110(02)00279-9
- [3] IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, (2010). No. 16. Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura de Precisión. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Gobierno de España.