

CONSUMO DE COMBUSTIBLE DEL TRACTOR EN RELACION A LAS CURVAS CARACTERISTICAS DEL MOTOR Y A SU TRANSMISION

¹Ressia, J.M.(1); Botta, G.F.(2); De Simone, M.E.(3).

RESUMEN

No obstante los avances técnicos logrados para aumentar la eficiencia del tractor agrícola, sus elevadas demandas energéticas exigen planificar y gestionar su empleo con precisión. Se trabajó con el objetivo de: obtener en el banco de ensayos las curvas de isoconsumo, isopotencia y par motor, de un tractor agrícola; para definir las combinaciones de régimen, cupla, mínimo consumo y cambio, compatibles con los requerimientos de las labores de labranza y siembra. Se emplearon 14 curvas de par de un motor Fiat (CO3-611) y los datos de la transmisión del tractor Fiat 800 E Standard. Se concluye que: a) las curvas características del motor, los datos de la transmisión del tractor y el modelo teórico empleado, son útiles para predecir las prestaciones del equipo; b) las combinaciones predichas de: cambio, régimen, par motor y consumo específico contribuyen a consumir el mínimo de combustible por unidad de energía demandada.

PALABRAS CLAVE: tractor, consumo, eficiencia.

TRACTOR FUEL CONSUMPTION IN RELATION TO THE ENGINE CHARACTERISTIC CURVES AND ITS TRANSMISSION

SUMMARY

Despite the technical advances to increase the overall tractor efficiency, the high energetic demands require precise management of its use. The scope of the present study was to obtain the isoconsumption, isopower and torque curves of a tractor in order to define the keys for regime, torque, minimum fuel consumption and gear, to optimize the tillage and planting operations. Accordingly fourteen torque plots of a Fiat (CO3-611) motor and the transmission data of the Fiat (800 E Standard) tractor were employed. The conclusions were: a) the engine characteristics curves, the transmission data of the tractor and the theoretical model employed, are useful keys to predict the performance of the conjoint (tractor and implement); b) the predicted combination of the gear, regime, torque and specific consumption, contribute to calculate the minimum fuel consumption versus the energy required.

KEYWORDS: Tractor, consumption, efficiency.

INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

En estudios recientes se menciona que el consumo de combustible correspondiente a la agricultura alcanza el 30-45 % del total (Ortiz-Cañavate 1990). No obstante los avances técnicos logrados con el fin de mejorar la eficiencia de la

¹(1) Docente Facultad de Agronomía de Azul - Cátedras de Mecánica y Maquinaria Agrícola - U.N.C.P.B.A. - Avda Giraut s/n - (7300) Azul - Argentina.

(2) Docente Dpto. de Tecnología de la U.N. Luján - Ruta 5 y 7 - Luján - Argentina.

(3) Equipo de Legumbres - E.E.A. Salta - INTA - Casilla de Correos 228 - (4400) Salta - Argentina.

(1,2 y 3) Ings. Agrs. Participantes del IV Curso de Postgrado de Ingeniería Rural - U.N. La Plata - Argentina.

maquinaria agrícola, sus elevadas demandas energéticas hacen necesario planificar, organizar y gestionar su empleo con precisión.

Aplicar este criterio al uso del tractor, contribuye a mejorar sensiblemente la eficiencia en el consumo de energía en el sector agrícola.

Que los tractores sean "ahorrativos" o de bajo consumo no es una consecuencia exclusiva del diseño, el resultado también dependerá de la forma en que sea utilizado. En general un mismo tractor es empleado para cumplir con labores tan diversas como una labranza, una labor secundaria o de transporte. Cada una presenta demandas diferentes de par motor y/o velocidad de avance que, a su vez implica consumos de combustible distintos; es posible optimizar el consumo con un adecuado empleo de la caja de velocidades y selección del régimen de funcionamiento del motor (Marquez Delgado 1990).

Las curvas características del motor (potencia, par, consumo específico, etc.) y los datos de la transmisión del tractor son la base técnica para definir con solvencia, el régimen y cambio que permita optimizar el consumo de combustible.

Según Renius (1994) la estrategia de *un cambio adelante y el acelerador atrás* para ahorrar combustible, es útil desde el punto de vista del motor y de la transmisión.

Los objetivos fueron: a) obtener en el banco de ensayos las curvas de isoconsumo, isopotencia y par motor, de un tractor agrícola; b) definir las combinaciones de régimen, cupla, mínimo consumo y cambio, compatibles con los requerimientos de las labores de labranza y siembra.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en el Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.

Se empleó un motor marca Fiat modelo CO3-611 cuyas características principales son: funcionamiento según ciclo Diesel de 4 tiempos, con aspiración natural e inyección mecánica de combustible (gas-oil); posee válvulas a la cabeza y es enfriado por agua en un circuito cerrado; posee 4 cilindros en línea (carrera 130 mm y diámetro 115 mm) su cilindrada es de 5401 cm³ y su relación de compresión de 17.4 a 1. Este motor se corresponde con el modelo de tractor Fiat 800 E Standard.

Se empleó un freno dinamométrico estacionario marca TAYLOR "Hi-Efe". Se relevaron los datos correspondientes a 14 curvas de par motor, originadas en diferentes posiciones de la cremallera de control de inyección de la bomba.

Para la toma de datos, con el motor en marcha y a la temperatura de régimen, se colocó el acelerador en una posición dada, y al accionarse sobre los grifos de entrada del agua al freno dinamométrico, se fue logrando distintas cargas. En cada valor de carga se midió: la velocidad del rotor del freno, temperatura ambiente, presión atmosférica, densidad del combustible empleado; y el tiempo en el cual, el motor consumió el combustible almacenado en un balón de doble aforo.

El valor del par se determinó como: $Mt = P * l * 1.355 * fc$

donde: **P** es la fuerza en libras medida en la balanza; **l** es la longitud del brazo del freno (1.313 pies); **1.355** es un factor de equivalencias para pasar de Lb.pie a Nm; y **fc** es un factor de corrección para expresar los resultados en condiciones ambientales standarizadas.

La potencia erogada por el motor se calculó según: $N = P * l * n * 14.21 * 10^{-5} * fc$

donde: **N** es la potencia en kW; **n** es el régimen del motor, en rpm; $14.21 * 10^5$ es un factor para expresar el resultado en kW.

El consumo específico se obtuvo con la siguiente fórmula: $Ce = \frac{V \cdot \rho \cdot 3600}{N \cdot t \cdot fc}$

donde: **Ce** es el consumo específico expresado en g / Kw * h; **V** es el volumen consumido de combustible (en cm³); **ρ** es la densidad del combustible en g / cm³; **3600** es un factor de equivalencia; **t** es el tiempo en segundos en consumir el volumen aforado.

Con los datos obtenidos para las distintas cargas en cada una de las posiciones del acelerador se construyeron las curvas de par del motor. En cada uno de los puntos se marcaron los valores de potencia y consumo específico.

Las curvas de isoconsumo se construyeron al unir los puntos de igual consumo específico de cada una de las 14 curvas disponibles. Las curvas de isopotencia se construyeron en forma análoga.

Con el fin de determinar las zonas posibles de trabajo del motor del tractor, se estimaron los requerimientos de esfuerzo de tiro, par y potencia para dos supuestas labores, una de arada y otra de siembra.

Para aplicar el modelo a la operación de labranza se supuso que el tractor debería operar con un arado de reja y vertedera de 5 cuerpos de 0.355 m de ancho cada uno, trabajar a una velocidad de 1.66 m.s⁻¹ (6 km/h) y a una profundidad de 0.18 m.

El esfuerzo de tracción (T) se estimó como: $T = N^o * A * pr * CL$

donde: **N^o** es el número de cuerpos del arado; **A** es el ancho en m de los mismos; **pr** la profundidad; **CL** el coef. de labranza.

El esfuerzo en rodadura se calculó según: $R = Q_A * K$

donde: **Q_A** ($Q_A = Q_1 + 0.25 * T$) es el peso adherente de acuerdo con Zoz (1987), **Q₁** el

peso en el eje trasero del tractor; **K** ($K = \frac{1.2}{Cn} + 0.04$; $Cn = \frac{2 \cdot IC \cdot b \cdot d}{Q_A}$) es el coeficiente

de rodadura calculado según la metodología de Wismer y Lutz (1972).

En función de esto la fuerza requerida en la rueda será: $F = T + R$; y el par motor

requerido será de: $Mt = \frac{\tau_e}{\eta_t \cdot rt}$

donde: **τ_e** es el par requerido en el eje (el cual surge del producto entre F y el radio bajo carga de la rueda), **η_t** es el rendimiento de la transmisión; y **rt** la relación de transmisión.

La potencia en el motor requerida se calculó como: $N_m = \frac{Mt \cdot 2 \cdot \pi \cdot n'}{1000 \cdot 60}$

donde: **n'** representa la velocidad a la que deberá girar el motor, para que el tractor se desplace sobre el terreno a la velocidad establecida (considerando un patinaje de 15 %).

Para la operación de siembra se consideró el trabajo con una sembradora de granos gruesos de 5 líneas de siembra distanciadas a 0.7m entre sí, que se desplaza a una velocidad de $1.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (6.5 km/h) con patinaje del 6 %.

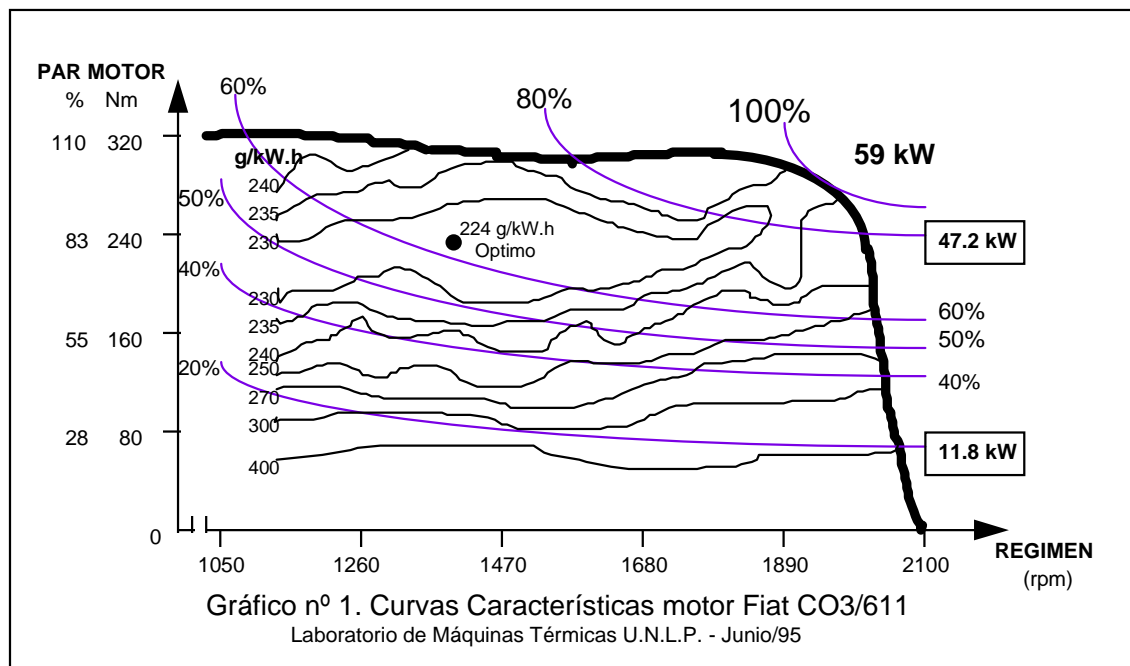
Para esta máquina, **T** se estimó en función de datos obtenidos de boletines de ensayo de sembradoras. El resto de los parámetros se obtuvieron de la misma manera que la mencionada para labranza.

RESULTADOS Y DISCUSION

Con los datos obtenidos en el laboratorio de máquinas térmicas se construyeron las curvas respectivas (Gráfico 1).

Las curvas presentan una tortuosidad que no las hacen comparables con las que se observan en la bibliografía actualizada. Las causas seguramente se originan en el tipo de instrumental empleado en el laboratorio (accionamiento mecánico) que no posee la precisión del instrumental de medición moderno. En razón de ello y a los efectos de ofrecer una graficación mas clara, sobre la base del gráfico 1 se construyó el Gráfico 2.

Para el análisis de las prestaciones del tractor durante las labores se emplearon como parametros del suelo valores de IC del suelo sin arar: 1000 kPa, IC de la cama de siembra: 455 kPa, y CL: 48.4 kN/m^2 .



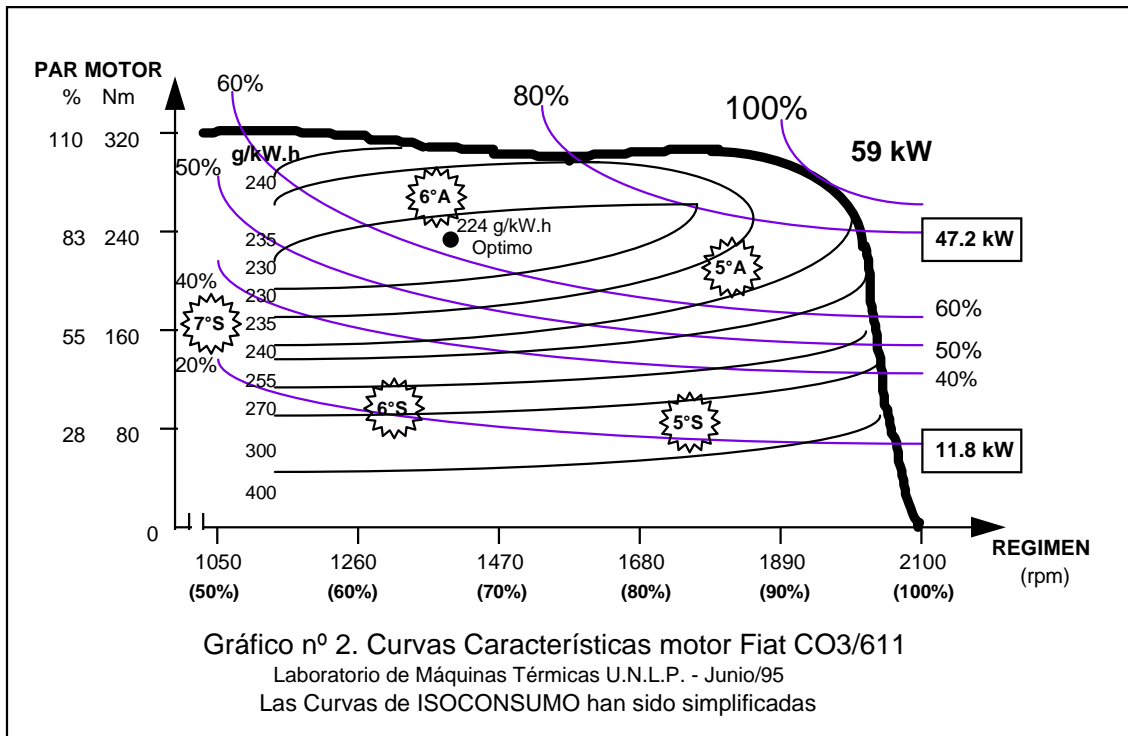


Tabla Nº1

Datos característicos del tractor

Item	Símb	Valor
Potencia máxima en el motor	N_{mx}	59 kW
Régimen nominal	n	2000 rpm
Par motor máximo	Mt_{mx}	320 Nm
Régimen de Mt_{mx}	$n_{Mt_{mx}}$	1080 rpm
Peso total	Q_t	44.9 kN
Peso en eje trasero	Q_l	29.93 kN
Neumáticos traseros		18.4 / 34
Diámetro neumático	d	1.65 m
Ancho neumático	b	0.47 m
Radio bajo carga	r_c	0.77 m
Rendimiento de la transmisión	η_t	0.9

Tabla Nº2.

Valores predichos para la labranza y para la siembra

	Labranza	Siembra
T	15420 N	4410 N
Q_A	33785 N	31032 N
CN	45.90	22.74
K	0.066	0.093
R	2230 N	2880 N
F	17650 N	7290 N
τ_e	13590 N m	5613 N m
N_m	38.5 Kw	15.6 Kw
N_m como % de N_{mx}	65 %	25.4 %

Los datos característicos del tractor se presentan en la tabla 1

En razón que las velocidades de las labores agrícolas analizadas fueron definidas previamente, para cada una de las marchas y considerando un patinamiento de 15 y 6% para labranza y siembra respectivamente, se calculó el régimen necesario en el motor (n^*) para avanzar en el campo a la velocidad prevista (tablas 3 y 4) y producir en la barra de tiro, la potencia requerida para cada labor.

El resumen de los valores predichos para las labores se presenta en la tabla 2

Con los datos de régimen y par motor estimados para las distintas posibilidades se entró al gráfico 2, a fin de estimar el valor de consumo específico correspondiente. Los resultados se muestran en las tablas Nº 3 y 4.

En el caso de labranza con arado de reja y vertedera, se dispone de 2 opciones: la primera es trabajar

en 6° velocidad, 1420 rpm y 258 Nm de par en el motor con un consumo de 230 g/kW.h ; la segunda en 5° velocidad, a 1800 rpm, 205 Nm de par y un consumo específico de 237 g/kW.h. La segunda opción permite trabajar a un régimen considerablemente superior, con un buen margen de reserva de par; mientras que la diferencia en consumo específico (7g/kW.h) se considera despreciable.

El tractor analizado, y para las condiciones dadas, puede operar seguramente un arado de mayor ancho de labor, pues la exigencia del modelo considerado en este trabajo no supera el 65% de la potencia máxima disponible en el motor.

Para el caso de la operación de siembra, la situación es diferente; pues los requerimientos de potencia y par motor son inferiores.

Tabla N°3.

Consumo específico para la labranza en las distintas marchas

Marcha	Rel. trans. rt	Régimen motor (rpm)	Par motor (N m)	Cons. Específico (g/kW h)
4°	87.72:1	2132	172.13	
5°	73.74:1	1800	204.77	237
6°	58.43:1	1420	258.42	230

Tabla N°4.

Consumo específico para la siembra en las distintas marchas

Marcha	Rel. trans. rt	Régimen motor (rpm)	Par motor (N m)	Cons. Específico (g/kW h)
4°	87.72:1	2090	71.1	
5°	73.74:1	1760	85	350
6°	58.43:1	1390	106.7	300
7°	50:1	1120	155.8	250

Según puede observarse en el gráfico 2 esta operación puede efectuarse con 3 marchas diferentes. Con 7° velocidad (a 1120 rpm, 156 Nm y 250 g/kW.h) con 6° velocidad (a 1390 rpm, 107 Nm y 300 g/kW.h) y con 5° velocidad (a 1760 rpm, 85 Nm y 350 g/kW.h); con diferencias de consumo específico considerables.

Según Renius (1994) cuando se desplaza sobre una curva de isotencia conforme el régimen del motor disminuye, se incrementa la eficiencia de la transmisión. Ello parece lógico si se considera que el momento de inercia de los conjuntos de engranajes depende del cuadrado de su velocidad angular menor. Por lo tanto, si bien η_t fué considerado como constante en este modelo, trabajar a regímenes inferiores podría aumentar la eficiencia del conjunto.

Sin embargo, al considerar que dicha optimización se obtiene a bajos regímenes en el motor, cabe plantear la incógnita sobre la posibilidad de disminuir la vida útil del motor como consecuencia directa del uso en esa condición, al menos para la marcha más alta.

Esta incógnita surge cuando se considera que la bomba de aceite y el sistema de refrigeración, trabajan a un régimen del motor considerablemente inferior al recomendado por el fabricante.

CONCLUSIONES

Las curvas características del motor, los datos de la transmisión del tractor y el modelo teórico empleado, son útiles para predecir las prestaciones del tractor, en las operaciones de labranza y siembra.

Las combinaciones predichas para estas operaciones de: cambio, régimen, par motor y consumo específico, contribuyen a utilizar el conjunto tractor-aperos, con el mínimo consumo de combustible por unidad de energía demandada.

Las curvas de isoconsumo e isopotencia constituyen una herramienta sólida y confiable, para optimizar el uso del tractor agrícola.

BIBLIOGRAFIA CITADA:

- 1- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (1981) Boletín de ensayo del tractor Fiat 800 E. IIR CICA Castelar.
- 2- Marquez Delgado, L. (1990) Sólotractor. Ed. Laboreo. España.
- 3- Ortiz-Cañavate, J. (1990) Requerimientos energéticos de la agricultura. Máquinas y Tractores N° 0. Ed. Edagrícola. España.
- 4- Renius, K.T. (1994) Trends in tractor Design with Particular Reference to Europe - J.Agric. Engng. Res. 57 (1): 3-22.
- 5- Universidad Nacional de la Plata. Documentación del freno dinamométrico Taylor y del motor Fiat CO3/611. Laboratorio de máquinas térmicas "Ing. Alejandro de Estrada".
- 6- Wismer, R. D. - Luth, H. J. (1972) Off-road traction prediction for wheeled vehicles. Paper N° 72-619. ASAE.
- 7- Zoz, F. M. (1987) Predicting tractor field performance. (Updated). ASAE paper N° 87-1623.