

POTENCIA EN MAQUINAS AGRICOLAS

JOSE MANUEL CHAPARRO CASTRO
Profesor Asociado

RESUMEN

La potencia generada por los motores de los tractores debe ser utilizada correctamente, cuando se usa en la operación de implementos. Se pretende en este artículo dar una visión teórica del concepto de potencia en máquinas agrícolas, los ensayos de tractores y los requerimientos de energía de diferentes implementos en función de su ancho de operación.

Puesto que en las pruebas de tractores y la información comercial de los fabricantes y distribuidores presenta la potencia que entregan los tractores en el motor, la barra de tiro o el toma de fuerza en las condiciones más

favorables (sobre concreto), se establecen los parámetros para llevar esta información a las condiciones de campo que usualmente tiene el agricultor, facilitando así la selección de tractores cuando se dispone de un implemento dado o del implemento adecuado para su tractor.

SUMMARY

The power generated in the engines of the tractors must be correctly used when we operate agricultural implements. This paper intends to give a theoretical global vision of the concept of power in agricultural machines, the tractors tests and the energy requirements of the implements according to their operation width.

Since the tractors tests and the commercial information of the manufacturers and dealers present the

power in the engine, the drawbar or the Power-Take-Off in the most favorable conditions (usually on concrete), the parameters to consider fields conditions are given, and thus, the farmer can have the opportunity to select tractors when he has an implement or to select implements for his tractor.

¿QUE ES POTENCIA?

Desde el punto de vista físico POTENCIA es la RATA DE HACER TRABAJO. En la definición de TRABAJO no interviene para nada el TIEMPO. Si un tractor mediante su sistema hidráulico levanta un implemento que pesa 500 Kg a 50 cm del suelo realiza el mismo trabajo si lo hace en un segundo, un minuto, una hora o un día. Si decimos que este trabajo se realiza en un tiempo dado podemos definir entonces la POTENCIA tal como ocurre en la ecuación (1).

$$POTENCIA = \frac{TRABAJO}{TIEMPO} = \frac{FUERZA \times ESPACIO}{TIEMPO} = FUERZA \times VELOCIDAD \quad (1)$$

UNIDADES DE POTENCIA

El problema de definir unidades de potencia tuvo su origen a finales del siglo XVIII con el desarrollo del motor de vapor. James Watt quería comparar los motores de vapor con su competidor más cercano - el caballo. Para ello, el señor Watt realizó una serie de ensayos en los cuales medía la cantidad de carbón que podía sacar un caballo de una mina (Fig. 1). Encontró que podía sacar 367 libras a una velocidad de 1 pie por segundo.

En otras palabras se tenía una potencia de 367 lb.pie/s ó 22000 lb.pie/min. Arbitrariamente incrementó este valor en un 50% y lo denominó CABALLO DE FUERZA (HORSE-POWER). Desde ese entonces se ha venido utilizado el CABALLO DE FUERZA (HP) como la unidad inglesa de potencia equivalente a 33000 lb.pie/min ó 550 lb.pie/s.

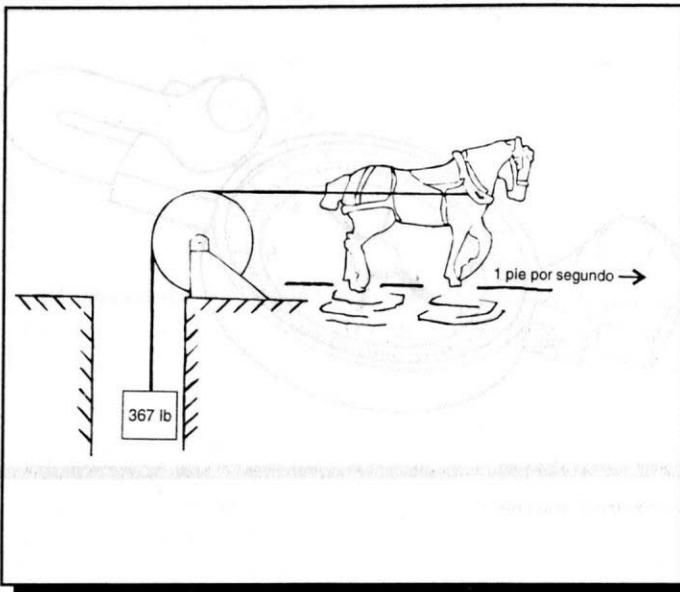


FIGURA 1. Medición de un caballo de fuerza por James Watt

El problema de definir unidades de potencia tuvo su origen a finales del siglo XVIII con el desarrollo del motor de vapor.

Las unidades de potencia más comunes son :

$$\text{CABALLO DE FUERZA (HP)} = 33000 \text{ lb.pie/min} = 550 \text{ lb.pie/s} = 745.7 \text{ W} \quad (2)$$

$$\text{KILOWATIO (kW)} = 1000 \text{ W} = 1000 \text{ J/s} = 737.56 \text{ lb.pie/s} = 1.341 \text{ HP} \quad (3)$$

$$\text{CABALLO DE VAPOR (C.V.)} = 75 \text{ kg.m/s} = 735.75 \text{ W} = 0.987 \text{ HP} \quad (4)$$

POTENCIA EN EL TRACTOR

POTENCIA EN LA BARRA DE TIRO

Es la requerida para desplazar linealmente un implemento. Por lo general, los tractores son ensayados en condiciones de concreto y allí la POTENCIA EN LA BARRA DE TIRO es aproximadamente un 75% de la POTENCIA NETA DEL MOTOR, pero cuando se trabaja en condiciones de suelos agrícolas éste porcentaje disminuye. Es el sistema más ineficiente de utilización de la potencia del tractor, pero continúa siendo el más usado.

Para determinar la potencia en la Barra de tiro (HPbt), que requiere un implemento tirado cuando se opera, basta conocer dos parámetros: a) la velocidad con que se desplaza el conjunto tractor- implemento; y b) la fuerza que se necesita para desplazar el implemento. Para ello:

- Determine la velocidad de desplazamiento del tractor, midiendo la distancia recorrida y el tiempo que se necesita para recorrerla.
- Determine la fuerza de tiro que está ejerciendo el tractor para accionar el implemento mediante

un dinamómetro de tiro. El más conocido utiliza una barra que acciona un sistema de relojería (Fig. 2) y se conecta entre el tractor y el implemento (Fig.3). La barra trabaja dentro del límite elástico del material, pero también es posible usar sistemas resistivos, hidráulicos, etc.

Conociendo los dos valores anteriores podemos determinar la potencia en la barra de tiro en cualquiera de los sistemas conocidos de unidades. Generalmente la potencia en los tractores se da en HP. Derivemos las fórmulas para calcular la Potencia en la Barra de tiro en HP (HPbt).

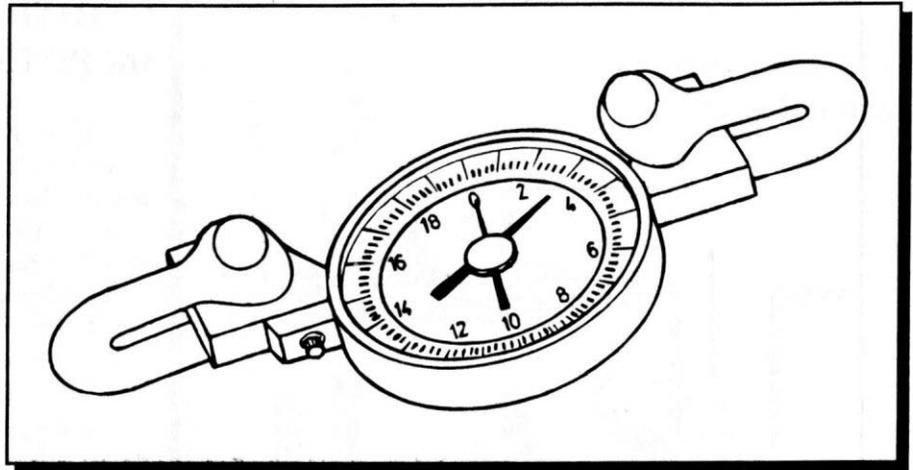


FIGURA 2. Dinamómetro de tracción

SISTEMA INGLES

$$HPbt = F(lb) \times V \left(\frac{\text{millas}}{h} \right) \times \frac{5280 \text{ pies}}{\text{milla}} \times \frac{h}{60 \text{ min}} \times \frac{HP}{33000 \text{ lb.pie/min}} = \frac{F(lb) \times V(\text{mph})}{375} \quad (5)$$

SISTEMA INTERNACIONAL (S.I.)

$$HPbt = F(\text{kgf}) \times V \left(\frac{\text{km}}{h} \right) \times \frac{2.2 \text{ lb}}{\text{kgf}} \times \frac{3280 \text{ Pies}}{\text{km}} \times \frac{h}{60 \text{ min}} \times \frac{HP}{33000 \text{ lb.pie/min}} = \frac{F(\text{kgf}) \times V(\text{km/h})}{274.4} \quad (6)$$

POTENCIA EN EL TOMA DE FUERZA

El toma de fuerza (TDF) es un eje que funciona independiente de la transmisión y que normalmente trabaja a 540 o 1000 rpm (Norma ASAE S203.10). Si el TDF está diseñado para 540 rpm, el eje tiene 6 ranuras (Fig. 4) y si lo está para 1000 rpm posee 21 ranuras. En el primero de los casos el eje tiene un diámetro nominal de 1 3/8 pulg y en el segundo puede tener 1 3/8 ó 1 3/4 pulg.

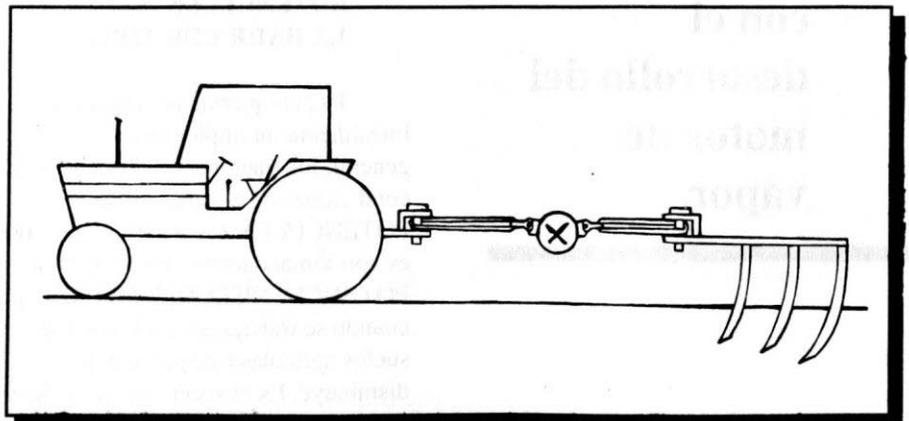


FIGURA 3. Montaje del dinamómetro entre el tractor y el implemento

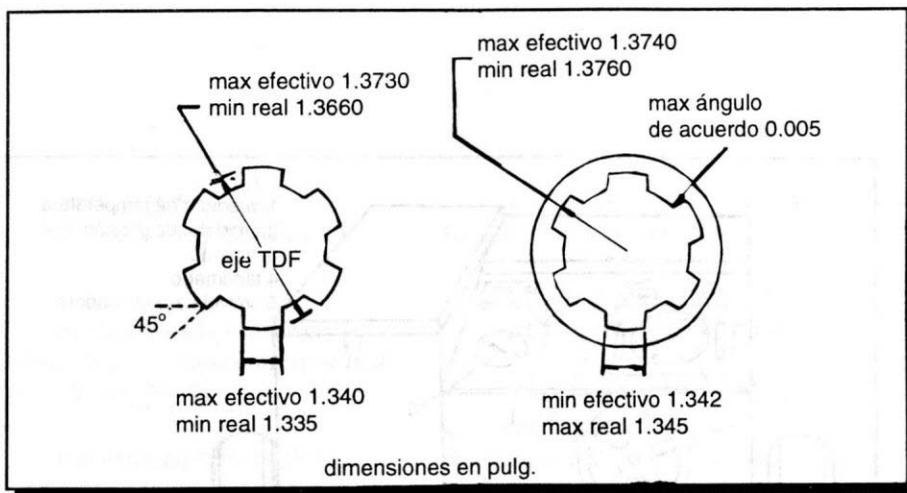
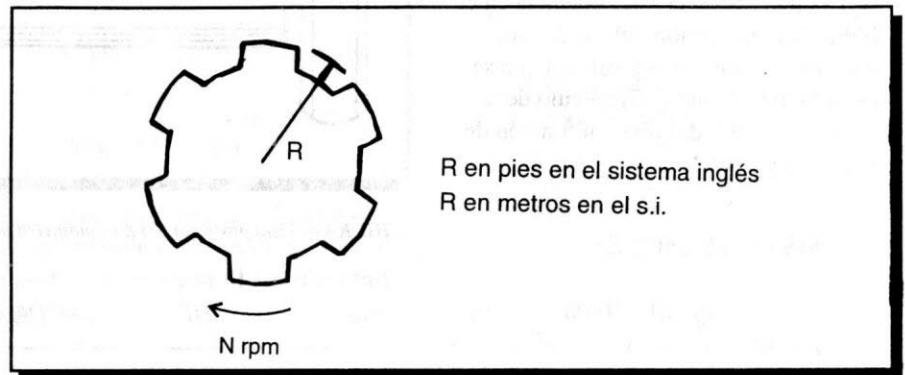


FIGURA 4. Toma de Fuerza para 540 rpm, con diámetro de 1 3/8".

Para determinar la potencia en el toma de fuerza en Caballos de fuerza (HP_{tdf}) consideremos un eje toma de fuerza que tiene un radio nominal R, gira a una velocidad de N rpm y cuando gira una revolución recorre $2\pi R$ unidades (Fig. 5). Analicemos dos sistemas de unidades:



R en pies en el sistema inglés
R en metros en el s.i.

FIGURA 5. Fuerza ejercida sobre el eje TDF de radio R

SISTEMA INGLES

$$HP_{tdf} = F(\text{lb}) \times N \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times 2\pi R \frac{\text{pies}}{\text{rev}} \times \frac{HP}{33000 \text{ lb.pie/min}} = \frac{F(\text{lb})R(\text{pies})N(\text{rpm})}{5252} = \frac{T(\text{lb.pie})N(\text{rpm})}{5252} \quad (7)$$

SISTEMA INTERNACIONAL (S.I)

$$HP_{tdf} = F(\text{kgf}) \times N \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times 2\pi R \frac{\text{m}}{\text{rev}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{\text{kgf}} \times \frac{HP}{33000 \text{ lb.pie/min}} = \frac{T(\text{kgf.m})n(\text{rpm})}{727.8} \quad (8)$$

La Potencia en el toma de fuerza se determina mediante un Dinamómetro para toma de fuerza, el cual usualmente funciona por medio de un cardán que acciona una o más bombas que le aplican un torque de resistencia al TDF del tractor (Fig. 6). Algunos valores de

potencia se pueden determinar directamente y otros mediante ábacos, en los cuales, conociendo la presión del aceite y la velocidad del TDF se puede determinar indirectamente la potencia que requiere ejercer el TDF para accionar el dinamómetro.

POTENCIA EN EL HIDRAULICO

En los tractores existen sistemas hidráulicos cerrados donde una o más bombas impulsan un caudal de aceite (Q) a una presión (P). La potencia en el hidráulico es función del caudal que entrega la bomba y la presión a que se entrega dicho caudal. El cálculo de la potencia en el hidráulico en función de estas dos variables:

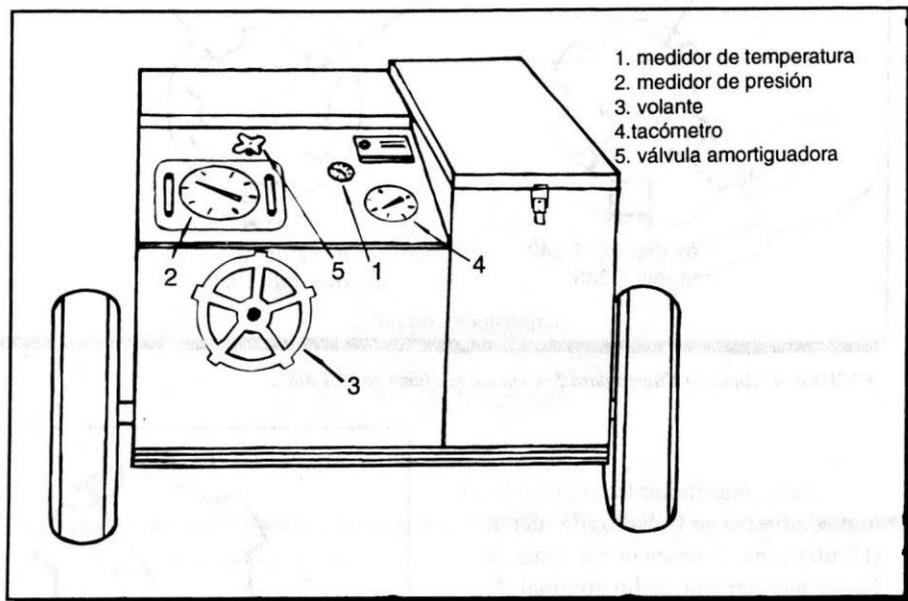


FIGURA 6. Vista posterior del dinámometro para TDF.

SISTEMA INGLES

$$HP_{hid} = \frac{Q \text{ gal}}{\text{min}} \times \frac{P \text{ lb}}{\text{pulg}^2} \times \frac{231 \text{ pulg}^3}{\text{gal}} \times \frac{\text{pie}}{12 \text{ pulg}} \times \frac{HP}{33000 \text{ lb.pie/min}} = \frac{Q(\text{gal/min}) \times P(\text{psi})}{1714} \quad (9)$$

SISTEMA INTERNACIONAL (S.I.)

$$HP_{hid} = Q \frac{L}{\text{min}} \times P \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{L} \times \frac{\text{pie}}{30.48 \text{ cm}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{\text{kgf}} \times \frac{HP}{33000 \text{ lb.pie/min}} = \frac{Q(L/\text{min}) \times P(\text{kgf/cm}^2)}{457.2} \quad (10)$$

PRUEBA DE TRACTORES

INTRODUCCION

En algunas partes del mundo se realizan pruebas de tractores, pero las más conocidas son las de Nebraska, las cuales se han venido realizando desde 1919 sin interrupción. En un principio se buscó: a) que los tractores vendidos dentro de los límites del Estado de Nebraska fuesen probados por el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Nebraska (Lincoln, Nebraska, USA); b) que los concesionarios tuvieran un permiso para la venta de tractores y repuestos, que

En algunas partes del mundo se realizan pruebas de tractores, pero las más conocidas son las de Nebraska, las cuales se han venido realizando desde 1919 sin interrupción.

solo podría ser concedido si los tractores a vender ya habían pasado la respectiva prueba; c) que el fabricante mantuviera una red de servicios dentro de los confines del estado y a distancia prudente; y d) se consideraba ilegal hacer una utilización parcial de los resultados de pruebas.

La ley ha mantenido su vigencia con algunas modificaciones y el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Nebraska realiza anualmente las pruebas que los fabricantes solicitan; publica los resultados individuales de las mismas y un resumen de ellas en un folleto que entrega a los interesados a un bajo costo.

ANALISIS DE UNA PRUEBA DE NEBRASKA

Consideremos la Prueba de Nebraska No. 1339 que corresponde al tractor IH 886 (Fig.7).

En el extremo derecho de la prueba aparece la siguiente información:

- Lugar donde se realizó la prueba
- Fecha de realización de la prueba
- Fabricante
- Características de combustible, aceite y tiempo consumido
- Características del motor
- Características del chasis y los componentes del tractor
- Reparaciones y ajustes
- Notas adicionales

Un tractor que no es capaz de entregar la potencia que requiere un implemento, está sometido a cargas superiores a las que fue calculado y sus elementos fallan o sufren deformación permanente

En el extremo izquierdo aparecen los siguientes ensayos:

- FUNCIONAMIENTO DEL TOMA DE FUERZA

Comprende dos pruebas estáticas que se realizan conectando el dinamómetro al TDF del tractor:

Máxima potencia y consumo de combustible

- A la velocidad de régimen del motor.
- A la velocidad estándar del TDF (540 ó 1000 rpm).

Variando Potencia y Consumo de Combustible (valores de velocidad del motor por encima de la velocidad de régimen)

-FUNCIONAMIENTO DE LA BARRA DE TIRO

Comprende las siguientes pruebas sobre pista de concreto:

- **Máxima de Potencia en un cambio determinado**
- **75 % del tiro a la máxima potencia**
- **50 % del tiro a la máxima potencia**
- **50 % del tiro a la velocidad reducida del motor**
- **Máxima potencia en cambios seleccionados**

Estas pruebas son dinámicas y se ejecutan sobre pista de concreto con una velocidad máxima de 10 millas/hora y un patinamiento máximo de 15%. Se mide la velocidad de operación y el tiro y mediante las fórmulas determinadas anteriormente se calcula la HPbt.

-HABILIDAD DE ARRASTRE EN UN CAMBIO SELECCIONADO

-NIVEL DE RUIDO EN EL TRACTOR

(Ensayos realizados durante la prueba de funcionamiento de la barra de tiro, colocando un micrófono a la altura del oído del operador, dentro y fuera de la cabina (si ésta existe).

- CARACTERISTICAS DE LAS LLANTAS, EL LASTRE Y PESO DEL TRACTOR LASTRADO Y SIN LASTRE

POTENCIA REQUERIDA POR LOS IMPLEMENTOS

Debe existir una relación muy estrecha entre la potencia que entrega el tractor y la que consumen los implementos. Un tractor que no es capaz de entregar la potencia que requiere un implemento, está sometido a cargas superiores a las que fue calculado y sus elementos fallan o sufren deformación permanente; el motor continuamente se apaga y los daños se traducen en costosas reparaciones, a la vez cuando un tractor está sobrado en potencia, usualmente se trabaja a velocidades muy bajas, lo cual produce una pobre lubricación causando a la vez daños costosos. La Tabla 1 es un indicativo de los requerimientos de energía de los implementos comunes en condiciones normales. Conociendo variables como las condiciones texturales del suelo, el ancho del implemento, la profundidad de trabajo y la velocidad de operación podemos calcular la potencia de acuerdo a las fórmulas derivadas.

NEBRASKA TRACTOR TEST 1339 — INTERNATIONAL 886 DIESEL 16 SPEED

(SERIAL NUMBERS 2490208U17026* and HIGHER)

POWER TAKE-OFF PERFORMANCE

Department of Agricultural Engineering

Dates of Test: April 10 to 18, 1980

Manufacturer: INTERNATIONAL HARVESTER COMPANY, 401 North Michigan Avenue, Chicago, IL 60611.

Power Hp (kW)	Crank shaft speed rpm	Fuel Consumption			Temperature °F (°C)			Barometer inch Hg (kPa)
		gal/hr (l/h)	lb/hp.hr (kg/kW.h)	Hp.hr/gal (kW.h/l)	Cooling medium	Air wet bulb	Air dry bulb	
MAXIMUM POWER AND FUEL CONSUMPTION								
Rated Engine Speed—Two Hours (PTO Speed—1158 rpm)								
90.56 (67.53)	2400	6.073 (22.987)	0.474 (0.288)	14.91 (2.938)	193 (89.3)	55 (12.8)	75 (23.8)	28.900 (97.794)
Standard Power Take-off Speed (1000 rpm)—One Hour								
88.23 (65.79)	2072	5.569 (21.082)	0.446 (0.271)	15.84 (3.121)	198 (92.2)	55 (12.7)	75 (23.9)	28.960 (97.794)
VARYING POWER AND FUEL CONSUMPTION—Two Hours								
82.04 (61.18)	2558	5.709 (21.613)	0.491 (0.299)	14.37 (2.831)	188 (86.9)	55 (12.8)	75 (23.9)	.....
0.00 (0.00)	2655	2.026 (7.671)	.....	.....	177 (80.6)	55 (12.8)	75 (23.9)	.....
41.97 (31.29)	2608	3.658 (13.846)	0.615 (0.374)	11.47 (2.260)	183 (83.9)	56 (13.1)	75 (23.9)	.....
90.79 (67.70)	2402	6.092 (23.060)	0.474 (0.288)	14.90 (2.936)	193 (89.4)	56 (13.3)	75 (23.9)	.....
21.17 (15.78)	2630	2.795 (10.581)	0.933 (0.567)	7.57 (1.492)	178 (81.1)	56 (13.3)	75 (23.9)	.....
62.13 (46.33)	2586	4.592 (17.383)	0.522 (0.318)	13.53 (2.665)	186 (85.6)	56 (13.3)	75 (23.9)	.....
Av (37.05)	2573	4.145 (15.692)	0.589 (0.358)	11.98 (2.361)	184 (84.6)	56 (13.1)	75 (23.9)	28.950 (97.760)

DRAWBAR PERFORMANCE

Power Hp (kW)	Drawbar pull lbs (kN)	Speed mph (km/h)	Crank- shaft speed rpm	Slip %	Fuel Consumption			Temp. °F (°C)			Barom. inch Hg (kPa)
					gal/hr (l/h)	lb/hp.hr (kg/kW.h)	Hp.hr/gal (kW.h/l)	Cool- ing med	Air wet bulb	Air dry bulb	
Maximum Available Power—Two Hours 8th (1Hi TA) Gear											
77.78 (58.00)	6221 (27.67)	4.69 (7.55)	2398	5.26	6.071 (22.982)	0.551 (0.335)	12.81 (2.524)	187 (85.8)	42 (5.3)	53 (11.7)	28.660 (96.781)
75% of Pull at Maximum Power—Ten Hours 8th (1Hi TA) Gear											
64.99 (48.46)	4814 (21.42)	5.06 (8.15)	2551	3.80	5.250 (19.873)	0.570 (0.347)	12.38 (2.439)	183 (84.1)	44 (6.9)	59 (14.8)	28.845 (97.405)
50% of Pull at Maximum Power—Two Hours 8th (1Hi TA) Gear											
44.21 (32.97)	3207 (14.27)	5.17 (8.32)	2573	2.64	4.071 (15.411)	0.650 (0.396)	10.86 (2.139)	179 (81.4)	42 (5.6)	55 (12.8)	28.640 (96.713)
50% of Pull at Reduced Engine Speed—Two Hours 12th (2Hi DD) Gear											
44.26 (33.01)	3209 (14.28)	5.17 (8.32)	1509	2.56	3.257 (12.329)	0.520 (0.316)	13.59 (2.677)	182 (83.3)	45 (7.2)	57 (13.6)	28.965 (97.810)

MAXIMUM POWER IN SELECTED GEARS

63.76 (47.54)	10930 (48.62)	2.19 (3.52)	2552	14.77	4th (2 Lo DD) Gear			180 (81.9)	43 (6.1)	54 (12.2)	28.980 (97.861)
76.86 (57.32)	9740 (43.32)	2.96 (4.76)	2400	9.55	5th (3 Lo TA) Gear			182 (83.3)	39 (3.9)	47 (8.3)	28.720 (96.983)
77.67 (57.92)	7415 (32.98)	3.93 (6.32)	2400	6.27	6th (3 Lo DD) Gear			185 (85.0)	38 (3.3)	46 (7.8)	28.730 (97.017)
78.02 (58.18)	7135 (31.74)	4.10 (6.60)	2401	6.13	7th (4 Lo TA) Gear			186 (85.3)	38 (3.3)	45 (7.2)	28.710 (97.051)
80.13 (59.75)	6409 (28.51)	4.69 (7.55)	2398	5.22	8th (1 Hi TA) Gear			185 (85.0)	34 (1.1)	40 (4.4)	28.760 (97.118)
78.09 (58.23)	5482 (24.38)	5.34 (8.60)	2398	4.51	9th (4 Lo DD) Gear			186 (85.6)	39 (3.9)	48 (8.9)	28.710 (96.949)
78.48 (58.52)	4822 (21.45)	6.10 (9.82)	2401	3.93	10th (1 Hi DD) Gear			186 (85.6)	40 (4.4)	49 (9.1)	28.700 (96.916)
79.30 (59.13)	4692 (20.87)	6.34 (10.20)	2399	3.64	11th (2 Hi TA) Gear			187 (85.8)	40 (4.4)	50 (10.0)	28.700 (96.916)
77.24 (57.60)	3533 (15.72)	8.20 (13.19)	2398	2.82	12th (2 Hi DD) Gear			185 (85.0)	41 (5.0)	51 (10.6)	28.690 (96.882)

FUEL, OIL AND TIME: Fuel No. 2 Diesel Cetane No. 47.9 (rating taken from oil company's inspection data) Specific gravity converted to 60°/60° (15°/15°) 0.8482 Fuel weight 7.062 lbs/gal (0.846 kg/l) Oil SAE 30 API service classification CA/CD-SC/SE To motor 2.606 gal (9.864 l) Drained from motor 2.450 gal (9.273 l) Transmission and final drive lubricant I.H. Hy-tran fluid Total time engine was operated 33.5 hours

ENGINE Make International Diesel **Type** six cylinder vertical **Serial No.** 358DT2D050083* **Crankshaft** lengthwise **Rated rpm** 2400 **Bore and stroke** 3.875" × 5.0625" (98.4 mm × 128.6 mm) **Compression ratio** 14.8 to 1 **Displacement** 358 cu in (5868 ml) **Starting system** 12 volt **Lubrication pressure** **Air cleaner** two paper elements with automatic dust unloader **Oil filter** one full flow cartridge **Oil cooler** engine coolant heat exchanger for crankcase oil, radiator for transmission and hydraulic oil **Fuel filter** two paper cartridges **Muffler** underhood **Exhaust** vertical **Cooling medium temperature control** one thermostat

CHASSIS: Type standard with duals **Serial No.** 2490206U15954* **Tread width** rear 66" (1676 mm) to 113.5" (2883 mm) front 60" (1520 mm) to 84" (2130 mm) **Wheel base** 104.8" (2662 mm) **Center of gravity** (without operator or ballast, with minimum tread, with fuel tank filled and tractor serviced for operation) Horizontal distance forward from center-line of rear wheels 31.4" (798 mm) Vertical distance above roadway 40.5" (1029 mm) Horizontal distance from center of rear wheel tread 0" (0 mm) to the right/left **Hydraulic control system** direct engine drive **Transmission** selective gear fixed ratio with partial (2) range operator controlled powershift **Advertised speeds mph (km/h)** first 1.4 (2.2) second 1.8 (2.8) third 1.8 (3.0) fourth 2.4 (3.8) fifth 3.2 (5.1) sixth 4.1 (6.6) seventh 4.2 (6.8) eighth 4.8 (7.8) ninth 5.4 (8.8) tenth 6.2 (10.0) eleventh 6.4 (10.3) twelfth 8.2 (13.2) thirteenth 11.1 (17.9) fourteenth 14.3 (23.0) fifteenth 14.9 (23.9) sixteenth 19.1 (30.7) reverse 2.4 (3.8), 3.0 (4.9), 3.2 (5.1), 4.0 (6.5), 5.5 (8.8), 7.0 (11.5), 7.3 (11.7), 9.4 (15.1) **Clutch** single dry disc hydraulically actuated and operated by foot pedal **Brakes** multiple wet disc hydraulically operated by two foot pedals which can be locked together **Steering** hydrostatic **Turning radius** (on concrete surface with brake applied) right 138" (3.51 m) left 138" (3.51 m) (on concrete surface without brake) right 175" (4.44 m) left 175" (4.44 m) **Turning space diameter** (on concrete surface with brake applied) right 286" (7.26 m) left 286" (7.26 m) (on

LUGGING ABILITY IN 8th (1 Hi TA) GEAR

Crankshaft Speed rpm	2398	2157	1921	1677	1435	1204
Pull—lbs (kN)	6409 (28.51)	7123 (31.68)	7744 (34.45)	8177 (36.38)	8293 (36.89)	8134 (36.18)
Increase in Pull %	0	11	21	28	29	27
Power—Hp (kW)	80.13 (59.75)	79.44 (59.24)	76.42 (56.98)	69.96 (52.17)	60.65 (45.23)	49.95 (37.28)
Speed—Mph (km/h)	4.69 (7.55)	4.18 (6.73)	3.70 (5.96)	3.21 (5.16)	2.74 (4.41)	2.30 (3.71)
Slip %	5.22	6.06	6.62	7.16	7.30	7.16

TRACTOR SOUND LEVEL WITH CAB dB(A)

Maximum Available Power—Two Hours	80.0
75% of Pull at Maximum Power—Ten Hours	79.5
50% of Pull at Maximum Power—Two Hours	78.5
50% of Pull at Reduced Engine Speed—Two Hours	79.0
Bystander in 16th (4 Hi DD) gear	89.0

TIRES, BALLAST AND WEIGHT

	With Ballast	Without Ballast
Rear Tires		
Ballast	—No., size, ply & psi (kPa) Four 18.4-34; 6; 12 (85) 815 lb (370 kg)	Four 18.4-34; 6; 12 (85) None
Ballast	—Liquid (each inner) None	None
Ballast	—Cast Iron (each) None	None
Front Tires		
Ballast	—No., size, ply & psi (kPa) Two 9.5I-15; 6; 36 (250) 40 lb (18 kg)	Two 9.5I-15; 6; 36 (250) None
Ballast	—Liquid (each) None	None
Ballast	—Cast Iron (each) None	None
Height of Drawbar	19 in (485 mm)	19 in (485 mm)
Static Weight with Operator—Rear	10130 lb (4595 kg)	8500 lb (3855 kg)
Front	3320 lb (1506 kg)	3240 lb (1470 kg)
Total	13450 lb (6101 kg)	11740 lb (5325 kg)

concrete surface without brake) right 360" (9.14 m) left 360" (9.14 m) **Power take-off** 1000 rpm at 2072 engine rpm and 540 rpm at 2106 engine rpm.

REPAIRS and ADJUSTMENTS: No repairs or adjustments.

REMARKS: All test results were determined from observed data obtained in accordance with SAE and ASAE test code or official Nebraska test procedure. Temperature at injection pump return was 131°F (55.2°C). Nine gears were chosen between 15% slip and 10 mph (16.1 km/h) The performance figures on this report apply after tractor chassis Serial No. 2490208U17026*.

We, the undersigned, certify that this is a true and correct report of official Tractor Test No. 1339.

LOUIS I. LEVITICUS
Engineer-in Charge

G. W. STEINBRUEGGE, Chairman
W. E. SPLINTER
K. VON BARGEN
Board of Tractor Test Engineers



International 886 Diesel 16 Speed

Fig. 7. Prueba de Nebraska N° 1339 (continuación)

FORMAS COMO SE TRANSMITE LA POTENCIA Y EFICIENCIA DE TRANSMISION

$$RR = W \times CRR \quad (II)$$

donde:

RR = Resistencia al rodamiento (lb o kgf)

CRR = Coeficiente de Resistencia al Rodamiento, adimensional

W = Carga dinámica sobre la rueda (lb o kgf)

El CRR se puede calcular mediante gráficas, o por la fórmula:

$$CRR = \frac{1.2}{Cn} + 0.04 \quad (12)$$

donde:

Cn = Relación adimensional, cuyo valor depende del índice del cono, el ancho de la llanta sin carga y el diámetro de la llanta con carga. Se consideran valores típicos de Cn los indicados en la Tabla 2.

La recomendación ASAE EP391, basada en las pruebas de Nebraska, considera que el motor de un tractor presenta pérdidas cuando transmite la potencia generada a los diferentes órganos internos y externos.

La recomendación ASAE EP391, basada en las pruebas de Nebraska, considera que el motor de un tractor presenta pérdidas cuando transmite la potencia generada a los diferentes órganos internos y externos. La Fig.8 resume la situación que se presenta en un tractor de dos ruedas motrices cuando trabaja con llantas de caucho en una superficie plana de concreto.

RESISTENCIA AL RODAMIENTO (RR)

La Resistencia al Rodamiento (RR) es la fuerza necesaria para desplazar un vehículo sobre un suelo dado. Los tractores, las máquinas autopropulsadas, los implementos que se desplazan sobre ruedas y los dispositivos de tracción y transporte presentan resistencia al rodamiento. Se puede estimar mediante la siguiente fórmula:

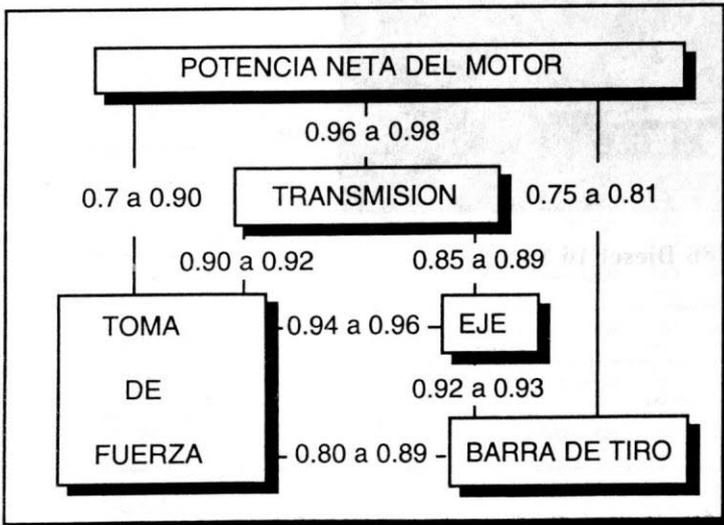


FIGURA 8. Valores esperados en la transmisión de potencia de un tractor de 2 ruedas motrices en condiciones de concreto.

Tabla 1. Requerimientos típicos de energía de implementos agrícolas

IMPLEMENTO	REQUIRIMIENTO DE ENERGIA, POTENCIA o TIRO			
	Vo (Km/h)	Coeficiente de labranza (kg/cm ²)		
		Arena Limo Arcilla		
Arado de disco y vertedera				
Para calcular el tiro requerido se mide el área transversal cortada (At = ancho (w) x profundidad (h)) y este valor se multiplica por el coeficiente de labranza (C.L.)	4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0	0.21 0.21 0.22 0.24 0.26 0.28 0.29	0.56 0.60 0.63 0.70 0.77 0.84 0.95	0.70 0.73 0.77 0.85 0.92 1.02 1.12
Subsolador	18 a 30	kg/cm de profundidad		
Arado cincel	9 a 15	kg/cm de profundidad		
Implementos Rotativos (10 cm de profundidad)	16 a 32	HP tdf/m		
Rastrillo simple de discos	75 a 150	kg/m		
Rastrillo pulidor	150 a 450	kg/m		
Rastrillo californiano	350 a 600	kg/m		
Rastra pesada de discos (26")	800 a 1000	kg/m		
Rastra pesada de discos (24")	700 a 900	kg/m		
Rastrillo de dientes rígidos	30 a 90	kg/m		
Rastrillo de dientes flexibles	110 a 470	kg/m		
Niveladora	450 a 1200	kg/m de ancho		
Cultivadora (superficial)	60 a 120	kg/m		
Cultivadora (profunda)	12 a 24	kg/m/cm de profundidad		
Caballoneador	15	HP/caballón		
Sembradora de grano grueso (solo siembra)	45 a 80	kg/surco		
Sembradora-Abonadora de grano grueso	110 a 200	kg/surco		
Sembradora de grano fino	45 a 150	kg/m		
Guadañadora	(3.0 HPbt + 1.5 HPTdf)/m			
Guadañadora-acondicionadora	(4.5 HPbt + 8.0 Hptdf)/m			
Acondicionadora	7.0 HPTdf/m			
Enfardadora	1.5 a 2.5	HP.h/ton		
Cosechadora de forraje verde	1.0 a 2.5	HP.h/ton		
Cosechadora de forraje marchito	1.5 a 5.0	HP.h/ton		
Cosechadora de heno	2.0 a 5.0	HP.h/ton		
Cosechadora de maíz para ensilaje	1.0 a 2.5	HP.h/ton		
Amontonadora	1.5 a 2.5	HP.h/m		
Combinada	1.0 HPmotor/cm de ancho del cilindro			

Tabla 2. Valores típicos de Cn

S. duro	S. firme	S. labrado	S. arenoso
50	30	20	15

En consecuencia:

$$RR = W \left(\frac{1.2}{Cn} + 0.04 \right) \quad (13)$$

La fórmula se puede aplicar para otras condiciones diferentes a las mostradas en la Tabla 2. La Fig. 9 permite determinar el CRR en condiciones de concreto, pasto bluegrass, suelo arado y sembrado con centeno, suelo limoso recién arado y arena suelta. El cuadro de la izquierda está diseñado para presiones de inflado de 16 psi, pero para presiones diferentes se puede utilizar el cuadro de la derecha. Consideremos una llanta de 38 pulgadas de diámetro trabajando sobre arena suelta; si la presión de inflado es de 30 psi, el CRR es de 0.30 (véase línea punteada).

EL DIAGRAMA DE ZOZ

La Fig. 10 muestra el DIAGRAMA DE ZOZ, el cual aparece en la Recomendación de la ASAE DATA 230.4. En él encontramos 4 condiciones de operación: concreto, suelo firme, suelo labrado y suelo arenoso o suelto; 3 tipos de enganche: integral (I), semi-integral (S) y de tiro (T); una relación de potencia denominada Eficiencia de Tracción ($ET = HP_{bt} / HP_{eje}$); una relación de peso denominada Coeficiente de Tracción ($CT = \text{Tiro } bt / \text{Peso Estático en el Eje Trasero (PEET)}$); una relación de valores constantes de peso y potencia ($PEET / HP_{ejes}$); el Patinamiento o reducción en el Avance (%); la Velocidad de Operación (V_o) y la velocidad sin Patinamiento (V_{sp}). A continuación, explicaremos cada uno de estos términos o de estas relaciones.

CONDICIONES CONSIDERADAS EN EL DIAGRAMA DE ZOZ

CONCRETO: Aquellas encontradas en las pruebas de Nebraska

SUELO FIRME: Suelo de alta resistencia y poca compactibilidad. Se considera como tal, aquel que se encuentra durante el desarrollo del cultivo y especialmente las condiciones que se presentan cuando éste finaliza.

SUELO LABRADO: Suelo suelto o de baja resistencia. Los datos para trabajar el diagrama fueron tomados de un suelo con una arado y una rastrellada. Algunos datos fueron tomados luego de pasar un implemento rotativo.

SUELO SUELTO O ARENOSO: Condiciones de un suelo profundamente arado, con baja resistencia y mucha penetrabilidad, o simplemente la arena pura.

TIPOS DE IMPLEMENTO SEGUN SU ENGANCHE

INTEGRAL (MONTADO): Aquel montado al tractor mediante enganche de tres puntos, formando parte integral del mismo, razón por la cual su movimiento en los planos horizontal y vertical está restringido. El tractor utiliza los brazos del sistema hidráulico para levantar o bajar el implemento.

SEMI-INTEGRAL (SEMIMONTADO): Aquel montado al tractor en dos puntos y su movimiento en el plano horizontal está restringido.

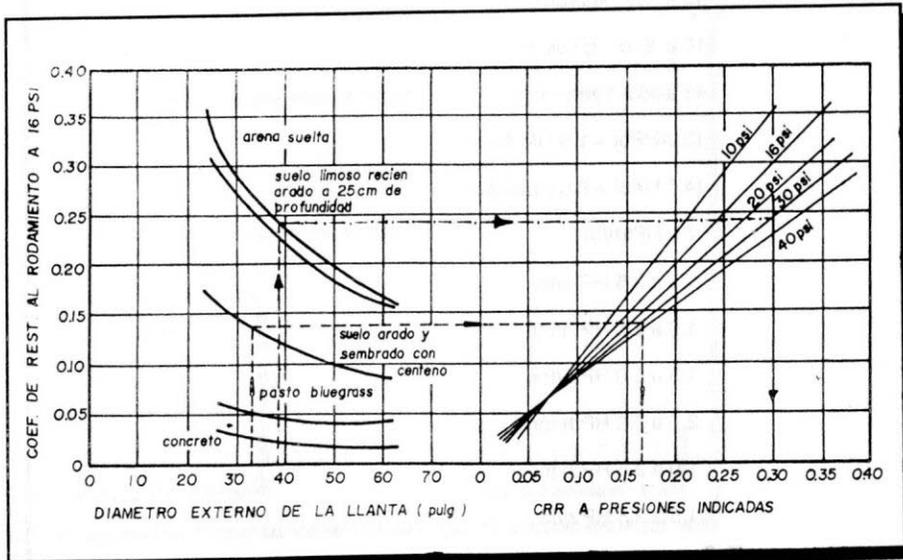


FIGURA 9. Coeficientes de resistencia al rodamiento para llantas neumáticas.

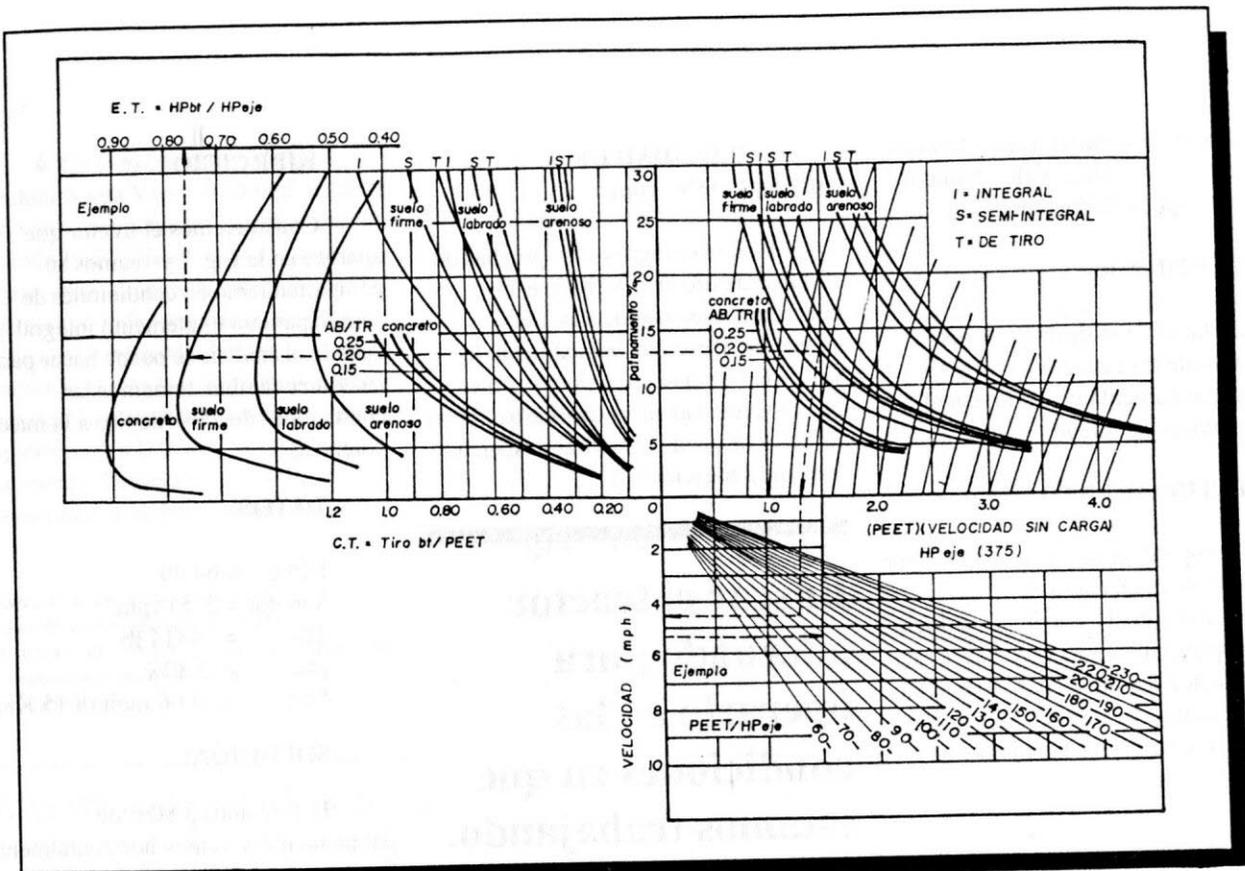


FIGURA 10. Diagrama para predecir el funcionamiento de la barra de tiro. Tractores de dos ruedas motrices.

IMPLEMENTO DE TIRO:

Aquel montado al tractor en un punto de enganche, usualmente la barra de tiro. No hay ninguna restricción grande en el movimiento del implemento ni en el plano horizontal ni en el vertical.

EFICENCIA DE TRACCION (E.T.)

Es la relación entre la potencia en la barra de tiro y la potencia en el eje (o en el semieje). Puesto que se presentan diversos factores que producen pérdidas en la tracción (p.e. patinamiento, resistencia al rodamiento, fricción, etc.) esta relación es siempre menor que uno (1.0). La E.T. la podemos expresar mediante la ecuación 14.

$$E.T. = \frac{HP_{bt}}{HP_{eje}} \quad (14)$$

EFICENCIA DE TRACCION (E.T.)

Es la relación entre la potencia en la barra de tiro y la potencia en el eje

COEFICIENTE DE TRACCION (C.T.)

Es la relación entre el tiro ejercido por la barra de tiro y la carga estática sobre el dispositivo de tracción, también denominada Peso Estático sobre el Eje Trasero (PEET). En estas condiciones, el C.T. está dado por la ecuación 15.

$$C.T. = \frac{\text{Tiro } bt \text{ (lb)}}{\text{PEET (lb)}} \quad (15)$$

La E.T. es una relación de conversión de energía, mientras que el C.T. es una relación de fuerzas que indica la capacidad de tracción de un tractor en determinadas condiciones.

En las condiciones generales, la HP_{eje} a una determinada velocidad del motor es una constante, al igual que el PEET, mientras que la HP_{bt} y el Tiro

dependen de las condiciones de trabajo del tractor (textura del suelo, humedad del suelo, cohesión, fricción, etc.).

PEET/HPeje

Es la relación de dos valores constantes de las ecuaciones 14 y 15. A medida que aumenta esta relación el patinamiento disminuye.

PATINAMIENTO (%)

Es la pérdida de avance del tractor cuando trabaja con carga en comparación con el avance que se logra cuando opera sin carga. Para hacer esta determinación las medidas se toman en un solo cambio del tractor. El patinamiento se expresa mediante la ecuación 16.

$$\text{pat} (\%) = \frac{\text{Avance sin Carga (m)} - \text{Avance con Carga (m)}}{\text{Avance sin Carga (m)}} \times 100 \quad (16)$$

VELOCIDAD SIN PATINAMIENTO (Vsp)

Comunmente las pruebas de Nebraska y los ensayos de campo nos indican una velocidad de operación (Vop) y un patinamiento (%). Se considera que la velocidad sin patinamiento (Vsp) es aquella que se logra con patinamiento igual a cero (0.00%) y se calcula mediante la ecuación 17.

$$V_{sp} = \frac{V_{op}}{1.0 - \text{Pat} (\%)} \quad (17)$$

VELOCIDAD DE OPERACION (Vop)

La que se logra en las pruebas de la barra de tiro en condiciones de concreto o suelos agrícolas. Se considera que si hay patinamiento la velocidad de operación (Vop) es menor que la velocidad sin patinamiento (Vsp). Su valor se puede encontrar despejando Vop en la ecuación 17.

Buscar el tractor adecuado para operarlo en las condiciones en que estamos trabajando.

FORMA DE USAR EL DIAGRAMA DE ZOZ

El diagrama de voz permite realizar dos operaciones diferentes:

- Conociendo las características del tractor, busca el implemento adecuado a las condiciones de operación que tenemos.

- Conociendo el implemento, buscar el tractor adecuado para operarlo en las condiciones en que estamos trabajando.

EJERCICIO I

Consideremos el tractor que aparece en la Fig. 7 y veamos su compartamiento en condiciones de campo para un implemento integral. Aun cuando el análisis se puede hacer para cualquier cambio, tomemos las condiciones de 75% de tiro a la máxima potencia.

DATOS:

HPbt = 64.99
 Vmotor = 2551 rpm
 Tbt = 4814 lb
 pat = 3.80%
 Vop = 5.06 mph (8.15 Km/h)

SOLUCION:

1. Tomamos 3.80% de patinamiento y vamos horizontalmente hasta encontrar las condiciones de concreto para E.T. Subimos para hallar el valor.

$$E.T. = \frac{H_{pbt}}{H_{peje}} = 0.91$$

$$H_{peje} = \frac{64.99}{0.91} = 71.42$$

2. Hallamos la Vsp.

$$V_{sp} = \frac{V_{op}}{1 - \text{pat} (\%)} = \frac{5.06 \text{ mph}}{1 - 0.038} = 5.26 \text{ mph}$$

3. Hallamos la relación PEET/HPeje

$$\frac{PEET}{HPeje} = \frac{10130 \text{ lb}}{71.42 \text{ HP}}$$

(se puede tomar 142)

4. En el eje negativo de las Y señalamos una $V_{sp} = 5.26$ mph y vamos horizontalmente hasta encontrar una relación PEET/HPeje = 142; luego vamos verticalmente hasta encontrar las diferentes condiciones de suelo para implemento integral. Una vez hallada la condición vamos horizontalmente hasta encontrar la misma condición de suelo e implemento en E.T. y C.T. (segundo cuadrante). Tomemos los valores encontrados y elaboremos el cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis comparativo del comportamiento del tractor IH 886 en condiciones de concreto y suelos agrícolas con un implemento integral a 75% del tiro a la máxima potencia.

CONDICIONES	E.T.	HP bt	C.T.	TIRO (1b)	PAT (%)	Vop (mph)
CONCRETO	0.91	64.99	0.48	4814	3.80	5.06
S. FIRME	0.76	54.28	0.44	4457	7.50	4.87
S. LABRADO	0.62	44.28	0.36	3647	9.00	4.79
S. ARENOSO	0.52	37.14	0.32	3241	18.00	4.31

CONCLUSIONES:

Del cuadro 1 podemos concluir:

1. La potencia disponible en la barra de tiro del tractor disminuye en suelos agrícolas y es mínima en condiciones de suelo suelto o arenoso .

2. Tanto el tiro como la velocidad de operación disminuyen en suelos agrícolas y ambos tienen que ver con la potencia en la barra de tiro.

3. El patinamiento es máximo en suelos arenosos (sin cohesión).

EJERCICIO 2

Determinar el ancho máximo de un arado integral que puede operar el tractor de la Fig. 7 si el suelo es de textura pesada y trabaja a 25 cm de profundidad a una velocidad aproximada de 5.000 Km/h ?

DATOS:

Los mismos del ejercicio 1

SOLUCION:

Observando la Fig. 7 encontramos que en sexta el Pat = 6.27% y la velocidad = 6.32 Km/h (3.93 mph). Puesto que en suelo firme se espera tener un patinamiento mayor y una velocidad menor trabajemos con ese cambio.

$$1. E.T. = \frac{HP_{bt}}{HP_{eje}} = \frac{77.67}{HP_{eje}} = 0.92$$

$$HP_{eje} = 84.42$$

$$2. V_{sp} = \frac{3.93 \text{ mph}}{1 - 0.0627} = 4.19 \text{ mph}$$

$$3. \frac{PEET}{HP_{eje}} = \frac{10130}{84.42} = 120$$

La potencia disponible en la barra de tiro del tractor disminuye en suelos agrícolas y es mínima en condiciones de suelo suelto o arenoso.

Con estos valores vamos al diagrama de Zoz:

$$- Pat = 11\%$$

$$- E.T. = (HP_{bt}/84.42) = 0.78$$

$$HP_{bt} = 65.85$$

$$- C.T. = (\text{tiro}/10130 \text{ lb}) = 0.58$$

$$\text{Tiro} = 5875.40 \text{ lb}$$

$$\text{A } 5.00 \text{ Km/h el C.L.} = 0.73 \text{ Kg/cm}^2$$

Por consiguiente:

$$5875.40 \text{ lb} \times \frac{1 \text{ Kg}}{2.2 \text{ lb}} = 0.73 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times W \times 25 \text{ cm}$$

$$W = \frac{2670.64 \text{ Kg}}{18.25 \text{ Kg/cm}} = 146.34 \text{ cm}$$

Este sería el ancho máximo (wmax) para la velocidad dada. Es posible trabajar con un FACTOR DE CARGA que nos permita establecer condiciones de seguridad en caso de encontrar condiciones más difíciles que las planteadas o de aumentar la velocidad de operación. Se recomienda que este sea el 80% del ancho calculado. Por consiguiente:

$$\text{Ancho recomendado} = w_{rec} = 146.34 \text{ cm} \times 0.80 = 117 \text{ cm}$$

utilizando el mismo factor de carga, podemos calcular el ancho de otros implementos :

- Rastrillo pulidor =
2629.73 Kg x 0.80 x (1m/450 Kg) = 4.70 m
- Rastra pesada =
2629.73 Kg x 0.80 x (1m/1000 Kg) = 2.10 m
- Cultivadora =
2679.73 Kg x 0.80 x (1m/120 Kg) = 17.50 m
- Sembradora grano grueso =
2629.73 Kg x 0.80 x (1m/80 Kg) = 26.30 m

EJERCICIO 3

Qué características debe tener el tractor adecuado para operar una rastra pesada de 3.00 m de ancho con discos de 26 pulg de diámetro en suelos arcillosos a 7.5 Km/h?

En este caso suponemos una E.T. próxima a la máxima, puesto que usualmente la rastra reemplaza al arado en condiciones de suelo firme.

$$\text{- Tiro requerido} = \frac{1000 \text{ Kg}}{m} \times 3 \text{ m} = 3000 \text{ Kg}$$

$$\text{- Hpbt} = \frac{3000 \text{ kg} \times 7.5 \text{ Km/h}}{274.4} = 82$$

- Suponemos un Pat = 10% (máxima E.T.)

$$\text{- Vsp} = \frac{7.50 \text{ km/h}}{1 - 0.10} = 8.33 \text{ k/h (5.18 mph)}$$

$$\text{- E.T. (para Pat} = 10\%) = \frac{HPbt}{HPEje} = 0.78$$

$$\text{- HPEje} = (82/0.78) = 105.13$$

Con Pat = 10% trazamos una línea horizontal que corte la curva de suelo firme, implemento de tiro en el primer cuadrante. A su vez, en el eje negativo de las Y trazamos una línea horizontal a partir de Vsp = 5.18 mph. Considerando el punto encontrado en el primer cuadrante trazamos una línea vertical que encuentre la línea horizontal del cuarto cuadrante. En el punto donde se cortan encontramos la relación PEET/HPEje.

$$\frac{PEET}{HPEje} = 140$$

Por consiguiente,

$$PEET = 140 \times 105.13 = 14718.20 \text{ lb}$$

Considerando que el PEET es el 75% del peso total

$$\text{Peso total} = (14718.20 \text{ lb} / 0.75) = 19624 \text{ lb}$$

$$HP_{motor} (\text{Fig. 8}) = \frac{105.13}{0.87 \times 0.97} = 124.6 \text{ HP}$$

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debe existir una estrecha relación entre la potencia que tiene el tractor y la que requiere el implemento. Tres situaciones son comunes:

- El tractor esta sobrado en potencia, por ejemplo se dispone de un tractor que tiene 100HPbt en las condiciones de suelo agrícola y opera una sembradora que requiere 20HPbt. Aparentemente es la situación ideal, considerando que el tractor está sobrado en potencia. Puesto que el tractor no puede utilizar la potencia que genera, lo que hace el tractorista es trabajarlo a baja velocidad y generar la potencia que requiere (digamos que trabaja el motor a 500 rpm, en lugar de hacerlo a 2400 rpm). En estas condiciones, el tractor tiene sus órganos de lubricación trabajando a una velocidad que no permite que la bomba haga una adecuada lubricación y con frecuencia se observan daños por falta de lubricación, además de otros problemas que se pueden presentar en los sistemas de operación. Cuando se encuentra un obstáculo y el tractorista no lo observa, el implemento sufre daños mecánicos costosos o irreparables.

- El tractor está corto en potencia, por ejemplo si tiene una rastra pesada que requiere una HPbt = 90 y el tractor solo está en capacidad de entregar 80 HPbt. para poder generar el tiro que requiere la iniciación del desplazamiento del tractor se trabaja en un cambio que nos da una baja velocidad y mucho tiro, sin producir un trabajo de buena calidad, los engranajes son sometidos a grandes esfuerzos, los efectos torsionales sobre los ejes producen roturas, etc. y el tractor debe estar permanentemente en el taller en reparaciones que no se presentarían si las condiciones fueran otras.

- El tractor opera un implemento que consume casi toda la potencia generada. Digamos que tenemos un tractor que genera 120 HPbt y el implemento consume 100 HPbt. El implemento está consumiendo el 83% de la potencia generada y el 17% que no utiliza está disponible para ser utilizado en caso de una situación no prevista. Se puede considerar una situación buena para la operación del tractor.

Los dinamómetros son valiosos auxiliares para determinar la potencia consumida por un implemento, la

potencia generada en el TDF o el estado mecánico del tractor.

El Diagrama de Zoz es un valioso auxiliar para trabajar con potencia. El hecho de que pueda ser utilizado para seleccionar los implementos cuando se dispone de un tractor o el tractor adecuado para unos implementos nos indica su valor en la planeación de operaciones de campo.

Con frecuencia no se hace ningún estudio de las necesidades de potencia y aún más, el agricultor compra el tractor y los implementos por factores que nada tienen que ver con su desempeño (color, el más potente, el último modelo, la marca que tradicionalmente ha usado, etc.).

La utilización adecuada de la potencia es uno de los campos menos analizados por el agricultor y los técnicos.

Es necesario dejar la inquietud del manejo adecuado de la potencia a nivel de las empresas agropecuarias. No mencionaremos ningún caso específico, pero en los análisis que se han hecho en Colombia se encuentra con frecuencia que agricultores de amplia experiencia pecan en este campo porque piensan que el hecho de disponer de abundante potencia en su finca los hace aparecer como superiores a sus vecinos.

BIBLIOGRAFIA

1-AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Standards of the ASAE. St. Joseph. Michigan. USA. 1994.

2-CHAPARRO, José M. Notas de Clase sobre Potencia. Curso de Máquinas Agrícolas. Departamento de Ingeniería Agrícola. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. 1993.

3-HUNT, Donnell R. Farm Power and Machinery Management. 7th. ed. Iowa State University Press. Ames. Iowa. USA. 1977.

4- ZOZ, Frank M. Predicting Tractor Field Performance. Transactions of the ASAE. Vol. 17 (3). 1972.