

DEMANDA DE POTENCIA Y TRANSFERENCIA DE PESOS DE TOLVAS TRANSPORTADORAS DE GRANOS

HILBERT, J.A.¹; TESOURO, M. O.²; ROSSENFELD, B.³; PINCU, M.⁴;
AUCANÁ, M.O.⁵

RESUMEN

En los últimos 10 años se ha producido una gran transformación en el manejo de granos a granel en los campos argentinos. Se difundieron en forma creciente las tolvas autodescargables aumentando su tamaño y capacidad. Ante esta realidad se ha planteado la necesidad del conocimiento de la demanda de potencia a la barra de tiro y la toma de fuerza así como la transferencia de peso. Con el objeto de atender a esta demanda se programaron una serie de ensayos sobre 14 tolvas de uno y dos ejes con capacidades de almacenamiento entre 7,5 a 26 mg con diferentes trenes de rodaje agrícolas y orugas de goma. Mediante una celda de carga biaxial y un torquímetro se evaluaron los parámetros

¹Ingeniero Agrónomo M.Sc. Instituto de Ingeniería Rural CNIA INTA-c.c. 25 (1712) Castelar ARGENTINA Tel/Fax (54)(11) 4665-0495/0450 E-mail: hilbert@cnia.inta.gov.ar

²Ingeniero Agrónomo Instituto de Ing. Rural CNIA INTA – Cat. Maquinaria Agrícola FAUBA.

³Ingeniero Electrónico Proyecto FONTAR PROMAQ Inst Ing. Rural CNIA -INTA

⁴Ingeniero Agrónomo Proyecto FONTAR PROMAQ Inst. Ing. Rural CNIA -INTA

⁵Técnico Instituto de Ingeniería Rural CNIA - INTA

mencionados sobre un rastrojo de soja en un argiudol típico con una resistencia a la penetración de 582 kPa en los primeros 100 mm de suelo. Se emplearon parcelas de 300 metros, recolectándose un valor por segundo para luego procesar la información estadísticamente. La mayor demanda de esfuerzo por tonelada transportada fue registrada por la oruga. La variación de los registros estuvieron comprendidos entre el 7% y el 23% de coeficiente de variación. De acuerdo con el dimensionamiento de los tubos de descarga, las demandas de potencia a la toma de fuerza oscilaron entre 20,4 y 81,5 kW.

Palabras Clave: *tolvas, esfuerzo, potencia.*

SUMMARY

AUGER DRAWBAR POWER DEMAND AND WEIGHT TRANSFER ON GRAIN CARTS

In the last 10 years a big transformation in the way grains are transported in Argentine farms has occurred. There has been an increase in grain carts with conveyor unloading systems. With the use of this new machines there has been an increasing concern on drawbar power demand and PTO demand of the unloading systems. Attending this demand a research program involving 14 grain carts of one and two axles with a total capacity ranging from 7,5 to 26 metric tons was developed. The carts were equipped with different compaction reducing undercarriage options. By means of a torquimeter and a biaxial load cell torque and power demand was studied over a soybean stubborn on an argiudol soil with a penetrometer resistance of 582 kPa on the first 10 cm of soil. Plots of 300 meters long were employed. The biggest drawbar demand was registered by the rubber tracks. The variability over field conditions ranged CV 7% to 23 %. According to the auger sizes the maximum pto demand ranged from 20,4 to 81,5 kW.

Key words: *grain cart, power drawbar demand.*

INTRODUCCIÓN

El manejo de granos a nivel de campo en la Argentina, ha sufrido una importante transformación en los últimos 10 años. El aumento de la capacidad de las cosechadoras y la necesidad de una extracción rápida y eficiente de la producción, en situaciones críticas de piso, ha impulsado la difusión de las tolvas autodescargables de creciente capacidad de transporte.

En la búsqueda de cuidar el suelo y el mantener la capacidad de traslado en situaciones críticas de terreno ocasionadas por elevada humedad, se han ensayado diferentes alternativas de diseño y opciones de cubiertas y sistemas de orugas. Una de las temáticas que hay que resolver es la de mantener baja la demanda de esfuerzo a la barra de tiro en los tractores responsables del tiro. El trabajo realizado buscó definir las magnitudes de los esfuerzos y cargas sobre el tractor generados por tolvas de diferente diseño y capacidad de carga en combinación con las alternativas de rodado.

La resistencia a vencer por las tolvas esta relacionada con la resistencia a la rodadura. Según Becker (1956), la misma puede ser desglosada en tres componentes: Resistencia producida por la compactación vertical (R_c), resistencia debida al desplazamiento horizontal del suelo (R_b) y la debida a la deformación del neumático (R_t). En los suelos agrícolas deformables, son los dos primeros componentes los que adquieren real significancia. Las predicciones de este autor implican poseer parámetros del suelo de difícil medición. Otra aproximación al tema es iniciada por Zoz, F.M. (1987) mediante el empleo de un ábaco, que incorpora las diferentes pérdidas de eficiencia del tractor. Wismer y Luth (1972) desarrollaron ecuaciones empíricas para predecir la eficiencia tractiva de vehículos con rodados neumáticos, teniendo en cuenta las dimensiones de los neumáticos y el índice de cono del suelo, como parámetro práctico y de fácil obtención, para caracterizar la capacidad portante de los suelos.

Gee Clough (1978) propone una nueva metodología empírica, basada en los datos experimentales de ensayos a campo. Otra

aproximación es realizada por Mc.Allister (1983), quien trabaja sobre ruedas de menor diámetro arrastradas en el campo. Este autor encuentra altas dispersiones entre los datos predichos y reales, según él, atribuibles a irregularidades en el terreno no contempladas en la medición del Índice de Cono.

Entre los principales objetivos se buscó la determinación de las curvas características de demanda de esfuerzo y potencia de tiro a lo largo del terreno, los esfuerzos y solicitudes verticales sobre la barra planteándose como hipótesis la independencia de estos valores respecto al tipo de rodado u oruga para cada capacidad de tolva. Se efectuó una comparación entre los valores medidos y estimados por ecuaciones de acuerdo con las características de los rodados, pesos adherentes e índice de cono planteándose como hipótesis la correspondencia entre los valores predichos y reales.

Complementariamente se determinó la demanda de torque y potencia en vacío y bajo carga de los elevadores de granos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se efectuó mediante un dinamómetro móvil un ensayo completo a la toma de potencia de los tractores empleados en las pruebas. En el mismo se determinó la curva de respuesta en la posición máxima del acelerador con y sin medidor de combustible. De esta manera se trazaron las curvas de par motor, potencia, consumo horario y consumo específico para determinar los rangos de utilización en cada operación.

Una vez definidas las tolvas a ensayar se procedió a verificar el peso total por eje mediante una báscula electrónica y las presiones de inflado de los neumáticos.

Se instrumentó al tractor con equipos especiales, de manera de permitir la medición del régimen del motor, demanda de esfuerzo y carga vertical sobre la barra de tiro, velocidad real de avance y potencia demandada, durante el trabajo con las diferentes tolvas.

Se trazaron parcelas individuales para la circulación con cada tolva, con un largo total de 300 metros (m), que fueron asignadas al azar. Luego del llenado y la verificación de pesos se realizó una pasada durante la cual se monitorearon todos los parámetros descriptos. Sobre cada pasada se efectuaron ensayos de penetrometría (0 a 350 mm) densidad aparente humedad de suelo (0 a 150 mm) y profundidad de huella. Se empleó la marcha segunda baja con una velocidad final real en vacío de 9,3 km/h con la máxima posición del acelerador.

Los datos fueron tomados con una frecuencia de un segundo y almacenados en una unidad especial de memoria sólida para luego ser procesados en computadora. Con los datos procesados se obtuvieron los parámetros y las gráficas del comportamiento de cada tolva a lo largo de todo el terreno trabajado.

Se instrumentó un segundo tractor con un torquímetro especialmente desarrollado con esta finalidad. El sistema posee una unidad de procesamiento y almacenamiento de datos y los mismos son monitoreados en tiempo real mediante una computadora portátil. Se obtuvieron los datos de torque, régimen de funcionamiento y potencia demandada por el accionamiento de los sinfines en vacío y bajo carga con una frecuencia de un dato cada 5

Tabla 1. Características de las tolvas empleadas en el ensayo

Modelo	Identificación	Capacidad Mg	Cubiertas.	Modelo	Medida
Eje simple	1	26	Trellebor	Twin 404	700/50 30.5
Eje simple	2	14	Alliance	A 323	30.5-32
Eje simple	3	14	Fate	GD 79	23.1-30
Eje simple	4	14	Trellebor	Twin 404	750/60 30.5
Eje simple	5	22	Firestone	ANS Tractor	30.5 L 32
Eje adelantado	6	22	Goodyear	Dyna Torque	30.5 L 32
Eje simple	7	18	Trellebor	Twin 404	850/50 30.5
Eje adelantado	8	18	Alliance A 350	Super power drive	30.5 L 32
Europeo	9	18	Trellebor	Twin 404	850/50 30.5
Doble eje	10	18	Goodyear	Dyna Torque	18.4-26 / 24.5-32
Doble eje	11	18	Goodyear	All weather	24.5-32 / 24.5-32
Eje simple	12	14	Goodyear	Super Terra Grip	66 43.00 25 NHS
Eje simple	13		Oruga		
Eje simple	14	7.5	Firestone	Super all traction	18.4-30

segundos. Esta información permitió el trazado de las curvas respectivas en función del tiempo y la obtención de los valores medios y máximos en cada caso.

La experiencia se realizó en un Establecimiento Agropecuario de la localidad de Colón Pcia. de Bs. As. Latitud sur 33° 51´ 97" Longitud Oeste 61° 04´ 85" sobre un Argiudol típico. El suelo presentaba un contenido de humedad del 29,8 % base seca con una cobertura del 100 %. La resistencia a la penetración fue de 582 (kPa) en los primeros 10 cm del perfil con un promedio de 1171 (kPa) Kpa para los primeros 35 cm de profundidad suelo. Las capacidades de las tolvas empleadas fueron de 7,5, 14, 18, 22 y 26 mg. Para el análisis de resultados éstas se agruparon por capacidad de carga, tipo de cubierta y cantidad de ejes y se descartaron los primeros y últimos 30 valores para asegurar un comportamiento estable del conjunto tractor tolva.

Los resultados se procesaron estadísticamente mediante Análisis de Varianza. Cuando se detectaron diferencias significativas a causa de algún tratamiento, se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey con un nivel de significación del 5%.

RESULTADOS

Los resultados preliminares sobre los datos de campo arrojaron que los valores de esfuerzo y carga vertical se ajustaban a distribuciones normales con varianzas homogéneas, lo cual permitió la comparación estadística de los resultados obtenidos.

De la comparación entre los esfuerzos de tiro netos medidos surgen claramente los mayores niveles demandados por la oruga que prácticamente duplica los registros. Estos valores son producto de las mayores superficies de fricción con el suelo y ruedas conductoras. Estas diferencias también se mantienen al comparar los coeficientes de tracción. Las variaciones en los registros a lo largo de todas las parcelas fueron moderadas con coeficientes de variación comprendidos entre el 7 y el 23 %. Los valores más bajos los

Tabla 2. Demanda a la barra de tiro tolvas de 14 miriagramos. De capacidad con diferente dotación rodante Igual letra significa ausencia de diferencias estadísticas entre tratamientos ($\alpha=0.05$)

Tipo de cubierta / oruga	F. Tiro daN	F. Vertical daN	Coef. Tracción	Potencia kW
Alliance A 323 700/50 30.5	763.8 a	1533.7 a	8,78 a	34.25 a
Fate GD 79 23.1-30	923.9 b	949.4 b	11,18 b	39.28 b
Trellebor Twin 404 750/60 30.5	797.4 a	2025.2 a	8,31 c	34.11 a
Goodyear Terra tire 66 43.00 25 NHS	1069.7 c	1607.1 c	12,03 d	46.48 c
Oruga	1981.3 d	1174.7 d	24,54 e	82.50 d

registró el sistema de orugas. No se halló relación estadística entre las variables carga vertical y coeficiente de tracción.

El régimen de funcionamiento del motor y por lo tanto las velocidades en todas las pruebas se mantuvieron cercanas a 8,5 km/h sin diferencias estadísticas entre éstas debido a que no se sobrepasó el nivel de potencia máxima del tractor. En función de lo expresado las potencias demandadas reflejaron las mismas diferencias encontradas en los esfuerzos de tiro.

Tabla 3. Demanda a la barra de tiro tolvas de 18 miriagramos. Igual letra significa ausencia de diferencias estadísticas entre tratamientos ($\alpha=0.05$)

	F.Tiro daN	F.Vertical daN	Coef.Tracción	Potencia KW
Trellerborg 850/50 30.5	1151 b	1911 d	12,1 a	49.3 b
Alliance 30.5L32	1087 b	1006 c	13,9 b	48.1 b
Europea Trellerborg 850 50 30.5	1157 b	3104 b	10,6 c	50.9 b
Cuatro ruedas Goodyear D Torque 24.5-32	1374 c	-178 a	22,3 d	58.5 c
Cuatro ruedas Goodyear All Weather 24.5-32	1088 a	-146 a	16,4 e	43.7 a

Los niveles de esfuerzo de tiro y potencia demandada fueron similares, encontrándose un nivel superior para la tolva de cuatro ruedas que estaba equipada con neumáticos de menor diámetro en el eje delantero, lo cual se corresponde con lo esperable por mayor esfuerzo de rodadura. Los niveles de carga sobre la barra de tiro fueron máximos para la tolva que estaba conformada con el eje corrido 300 mm hacia atrás (modelo europeo) siendo negativos en el caso de las tolvas con cuatro ruedas debido a su ángulo de enganche y a la falta de transferencia de peso.

Las velocidades empleadas fueron similares en todos los casos y por lo tanto las potencias guardan la misma relación y comentarios que los esfuerzos de tiro.

En cuanto a la carga vertical en el comportamiento dinámico se vieron reflejadas las diferencias entre la posición del eje. La variabilidad de los valores fue moderada con coeficientes de variación inferiores al 12% y valores máximos absolutos que alcanzaron los 2060 kilos sobre la barra de tiro. Dichos valores superan a los fijados como mínimos en la norma IRAM 8002 (1994). Se hallaron diferencias en el esfuerzo de tiro demandado así como la potencia ya que las velocidades utilizadas fueron similares.

Los análisis comparativos entre potencia medida y predicha por fórmula empírica según metodología de Zoz (1987) arrojaron una relación ajustada a un modelo de regresión lineal múltiple significativa al 99 % de nivel de confianza con un r^2 de 79,23. La fórmula de ajuste obtenida fue $Pot\ medida = 8,32 + 1,286 * Pot\ calculada$.

Tabla 4. Demanda de los elevadores de grano a la toma de potencia. Igual letra significa ausencia de diferencias estadísticas entre tratamientos ($\alpha=0.05$).

Comparativo general	Par motor Nm		Potencia kW	
Tolva 01 26 Trellebor	597.2	a	82.4	i
Tolva 02 14 Alliance	438.4	e	54.0	c
Tolva 03 14 Fate	408.0	e	46.2	b
Tolva 05 22 Firestone	508.0	b	67.8	h
Tolva 06 22 Europea	444.2	de	58.9	de
Tolva 07 18 Trellebor	430.5	e	58.0	d
Tolva 08 18 Alliance	457.0	cde	62.0	efg
Tolva 09 18 Europea	469.7	cd	62.8	fg
Tolva 10 18 x 4 ruedas desiguales	475.6	c	64.8	gh
Tolva 11 18 x 4 ruedas iguales	435.4	e	59.9	def
Tolva 12 14 Terratyre	294.2	f	40.4	b
Tolva 13 14 Oruga	431.5	e	60.1	def
Tolva 14 7.5 Firestone	149.1	g	20.4	a

Con referencia a los elevadores de grano, el régimen de funcionamiento se mantuvo estable alrededor de las 700 v min⁻¹ sin presentar diferencias significativas entre las diferentes mediciones realizadas, evidenciando que la carga solicitada al tractor no afectó el régimen de funcionamiento del motor. La mayor demanda de potencia estuvo dada por la tolva de 26 miriagramos de capacidad, llegando a un consumo de 82,4 kW a la toma de potencia del tractor. Las oscilaciones de demanda fueron bajas con coeficientes de variación inferiores al 10%. Las demandas en vacío sin carga oscilaron entre los 39 y los 88 Nm según la tolva, lo cual implicó niveles de potencia que no superaron los 4,1 kW.

Sobre la base de tres niveles de consumo específico, tomando como base a tractores de potencia suficiente para trasladar las tolvas con su máximo peso se estimó el consumo de combustible en la condición de máxima exigencia. Los valores mínimos consideran el empleo del tractor en su punto óptimo de eficiencia (cambio alto y reducido régimen de funcionamiento del motor) consumo específico de 110 g kWh⁻¹.

Se tomó en cuenta una condición de suelo promedio representativa de un rastrojo del año en curso, con un suelo en capaci-

Tabla 5. Consumo de combustible para el traslado de tolvas en máxima carga en l h⁻¹ estimado de acuerdo con los consumos específicos del tractor.

	Consumo bajo 110 g kWh ⁻¹	Consumo medio 147 g kWh ⁻¹	Consumo alto 184 g kWh ⁻¹
Tolva 01 26 Trellebor	13.1	17.5	21.0
Tolva 02 14 Alliance	6.8	9.1	10.5
Tolva 03 14 Fate	7.7	10.3	12.0
Tolva 04 14 Trellebor	7.0	9.3	10.7
Tolva 05 22 Firestone	9.8	13.1	15.5
Tolva 06 22 Europea	14.0	18.7	22.5
Tolva 07 18 Trellebor	8.7	11.7	13.7
Tolva 08 18 Alliance	8.5	11.3	13.2
Tolva 09 18 Europea	8.9	11.9	14.0
Tolva 10 18 x 4 ruedas desiguales	10.0	13.4	15.8
Tolva 11 18 x 4 ruedas iguales	8.3	11.1	13.0
Tolva 12 14 Terra tire	8.4	11.2	13.1
Tolva 13 14 Oruga	12.8	17.0	20.4
Tolva 14 7.5 Firestone	5.4	7.2	8.1

dad de campo. Los valores corresponden a un uso continuo en las condiciones de trabajo descritas, en situaciones reales de trabajo las demoras y detenciones harán descender estos guarismos de acuerdo con la eficiencia global de trabajo de la máquina. Se han estimado también los consumos de combustible que demandaría la operación a plena carga de los elevadores de grano teniendo en consideración que el tractor se encuentra detenido. Estos valores deberán ser contrastados con reales obtenidos a campo.

CONCLUSIONES

- Se encontró influencia del tipo sistema de traslado sobre la demanda de esfuerzo a la barra de tiro de las tolvas ensayadas.
- La carga vertical sobre la barra de tiro fue elevada en las tolvas de un eje superando los valores mínimos de la norma de referencia.

BIBLIOGRAFÍA

ALIMARDANI, R.; COLVIN, S. J; MARLEY, S. J. 1989. Verification of the «TERMS» Traction prediction model. Trans. of ASAE Vol 32 (3) pp. 817-821.

BASHFORD, L. L. 1984. Power losses due to slip and motion resistance. ASAE Paper N 84-1564.

BECKER, M. G. 1956. Theory of land locomotion – the mechanics of vehicle mobility. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 220 p.

BRIXIUS, W.; ZOZ, F. M. 1976. Tires and tracks in agriculture SAE Paper n 760653.

BRIXIUS, W. W. 1975. Predictive equations for wheeled vehicles performance. Technical report N° 109 Deere & Company Moline Illinois, Estados Unidos.

BURT, E. C.; BAILEY, A. C. 1982. Load and inflation pressure effects on tires. Transaction of ASAE 25 (4) 881-884.

CARPENTER, T. G. 1983. Tire sizing for minimizing subsoil compaction. ASAE paper N° 83-1058.

DWYER, M. J.; COMELY, D. R. 1974. The field performance of some tractor types related to soil mechanical properties. *Journal of agricultural engineering research* 19, pp. 35-50.

DWYER; FEBO P. 1987. Handbook of agricultural tyres performance. AFRG Engineering publication. Silsoe Bedford.

EVANS, M. I.; CLARK, R. L. 1989. A traction prediction and ballast selection model. ASAE Paper 89-1054. St Joseph Mich.

GEE CLOUGH, D.; MC ALLISTER M.; EVERNDEN D.W.; PEARSON G. 1978. The empirical prediction of tractor implement field performance. *Journal of terramechanics* Vol 15 (2) pp 81-94.

IRAM Norma 8002 Maquinaria agrícola Barras de tiro para tractores. Características.

LILJEDAHL, J. B.; CARLTON, W. M.; TURNQUIST. 1979. Tractor and their power units. John Wiley & Sons, 3rd edition 420 p.

MC. ALLISTER, M. 1983. Reduction in the rolling resistance of trailed agricultural machinery. *Journal of Agricultural engineering* Vol 28, pp. 127-137.

ROBOTHAM, B. G. 1984. The tractive performance of three tyres options on a black earth soil. Conference on Agricultural Engineering Bundaberry p. 83-86.

UPADHYAYA, S. K.; CHANCELLOR, W. J. 1987. Sources of variability in traction data Paper of ASAE N 87-1051.

ZOZ, F. M. 1987. Predicting tractor field performance updated ASAE paper N° 2 87-1623.

WISMER, R. D.; LUTH, H. J. 1972. Off road traction prediction of wheeled vehicles. ASAE Paper N° 72-619.