

Un productor del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires decide la compra de una sembradora de directa para grano grueso con la posibilidad de sembrar soja a 52,5 cm. Dispone en su parque de maquinaria de un tractor de diseño 2WD. La velocidad de trabajo recomendada debe estar comprendida entre los 7 y 8 km/h. En función de la información que dispone de la máquina sembradora y del tractor, deberá usted conformar un conjunto armónico, especificando la marcha de trabajo seleccionada, la eficiencia tractiva estimada y la capacidad de trabajo alcanzada.

**Datos:**

*Del tractor:*

Potencia máxima en el motor  $N_m = 76,06 \text{ kW}$  (102 CV) (motor con regulación mecánica)

Par motor nominal  $P_{mn} = 325,48 \text{ Nm}$  (33,19 mkg)

Par motor máximo  $P_{m\text{máx}} = 402 \text{ Nm}$  (40,99 mkg)

Peso total con lastres = 49980 N (5100 kg). Peso trasero = 34300 N (3500 kg)

Peso delantero = 15680 N (1600 kg)

Batalla = 2144 mm

Neumáticos motrices: 18,4 x 34 diámetro = 1537 mm. Neumáticos delanteros: 10 x 16 diámetro = 895 mm

Caja de velocidades

Marcha	rtt	Vt (km/h)
1º B	283,83	2,25
2º B	193,66	3,30
3º B	105,6	6,05
4º B	86,11	7,42
1º A	69,43	9,20
2º A	47,34	13,49
3º A	25,82	24,73
4º A	20,76	30,35
M B	205,98	3,06
M A	50,50	12,52

**Eficiencia de la transmisión total  $\eta_t = 0,9$**

*Datos del implemento:*

	Número de líneas		
	8	12	14
Ancho de trabajo m	4,2	6,3	7,35
Nº de líneas a 52,5 cm	8	12	14
Tren de siembra	Dosificadores de placa horizontal. Triple disco con cuchilla de corte de rastrojo turbo, abresurco doble disco plano, rueda limitadora de profundidad, rueda tapadora		
Esfuerzo de tracción demandado por líneas 200 kg			

Del suelo conoce el Índice de cono  $IC = 150 \text{ lb/pulg}^2 (1034,2 \text{ kPa})$ .

Esfuerzo de tracción demandado:

Para el cálculo de esfuerzo de tiro a la hora de armonizar un conjunto debemos considerar para las distintas alternativas el mayor número de líneas posibles; como se plantea la siembra de maíz y soja, el mayor número lo obtenemos a menor distanciamiento, es decir, cuando se siembra a 52,5 cm.

*DESARROLLO:*

Teniendo en cuenta que es una labor que demanda altos esfuerzos de tiro (suelo de alto IC, alta trafabilidad), la principal pérdida de potencia que podemos predecir y por lo tanto debemos solucionar es el patinamiento. Para estimarlo, se deberá calcular el coeficiente de tracción para cada caso, relacionando el esfuerzo de tracción demandado con el peso adherente alcanzado. Este último se calcula, con el peso estático con lastres que recae sobre el eje trasero (motriz) más el 25% de la tracción demandada (modelo predictivo de Zoz, F.M.1970) =  $Q_{adh1} = Q_{1c}/l + 25\% T$ .

Para la sembradora con 8 líneas de siembra, la componente horizontal del esfuerzo de tracción demandado ( $T_1=1600$  kg), por lo tanto su coeficiente de tracción ( $t_1$ ) correspondería a :

$$"t"_{1} = 1600 / 3900 = 0,41$$

Para 12 líneas: ( $T_2=2400$  kg)

$$"t"_{2} = 2400 / 4100 = 0,59$$

Estos primeros cálculos parecen indicar que el primer conjunto sería el más adecuado, dado que el coeficiente de tracción alcanzado es el más cercano al 0,4. Numerosos trabajos de investigación han inducido que, para este diseño constructivo y en condiciones medias de suelo, tirar aproximadamente el 40% del peso adherente, posibilita alcanzar una eficiencia tractiva global máxima ( $\eta_{TG}=0,6$ ) correspondiéndose con un patinamiento medio del orden de un 12 %.

Para determinar la marcha que debe usarse, es necesario saber la fuerza demandada por el conjunto y la velocidad de avance adecuada para la labor. En este problema vemos que hay un rango de velocidad óptima, por la cual se calcula en primer lugar la fuerza necesaria para el autotransporte (rodadura) del tractor para adicionársela a la tracción demandada y saber, de esta manera, la fuerza (F) demandada al eje.

El balance de fuerzas y/o de potencias se puede hacer en cualquier punto, barra de tiro, eje motriz o motor. En cada caso siempre se debe comparar la oferta y la demanda en el mismo punto.

Para calcular la resistencia al avance ó esfuerzo de rodadura R se usará la siguiente ecuación  $R = k Q_{adh}$

Donde  $k = 1,2/C_n + 0,04$

$C_n = IC \cdot b \cdot d / Q_{adh_{rueda}}$  (Modelo propuesto por Wismer y Luth, 1972)

Donde:

k= coeficiente de rodadura

Cn= Valor numérico de la rueda

b= ancho de la banda de rodamiento sin carga

d = Diámetro de la rueda

$Q_{adh_{rueda}} = Q_{adh_{eje}}/2$  peso adherente sobre una rueda

Cálculo de la resistencia al avance del tractor:

$$C_n = \frac{150 \text{ lb/pulg}^2 \times 18,4 \text{ pulg} \times 60,47 \text{ pulg}}{4290 \text{ lb}} = 39$$

k = 0,07

R = 276 kg

La fuerza total demandada en el eje vale entonces :

$$F_{dem} = T + R = 1600 \text{ kg} + 276 \text{ kg} = 1876 \text{ kg}$$

Por lo tanto se debe elegir una marcha que pueda tener una fuerza disponible en el eje mayor a 1868 kg y que brinde una velocidad teórica que descontado el patinamiento satisfaga la velocidad real de avance propuesta.

Se pueden probar diferentes marchas, por ejemplo la cuarta, que daría en principio, una velocidad teórica razonable para este tipo de labor. Para ello se calcula la oferta de fuerza disponible en esa marcha como:

$$F_{of4} = \frac{PM_n \times r_t \times \eta_t}{r} = 3349 \text{ kg}$$

Donde:

PM<sub>n</sub>= Par motor nominal

r<sub>t</sub>= relación de transmisión total según la marcha seleccionada

η<sub>t</sub> = eficiencia ó rendimiento de la transmisión

Puede visualizarse que la demanda de fuerza es muy inferior a la oferta por lo tanto el motor no se cargará lo suficiente como para entregar el par motor nominal y por ende la potencia máxima, condiciones necesarias para posibilitar alcanzar la mayor eficiencia tractiva.

Si se hacen los cálculos para la siguiente marcha:

$$F_{of1^{\circ}A} = \frac{PM_n \times r_{t1} \times \eta_{t1}}{r} = 2700 \text{ kg}$$

En esta marcha los valores de oferta son algo superiores a la demanda y el conjunto se estaría desplazando a una velocidad, considerado el patinamiento, acorde a la recomendada (8km/h). Por lo tanto la marcha que se seleccionará será la 1º A.

Puede calcularse el porcentaje de carga con que se termina trabajando en esta marcha.

Si PM<sub>m<sub>dem</sub></sub> = par motor demandado y P<sub>m<sub>eje</sub></sub>= par motor en el eje

$$PM_{m_{dem}} = P_{m_{eje}} / r_t \eta_t = 1876 \text{ kg} \times 0,77 \text{ m} / 69,43 \times 0,9 = 23,11 \text{ kgm.}$$

Conociendo que el  $PM_{\text{nominal}}$  vale 33,19 mkg se verifica que se está trabajando al 70% de dicho valor.

También se puede calcular la carga haciendo el cálculo en el eje como:

$$F_{\text{dem}} / F_{\text{of}} = 1876/2700 = 0,7$$

Una forma más rápida de calcular la marcha más aconsejable, es despejar la relación de transmisión a partir de considerar la demanda de fuerza en el eje y el par motor en el motor que se pretende alcanzar, en este caso el par motor nominal. Así se calcula lo que se conoce como relación de transmisión de corte y vale:

$$rtc = \frac{F_{\text{dem}} r_1}{P_{\text{mn}} \eta t} = 48,23$$

A partir de este valor se selecciona la marcha cuya rtt sea inmediatamente superior para asegurarse que la carga demandada no hará que el motor sobrepase el par nominal y entre en la zona de sobrecarga estable. Para el presente caso, la marcha a elegir que daría la fuerza necesaria tiene una  $r_t$  69,43y corresponde a la 1ª A.

Se está trabando a un 70% de la potencia máxima, carga que podría considerarse recomendable para determinadas labores en donde el esfuerzo de tracción presente grandes variaciones, por ejemplo labores de descompactación de suelos. Para el presente caso, una labor de siembra no presenta importantes cambios en la demanda de tracción y por ende sería deseable cargar el motor hasta un valor más cercano al par motor nominal. En igual sentido, no se deben descuidar otros aspectos relevantes como son la reserva de par motor y el escalonamiento de marchas del tractor.

El cálculo del porcentaje de reserva de par de este motor vale:

$$\% \text{ Res Par} = \frac{40,99 - 33,19}{33,19} = 23 \%$$

Puede concluirse que es un motor con una reserva de par intermedia, pudiéndose hablar de un motor elástico.

Por último, se debe calcular la eficiencia tractiva global (cociente entre la potencia demandada a la barra de tiro y la potencia en el motor)

$$\eta_{\text{TG}} = N_b / N_m$$

$$N_b = T_{\text{dem}} \times V_r = 1600 \text{ kg} \times V_t (1-s) = \frac{1600 \text{ kg} \times (2,55\text{m/s} \times 0,88)}{75 \text{ kgm/sC.V.}} = 48\text{C.V.}$$

$$\eta_{\text{TG}} = 0,47$$

En función al resultado de rendimiento global alcanzado, se puede observar que se está muy por debajo del 0,6 óptimo para este tipo de diseño constructivo. Se puede inferir que intervienen varias causas que generan este bajo rendimiento. En principio, al contar los tractores de 2RM con una baja relación peso /potencia, para alcanzar la máxima eficiencia tractiva se deben desplazar a altas velocidades. En este caso en particular

(50kg/CV) la velocidad óptima de trabajo estará cerca de los 11 km/h. Por lo tanto, para mejorar la eficiencia de este tractor, la caja de velocidades debiera contar con una marcha intermedia entre la 1ªA y la 2ª A que permitiría aumentar la carga demandada y tener una velocidad real mayor. La baja relación peso /potencia ha determinado que sea imposible que en las velocidades más comunes de las labores agrícolas (6 a 9 km/h) se pueda alcanzar una óptima eficiencia tractiva. El adecuado escalonamiento de marchas debe permitir seleccionar aquella que posibilite cargar al motor hasta que el regulador inyecte el máximo volumen de gas-oil.

Una opción a esta situación, y si la labor no demanda la potencia máxima, podría ser elegir una marcha más alta y desacelerar el motor hasta alcanzar la velocidad deseada, de manera de conseguir cargarlo más conjuntamente estar trabajando en una zona de menor consumo de combustible.

Si se realizan los cálculos para el implemento de mayor esfuerzo de tracción, la primera consideración que aparece es el incremento del patinamiento producto del mayor esfuerzo demandado. El patinamiento, entre otras consecuencias recordemos que incrementa el consumo de combustible, disminuye la capacidad de trabajo, aumenta el desgaste de las cubiertas y empeora la compactación superficial del suelo.

Para el caso de la sembradora de 12 líneas, se pretende tirar casi el 60% del peso adherente con que se cuenta. Numerosos trabajos de investigación empíricos, nos demuestran que la predicción del patinamiento es difícil porque se ha salido de la zona donde existe una relación lineal entre carga demandada y patinamiento esperable. Se entra en una zona donde pequeñas variaciones del esfuerzo de tracción, implican significativos incrementos de patinamiento, la pérdida de velocidad crece demasiado, desde un patinaje del 30% hasta casi la inmovilización del tractor. Estamos frente a la situación donde la fuerza bruta que pretenden hacer las ruedas motrices alcanza o supera la oferta calculada a partir de la ecuación de Coulomb. En esta situación nunca es aconsejable trabajar y ese conjunto no es viable.

Por último se hará el cálculo de la capacidad de trabajo alcanzado:

$Ct_{real} = A \times Vr \times \text{eficiencia operativa}$

Para la  $Ct$  del implemento de 8 líneas:

$$Ct = a \times Vr = 4,2 \text{ m} \times 2,24 \text{ m/s} \times 3600 \text{ s/h} / 10\,000 \text{ m}^2/\text{há} \times 0,7 = 2,4 \text{ ha/h}$$