

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA  
CÁTEDRA DE MAQUINARIA PARA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Prof. Maiby Y. Pérez D

ASIGNACIÓN PRÁCTICA DINAMICA DE LA TRACCIÓN DE LOS TRACTORES AGRÍCOLAS

En el problemario de TRACCIÓN DE LOS TRACTORES AGRÍCOLAS (anexo), los problemas sin resolver (2, 4, 5 y 7) deberán ser resueltos por los estudiantes de Maquinaria para la Producción para su entrega el día **2 de Noviembre de 2011**.

1. Un tractor **Massey Ferguson MF 293** de tracción sencilla, presenta las siguientes características:

Potencia motor (N): 63 kW - 86 CV

Peso total: 3688 kg

Batalla: 2260 mm

Vía (trocha): 1560/2165 mm

Velocidades teóricas en:  $\left\{ \begin{array}{l} 2da: 3,42 \text{ Km/h} \\ 3ra: 4,05 \text{ Km/h} \\ 4ta: 5,03 \text{ Km/h} \end{array} \right.$

Eficiencia de transmisión:  $\eta_t = 80\%$

Ø Rueda motriz ( $r_1$ ): 1500 mm

Ø Rueda direccional ( $r_2$ ): 700 mm

Momento Resistente a la Rodadura Rueda Motriz ( $R_{1K}$ ): 1000 Nm

Momento Resistente a la Rodadura Rueda Direccional ( $R_{2K}$ ): 200 Nm

Hallar:

- 1.- Fuerza máxima de tracción (fuerza tangencial máxima) en las marchas indicadas
- 2.- Par motor en las ruedas motrices en la segunda velocidad (2<sup>da</sup>)

Solución:

1.- FUERZA MÁXIMA DE TRACCIÓN EN LAS MARCHAS INDICADAS (Q)

- Potencia en el eje de la rueda (N1):

$$N1 = N * \eta_t \Rightarrow 63 \text{ kW} * 0,8 = 50,4 \text{ kW}$$

- Cálculo de la Fuerza tangencial máxima a las distintas marchas (Ft):

$$F_{t1} = \frac{50,4 \text{ kW} * 368}{3,42 \text{ km/h}} = 5423,15 \text{ kgf} \qquad 2da = 3,42 \text{ Km/h}$$

$$F_{t2} = \frac{50,4 \text{ kW} * 368}{4,05 \text{ km/h}} = 4579,55 \text{ kgf} \qquad 3ra = 4,05 \text{ Km/h}$$

$$F_{t3} = \frac{50,4 \text{ kW} * 368}{5,03 \text{ km/h}} = 3687,31 \text{ kgf} \qquad 4ta = 5,03 \text{ Km/h}$$

● Cálculo de la resistencia a la rodadura en ambas ruedas del tractor (kgf):

$$R_k = M_k / r \text{ (radio de la rueda trasera/delantera)}$$

$$R_{1k} = \frac{1000 \text{ N-m}}{0,75 \text{ m}} = 1333,3 \text{ N}$$

$$R_{2k} = \frac{200 \text{ N-m}}{0,35 \text{ m}} = 571,42 \text{ N}$$

$$R_k = R_{k1} + R_{k2} = \frac{1904,75 \text{ N}}{9,8 \text{ N/kgf}} = 194,36 \text{ kgf}$$

$$Q \text{ 2da marcha} = 5423,15 \text{ kgf} - 194,36 \text{ kgf} = 5228,79 \text{ kgf}$$

$$Q \text{ 3ra marcha} = 4579,55 \text{ kgf} - 194,36 \text{ kgf} = 4385,19 \text{ kgf}$$

$$Q \text{ 4ta marcha} = 3687,31 \text{ kgf} - 194,36 \text{ kgf} = 3492,95 \text{ kgf}$$

2.- CÁLCULO DEL PAR MOTOR EN LA RUEDA MOTRIZ A 2<sup>da</sup> MARCHA

$$\text{Par Motor: } M = F_{t1} * r_1$$

$$M = 4579,55 \text{ kgf} * 0,75 \text{ m} = 3434,66 \text{ kgf-m}$$

2. El tractor **Fiat 780** tiene las siguientes características:

Potencia motor: 78 CV

Peso total: 24400 N

Batalla: 2260 mm

Via (trocha): 1,5 m

Velocidades teóricas en las marchas:  $\left\{ \begin{array}{l} 1ra = 2,5 \text{ Km/h} \\ 2da = 3,1 \text{ Km/h} \\ 3da = 5,4 \text{ Km/h} \end{array} \right.$

$\eta$ : 80%

Ø Rueda motriz: 1420 mm

Ø Rueda direccional: 700 mm

Momento Resistente a la rodadura Rueda Motriz: 850 Nm

Momento Resistente a la Rodadura Rueda Direccional: 180 Nm

Hallar:

- 1.- Fuerza máxima de tracción en las marchas indicadas
- 2.- Par motor en las ruedas motrices en la primera velocidad (no se toma en cuenta posible deslizamiento).

3. De un tractor **John Deere 6100** tracción sencilla con una potencia de 84 kW y operando a 2000 rpm, ejerciendo tiro durante una labor de rastreo se conoce:

Peso implemento + resistencia del suelo al implemento: 60.000 N

Batalla (L): 2260 mm

Ø ruedas motrices: 1400 mm

Ø ruedas direccionales: 750 mm

Momento resistente rodadura (Mk)  $\left\{ \begin{array}{l} \text{ruedas motrices: } 800 \text{ N-m} \\ \text{Ruedas direccionales: } 200 \text{ N-m} \end{array} \right.$

Coordenadas CDG  $\begin{cases} a_g: 1,75 \text{ m} \\ H_g: 1,1 \text{ m} \end{cases}$   
 Altura del punto de enganche (hq): 400mm  
 Peso del tractor: 3000 kg

Velocidades teóricas en las marchas  $\begin{cases} 1ra: 2,4 \text{ km/h} \\ 2da: 4,3 \text{ km/h} \\ 3ra: 5,1 \text{ km/h} \end{cases}$

$\eta_t: 87\%$   
 $\delta: 10\%$

Se pide:

- Par motor disponible en las ruedas motrices para todas las marchas (kgf-m)
- Par motor necesario en las ruedas motrices (kgf-m).
- Sistema de fuerzas de reacción del terreno sobre las ruedas (ejerciendo tiro).
- Transferencia de peso de las ruedas conducidas a las motrices para dicha fuerza de tracción.
- Relación de transmisión en las condiciones de operación (ejerciendo tiro)
- Velocidad teórica y velocidad real del tractor

a.- **Par motor disponible en las ruedas motrices para todas las marchas** (kgf-m).

$$N_1 = 84 \text{ kW} * 0,87 = 73,08 \text{ kW}$$

$$M = F_{t1} * r_1$$

$$F_{t1} = \frac{N_1 * 368}{V_t} = \frac{73,08 \text{ kW} * 368}{2,4 \text{ km/h}} = 112065,6 \text{ kgf}$$

Sigue  $F_{t2}$  y  $F_{t3}$  (marcha 2da y 3era)

$$M_1 = 112065,6 \text{ kgf} * 0,7 \text{ m} = 4378 \text{ kgf-m}$$

$$M_2 = 6254,3 \text{ kgf} * 0,7 \text{ m} = 4378 \text{ kgf-m}$$

$$M_3 = 5273,2 \text{ kgf} * 0,7 \text{ m} = 3691 \text{ kgf-m}$$

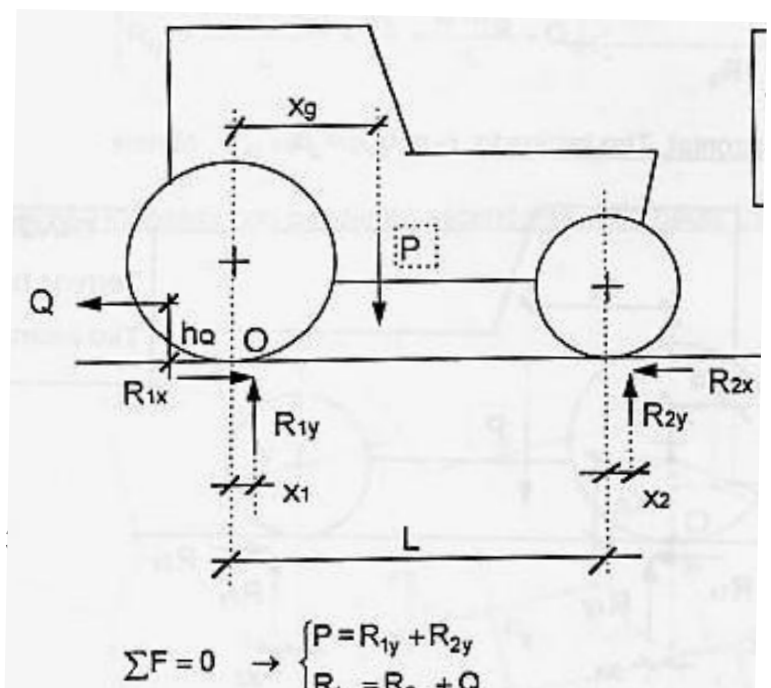
b.- **Par motor necesario en las ruedas motrices** (kgf-m).

$$F_t = Q + R_k > F_t = 6122,44 \text{ kgf} + 171,03 \text{ kgf} = 6293,47 \text{ kgf}$$

$$M = F_{t1} * r_1 = 6293,47 \text{ kgf} * 0,7 \text{ m} = 4405,29 \text{ kgf-m}$$

b.- **Sistemas de fuerzas de reacción del terreno sobre las ruedas**

$$P = R_{1y} + R_{2y} \quad \text{Equilibrio de fuerzas en eje Y}$$



$$R_{1x} = R_{2x} + Q \quad \text{Equilibrio de fuerzas en eje X}$$

### **Equilibrio de fuerzas en eje X**

$$R_{1x} = R_{2x} + Q \quad \text{Equilibrio de fuerzas en eje X}$$

Se puede considerar que:  $R_{2x} = R_{2k}$ , entonces:

$$R_{1x} = R_{2k} + Q$$

$$R_{2k} = \frac{200 \text{ Nm}}{0,375 \text{ m}} = 533,3 \text{ N} \text{ ó } 54,42 \text{ kgf}$$

Para calcular  $Q = 60.000 \text{ N} = 6122,44 \text{ kgf}$

$$R_{1x} = 54,42 \text{ kgf} + 6122,44 \text{ kgf} = 6176,86 \text{ kgf.}$$

$$R_{1x} = 6176,86 \text{ kgf.}$$

### **Equilibrio de fuerzas en eje Y**

$$P = R_{1y} + R_{2y} \quad \text{Equilibrio de fuerzas en eje Y}$$

$$R_{1y} = \frac{P(L - a_g) + M_k + Q \cdot h_q}{L}$$

$$M_k = M_{1k} + M_{2k} = 800 \text{ N-m} + 200 \text{ N-m}$$

$$M_k = 1000 \text{ N-m} \text{ ó } 102,04 \text{ kgf-m}$$

$$R_{1y} = \frac{3000 \text{ kg} (2,26 \text{ m} - 1,75 \text{ m}) + 102,04 \text{ kgf-m} + (6122,44 \text{ kgf} \cdot 0,4 \text{ m})}{2,26 \text{ m}}$$

$$R_{1y} = 1805,69 \text{ kgf}$$

$$R_{2y} = \frac{P \cdot a_g - M_k - Q \cdot h_q}{L}$$

$$R_{2y} = \frac{(3000 \text{ kg} \cdot 1,75 \text{ m}) - 102,04 \text{ Kgf-m} + (6122,44 \text{ kgf} \cdot 0,4 \text{ m})}{2,26 \text{ m}}$$

$$R_{2y} = 1194,31 \text{ kgf}$$

$$P = 1792,48 \text{ kgf} + 1194,31 \text{ kgf}$$

$$P = 3000 \text{ kgf}$$

### **c.- Transferencia de peso**

$$AP = M_k + Q \cdot h_q = 102,04 \text{ Kgf-m} + (6122,44 \text{ kgf} \cdot 0,4 \text{ m}) = 1128,76 \text{ kgf}$$

L

2,26 m

d.- **Relación de transmisión (RT) y Velocidad teórica (Vt):**

$$R_{1k} = \frac{800 \text{ Nm}}{0,7 \text{ m}} = 1142,85 \text{ N}$$

$$R_{2k} = \frac{200 \text{ Nm}}{0,375 \text{ m}} = 533,3 \text{ N ó } 54,42 \text{ kgf}$$

$$R_k = R_{1k} + R_{2k} = \frac{1676,15 \text{ N}}{9,8 \text{ N/kgf}} = 171,03 \text{ kgf}$$

$$F_t = Q + R_k > F_t = 6122,44 \text{ kgf} + 171,03 \text{ kgf} = 6293,47 \text{ kgf}$$

$$F_t = \frac{N_1 * 368}{V_t}$$

$$N_1 = 84 \text{ kW} * 0,87 = 73,08 \text{ kW}$$

$$\text{Entonces } V_t = \frac{73,08 \text{ kW} * 368}{6293,47 \text{ kgf}} = 4,27 \text{ km/h} \quad \text{trabajando en } 2^{\text{da}} \text{ marcha}$$

Despejando

$$V_t = \frac{RPM_{motor} * 2\pi * r * 3,6}{RT * 60} \quad \text{Velocidad teórica}$$

$$RT = \frac{2000 \text{ RPM} * 2 * 3,14 * 0,7 \text{ m} * 3,6}{4,27 \text{ km/h} * 60} = 124:1 \quad \text{Relación de transmisión}$$

E.- **Velocidad de avance (VQ)**

$$VQ = V_t * (1 - \delta)$$

$$VQ = 4,27 \text{ km/h} (1 - 0,1) = 3,84 \text{ km/h}$$

4. Con un tractor en el que se le conoce:

Peso del tractor + equipo: 24400 N

Batalla (L): 2260 mm

Ø ruedas motrices: 1420 mm

Ø ruedas direccionales: 700 mm

$$\text{Momento resistente rodadura: } \begin{cases} \text{Ruedas motrices} & 850 \text{ Nm} \\ \text{Ruedas direccionales} & 180 \text{ Nm} \end{cases}$$

Fuerza de tracción horizontal (Q): 35000 N

$$\text{Coordenadas CDG } \begin{cases} \text{ag: } 850 \text{ mm} \\ \text{Hg: } 880 \text{ mm} \end{cases}$$

Altura del punto de enganche (hq): 400mm  
 $K_r=0,05$

Se pide:

- 1.- Par motor necesario en las ruedas motrices.
- 2.- Sistema de fuerzas de reacción del terreno sobre las ruedas.
- 3.- Transferencia de peso de las ruedas conducidas a las motrices para dicha fuerza de tracción.

5. Supongamos un tractor con las siguientes características:

Potencia del motor: 50 HP  
Peso: 2500 Kg.  
RPM nominales motor: 2000  
 $\eta_t : 85\%$

Velocidades de avance teoricas a 2000 rpm:

1ra marcha	3,7 Km/h
2da marcha	5,0 Km/h
3ra marcha	7,5 Km/h
4ta marcha	11,6 Km/h

Se pretende realizar con el mencionado tractor una labor de aradura con un arado de 1,2 m (área de trabajo por disco) siendo la profundidad de labor de 25 cm y la resistencia unitaria del terreno de 60 Kg/dm<sup>2</sup>. El coeficiente de resistencia a la rodadura es de 0,1 y se produce en la labor un deslizamiento del 15%. Se considera una eficiencia de transmisión del 75% \*.

Se pide:

- 1.- Cual es la marcha indicada para realizar la labor?
- 2.- Potencia a la barra desarrollada por el tractor (NB).

6. Supongamos un tractor tracción simple (2 RM) con las siguientes características:

Potencia del motor: 50 kW  
RPM nominales motor: 2000  
Relación de transmisión (RT): 100; para marchas intermedias para aradura  
 $\emptyset$  ruedas motrices: 1,5 m  
Para motor en la rueda (M): 25 daN  
 $\eta_t : 0,9$   
 $\mu:0,52$  (tierra labrada húmeda)  
 $\delta: 20\%$   
Peso tractor: 4500 kg  
 $k_R=0,05$   
Se pide calcular:

- 1) Peso adherente del tractor (Carga vertical sobre el eje trasero + transferencia de peso)
- 2) Peso en el eje delantero y eje trasero del tractor en condiciones dinámicas (ejerciendo tracción : 85% peso total en el eje trasero y 15% en el eje delantero)
- 3) Se requiere lastrar el tractor (adicionar carga vertical) para obtener la capacidad máxima de tracción. Calcular el lastre a adicionar
- 4) Potencia a la barra de tiro del tractor (NB) con lastre.

Solución ejercicio 7:

1)  $R_{ly}$  (**Peso adherente del tractor en kgf**)

$$F_t = \mu * R_{ly}$$

Despejando:

$$R_{ly} = \frac{F_t}{\mu}$$

Para despejar  $F_t$  (Fuerza tangencial máxima o capacidad máxima de tracción en kW)

$$N1 = \frac{F_t * V_t}{368}$$

$$F_t = \frac{368 * N1}{V_t}$$

Para despejar  $V_t$  (Velocidad teórica del tractor en km/h)

$$V_t = \frac{RPM_{motor} * 2\pi * r * 3,6}{RT * 60}$$

$$V_t = \frac{2000rpm * 2\pi * 0,75 * 3,6}{100 * 60}$$

$V_t = 5,65$  km/h (marcha intermedia para aradura).

Sustituyendo:

$$F_t = \frac{368 * 50kW}{5,65 \text{ km/h}}$$

$$F_t = 3256 \text{ kgf}$$

Entonces el peso adherente es:

$$R_{ly} = \frac{3256 \text{ Kgf}}{0,52}$$

$$R_{ly} = 6262,76 \text{ kgf}$$

2) **Pesos en los ejes delantero y eje trasero del tractor en condiciones dinámicas:**

Asumiendo que en un tractor de 2 ruedas motrices (2RM) se encuentra que:

Peso que soporta la rueda trasera: 85%,

Peso que soporta la rueda delantera: 15%, entonces:

**Peso eje trasero (peso en condiciones dinámicas) ( $R_{ly}$ ) = 6262,76 kgf**

Aplicando una regla de tres tenemos que:

$$6262,64 \text{ Kgf} \text{-----} 85\%$$

X -----100%

**Peso total del tractor que representa un 100% es: 7367,95 kgf**

**Peso del eje delantero en condiciones dinámicas ( $R_{2y}$ )**

$$R_{2y} = (7367,95 - 6262,75) \text{ kgf}$$

$$R_{2y} = 1105,19 \text{ Kg}$$

**3) Es necesario lastrar el tractor? Cuanto en el eje delantero y trasero**

**Es necesario lastrar: 7367,95 kgf – 4500 kgf**

$$= 2867,95 \text{ kgf}$$

Adición de masa o lastre = 2867,95 kgf (70% eje trasero y 30% eje delantero)

**4) Potencia a la barra de tiro (NB en kW)**

$$NB \text{ (kW)} = \frac{Q \cdot VQ}{368}$$

$$Q = Ft - Rk$$

Donde:  $Rk = k_r \cdot P = 0,05 \cdot 7367,95 \text{ kgf}$

$$= 368 \text{ kgf}$$

$$Q = Ft - Rk$$

$$VQ = Vt (1 - \delta) = 5,65 \text{ Km/hr} \cdot (1 - 0,20)$$

$$= 4,52 \text{ km/hr}$$

$$Q = 3256 \text{ kgf} - 368 \text{ kgf}$$

$$= 2888 \text{ kgf}$$

**Finalmente:**

$$NB \text{ (kW)} = \frac{Q \cdot VQ}{368}$$

$$NB \text{ (kW)} = \frac{2888 \text{ kgf} \cdot 4,52 \text{ km/h}}{368}$$

$$NB \text{ (kW)} = 35,47 \text{ kW}$$



7.- Calcular el esfuerzo máximo de tracción (T) y el coeficiente de tracción (X) de un tractor de cadenas de 3400 Kg de peso cuyas huellas tienen 35 cm. de ancha por 165 cm. de largo. Al medir los parámetros del suelo se obtuvieron los siguientes valores:

Coeficiente de cohesión (c) = 21 kN/m<sup>2</sup>  
 Angulo de rozamiento del suelo,  $\alpha = 26^\circ$

8. Supongamos un tractor tracción simple (2 RM) con las siguientes características:

Potencia del motor: 65 kW  
 RPM nominales motor: 2100  
 Relación de transmisión (RT):150; MARCHAS INTERMEDIAS PARA ARADURA  
 $\phi$  ruedas motrices: 1,5 m  
 Par motor: 25 daN-m  
 $\eta_t$  : 0,95  
 $\mu$ :0,62 (barbecho seco)  
 k: 0,12  
 Peso tractor: 5000 kg  
 Q: 2100 kg (tractor ejerciendo tiro)  
 Se pide calcular:

- 5) Peso adherente del tractor (Carga vertical sobre el eje trasero + transferencia de peso) utilizando la fuerza tangencial máxima. Se requiere lastrar el tractor en esas condiciones ¿Cuánto?
- 6) Peso adherente del tractor (Carga vertical sobre el eje trasero + transferencia de peso) bajo las condiciones de carga (Q=2100 kg). Se requiere lastrar el tractor en esas condiciones ¿Cuánto?
- 7) Calcule VQ.
- 8) Determine en el Cuadro: Q vs  $\delta$  (anexo). Señale si es conveniente trabajar el tractor bajo esa carga y marcha seleccionada en la caja de cambio. Cuáles son las consecuencias en el suelo sabiendo que  $\delta$  no debe exceder el 14%.

Cuadro: Q vs  $\delta$  (Tracción – Deslizamiento)

%P	Q(N)	Ft(N)	$\delta$ (%)
10	12500	18380	5
20	15250	21130	10
30	20580	26460	20
40	32115	37995	25
43	35250	41130	40
46	36210	42090	60

Donde:  $P$ = peso del tractor,  $Q$ = fuerza de tiro;  $F_t$ = fuerza tangencial bajo esa carga;  
 $\delta$ = deslizamiento