RELACIÓN RUEDA-SUELO

TRÁNSITO FUERA DE RUTA O LOCOMOCIÓN EXTRAVIARIA

Prof. Laura Draghi

2018

OBJETIVOS

- VISUALIZAR LOS ALCANCES DE LA TERRAMECÁNICA
- DIMENSIONAR LA IMPORTANCIA DE CONOCER SUS PRINCIPIOS Y LOGROS, EN LA LABOR PROFESIONAL DEL INGENEIRO AGRÓNOMO

◇CONTENIDOS

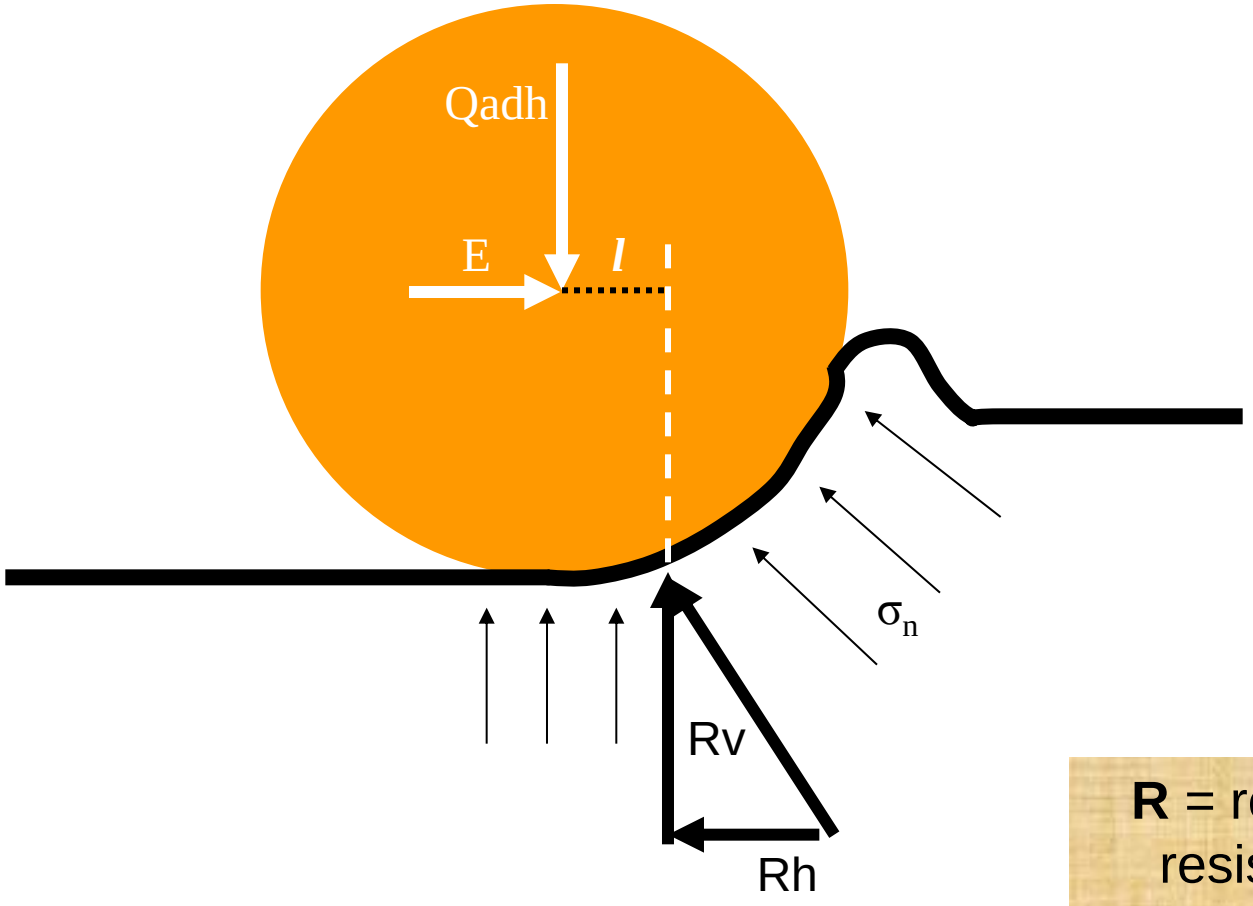
- *DEFINICION DEL PROBLEMA*
- *ANTECEDENTES*
- *OBJETIVOS DE LA DISCIPLINA*
- *PROBLEMATICAS ACTUALES SIN RESOLVER*

- TRABAJOS DE TRACCIÓN
- GRANDES DISTANCIAS
- BARRA DE TIRO

ηT = Nb/Neje

Tractores 4RM en potencias de 100 CV son comunes en Europa

Fuerzas intervinientes Rueda conducida / Suelo



$\Sigma Fy = 0 = Qadh = Rv$

$\Sigma Fx = 0 = E = Rh$

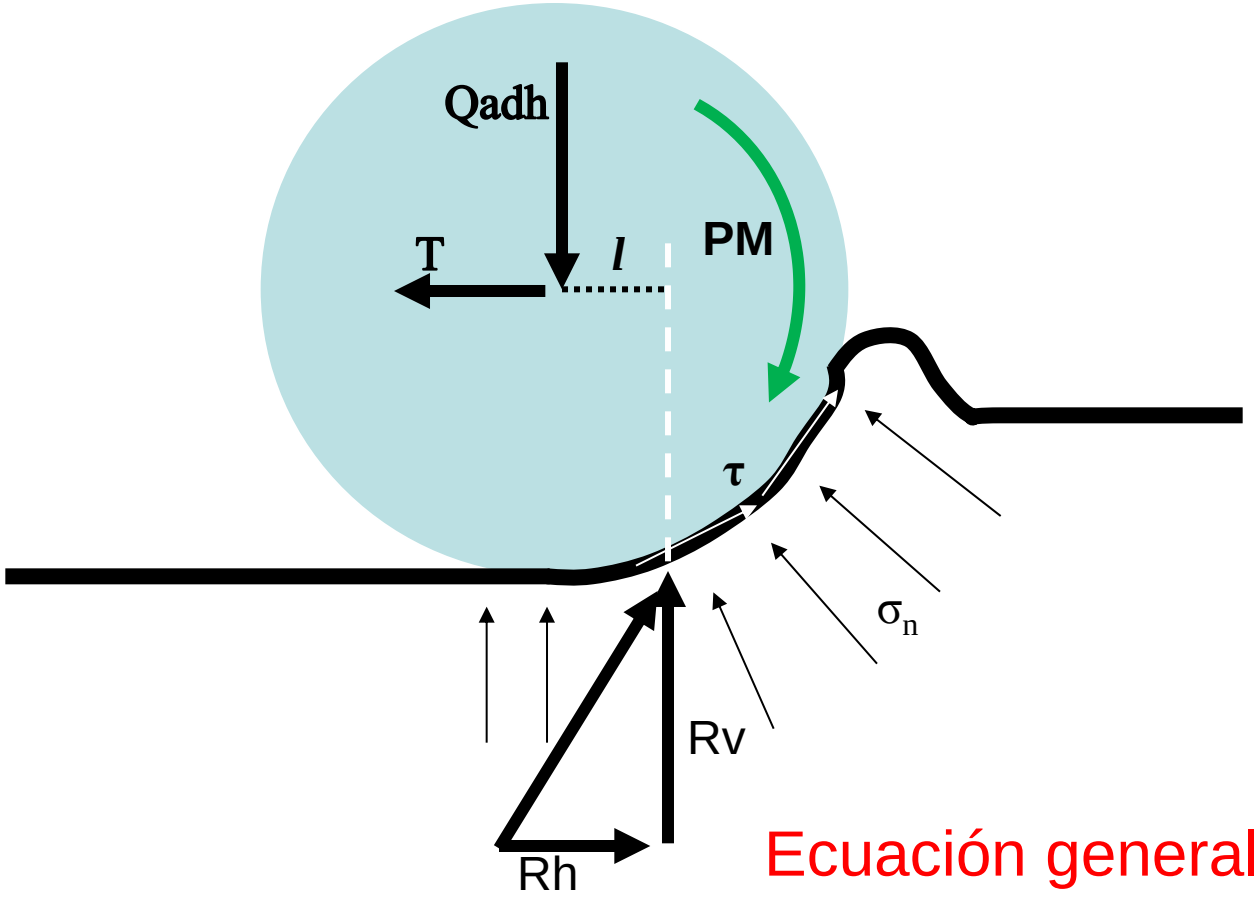
$\Sigma M = 0 = Rh.r - Rv.\ l$

$Rh = E = Qadh\ .\ l\ /\ r = R$

$$R = Q_{adh}.\ k$$

R = resistencia al avance ó resistencia a la rodadura

Fuerzas intervinientes en la relación Rueda motriz / Suelo



$\Sigma Fy = 0 = Qadh = Rv$

$\Sigma Fx = 0 = T = Rh$

$\Sigma M = 0 = PM - Rh.r - Rv.\ l$

$F.r - T.r - Qadh.l = 0$

$F = T + Qadh.k$

$Qadh\ .\ k = Rodadura\ (R)$

Ecuación general de la Terramecánica

$$F = T + R$$

© La Ferme des Acacias - Clotilde R. - 2005 - http://www.lesacacias.net

Mucha masa y orugas de goma

J. Deere 9430 T

Nm 425 CV

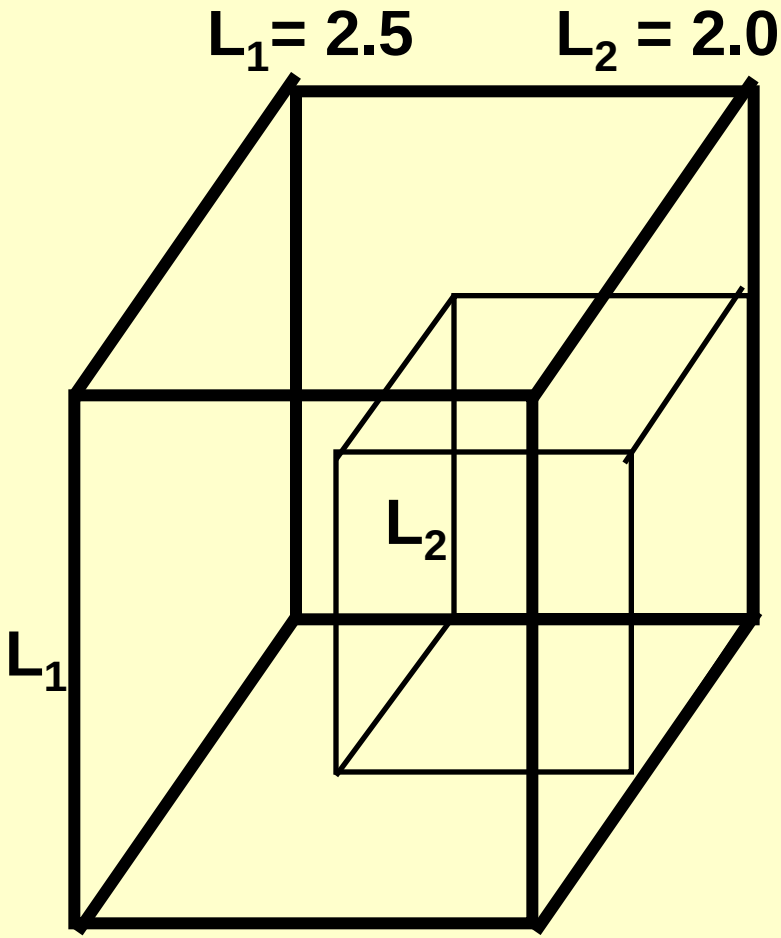
Masa total: 20 t

MT 800 B Nm: 400 CV

Masa: 20,3 t

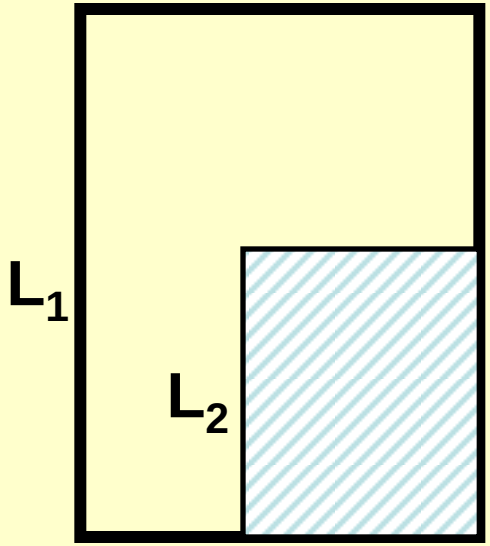
Relación entre el volumen y la superficie de apoyo

Relación: volumen / superficie de apoyo



Relación $V_1 \div V_2 = 15.6 \div 8 = 1.95$

Relación $S_1 \div S_2 = 6.2 \div 4 = 1.56$



Volumen = $L^3 \approx$ Masa $\approx$ Potencia

Superficie = L^2

Ingeniería civil ≠ Ingeniería Agrícola

Mecánica de Suelos

Locomoción Extraviaria =

Relación rueda-suelo

Qué actores principales están involucrados?

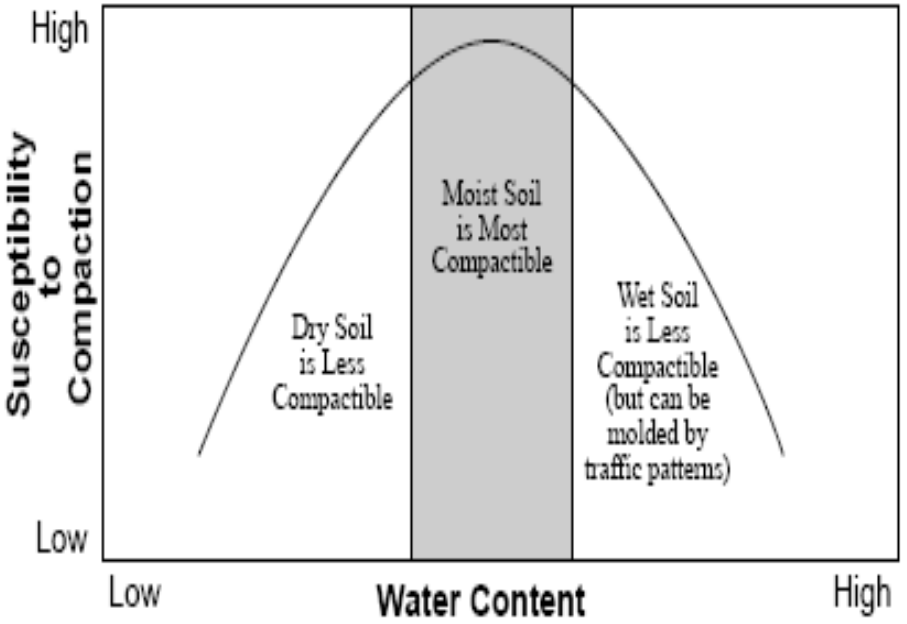
- **Vehículo + Suelo+ cultivo**

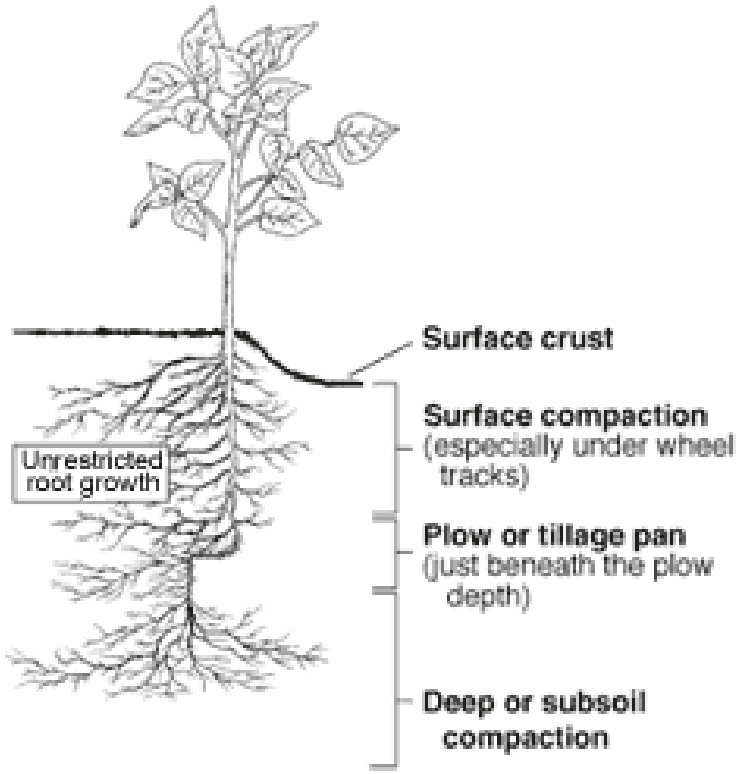
Motor de tracción

Sustrato reacciones

Producción sostenible

Predecir las consecuencias del tráfico sobre otros aspectos que inciden en la producción a mediano y largo plazo


High
Susceptibility to Compaction
Low
Moist Soil is Most Compactible
Dry Soil is Less Compactible
Wet Soil is Less Compactible (but can be molded by traffic patterns)
Low
Water Content
High


Surface crust
Surface compaction
(especially under wheel tracks)
Unrestricted root growth
Plow or tillage pan
(just beneath the plow depth)
Deep or subsoil compaction

Tráfico agrícola

- 1.- Traslado sobre un sustrato trifásico, **siempre deformable**, no homogéneo, con propiedades variables en el tiempo y en el espacio.
- 2.- Aplicación de cargas en movimiento, con velocidades de desplazamiento lentas
- 3.- **Oportunidad de labor acotada** para adecuarse al ciclo biológico de los cultivos

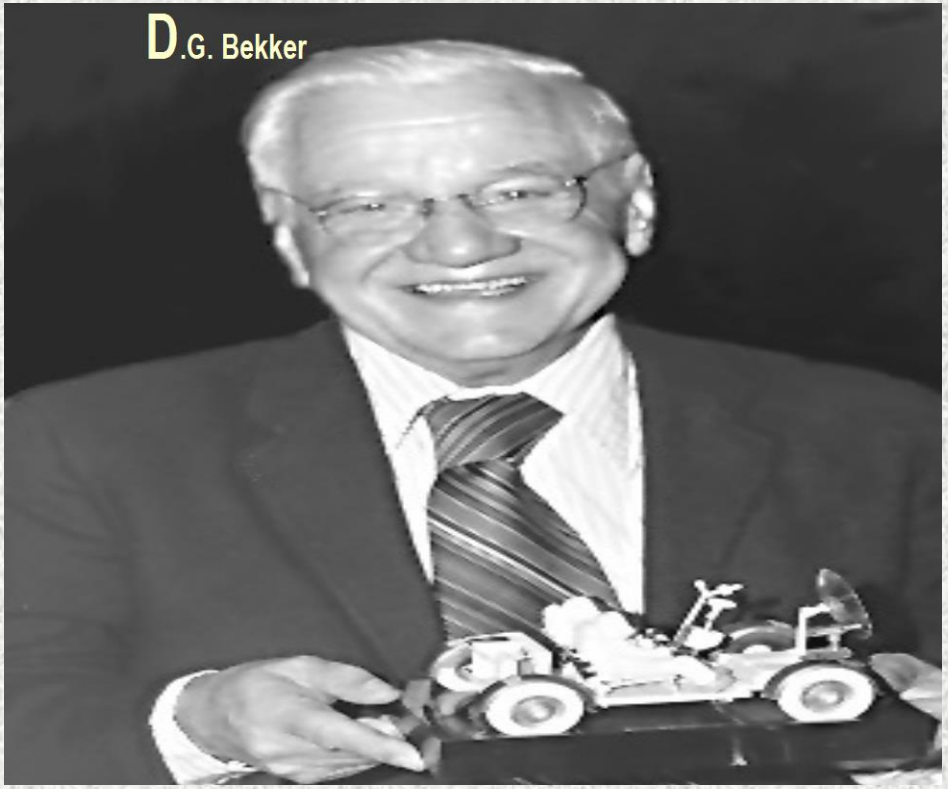
Otras características

- 4.- Aplicación de **altas cargas normales**, con el consiguiente peligro de sobrepasar la capacidad portante del suelo

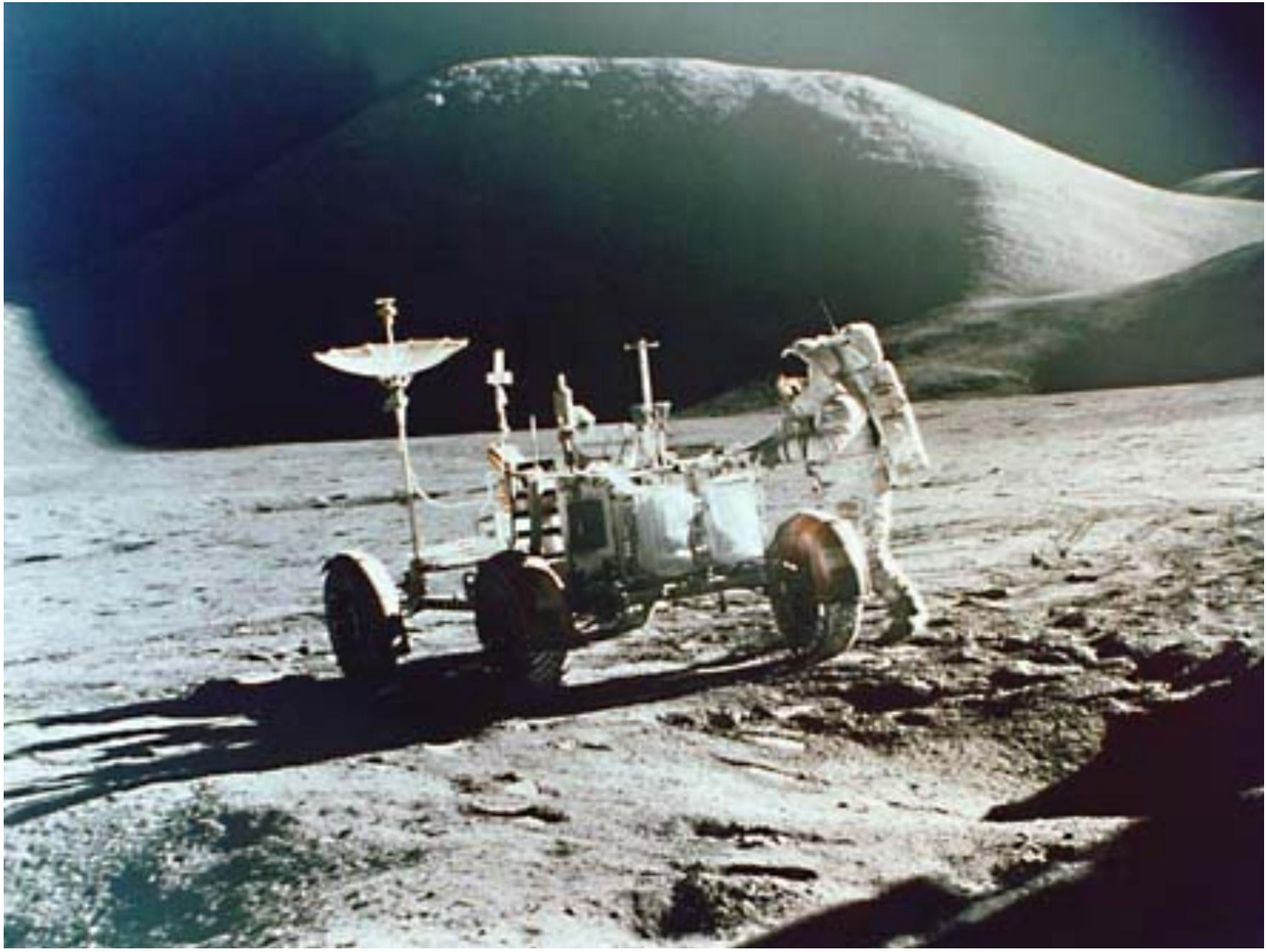
- 5.- Aplicación de **elevados esfuerzos tangenciales,** los cuales deben ser inferiores a las tensiones máximas que soporte el suelo para evitar deformaciones que conduzcan a patinamientos excesivos de los vehículos.

- 6.- Respeto por las condiciones óptimas necesarias para el desarrollo radicular, evitar consecuencias desfavorables para el crecimiento posterior de los cultivos.

BEKKER 1905-1989 "Creador" de la Terramecánica

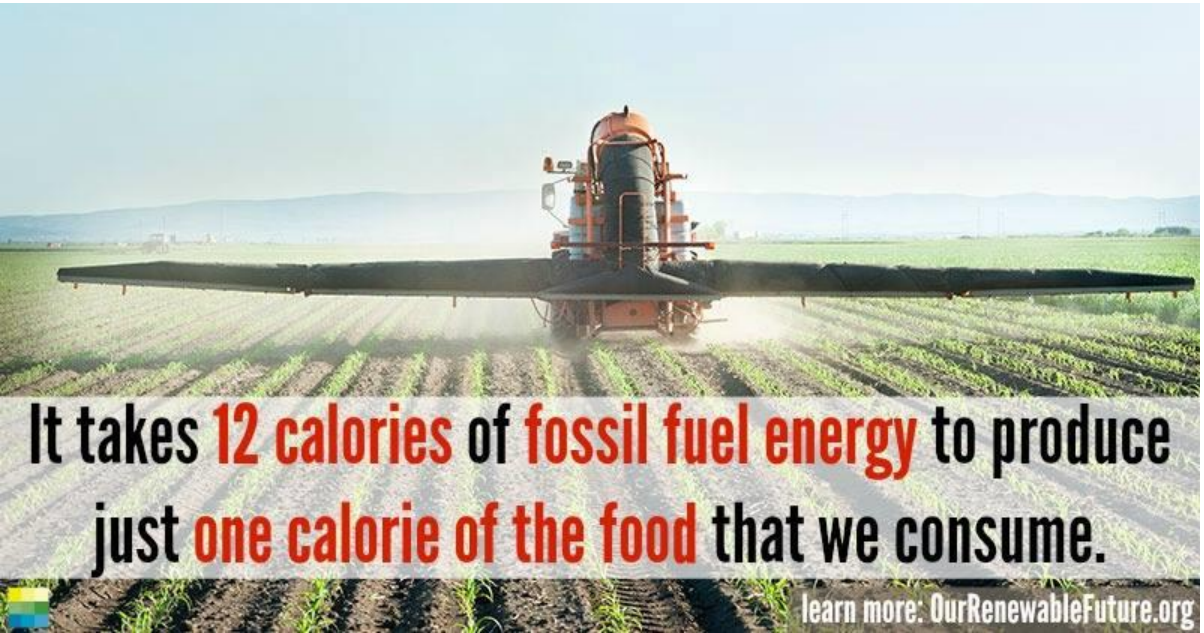


Theory of Land Locomotion(1956)
Off-the-Road Locomotion (1960)
Introduction to Terrain Vehicle Systems(1969)



CRECIMIENTO de la disciplina

- MECANIZACIÓN TOTAL DE LAS LABORES
- INCORPORACION DE NUEVAS TIERRAS MARGINALES (convive con la preocupación de la degradación de las tierras cultivadas)
- BUSQUEDA DE ALTAS CAPACIDADES DE TRABAJO
- PREOCUPACION POR EL PRECIO DE LOS COMBUSTIBLES
- DEGRADACIÓN DEL SUELO Y LA ATMOSFERA


It takes 12 calories of fossil fuel energy to produce just one calorie of the food that we consume.
learn more: OurRenewableFuture.org

OBJETIVOS DE LA LOCOMOCIÓN EXTRAVIAL

- **1.- Encontrar los principales aspectos relacionados con la performance de los vehículos** para propender al desarrollo racional de los diseños**.**

- 2.- Caracterizar y cuantificar los principales parámetros que expliquen el **comportamiento mecánico del terreno**

- 3.- **Evaluar metodologías de ensayo a campo** de los vehículos y máquinas ya diseñadas para cuantificar sus prestaciones

- 4.- **Predecir las consecuencias del tráfico** sobre otros aspectos edáficos, biológicos y ambientales.

Sociedad Internacional de sistema suelo-vehículo ISTVS(1962)

- **Avanzar en el conocimiento del sistema suelo-vehículo para mejorar las innovaciones y demás prácticas ingenieriles**
- **Promover la transferencia de conocimientos hacia los usuarios para el beneficio de la sociedad, la protección del ambiente, la conservación de la energía y del desarrollo sustentable**

Relación rueda-suelo

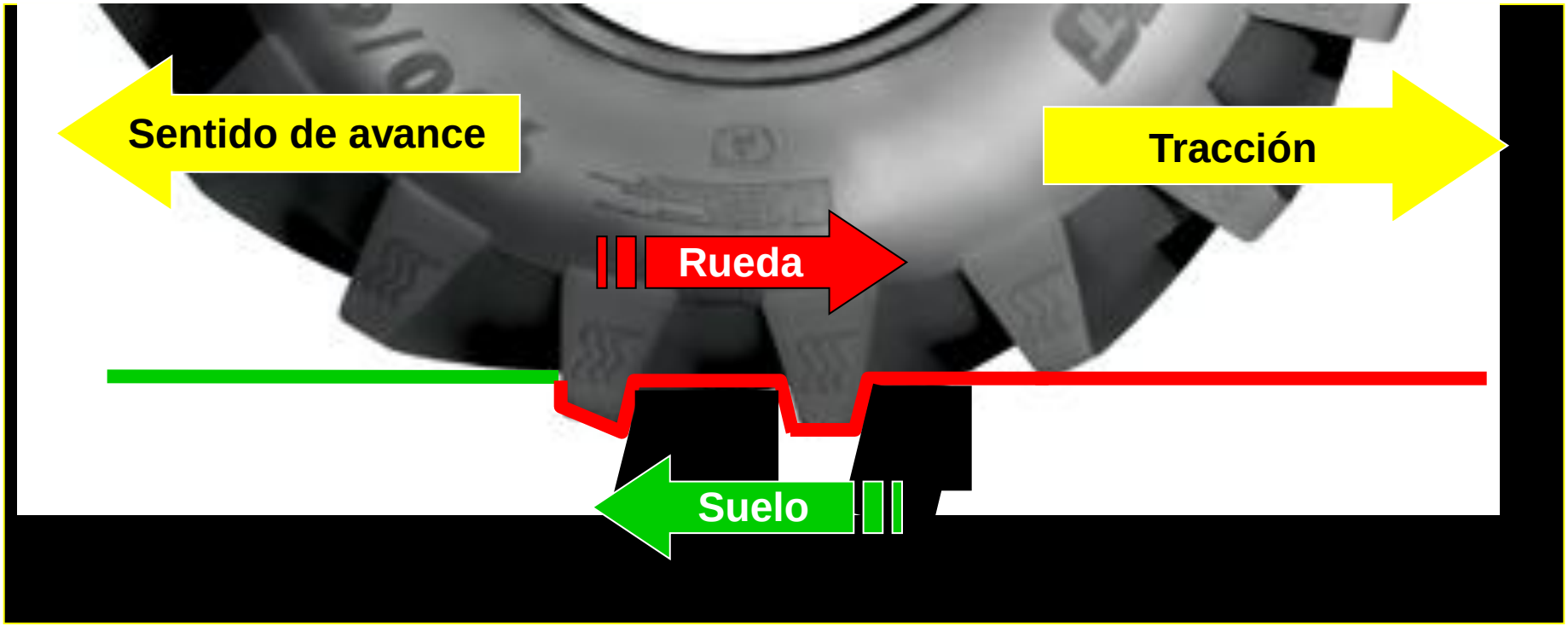
Definición sobre :
Características del vehículo

Aun muchas dudas:
Propiedades dinámicas

- *Deformación preponderantemente horizontal. Resistencia del suelo al Corte*

- *Deformación vertical: Resistencia a la penetración*

RESISTENCIA DEL SUELO AL CORTE



Cuando el tractor patina, la fuerza tangencial que pretende hacer la rueda supera a la reacción disponible en el suelo. Se pierde potencia tractiva disponible porque disminuye la velocidad real

RESISTENCIA DEL SUELO AL CORTE

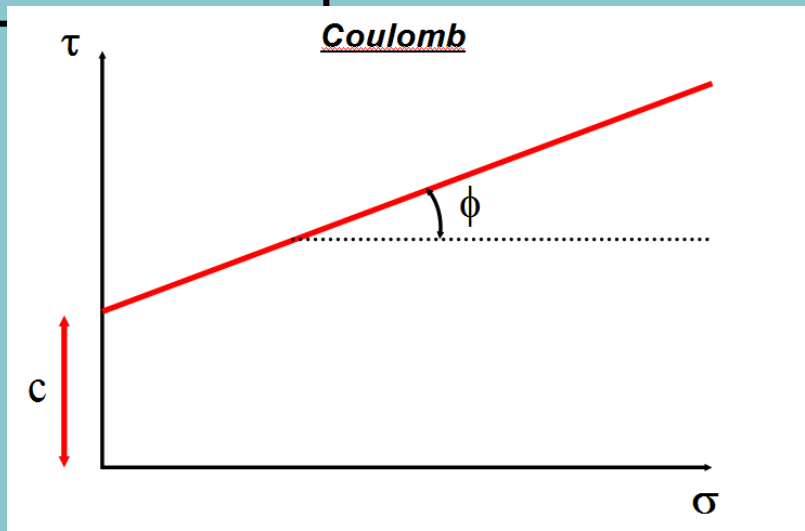
MARCO TEORICO: Ecuación de Coulomb (1776)

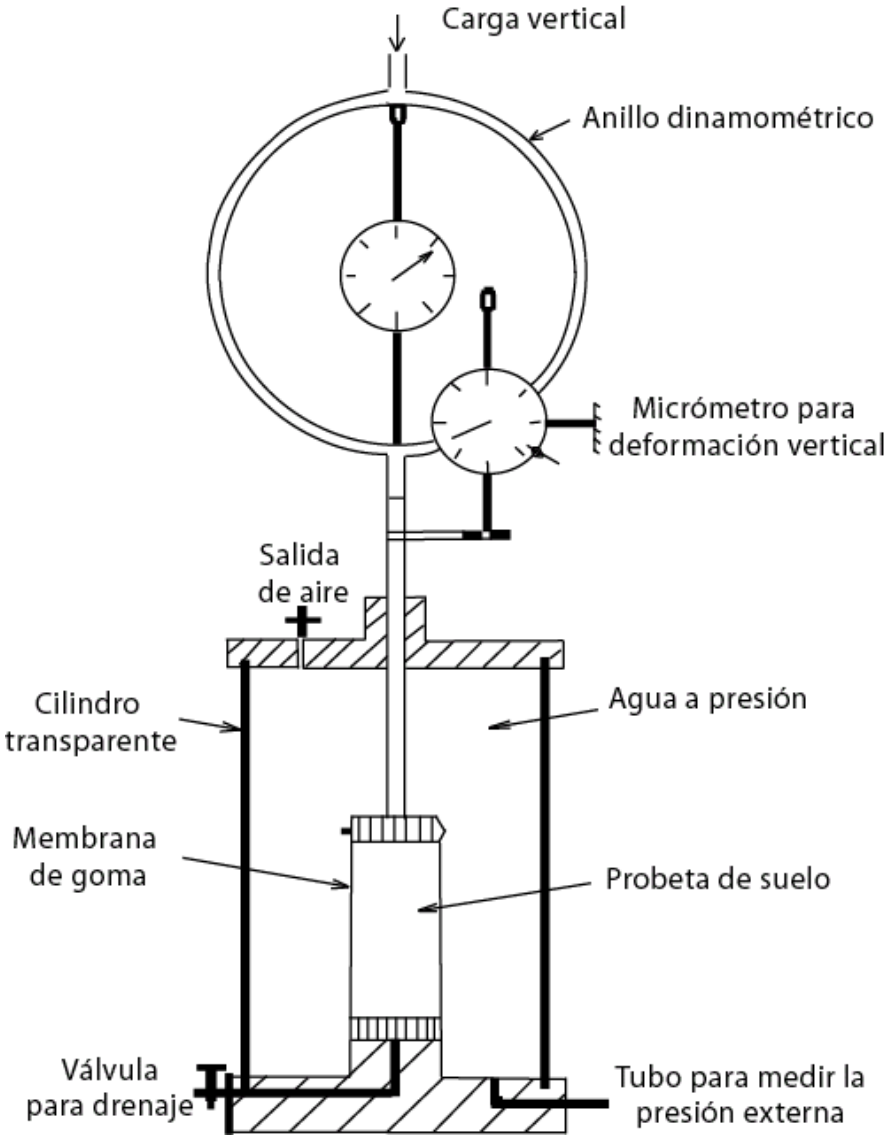
$$\tau = c + \sigma_{ne}\, tg\varphi$$

$$Fc = ?$$

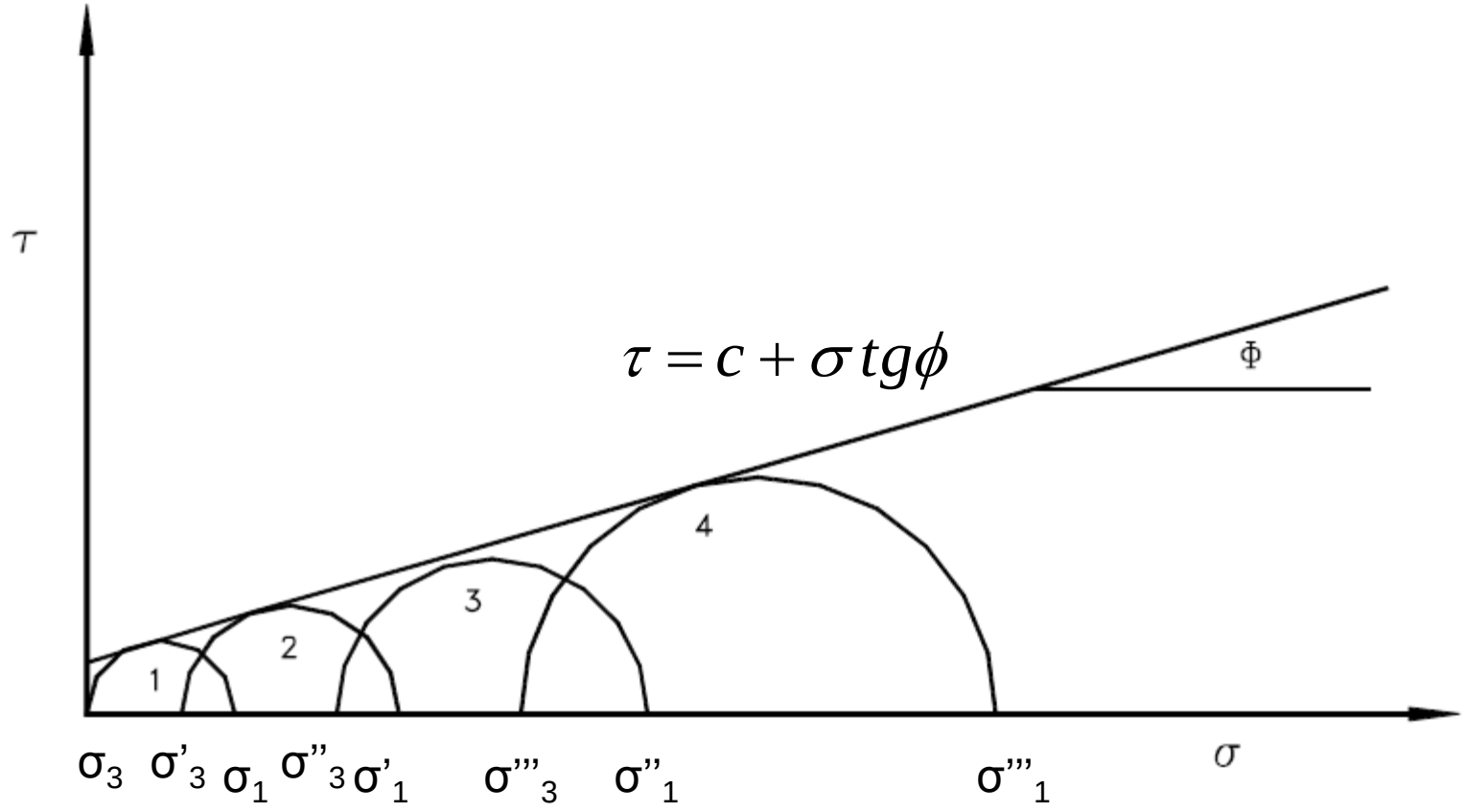
Textura	Cohesión kN/m²	Ángulo de rozamiento interno (º)
Arena gruesa	-	35 - 40
Arena fina	-	18 – 32
Franco arenoso	10-25	22-28
Franco	17-30	15-25
Arcilloso	25-70-100	10-19

Fuente: Ortiz-Cañavate (1989)



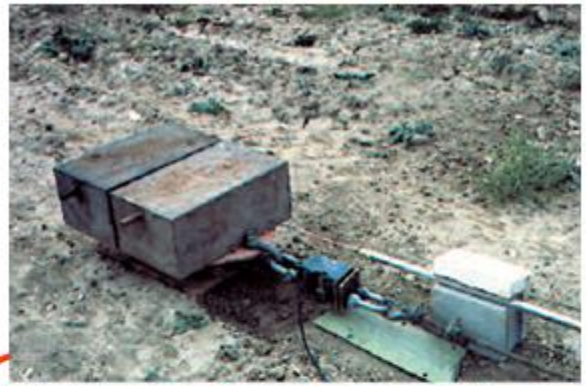


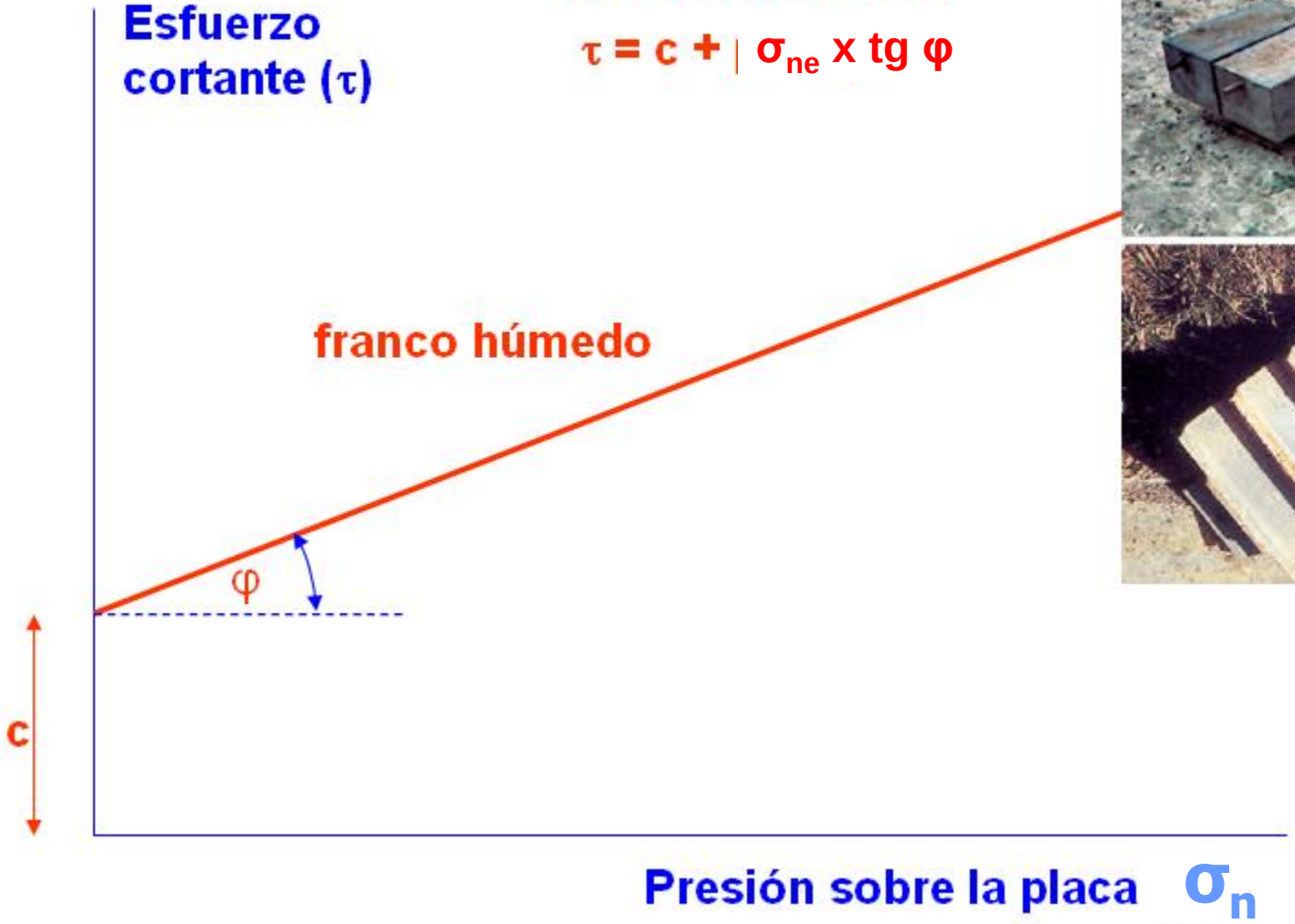
Ensayo triaxial


τ
$\tau = c + \sigma tg\phi$
Φ
1
2
3
4
σ
σ3 σ'3 σ1 σ''3 σ'1 σ'''3 σ''1 σ'''1

Recta de Coulomb

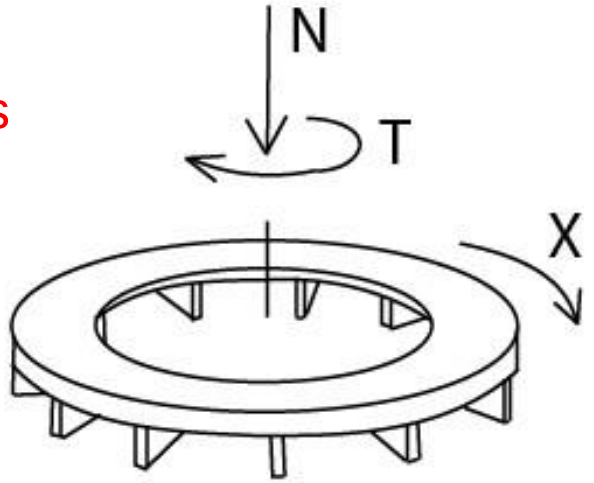
$\tau = c + | \sigma_{ne} \times tg\ \varphi$





Anillo de aletas radiales

$$\tau = \frac{3M}{2\pi\left(r_2^{\,3} - r_1^{\,3}\right)}$$

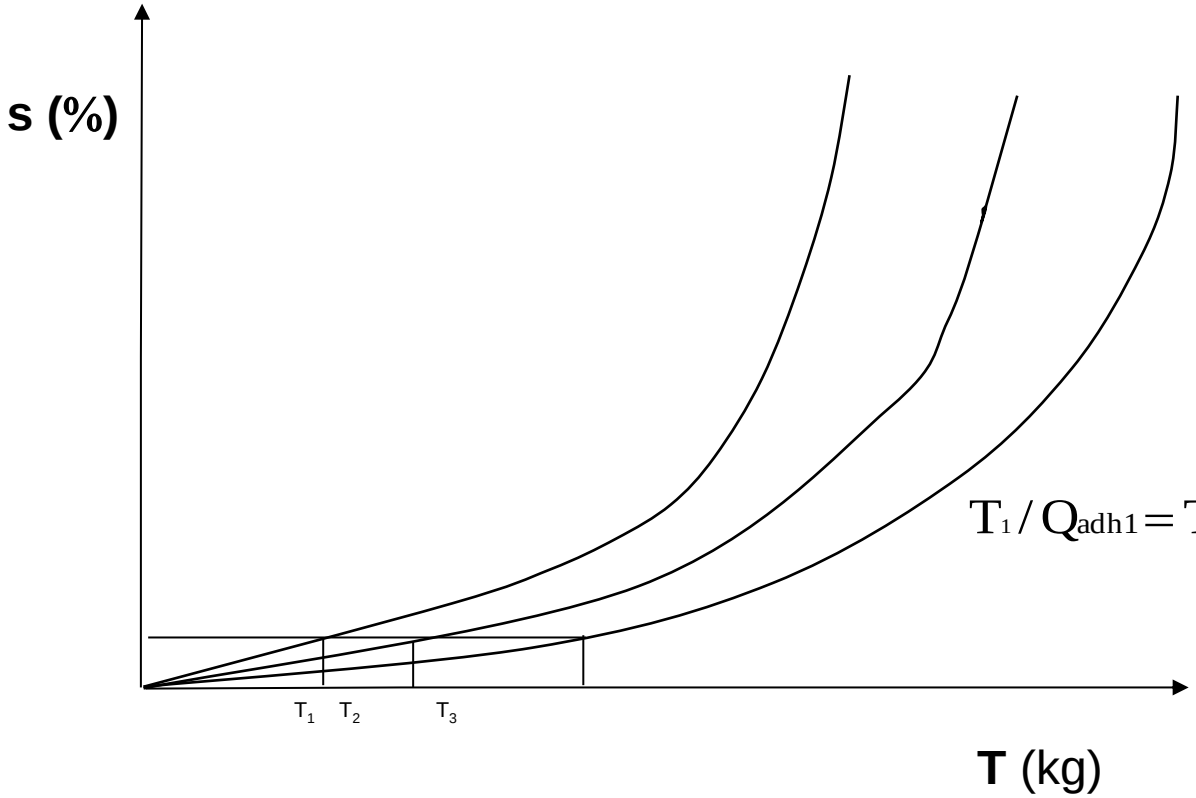


Molinete de torsión de paletas.

$$M = c\left(\pi\, d\, l\right)\frac{d}{2} + c\left(\pi\frac{d^2}{4}\right)\frac{2}{3}d$$

De qué depende el patinamiento?

$$Pat(s) = \frac{Vt - Vra}{Vt} \times 100$$



$$T_1 / Q_{adh1} = T_2 / Q_{adh2} = T_3 / Q_{adh3} = cte = t$$

$$Fc = c \cdot S + Qad \cdot tg\varphi$$

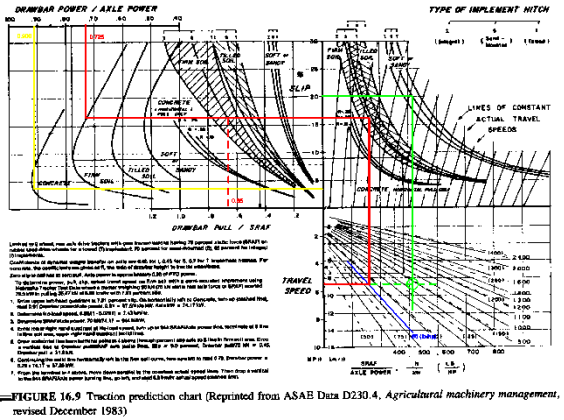


FIGURE 16.9 Traction prediction chart (Reprinted from ASAE Data D230.4, *Agricultural machinery management*, revised December 1983)

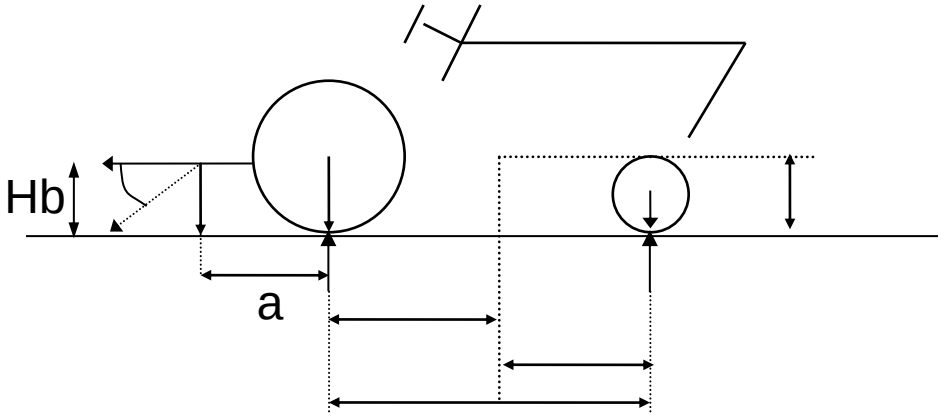
$$Qad = Q_1 + T \cdot 0{,}25 \text{ (Arrastre)}$$

$$Qad = Q_1 + T \cdot 0{,}45 \text{ (Semimontado)}$$

$$Qad = Q_1 + T \cdot 0{,}65 \text{ (Montado)}$$

Aumentar Qad = -Aumentar Q_1(lastre metálico, hidroinflado)

-Aumentar transferencia de peso (a, Hb)



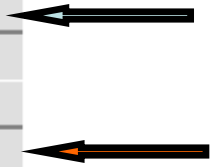
$$Qad_1 = Q_1 + V\ a/L + V + T \cdot Hb / L$$

DONDE SE PUEDEN COLOCAR LASTRES?

HIDROINFLADO

Tabla 1: Lastre liquido que pueden recibir los neumáticos.

Tamaño de rueda	Volumen (Litros)	Tamaño de rueda	Volumen (Litros)
9.5-16	45	14.9-30	216
12.4-16	79	16.9-30	276
8.3-24	49	18.4-30	337
9.5-24	64	23.1-30	541
11.2-24	91	24.5-32	643
12.4-24	114	16.9-34	310
13.6-24	144	18.4-34	378
14.9-24	178	20.8-34	484
16.9-24	231	23.1-34	602
17.5-24	208	13.9-36	193
14.9-26	182	13.6-38	216
16.9-26	246	15.5-38	250
18.4-26	299	16.9-38	341
23.1-26	484	18.4-38	416
28.1-26	594	20.8-38	530
11.2-28	102		
12.4-28	132		
13.6-28	163		
14.9-28	201		
16.9-28	261		



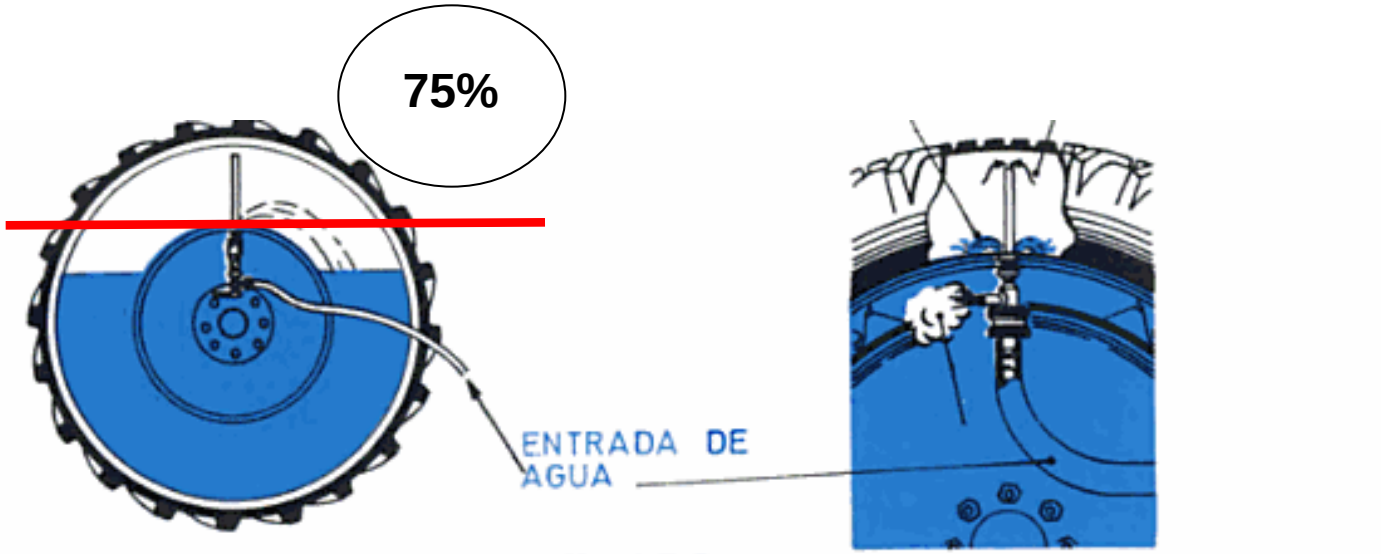
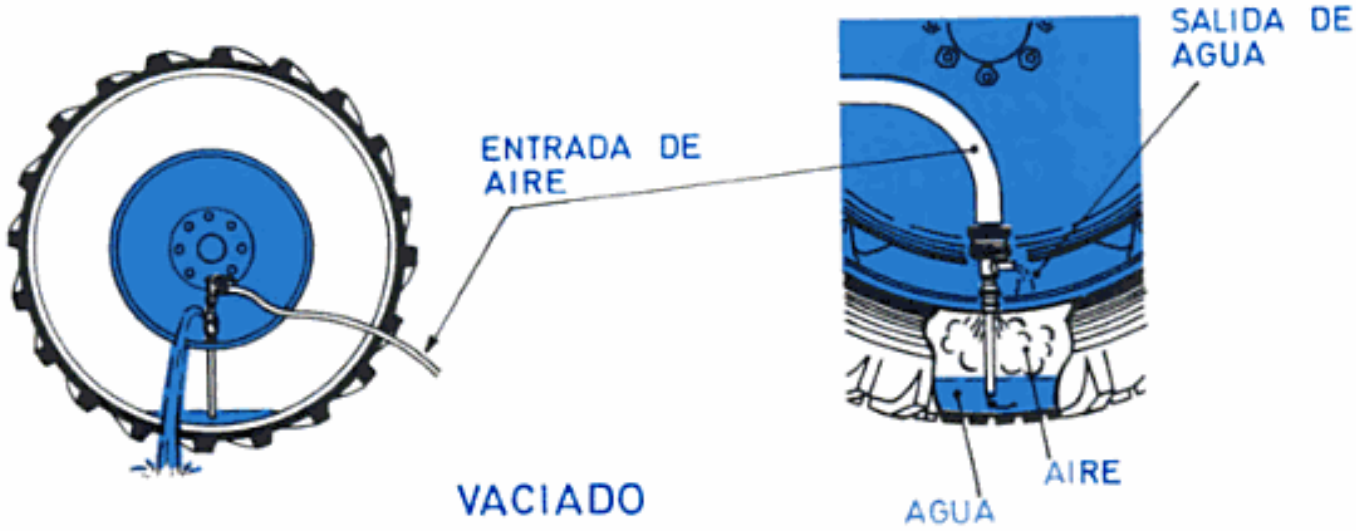
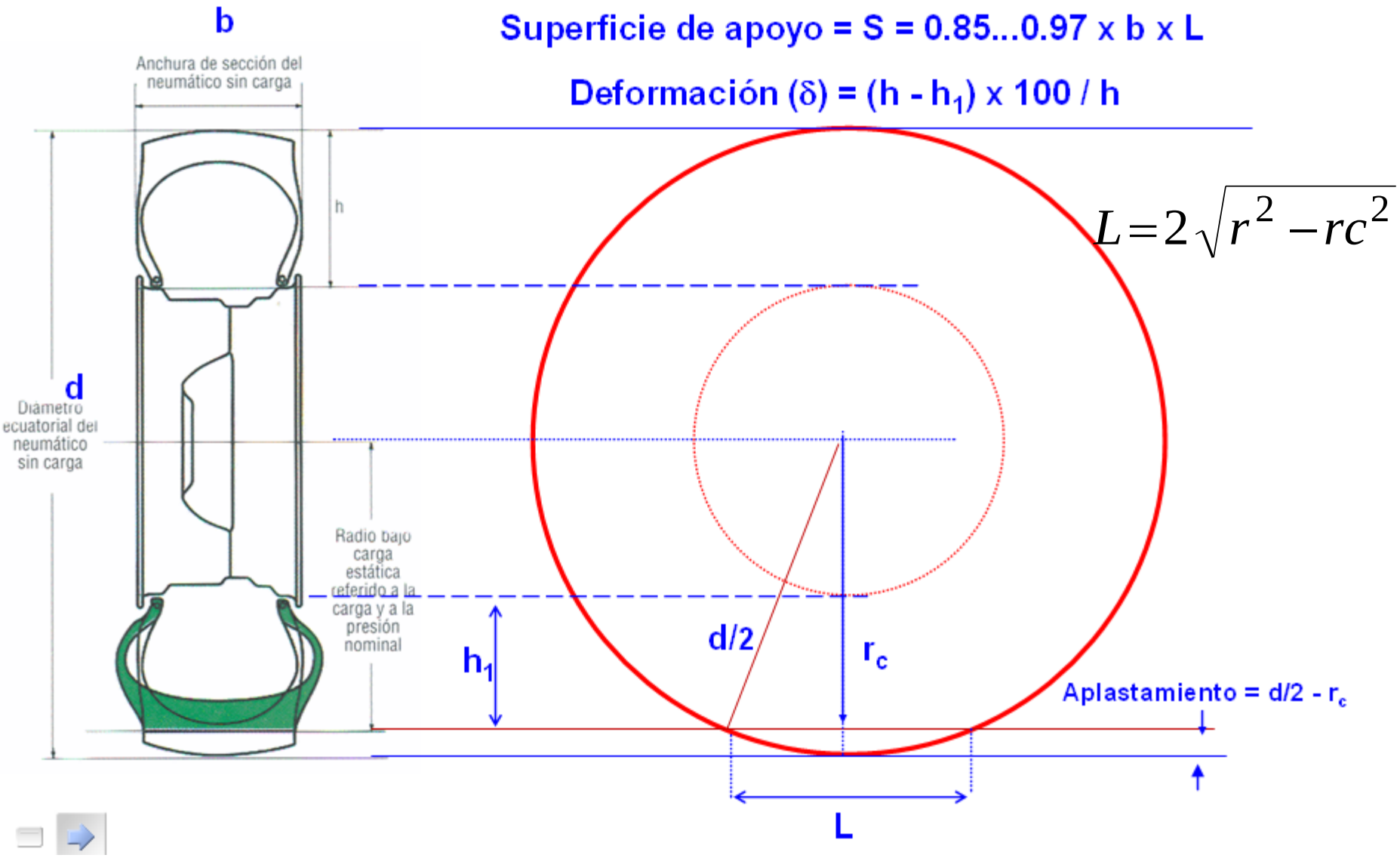


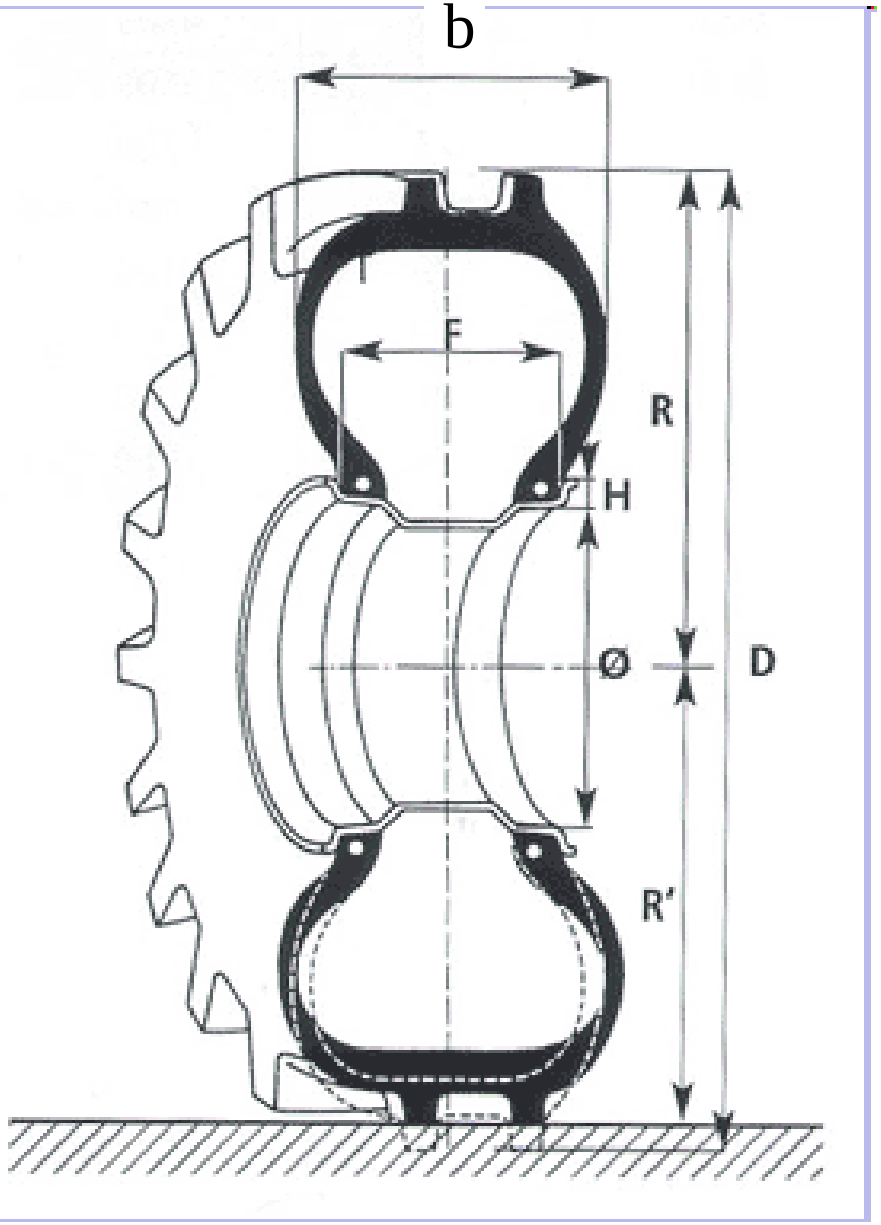
Fig. 31-2. Hidroinflado.



OTRA ALTERNATIVA: AUMENTAR SUPERFICIE



SUPERFICIE DE CONTACTO



b = ancho de la banda

R = radio sin carga

R' = radio bajo carga

D = diámetro exterior = 2R

Ø = diámetro de la llanta

18.4-34

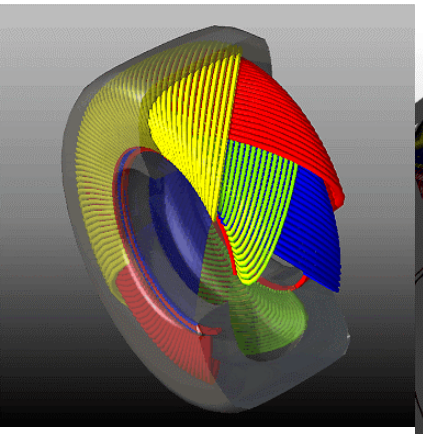
b = 18.4 pulgadas

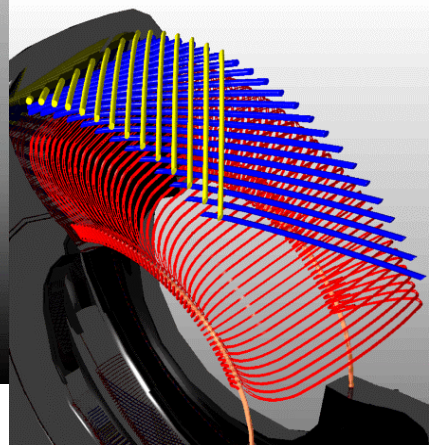
Φ = 34 pulgadas diámetro llanta

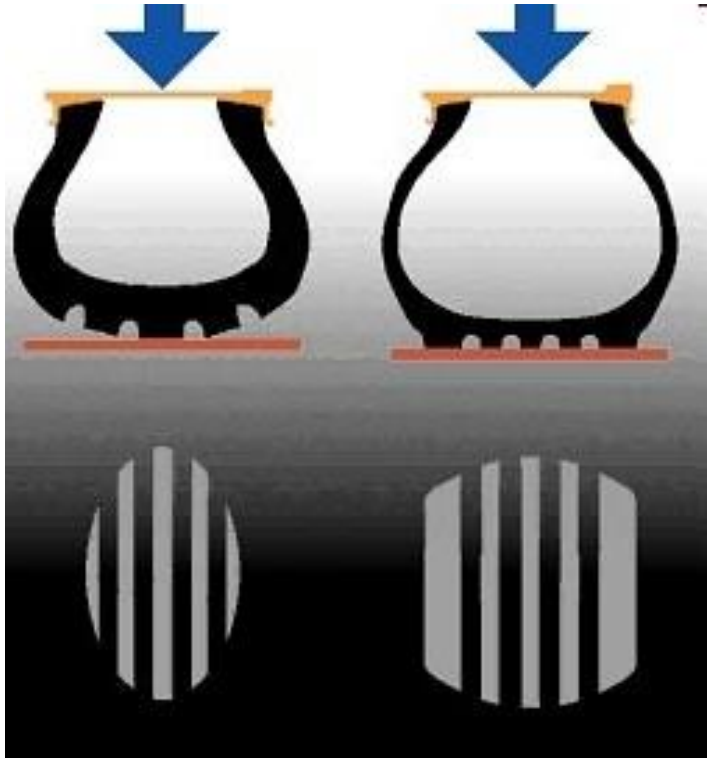
18.4R38

DIAGONAL

RADIAL







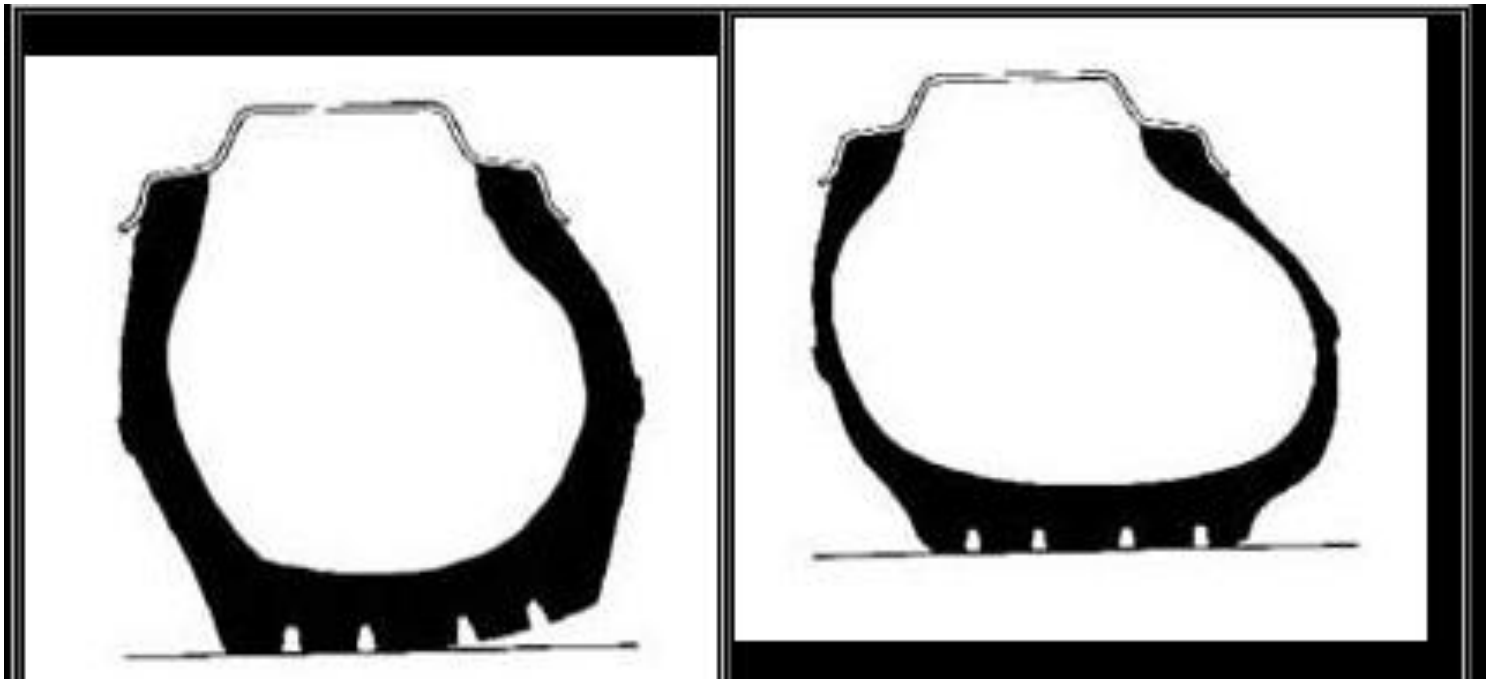
***Diagonales**, formados por capas con hilos orientados entre 40 y 45º con respecto al plano medio del neumático. Este tipo de cubierta presenta igual resistencia en la banda de apoyo y los flancos. Tienen una relación altura/anchura de balón superior al 85 %. Presentan una menor superficie de apoyo y sus presiones de inflado se sitúan por encima de 0,7 – 0,8 bar.*

- **Radiales**, la carcasa está conformada por telas que van de talón a talón rodeando los cables metálicos que hay en su interior . Por sobre estas telas y en la banda, se agregan otras telas inextensibles de gran rigidez que terminan dando una mayor superficie de contacto, mayor adherencia y menos patinaje. También provoca que la banda de rodadura quede totalmente rígida y exista una gran flexibilidad en los flancos. Relación altura/anchura de balón de entre el 65 y el 75 %.

•Mayor capacidad de tracción, por tener una mayor superficie de pisada y más estable

•La resistencia al avance es menor, por mayor superficie de contacto y menor deformación del neumático

•Distribuye mejor la presión de contacto resultando en una menor compactación y mayor flotación



- *Banda de rodadura y los flancos tienen igual rigidez*

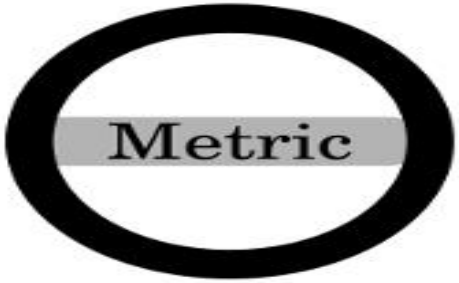
- la deflexión de los flancos no es transmitida a la banda.

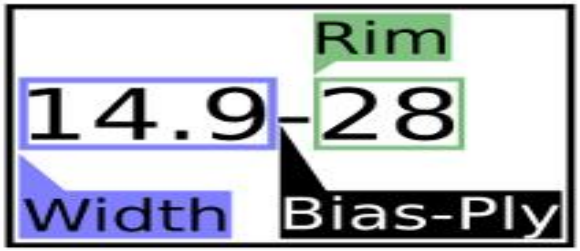
DESGASTE EXCESIVO
FALTA DE TRACCION
PERDIDA DE CONTACTO

FLEXION EXCESIVA
CONTRIBUYE PARA UNA
MAYOR PRODUCCION DE
CAOR, LO QUE PERJUDICA LA
ESTRUCTURA DE LA LLANTA

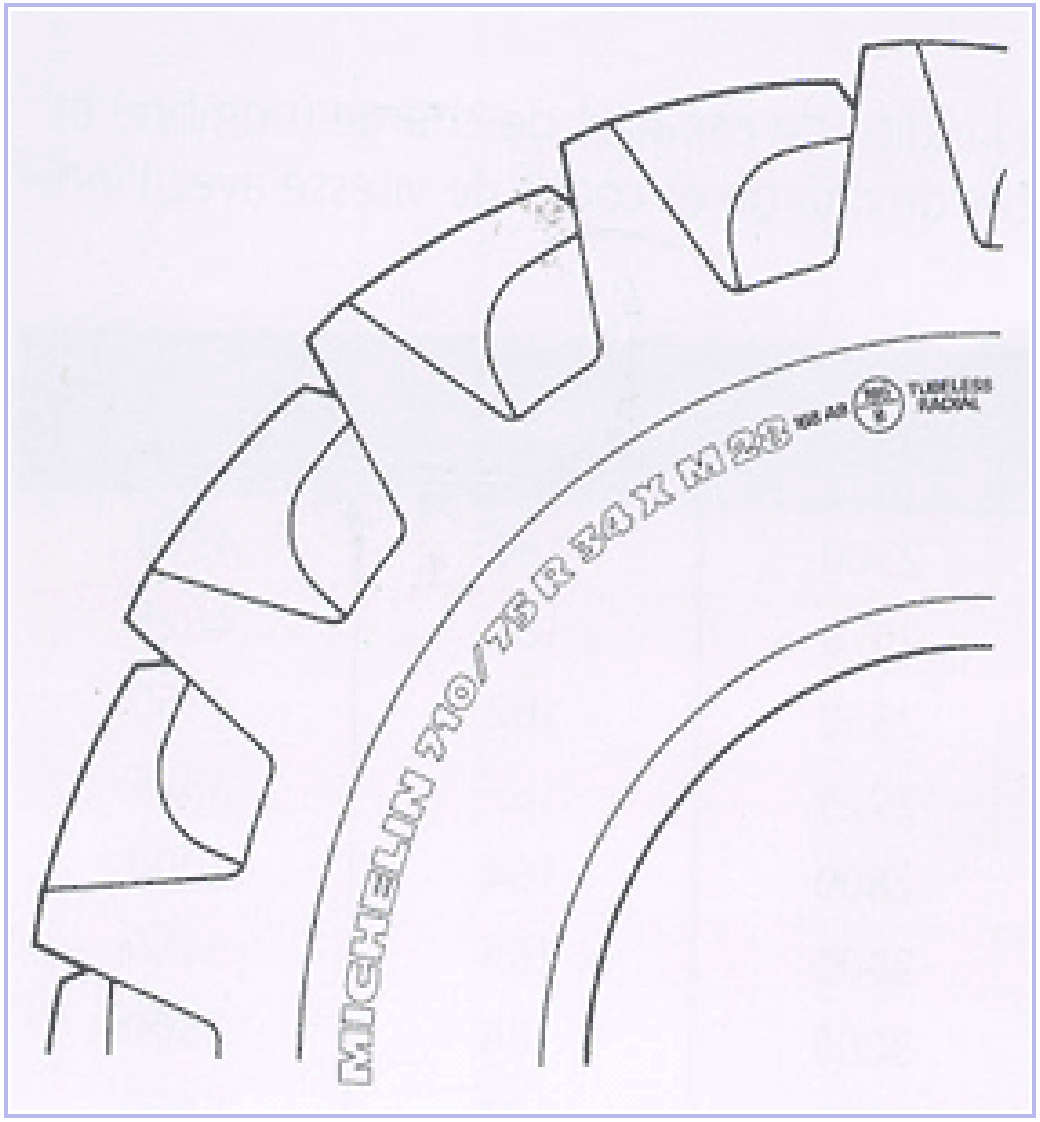
MAXIMO CONTACTO
CON EL PISO
MAXIMA TRACCION
OPTIMA FLOTACION

Decoding Tractor Tire Numbers

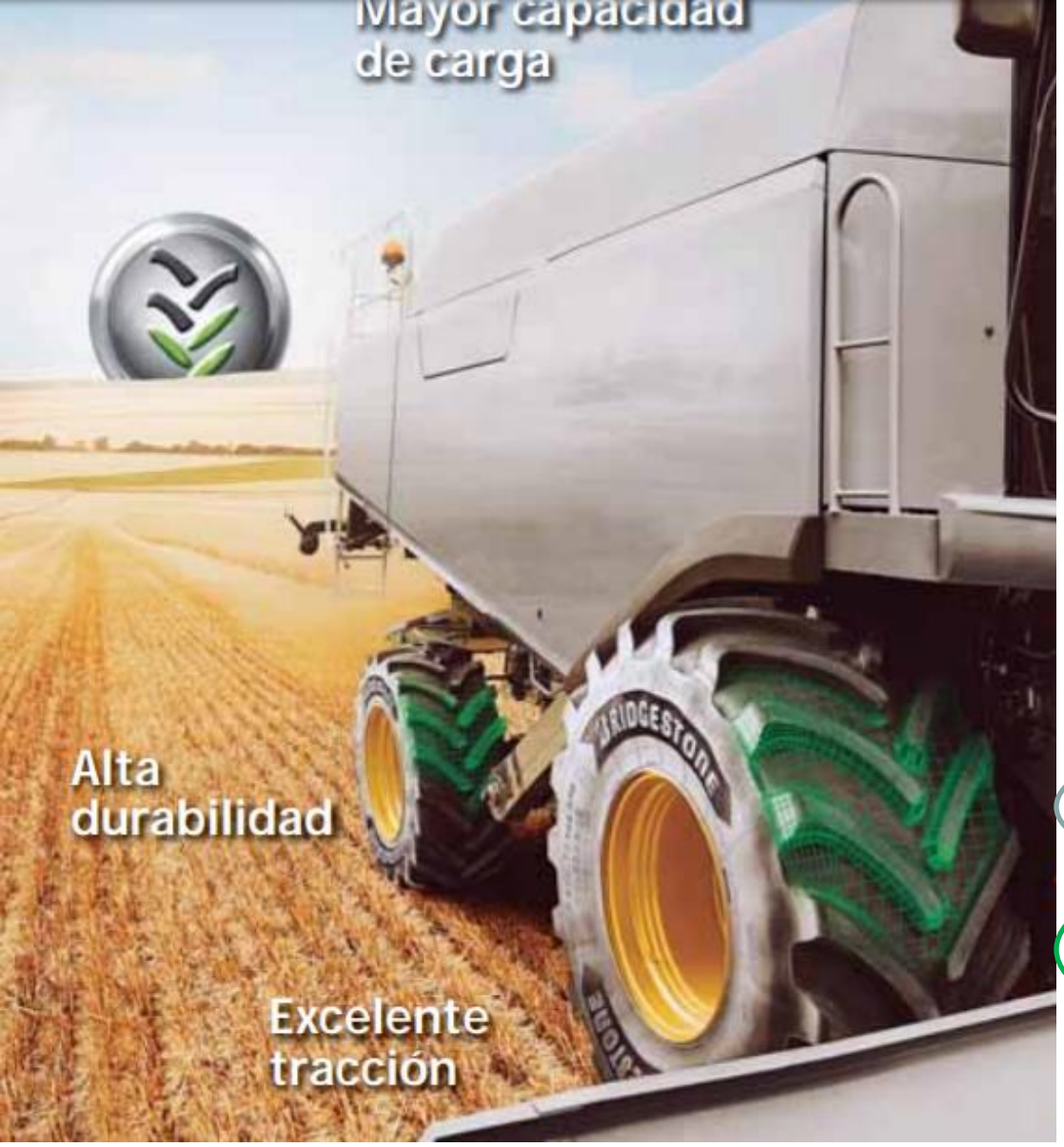




RADIAL
DIAGONAL



Michelin	Fabricante
710	**Ancho en milímetros**
75	**Serie: Altura/Ancho**
R	**Estructura radial**
34	**Diámetro entre talonarios talones (en pulgadas)**
X	Marca registrada - denominación comercial
M28	Tipo de escultura
168	**Índice de carga (168 = 5600 kg por neumático)**
La8	**Índice de performance (A8 = 40 km/h)**
165	Índice de carga (165 = 5150 kg por neumático)
B	Indice de performance (B = 50 km/h)
Tubeless	**Neumático sin cámara.**
Radial	Indicación de la estructura



TRACTORMASTER, EL NUEVO NEUMÁTICO AGRÍCOLA DE CONTINENTAL

Continental amplía su gama de neumáticos para el sector agrícola con el modelo radial TractorMaster, que completa la oferta estándar, formada por Tractor70 y Tractor85, disponible desde el año pasado.

TractorMaster, con la nueva tecnología de tacos denominada d.fine, ofrece una superficie de tacos un 5 % más ancha que la de un neumático estándar y asegura un mayor kilometraje.

Al igual que sus compañeros de gama estándar, Tractor70 y Tractor85, incorpora la carcasa flexible N.flex y la tecnología específica de talón con cable único. Destaca la alta capacidad de estiramiento del nylon usado en la carcasa, que hace que el neumático sea robusto y ofrezca una gran resistencia a los impactos. El especial diseño del talón con un cable único permite una alta flexión de los flancos, lo que asegura una baja compactación de los suelos.

Este nuevo neumático se fabrica en las instalaciones para neumáticos agrícolas de Lousado, Portugal. Las primeras dimensiones 540/65R28 y 650/65R38 estarán disponibles a partir de mediados de este mes septiembre. En los próximos meses, se añadirán nuevas dimensiones.

CONTINENTAL Y VALTRA CIERRAN UN ACUERDO DE COLABORACIÓN

A partir de octubre, los neumáticos Continental Tractor70 y Tractor85 estarán disponibles para el fabricante de maquinaria agrícola Valtra. Distribuidores y usuarios podrán solicitar los tractores Serie A de Valtra con estos neumáticos de Continental, los cuales ya están disponibles en Valtra Unlimited Studio.

La homologación como proveedor de equipos originales (OE) ha sido el resultado de largas sesiones de pruebas de campo conjuntas entre ambas compañías. "*Para nuestros clientes nórdicos, la seguridad, la productividad y la comodidad en superficies heladas y cubiertas de nieve son factores fundamentales para realizar una compra. Además, nuestros clientes europeos buscan siempre soluciones nuevas y avanzadas. Esto se ajusta exactamente a las prestaciones de la nueva gama de neumáticos Continental, que proporcionan una buena comodidad de conducción en carretera y una gran tracción en el campo, gracias sus prestaciones a baja presión*", comentó Marko Ojalehto, Product Marketing Specialist de Valtra.

Los neumáticos radiales Tractor70 y Tractor85 destacan por la innovadora tecnología N.flex y por su especial diseño de talón. Según explica la compañía, "*el material de nailon de la carcasa es mucho más flexible y estable que otros materiales. Como resultado, proporciona una mejor amortiguación, así como un alto grado de confort de marcha y evita la deformación temporal del neumático, 'punto plano', a primera hora del día. Incluso con grandes fuerzas de tracción, los nuevos modelos de neumáticos radiales aseguran un patinaje mínimo y una pisada plana que reduce el efecto de compactación del suelo. El neumático puede montarse rápidamente gracias a su innovadora tecnología de talón, que incorpora un único cable de acero y un perfil reducido. El talón permite también un trabajo a menor presión consiguiéndose mejoras en la compactación del terreno*".

Ambos neumáticos se fabrican en las instalaciones de Continental inauguradas el pasado otoño en Lousado (Portugal).

www.continental-tires.com

“LOS NEUMÁTICOS AGRÍCOLAS COMO CAUSANTES DE LA COMPACTACIÓN DEL SUELO” UNLa Pampa (2015) FEDERICO PELIZZARI. Dir: Dr. GUIDO BOTTA

Tabla 3: Rodados, peso, área de contacto y presión sobre el suelo

Rodados	Pesos sobre los rodados (kN)	Áreas de contacto (m^2)	Presión de inflado (kPa)	Presión sobre el suelo (kPa)
18.4 – 38	25.6	0.33	142	77.5
18.4 R 38	25.6	0.56	100	45.7
23.1 – 30	26.6	0.50	100	53.2
23.1 R 30	26.6	0.72	110	36.9

Tabla 4 Valores de profundidad de huella de la maquina (PHM) para todas los neumáticos ensayados

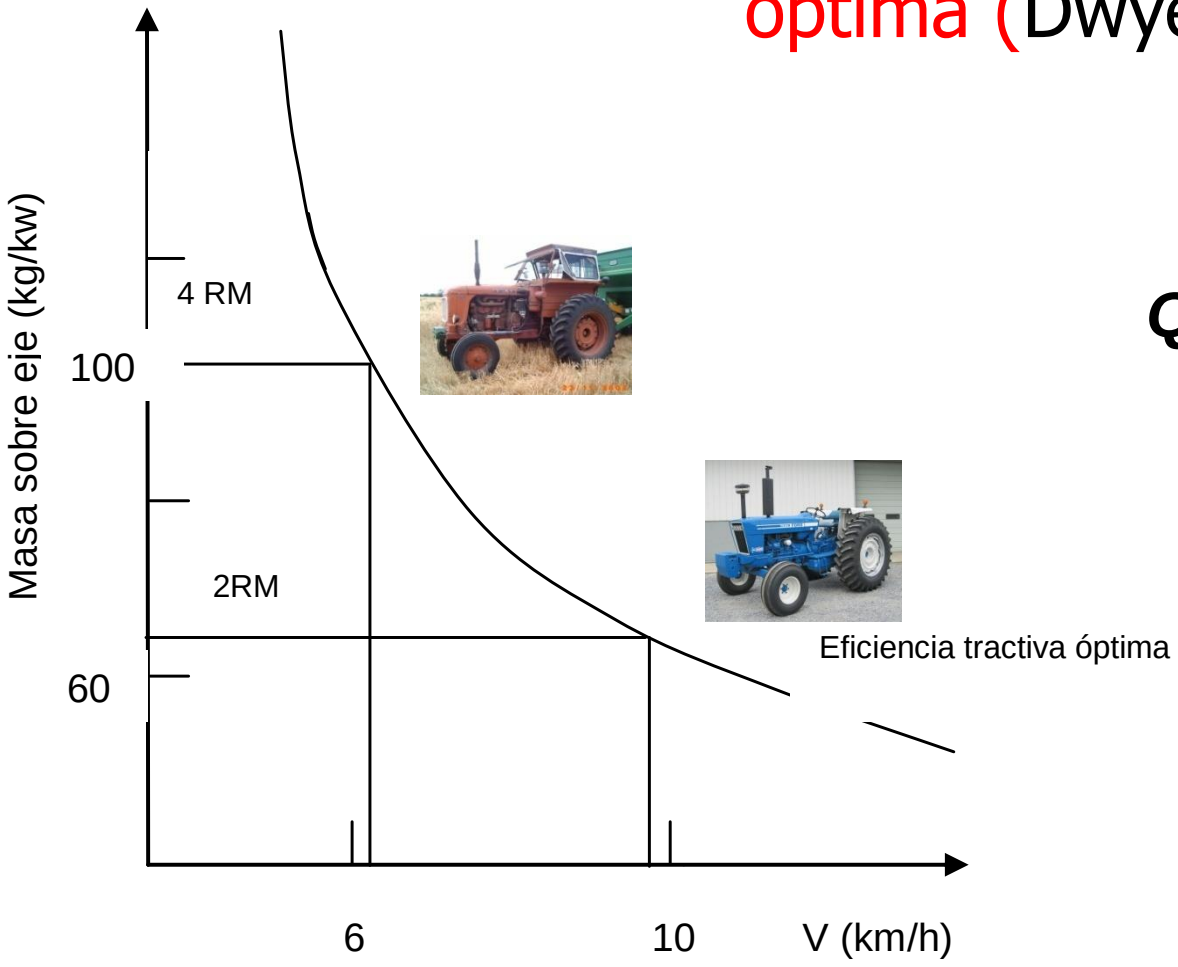
Tratamientos	Profundidad de Huella (mm)
18.4 R 38	12.2 b
18.4 – 38	25.2 d
23.1 – 30	17.2 c
23.1 R 30	10.5 a

Letras distintas en sentido horizontal denotan diferencias significativas (P < 0,01 Test de Duncan).

FORMAS DE MEDIR EL

PATINAMIENTO

Relación entre la velocidad de avance y la masa/eje para alcanzar la eficiencia tractiva óptima (Dwyer)



$$Q_{adh}/N_{eje} = 1.75 / Vr$$

Masa total necesaria en el tractor (kg) en función de la potencia del motor que se va a utilizar en trabajos de tracción

Velocidad		4,5 km/h		6,5 km/h		8,5 km/h	
		2 RM	2+2 RM	2 RM	2+2 RM	2 RM	2+2 RM
Coef. TR		0,85	1,00	0,85	1,00	0,85	1,00
Potencia							
CV	50	3971	3375	2749	2337	2102	1787
	60	4765	4050	3299	2804	2522	2144
	70	5559	4725	3848	3271	2943	2501
	80	6353	5400	4398	3738	3363	2859
	90	7147	6075	4948	4206	3784	3216
	100	7941	**6750**	5498	4673	4204	3574
	110		7425	6048	5140	4625	3931
	120		8100	6597	5608	5045	4288
	130		8775	7147	6075	5465	4646
	140		9450	7697	6542	5886	5003
	150		10125		7010	6306	5360
	160		10800		7477	6727	5718
	170		11475		7944	7147	6075
	180		12150		8412	7567	6432
	190		12825		8879	7988	6790
	200		13500		9346		7147

$$Q(kg) = Nm(CV)\ \eta t\ 270 / Vt(km/h)\ 0.85\ f$$

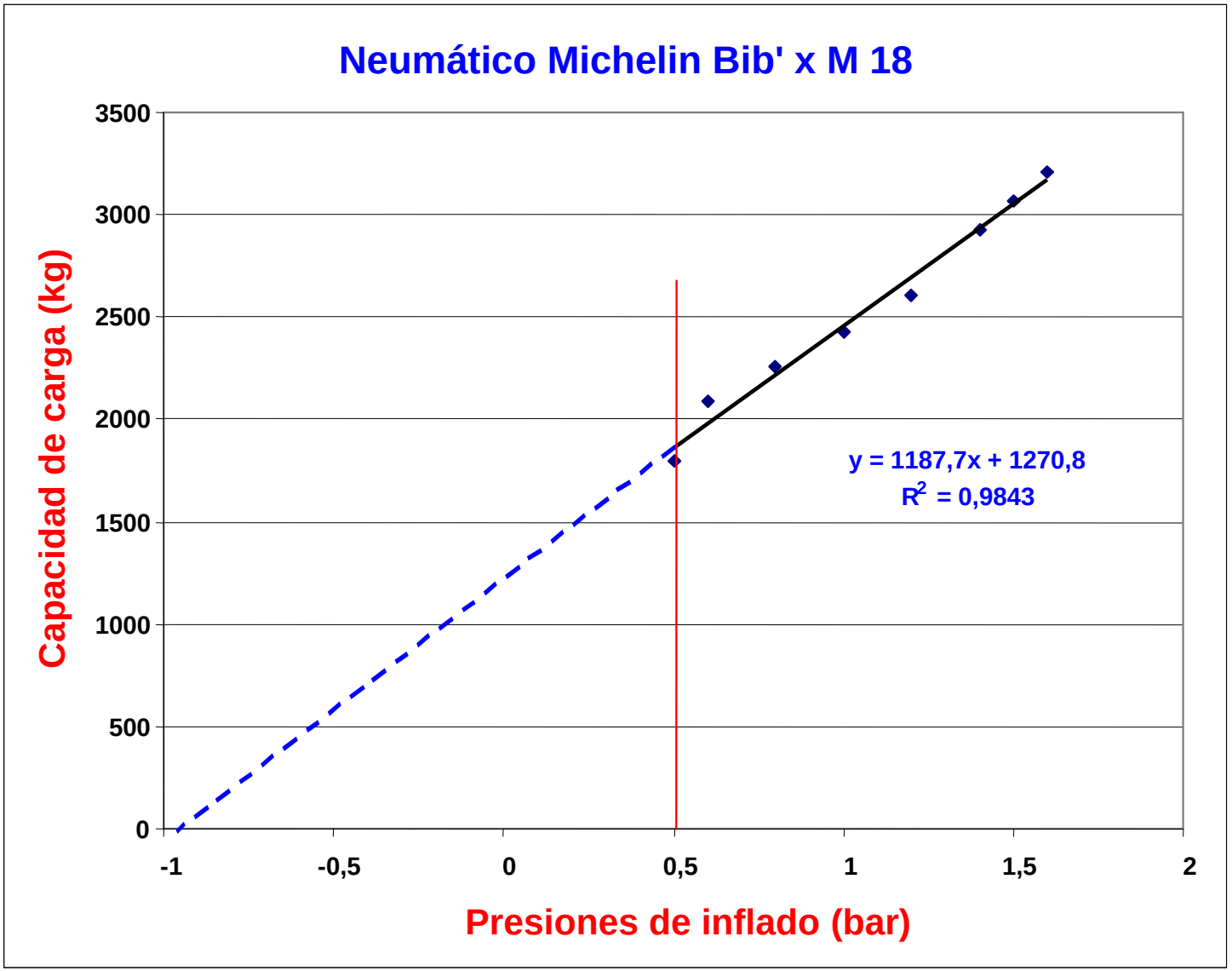
Adecuación de los neumáticos

Tabla 6.- Capacidad de carga de los neumáticos

Masa (kg)	6300	**eje**	**rueda**
Delantero (kg)	50	3150	1575
Trasero (kg)	80	5040	2520

Tabla 7.- Capacidad de carga de los neumáticos en función de la presión de inflado

Neumáticos delanteros (16.9R28 136 A8)			
Velocidad			Presión
40 km/h	30 km/h	10 km/h	bar
1460	1560	1980	0.6
1610	1730	2190	**0.8**
1770	1890	2410	1.0
1930	2060	2620	1.2
2080	2230	2830	1.4
2240	2400	3040	1.6
Circunferencia de rodadura = 4235 mm			

Neumáticos traseros (20.8R38 153 A8)			
Velocidad			Presión
40 km/h	30 km/h	10 km/h	bar
2370	2540	3230	0.6
2630	2820	3580	**0.8**
2880	3090	3920	1.0
3140	3360	4270	1.2
3390	3630	4610	**1.4**
3650	3910	4960	1.6
Circunferencia de rodadura = 5445 mm			

Variación de la carga en función de la presión de inflado