

INTRODUCCIÓN

Definición del problema.

La forma más común de demandar energía al tractor es a través del trabajo de tracción. La producción agrícola sigue teniendo como característica modal la necesidad de recorrer grandes distancias. Un número importante de implementos se vinculan a través de la barra de tiro del tractor siendo ésta sin duda, la forma más ineficiente de transmitir potencia. La demanda de potencia rotacional (a través de la toma posterior de potencia) y la utilización de la potencia hidráulica (a través de sistemas hidráulicos) son alternativas no siempre posibles y en Argentina poco frecuentes en muchos sistemas productivos.

El tractor, como “motor de tracción”, no sólo debe ser capaz de generar suficiente energía como para autotransportarse sino, entregar un remanente de fuerza como para poder realizar el trabajo de tracción demandado, empujar o arrastrar un equipo sobre un sustrato siempre deformable, el suelo agrícola. Como se pretende mantener esa fuerza a lo largo de una distancia, se puede concluir en la necesidad de contar con una suficiente cantidad de potencia tractiva, comunmente llamada “potencia en la barra”, cuya expresión vale:

$$Nb = T \quad Vr \quad (XI.1)$$

Donde :

Nb = potencia tractiva (kW)

T = componente horizontal del esfuerzo de tiro (N)

Vr = velocidad real de avance (ms^{-1})

Entre la potencia generada en el motor (determinante del precio a pagar por el producto) y la efectivamente utilizable para los trabajos de tracción hay importantes pérdidas. Una de ellas depende de la propia eficiencia que tenga el tren cinemático que compone la transmisión del tractor.

Para un tractor de diseño convencional (2RM un eje motriz) y transmisión mecánica aproximadamente un 10-12% se consume

fundamentalmente en fricción-rozamiento entre los mecanismos en movimiento. Es decir que entre la potencia generada en el motor y la potencia disponible en el eje motriz hay una merma ineludible, la cual se expresa a través del rendimiento de la transmisión (η_t).

Una vez diseñado el tractor de **transmisión** mecánica, puede considerarse una pérdida de potencia fija y constante y como usuarios nada se podrá hacer para minimizarla, sólo respetar los criterios de mantenimiento aconsejados por el fabricante. Para el caso de transmisiones híbridas (mecánico hidráulicas) se deberá analizar cada caso en particular.

Una vez que se vinculen las ruedas ú orugas al suelo y deban encontrar suficiente reacción como para traccionar un implemento a una determinada velocidad, surgen otras pérdidas de potencia. Por un lado parte del par motor que llegó al eje de las ruedas será disminuído y por otro, la velocidad teórica de avance, en función del arreglo cinemático de la transmisión, también sufrirá una merma.

En la zona de contacto rueda-suelo se aplican acciones normales producto de la masa que deben soportar los neumáticos y tensiones tangenciales según los trabajos de tracción demandados. La rueda debe tener una superficie de contacto tal que en función del peso no sobrepase la capacidad portante del suelo, no se hunda demasiado, y ejercer una fuerza tangencial periférica, compatible con la tensión resistente del suelo al corte.

La función del neumático será, en definitiva, aprovechar las reacciones disponibles en el suelo para no sólo auto transportarse sino ser capaz de exportar suficiente fuerza de tracción compatible con la demanda del equipo. Aparecen entonces, tensiones normales a la superficie de contacto, producto de la carga normal que recae sobre la rueda; tensiones tangenciales, producto de la tracción bruta que llega a ella a través de la transmisión y fuerzas vibratorias transmitidas desde el motor que, a través de las ruedas ú orugas, son transmitidas al suelo.

A diferencia de cualquier otro automóvil, un tractor es un vehículo de alta relación peso/potencia que debe ser capaz de desarrollar trabajos de tracción y priorizar la oferta de fuerza por sobre la velocidad de desplazamiento. La necesidad de contar con un vehículo pesado y el requerimiento de ser capaz de erogar importantes esfuerzos tractivos, traen como consecuencia la deformación de los suelos. Algunas circunstancias conllevan al predominio de la deformación vertical y parte de la fuerza disponible en el eje será utilizada para vencer esa formación de huellas. Otras veces lo prioritario será la demanda de altos esfuerzos tractivos, la rueda deberá entregar una mayor fuerza tangencial, con el peligro de la deformación excesiva ó rotura del suelo por cizalladura o corte tangencial. Ambas pérdidas serán estudiadas con más detalle en apartados subsiguientes.

El problema enunciado puede resumirse en la necesidad de trasladar un vehículo de alta masa, sobre un suelo siempre deformable, durante un tiempo acotado, ya que debe respetarse el ciclo biológico de los cultivos, y minimizar las pérdidas de potencia disponible. Durante los últimos años existe una preocupación creciente por la conservación de la estructura física del suelo buscando minimizar la compactación por tránsito y tracción.

La relación entre la potencia útil para los trabajos de tracción (barra de tiro ó enganche tripuntal) y la disponible en el eje motriz define la eficiencia tractiva ó rendimiento de tracción (ηT).

$$\eta T = Nb / Neje \text{ (XI.2)}$$

El desafío es entonces conocer los parámetros de los cuales depende la maximización de esta ecuación y predecir el comportamiento tractivo de los conjuntos para minimizar las pérdidas de potencia variable. Teoría de tracción es el término que comunmente se utiliza para referirse al conjunto de modelos que intentan

explicar y aportar soluciones racionales a este problema.

Producto de esta interacción compleja entre la rueda y el suelo, la comprensión acabada de los fenómenos intervinientes, es dificultosa, sobre todo, comprender qué es lo que está pasando en el suelo cuando una “estructura en movimiento” lo somete a esfuerzos tan variados como compresión-tracción-corte y da como resultados muchas veces la plastificación.

Numerosos modelos empíricos se han desarrollado en la década del 70 y 80 para calcular la eficiencia tractiva sin dejar dudas acerca de los parámetros del tractor que tienen influencia decisiva sobre su prestación a campo. Sin embargo, no existe definición aún de cuáles son las propiedades mecánicas de los suelos que determinan las respuestas.

Cómo reacciona el suelo, cómo se deforma en función de las tensiones aplicadas, cuándo se rompe y en qué dirección lo hace, qué alteraciones volumétricas y constitutivas del sistema poroso ocurren, cuánto puede ser analizado a nivel de simples agregados y cuánto necesita de la ampliación hacia el complejo ámbito del suelo, son preguntas reiteradas entre los investigadores. En igual sentido, aún restan por encontrar métodos estandarizados para cuantificar las propiedades mecánicas definidas que permitan repetir los ensayos y comparar los resultados.

Resumiendo, hay aún muchos interrogantes en la disciplina, sobre todo en lo relativo a estudios básicos-teóricos que contribuyan al mejor entendimiento de los reales fenómenos que ocurren en la interfase rueda-suelo.

ANTECEDENTES

Evolución de los conocimientos

A partir de las últimas tres ó cuatro décadas se ha dejado de lado el concepto del suelo como elemento singular y se ha consolidado la idea del suelo como sistema complejo conformado

por factores bióticos y abióticos, que deben necesariamente caracterizarse a partir de la suma de propiedades y no desde estudios ópticas parciales.

Conjuntamente se ha reconocido que las clasificaciones tradicionales que dividían el objeto de estudio en física, química y biología, son en verdad disciplinas con límites arbitrarios y no unívocamente definibles. Existen propuestas de clasificaciones que incluyen por ejemplo las propiedades físicas, físico-químicas, bioquímicas, biofísicas, etc.

Sin embargo no todas estas disciplinas fueron desarrollándose conjuntamente y en igual magnitud. Las problemáticas relacionadas a la química ó a la biología, fueron estudiadas con anterioridad a las demás. Particularmente la física del terreno agrícola fue considerada como tópico significativo de estudio en la comunidad científica, muchos años después, aún cuando las propiedades físicas determinan la mayoría de los fenómenos biológicos.

Durante la segunda guerra mundial, y fundamentalmente para resolver problemas de tránsito de vehículos militares, nació una disciplina denominada “*Locomoción Extraviaria*”, cuyo objetivo fundamental fue predecir la capacidad de paso de un vehículo con parámetros conocidos y fácilmente cuantificables, que debía desplazarse sobre un suelo casi desconocido. Años más tarde, su universo de estudio se amplió al campo de la ingeniería agrícola. Allí se suma a la problemática del tránsito sobre suelos deformables, la necesidad de maximizar el rendimiento tractivo de los conjuntos que sobre él se desplazan.

Su desarrollo coincide con la mecanización total de la producción agropecuaria y se ve favorecido cuando se incrementan significativamente la masa de los tractores y por ende la magnitud de las cargas normales y tangenciales que pretenden aplicarse sobre el suelo. También incidió, la toma de conciencia colectiva, por fuera de la comunidad científica, de la externalidad de los procesos productivos, los cuales pueden generar consecuencias

ambientales indeseables y perdurables en el tiempo.

Problemas tales como la pérdida de productividad de muchas regiones cultivables, la erosión de inmensas regiones del planeta, la contaminación química de las napas freáticas, la salinización y la compactación de los suelos, presionaron a la comunidad científica internacional para la búsqueda de soluciones y la generación de los límites necesarios que racionalicen la producción alimentaria sin comprometer el que debe ser recurso de futuras generaciones.

El aumento de la demanda de alimentos, obligó a la incorporación de terrenos marginales como zonas productivas. Surgió luego, la preocupación por la conservación de los recursos energéticos y el encarecimiento de los combustibles. Por último, durante la década del 70 y 80 la prioridad fue maximizar la eficiencia tractiva, minimizar las pérdidas de potencia que aparecen cuando una rueda neumática debe vincularse a un terreno con escasa capacidad portante y limitada reacción al corte tangencial.

El problema de la compactación de los suelos es quizás la temática que más desarrollo ha tenido en la última década, demostrándose una vez más, que una vez instalado un problema siempre complejo y la mayoría de las veces con consecuencias negativas sobre otros aspectos colaterales, la solución es desde el punto de vista ingenieril es muy difícil, y desde la óptica económica prácticamente inviable.

En la locomoción extraviaria o fuera de ruta están involucradas cuestiones referidas al vehículo y fundamentalmente propiedades mecánicas de los suelos. Es por ello que esta disciplina es también denominada “relación rueda-suelo” ó terramecánica. La problemática de la locomoción fuera de ruta nació conjuntamente con la invención de la rueda, alrededor del año 3500 AC. Sin embargo y a pesar de la utilización de vehículos tractivos en la agricultura desde comienzos del siglo xx, los progresos tecnológicos estuvieron basados en el empirismo, y en la metodología de “prueba

y error". Recién hacia la mitad de la última centuria, comenzaron los estudios sistemáticos tendientes al desarrollo racional de los vehículos.

ALCANCES DE LA TERRAMECANICA

Como se mencionara, la agricultura demanda el traslado de conjuntos sobre un sustrato particular, que para este estudio, sólo sirve de soporte que brinda las reacciones suficientes como para evitar hundimientos exagerados ó patinamientos elevados. El suelo es quien define, a ultranza, la capacidad de paso de un vehículo y la eficiencia del trabajo realizado. Es el suelo quien puede definir que la rueda malgaste su energía disponible en la formación de huellas. Es el suelo quien puede llegar a inmovilizar al tractor haciendo que la velocidad real de avance se anule y por ende también el rendimiento tractivo.

A modo de resumen se pueden enunciar las principales características del tráfico agrícola :

- traslado sobre un sustrato trifásico, siempre deformable, no homogéneo, con propiedades variables en el tiempo y en el espacio.
- aplicación de cargas en movimiento, con velocidades de desplazamiento lentas.
- oportunidad de labor acotada para adecuarse al ciclo biológico de los cultivos.
- aplicación de altas cargas normales, con el consiguiente peligro de sobrepasar la capacidad portante del suelo.
- 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 excesivo de los vehículos.
- respeto por las condiciones óptimas necesarias para el desarrollo radicular y evitar consecuencias desfavorables para el crecimiento posterior de los cultivos.

Todas estas particularidades conforman un sistema suelo-vehículo muy complejo que demanda de soluciones interdisciplinarias.

Hasta los años 80 por un lado, aparecían las soluciones que aportaban los agriculturalistas, cuyo objeto de estudio se circunscribía a los cultivos y sus necesidades. Por otro lado, estaban los enfoques netamente ingenieriles cuyo meta era maximizar la capacidad tractiva de los tractores, sin prestar demasiada atención a las consecuencias sobre el suelo y el desarrollo de las plantas.

A partir de esos años , y fundamentalmente a partir de los trabajos de K. Bekker (1905-1989) la comunidad científica tomó conciencia de que el sistema involucra el suelo-la máquina-el cultivo, por ende la interdisciplina es el camino más racional y seguro para alcanzar las soluciones buscadas.

Basado en las características del tráfico agrícola, pueden resumirse los objetivos de la Terramecánica en:

- encontrar los principales aspectos relacionados con la performance de los vehículos para propender al desarrollo racional de los diseños.
- caracterizar y cuantificar los principales parámetros que expliquen el comportamiento mecánico del terreno.
- evaluar metodologías de ensayo a campo de los vehículos y máquinas ya diseñadas para cuantificar sus prestaciones.
- predecir las consecuencias del tráfico sobre otros aspectos edáficos, biológicos y ambientales.

A pesar de las consideraciones ya enunciadas, hay dos propiedades mecánicas del suelo que fácilmente se pueden relacionar con las pérdidas de potencia enunciadas más arriba. Ellas son, la resistencia máxima del suelo al corte y la resistencia a la penetración que expresa la capacidad de soporte del suelo.

RESISTENCIA DEL SUELO AL CORTE

Se define como la resistencia al resbalamiento de una capa de suelo sobre otra inmediatamente contigua. Fue estudiada por Charles A. Coulomb (1736-1806) quien concluyó que el suelo no se comporta como un

sólido metálico. Las partículas minerales, asociadas siempre a las fases gaseosa y líquida, reaccionan de manera diferente a como lo hacen los sólidos metálicos monofásicos. La ecuación que explica los factores involucrados es:

$$\tau = c + \sigma_e \operatorname{tg} \varphi \quad (\text{XI.3})$$

Donde:

τ = tensión máxima de corte del suelo (kPa)

c = cohesión del suelo (kPa)

σ_e = tensión normal efectiva en el plano de rotura (kPa)

φ = ángulo de rozamiento interno del suelo.

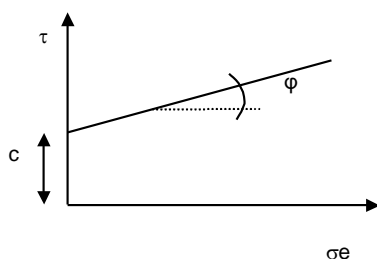


Figura XI.1: relación entre la tensión máxima y la tensión normal

Los cambios medibles de tensión, son debidos exclusivamente a modificaciones en la tensión efectiva, la cual surge de la diferencia entre la tensión normal total y la tensión neutra o presión en los poros de agua : $\sigma_e = \sigma_t - u$. Cuando se aplica una carga sobre el suelo, es soportada en principio por el agua retenida en los poros y por los sólidos del suelo. El incremento en la presión dentro de los poros con agua, causa el drenaje de la misma y la carga puede ser transferida a las partículas sólidas, ésta es la tensión efectiva.

La cohesión representa la atracción por la cual se mantienen unidas entre sí las partículas y agregados del suelo. Incluye la cohesión molecular ó verdadera y la superficial ó aparente. La primera, es inherente a las cargas eléctricas. Es una propiedad característica de las arcillas y de la doble capa o capa difusa que las separa. El factor decisivo que determina un valor elevado de cohesión molecular es la amplitud de la capa difusa y el agua presente en el suelo. Si hay suficiente cantidad de agua,

sus moléculas se interponen entre las partículas de arcilla, no dando lugar a la aparición de las fuerzas de atracción y la cohesión molecular será despreciable.

Por el contrario si la arcilla está seca, con porcentaje de humedad por debajo del límite de retracción, habrá más probabilidad de que prevalezcan las fuerza de atracción y la cohesión será máxima. En este momento, la resistencia intra agregados determina que la labranza del suelo sólo reordenará los terrones sin producir la roturación buscada.

La cohesión superficial, viene determinada por la tensión superficial que aparece en los meniscos de agua presentes en los poros antes de alcanzar la saturación. Cuando el porcentaje de humedad es suficiente como para que aparezcan suficiente cantidad de meniscos, en estado de consistencia plástica, la cohesión superficial será elevada.

El rozamiento interno está dado por la rugosidad o aspereza producto de la naturaleza de las partículas del suelo que determinan la trabazón entre ellas. Las partículas de arena, de gran tamaño y forma y bordes irregulares, tienen elevado rozamiento interno.

Se puede convertir la ecuación de Coulomb en fuerza máxima simplemente multiplicando todos sus términos por la superficie vinculante y visualizar más claramente qué parámetros son inherentes al suelo y no modificables por el usuario y cuáles sí:

$$F_{\text{máx}} = c s + Qadhtg\varphi \quad (\text{XI.4})$$

Aumentando tanto la superficie de contacto como el peso adherente se puede alcanzar un mayor valor de $F_{\text{máxima}}$.

Los componentes que conforman la potencia en el campo son la fuerza y la velocidad. Por lo tanto la potencia teórica de un equipo se la podrá aprovechar a alta velocidad y bajo esfuerzo o en el otro extremo a bajas velocidades y altos niveles de esfuerzo. Pues como se refiere en detalle en el capítulo XII la

potencia resulta del producto de la fuerza por la velocidad.

POTENCIA = FUERZA X VELOCIDAD

Si por limitaciones en el tipo de trabajo que se requiere realizar en una determinada zona, las velocidades de avance deben ser bajas, para conservar capacidad de trabajo elevaremos el ancho de trabajo de las máquinas y por ende el nivel de esfuerzo.

En estos casos es muy importante contar con tractores que permitan el agregado de lastre que los convierta en pesados. En zonas o planteos productivos en los cuales la velocidad no sea limitante se podrá conseguir capacidad de trabajo aumentando la velocidad. En estos casos tractores de menor relación peso potencia serán ideales al compactar menos el suelo y consumirán menos combustible al requerir menos energía para moverse.

Analizando las principales pérdida en el contacto rueda suelo podemos decir que el patinamiento afecta el componente velocidad y la rodadura el componente fuerza.

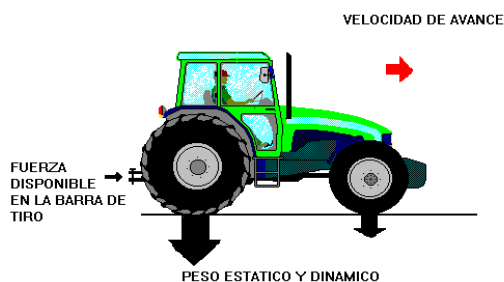
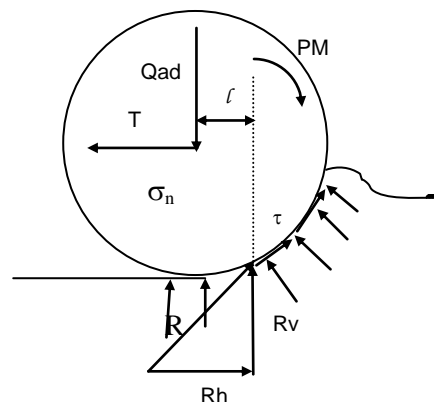


Figura XI.2: componentes de la potencia

El patinamiento: definición y formas de medición

Para visualizar cómo y por qué se alcanza la rotura del suelo cuando un tractor patina, es conveniente resumir qué fuerzas intervienen en el caso de una rueda motriz. Como toda rueda, debe soportar un valor de carga normal (Q) y gracias a que recibe un par motor en el eje

(PM) es capaz de entregar una fuerza neta de tracción (T).



Rueda motriz:

$$\sum Fy = 0 = Qad = Rv$$

$$\sum Fx = 0 = T = Rh$$

$$\sum M = 0 = PM - Rh r - Rv l$$

$$F r - T r - Q l = 0$$

$$F = T + Q k$$

$$F = T + R \quad (XI.5)$$

donde:

T = componente horizontal del esfuerzo de tracción

PM = par motor en el eje = fuerza tangencial (F) x radio de la rueda (r)

l = distancia desde la línea de acción de la componente vertical de la reacción hasta el eje de la rueda.

r = radio de la rueda

La ecuación (XI.5) es conocida como ecuación general de la Terramecánica y expresa que la fuerza total que llega al eje, fuerza bruta de tracción, deberá utilizarse en parte para vencer el auto transporte ó resistencia al avance, y el resto, estará disponible para realizar trabajo de tracción. Otra forma de decirlo es que la fuerza neta de tiro disponible es aquella que surge de la diferencia entre la fuerza que llega al eje, según la marcha seleccionada, y la fuerza que demande la rodadura del tractor. La fuerza tangencial demandada al eje, debe encontrar en el suelo la correspondiente reacción, para evitar deformaciones indeseadas, por lo tanto

no debe nunca superar a la $F_{m\acute{a}x}$ que calculamos en el apartado anterior.

Cada vez que una rueda aplique un determinado valor de torque en el suelo, su recorrido no es equivalente al traslado producto de su velocidad angular por el radio ($\omega.r$). El patinamiento puede definirse como el movimiento relativo entre el elemento que tracciona y el suelo subyacente. O el deslizamiento de la capa superior del terreno respecto a la inferior contigua, en sentido contrario al de avance del vehículo determinando que la velocidad tangencial desarrollada sea menor que la teórica. Cuanto mayor sea el esfuerzo de tracción demandado, mayores serán las deformaciones del suelo, la principal causa del patinamiento es entonces, el esfuerzo de tracción demandado.

El patinamiento puede expresarse como la diferencia entre la velocidad teórica del tractor y la real. Esta diferencia de velocidades es producto del corte del suelo y su desplazamiento por debajo del rodado, con la consiguiente disminución de la capacidad de trabajo del conjunto. Puede expresarse como:

$$Pat(s) = \frac{Vt - Vra}{Vt} \times 100 \quad (XI.6)$$

Siendo Vt = velocidad teórica

Vra = velocidad real de avance

Esta discordancia cinemática puede medirse fácilmente a campo. Una alternativa es medir el tiempo transcurrido para recorrer una distancia conocida y calcular la velocidad de avance como el cociente entre distancia y tiempo. Esta operación deberá realizarse con el tractor en vacío para calcular la velocidad teórica ó el cero de referencia y luego con el tractor trabajando, a la profundidad y en las condiciones de velocidad que se pretendan desarrollar en la situación real de estudio.

Esta segunda determinación servirá para calcular la velocidad real y por diferencia calcular el porcentaje de patinamiento presente. Sin embargo para estar seguros de que la pérdida de velocidad es debida exclusivamente al patinamiento, debe corroborarse que en ambas condiciones, el

régimen de funcionamiento del motor sea el mismo, es decir que la carga demandada no haya bajado las vueltas del motor. Esta condición, muy difícil de cumplir, determina una restricción para este método.

Otra alternativa es registrar la diferencia de espacio recorrido que se presenta cuando un tractor patina. Para ello lo más aconsejado es medir la distancia recorrida para un número de vueltas fijo de la rueda en ambas situaciones: tractor en vacío y bajo carga. Para el cálculo del patinamiento es necesario conocer la distancia sin carga ($d_{s/c}$) y la distancia con carga ($d_{c/c}$):

$$Pat(s) = \frac{d_{s/c} - d_{c/c}}{d_{s/c}} \times 100$$

Por último se puede establecer el patinamiento comparando la cantidad de vueltas realizadas por la rueda motriz en situación sin y con carga en una determinada distancia

$$Pat(s) = \frac{v_{sc} - v_{cc}}{v_{sc}} \times 100$$

Este último método es empleado por los sistemas electrónicos que dotan a muchos tractores en la actualidad los mismos comparan las vueltas dadas por las ruedas motrices con la distancia real recorrida detectada por el radar del tractor. Mediante un sistema de cálculo compara ese número de vueltas con el número de vueltas teórico para recorrer dicha distancia en vacío.

Las principales consecuencias de un alto porcentaje de patinamiento son, las pérdidas de tiempo que ocasiona, el aumento en el consumo de combustible, el desgaste exagerado de neumáticos y el amasado y deterioro del suelo..

Si la velocidad real del tractor termina siendo cero producto de un patinamiento del 100%, la potencia disponible para trabajos de tracción se anula. Por lo tanto, el patinamiento es una pérdida de potencia tractiva producto de un disminución de velocidad. No es una pérdida de fuerza, por el contrario conviene pensar que la fuerza demandada es tan grande que el suelo no la resiste.

Alternativas disponibles para la disminución del patinamiento

Ante la ocurrencia de esta problemática, existen diferentes alternativas de solución. Los factores involucrados para aumentar la reacción presente en el suelo, aparecen en la ecuación (XI.4). La cohesión es una propiedad inherente a los suelos con altos porcentajes de arcilla, suelos con partículas de muy pequeñas dimensiones, de forma casi lenticular y con bordes lisos.

Una muestra de arcilla pura, limpia y seca, prácticamente tiene un ángulo de rozamiento interno cero y la resistencia al corte que manifieste se debe exclusivamente a su cohesión molecular. Además, esas pequeñas partículas dejan entre sí pequeños espacios porosos que determinan otras características de este tipo de suelo que son su baja permeabilidad, su lento drenaje y su porosidad total basada casi exclusivamente en micro poros.

La aplicación de cargas normales durante un tiempo muy acotado, en este tipo de sustratos, determina que sea el agua y no la granulometría del suelo quien soporte ese mayor peso. La tensión normal entonces no se traduce en tensión efectiva sino en lo que se conoce como tensión neutra. Para traducir el aumento de carga normal en mayor reacción del suelo, es necesario dejar esa estructura un tiempo suficientemente grande como para evacuar el agua retenida con mucha fuerza en esos pequeños poros.

Estas cuestiones llevan a concluir que la mejor vía para aumentar la reacción de un suelo arcilloso ante problemas de patinamiento, es aumentar la superficie de contacto rueda-suelo. La colocación de rodados duales o de neumáticos de mayor tamaño (ancho de la banda de rodamiento ó alto) son alternativas posibles. El consejo debiera ser, “pasar el problema por encima, flotar y no pretender encontrar mayor reacción en el suelo en el escaso tiempo que se dispone durante el traslado de vehículos agrícolas”.

La mayor superficie, multiplicada por un importante valor de cohesión, agrandarán la reacción disponible en el suelo y por lo tanto el patinaje. Desde un punto de vista estrictamente aritmético, el insignificante valor de rozamiento interno, dificulta pretender aumentar la $F_{m\acute{a}x}$ del suelo por intermedio de este término.

Estas razones sumadas, pretenden dar fundamento para la necesidad ocasional de recurrir a la solución más onerosa para reducir el patinaje, como es la compra de neumáticos más altos ó más anchos. Luego se verá que la mejor solución es aumentar la superficie vinculante a través de rodados de mayor altura y no exagerar con su ancho.

Si por el contrario el problema se presenta en un suelo arenoso, con insignificante cohesión y gran ángulo de rozamiento interno, la carga normal aplicada, por la colocación de mayor número de contrapesos, se traduce inmediatamente en tensión efectiva. Los grandes espacios vacíos que quedan entre las partículas de bordes angulosos, con importante grado de trabazón entre ellas, evacuan rápidamente el agua presente. Son suelos de rápido drenaje, donde la solución más económica es incrementar la cara normal y es suficiente como para encontrar más reacción en el suelo y disminuir el patinaje.

Hay valores de patinamiento óptimos?

El patinamiento es función directa de la tracción ó carga demanda y el principal parámetro del tractor que puede contrarrestar su efecto, es el peso adherente del eje motriz (ver cálculo de peso adherente). Es por ello que una forma rápida para predecir el porcentaje de patinamiento, es calcular la razón entre estas dos fuerzas, denominada coeficiente de tracción (t):

$$t = T / Qadh$$

Si se representa en un eje cartesiano la relación entre el esfuerzo de tracción demandado y el patinamiento esperable (S) la función que resulta determina una figura característica:

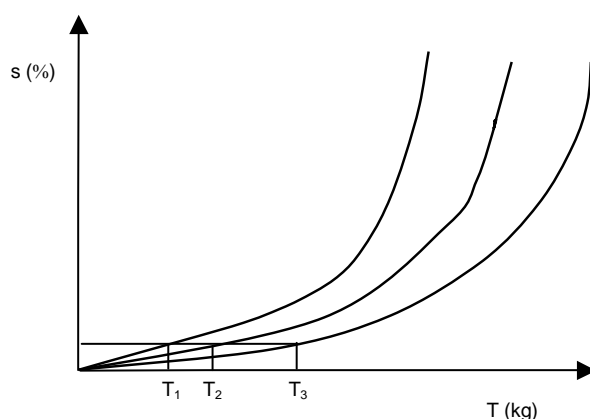


Figura XI.3: curvas de patinamiento

Puede verse que al comienzo la relación entre el esfuerzo demandado y el patinamiento es lineal, luego hay una zona donde pequeños aumentos del esfuerzo se corresponden con mayores incrementos de patinamiento para pasar rápidamente a una zona de crecimiento prácticamente exponencial del patinamiento con el esfuerzo de tracción. Dentro de la primera zona, con patinamientos proporcionales a los esfuerzos demandados puede expresarse:

$$T1 / Qadh1 = T2 / Qadh2 = T3 / Qadh3 = cte = t$$

Numerosos trabajos de investigación demuestran que la máxima eficiencia tractiva (ecuación XI.2) se alcanza cuando el coeficiente de tracción vale aproximadamente 0,4, y este valor se corresponde con patinamientos cercanos al 12-15 %. Es decir que una primera hipótesis básica es, armonizar el esfuerzo de tracción demandado por el implemento con el peso adherente del tractor. La magnitud del tiro debe estar cerca del 40% del peso adherente.

Si el tamaño del implemento ó la profundidad de trabajo ó la velocidad de labor determinan que el coeficiente de tracción valga por ejemplo 0,6 la eficiencia tractiva será mucho menor debido a que la velocidad real de desplazamiento se verá reducida por los altos valores de patinamiento.

Si por el contrario la demanda de esfuerzo es tan baja que el coeficiente de tracción vale por ejemplo 0,2 tampoco será posible alcanzar la máxima eficiencia tractiva ya que se estará desperdiciando capacidad de tracción, ese tractor obviamente dispone de mucha más potencia tractiva que la realmente demandada.

Esta situación de trabajo llevará a tener un motor muy descargado trabajando dentro de la zona de acción de regulador muy cerca del volumen de inyección mínimo, pero con un consumo específico muy elevado (ver capítulo XII).

Un modelo sencillo para estimar el peso adherente del eje motriz es el propuesto por F.M. Zoz quien luego de numerosos ensayos a campo con tractores de diseño convencional y diferentes tipos de enganche entre la máquina y el tractor, encontró la siguiente relación entre esfuerzo de tracción demandado y peso adherente:

$$Qad = Q1 + 0.25 T \text{ para implementos de arrastre}$$

$$Qad = Q1 + 0.45 T \text{ para implementos semimontados}$$

$$Qad = Q1 + 0.65 T \text{ para implementos montados en los tres puntos del tractor}$$

Debe decirse que estos son valores máximos esperables para cada caso. Es decir que si el enganche del implemento, vinculado al tractor a través de la barra de tiro, está correctamente realizado y el implemento está también regulado adecuadamente, como máximo el 25% del esfuerzo de tracción demandado puede sumarse al peso estático del eje motriz en concepto de transferencia dinámica.

Estos son valores teóricos para efectuar el cálculo correcto se requiere contar con todas las mediciones y efectuar el cálculo en cada caso en particular.

CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO

Resistencia a la penetración

Una forma muy sencilla de definir un tractor y diferenciarlo de otro vehículo automotriz será a través de su relación peso/potencia y del diseño de la transmisión capaz de multiplicar los pares generados en el motor para poder convertirse en un “motor de tracción”. Un vehículo pensado para utilizar la potencia en base a la fuerza y no a la velocidad. Esta importante carga normal que soportan los vehículos debe encontrar reacción en el suelo para evitar hundimientos exagerados que ocasionarán pérdidas de potencia tractiva.

En cuanto a la reacción de suelo a la compresión, los suelos responden a las presiones aplicadas de diferentes modos, teniendo cada uno su propia relación compresión-deformación.

La forma más común de caracterizar el suelo a la compresión es a través de su resistencia a la penetración. Para ello, el uso del penetrómetro de cono ó "cono de Ohio", es prácticamente universal. Este aparato, ha sido estandarizado por la Asociación Americana de Ingeniería Agrícola bajo la norma ASAE. S 313 (American Society of Agricultural Engineering, 1992) y en Argentina por la Norma IRAM 8063 Suelos agrícolas el método para la determinación de la resistencia a la penetración mediante el penetrómetro de cono.

Allí se especifican dos medidas de cono, ambos de 30°, grande de 20,27 mm y pequeño de 12,83 mm de diámetro. También se estandariza una velocidad de penetración de 30,5 mm s⁻¹. La fuerza necesaria para la penetración, relacionada a la superficie de la base del cono, termina dando como dato el Índice de cono (kPa).

El penetrómetro de cono ASAE S.313, es un dispositivo de fácil construcción y utilización, ya muy avalado por el extenso uso que muchos investigadores han hecho de él y permite hacer muchas mediciones rápidamente, lo que posibilita compensar la muy alta variabilidad horizontal que los suelos agrícolas tienen, respecto al parámetro resistencia a la penetración. Puede además, ser utilizado para

explorar el perfil hasta profundidades importantes.

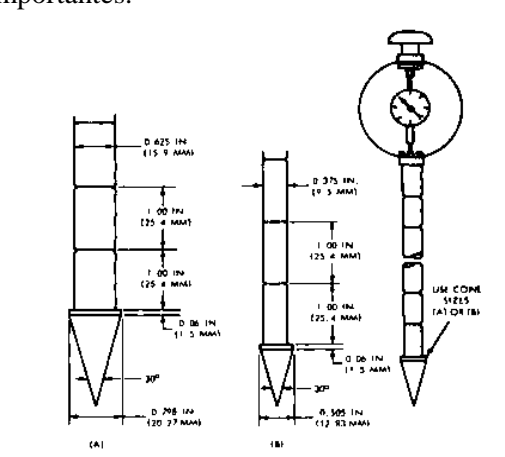


Fig. XI.4 Penetrómetro de cono S.313.3

Los equipos de última generación tienen incorporado sistemas de control de velocidad de penetración, almacenamiento de datos y posicionamiento mediante la asistencia de GPS.

La principal limitante de este tipo de mediciones es la fuerte interrelación existente entre la resistencia y el contenido de humedad del suelo de allí la importancia de comparar valores con humedades equivalentes. Por lo general se tiene por convención efectuar las mediciones a capacidad de campo del suelo.

Este aparato es utilizado para diferentes fines tales como: estudio del perfil del suelo para la localización de posibles capas compactadas, estudios sobre distribución y desarrollo de raíces, ecuaciones para predecir prestación tractiva de conjuntos. Sin embargo, varios autores han demostrado que en esta determinación están involucrados efectos combinados de corte, compresión, tensión y fricción suelo metal, variando su participación principalmente con el porcentaje de humedad del suelo.

Cuando el contenido de humedad es elevado, el suelo que se adhiere a las paredes del cono, cambia sensiblemente su geometría y el significado del parámetro registrado. Por lo tanto alertan sobre la correcta interpretación de los datos de penetrometría.

Sin embargo, y como se dijo anteriormente, en las década del 70 y 80 numerosos grupos de investigación desarrollaron modelos netamente empíricos que concluyen en el enunciado de sencillas ecuaciones para el cálculo de la eficiencia tractiva. Todos ellos utilizan el Índice de cono como parámetro de la resistencia mecánica del suelo. Seguramente la estandarización del aparato y de la metodología para la obtención del dato **contribuyeron** en gran medida a su amplia utilización.

A partir del dato de IC de un suelo se puede inferir la condición mecánica del mismo según esta posible clasificación:

Tabla XI.1: referencias de índice de cono

Clase de suelo	IC (kPa)	Condiciones mecánicas
0	> 2000	Sin huellas visibles. Pastura vieja muy seca
I	900 - 2000	Sin problemas de tracción. Rastrojo seco del año anterior
II	450 - 900	Condiciones pobres de tracción. Rastrojo blando o tierra consolidada suelta
III	200 - 450	Marginal para el tránsito, huellas muy profundas. Suelo recién labrado.

Resistencia al auto transporte o resistencia al avance

La resistencia a la rodadura es la fuerza necesaria que el tractor debe disponer para poder avanzar y llevarse a sí mismo ó auto transportarse. Es equivalente a la suma de las componentes horizontales de las tensiones normales cuyo sentido es siempre opuesto al avance. En realidad tiene tres componentes:

$$R = R_c + R_b + R_t$$

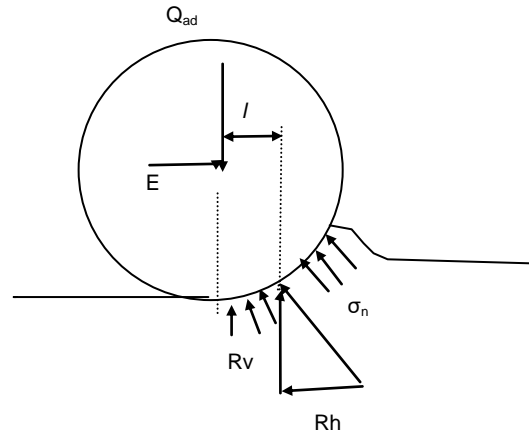
Dónde:

R_c = es la deformación vertical que sufre el suelo producto de la masa que soporta la rueda. Se relaciona directamente a la formación de huellas y puede verse como la fuerza necesaria para subir esa pendiente que aparece cuando se forma dicha huella.

R_b = es la fuerza necesaria para empujar y arrastrar el suelo que va explotando por delante y a los costados del neumático. En situaciones de suelo muy suelto y rodados demasiado anchos, aunque el hundimiento sea pequeño, se forma una importante bufanda de terreno suelto, que se ha roto por compresión, y que debe ser empujada constantemente con el consiguiente gasto de energía. Por la similitud del trabajo de una pala empujadora, se lo denomina efecto “buldozing”.

R_t = es debida a la deflexión del propio neumático. Sólo es considerable ante la presencia de suelos muy rígidos y presiones de inflado muy bajas. En la mayoría de los casos no es tenida en cuenta.

Para visualizar fácilmente esta fuerza se debe recordar la situación de equilibrio que se presenta en una rueda conducida donde el par motor que recibe en el eje es cero y necesita recibir una fuerza de empuje (E) para poder avanzar:



$$\sum F_y = 0 = Q_{ad} = R_v$$

$$\sum F_x = 0 = E = R_h$$

$$\sum M = 0 = R_h r - R_v l$$

$$R_h = E = Q_{ad} l / r$$

$$E = Q_{ad} k \quad (XI.7)$$

Donde :

Q_{ad} = peso adherente que soporta el neumático

E = fuerza de empuje

R_v = componente vertical de la reacción del suelo

R_h = componente horizontal de la reacción del suelo

l = distancia desde la línea de acción de la componente vertical de la reacción hasta el eje de la rueda.

r = radio de la rueda.

La fuerza $R_h = E$ es la sumatoria de las componentes horizontales de las tensiones normales, tiene sentido contrario ó opuesto al de avance. Esta fuerza es la que se denomina resistencia al avance ó esfuerzo de rodadura. Su magnitud depende según la ecuación (XI.7) del peso que soporte el neumático y del coeficiente de rodadura (k).

Para una misma condición de carga normal cuanto más blando sea el suelo, mayor será la zona de contacto rueda-suelo, mayor el hundimiento y mayor la magnitud de las componentes horizontales de las tensiones normales. Por otro lado, para una misma condición de suelo, cuanto mayor sea el peso que recaiga sobre la rueda, mayor también deberá ser la reacción del suelo. Empujar un vehículo más pesado ó sobre un suelo con menor capacidad portante, cuesta más esfuerzo.

Un modelo sencillo para predecir el coeficiente de rodadura K es el propuesto por Wismer y Luth desarrollado para tractores de dos ruedas motrices y de construcción de carcasa diagonal. La ecuación obtenida a partir de numerosos ensayos en diferentes condiciones de suelo y vehículos es:

$$k = 1.2 / Cn + 0.04$$

$$Cn = ICbd / Qad$$

IC = índice cono promedio entre 0 y 15,2 cm de profundidad

b = ancho de la banda de rodamiento

d = diámetro de la cubierta sin carga

Qad = peso adherente sobre la rueda

El Cn denominado valor numérico de la rueda es un parámetro adimensional que depende fundamentalmente del dato de resistencia a la penetración del suelo. Valores típicos de Cn varían entre 30-50 para condiciones de suelos duros hasta 10-15 para suelos labrados. Aún en condiciones de suelos prácticamente indeformables, al menos el 40% del peso adherente del tractor, deberá ser utilizado para auto transporte.

A modo de ejemplo se presenta el cálculo de la resistencia al avance de un tractor de diseño convencional que está tirando una rastra pesada sobre un rastrojo de soja a una velocidad de 7,4 km/h.

Datos:

$$Nm = 120 C.V.$$

$$Qt = 52920 \text{ N (5400 kg)}$$

$$Q1 = 34937 \text{ N (3565 kg)}$$

$$\text{Rodados posteriores: } 18.4 \times 34$$

$$d = 1640 \text{ mm}$$

Está tirando una herramienta de arrastre que demanda un esfuerzo de tracción $T = 1500 \text{ kg}$ sobre un suelo cuyo $IC = 827 \text{ kPa (120 psi)}$

Cálculo del peso adherente sobre una rueda :

$$Qad = Q1 + 0.25T$$

$$Qad = 3565 \text{ kg} / 2 + 375 \text{ kg} = 1970 \text{ kg} \\ = 4343 \text{ lb}$$

$$Cn = 120 \text{ psi } 18.4 \text{ pulg } 64.52 \text{ pulg} / 4343 \text{ lb}$$

$$Cn = 32.8$$

$$K = 0.077$$

$$R = Qad \text{ eje (3940 kg)} \times k (0.077) = \\ 301.74 \text{ kg}$$

$$\text{Potencia perdida en rodadura } Nk = \\ 8.3 \text{ C.V.}$$

ALTERNATIVAS PARA REDUCIR EL ESFUERZO DE RODADURA

Una primera pregunta es ¿la resistencia al avance puede ser de tal magnitud que anule la potencia tractiva disponible?. Para ello es necesario pensar qué condiciones de suelo y vehículo maximizan esta pérdida de fuerza.

Ya se ha demostrado analíticamente que cuanto más blando esté el suelo y cuanto más pesado sea el vehículo mayor será la rodadura. Una situación extrema sería, el tractor con todos los lastres colocados que pretende avanzar sobre un suelo recién labrado ó muy suelto, en una marcha alta.

Esta suma de condiciones puede fácilmente determinar que el vehículo no pueda desplazarse debido a que la fuerza disponible en el eje, escasa por la alta relación de transmisión elegida, no es suficiente para vencer la deformación vertical del suelo. La resistencia al avance adquiere tal dimensión que no sólo no resta fuerza para realizar trabajos de tracción , sino que la fuerza bruta del eje iguala a resistencia al avance:

$$R = F \therefore T = 0$$

La primera consideración para achicar esta pérdida es alivianar el tractor todo lo posible,

sacarle todos los lastres, de ahí la importancia de contar con lastres de tamaño no demasiado elevado y con un fácil sistema de sacado y colocación. Este aspecto ha sido considerado por algunos fabricantes de tractores y no es una cuestión menor para maximizar la eficiencia tractiva en diferentes condiciones de trabajo. Como fue dicho más arriba, para reducir el problema del patinamiento es ideal contar con un tractor pesado, mientras que para evitar la formación de huellas, es necesario tener un vehículo liviano.

Otra cuestión a tener en cuenta es la superficie de contacto rueda-suelo. Si este valor aumenta, la presión específica será menor y el hundimiento del vehículo también disminuirá. Hay varias alternativas en el mercado para lograr aumentar la superficie de los rodados: colocación de ruedas más anchas, de construcción radial, más altas ó duales.

De estas cuatro opciones, numerosos trabajos de investigación concluyen que el aumento del diámetro del rodado es la mejor alternativa. El aumentar la superficie en base al ancho, tiene la limitante del efecto bulldozing explicado más arriba. El hecho de contar con una gran superficie de contacto es beneficiosa para reducir las dos pérdidas de potencia estudiadas, patinamiento y rodadura.

CÓMO LOGRAR LA MÁXIMA EFICIENCIA TRACTIVA

El objetivo como usuarios del tractor es hacer máximo el valor del rendimiento tractivo. Un parámetro del tractor agrícola que ha evolucionado en los últimos años, es la relación peso/potencia. Era común en la década del 50 y 60 que los tractores tuvieran una relación cercana a los 60 kg/C.V.

Con posterioridad, la tendencia (fundamentalmente en Europa) fue diseñar vehículos más livianos, con valores extremos muy amplios entre la masa del tractor sin lastres y aquella con todos los lastres colocados, valores entre los 30 kg/C.V. hasta 50 kg/C.V.

Dos tractores de igual potencia en el motor pero de muy diferente relación peso/potencia pueden ambos alcanzar la misma eficiencia tractiva. La diferencia será que el más pesado lo hará cuando entregue un mayor valor de fuerza y por ende se desplace a menos velocidad. Será eficiente con implementos de mayor ancho de trabajo y velocidades lentas. El vehículo más liviano para alcanzar la misma capacidad de trabajo y la misma eficiencia deberá desplazarse a mayores velocidades y realizando menores esfuerzos de tracción, la opción será equipos de escaso ancho de labor y marchas altas

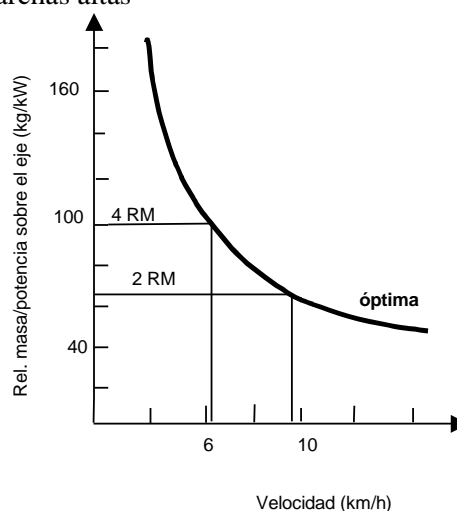


Figura XI.5: relación masa/potencia requerida para maximizar la eficiencia tractiva

La figura XI. 5 representa la relación entre la velocidad de avance y la relación peso/potencia. Una forma de encontrar la relación analítica entre estos parámetros aquí representados, es recordar que la máxima eficiencia tractiva se corresponde con un coeficiente de tracción de aproximadamente 0.4 y que en buenas condiciones de tracción (suelo duro y adecuados neumáticos) se puede alcanzar un valor de 0.7 de eficiencia tractiva neta (N_b/Ne_je).

Por lo tanto:

$$N_b/Ne_je = 0.7$$

$$T Vr = 0.7 Ne_je \quad \text{Reemplazando } t = 0.4$$

Qad

$$0.4 Qadh Vr = 0.7 Ne_je$$

$$Qadh/Neje = 1.75/Vr$$

A partir del gráfico puede verse que para alcanzar la eficiencia óptima a 6.5 km/h de velocidad de avance, es necesario tener una relación peso/potencia en el eje de 100 kg/kw (73.6 kg/C.V.). Debe recordarse que como peso adherente debe incluirse el peso estático y las cargas dinámicas debidas a la transferencia de peso que aparecen producto de realizar trabajos de tracción, las cuales obviamente serán significativamente mayores si el implemento es montado en los tres puntos del sistema hidráulico.

La capacidad de lastre de los neumáticos tiene un límite y estará muy relacionada con la presión de inflado. El fabricante de las ruedas entrega una tabla donde el usuario encontrará estos valores para cada situación. De todas formas la eficiencia tractiva óptima debería encontrarse preferentemente con la mínima presión de inflado recomendada según la carga normal en el eje.

Cada vez que se aumente la presión de inflado por sobre el mínimo recomendado, se estará reduciendo el área de contacto rueda-suelo (fundamentalmente en rodados diagonales) y se estará contribuyendo a aumentar la compactación del suelo.

Sin embargo, la realidad muestra que prácticamente ningún tractor de diseño convencional puede lograr una relación de 73.6 kg/C.V. de potencia en el eje (algo más de 80 kg/C.V. de potencia en el motor). En la figura XI.5 aparece la relación peso/potencia que comúnmente tienen los tractores de dos ruedas motrices, la cual se acerca a los 50 kg/C.V, para trabajar con la mínima presión de inflado recomendada.

Esta relación implica que para que ese tractor alcance su máxima eficiencia deberá desplazarse a una velocidad muy cercana a los 10 kmh⁻¹. Esta velocidad no es la que comúnmente se usa para trabajar con implementos de altos esfuerzos traccionales.

Por otro lado también aparece la relación peso/potencia típica de los tractores 4 ruedas motrices todas de igual tamaño. Estos vehículos tienen normalmente un tamaño de rodados que permite alcanzar la relación peso/potencia óptima para desplazarse a velocidades lentas, para trabajos de altos esfuerzos de tracción.

El problema es entonces el correcto dimensionamiento de los rodados, que en el caso de los tractores de diseño convencional, generalmente están por debajo de lo aconsejable. A modo de ejemplo podría decirse que un tractor de 100 C.V. de potencia que normalmente tiene colocados neumáticos 18.4-34 debería tener 23.1-30 singles ó 18.4-34 duales. De esa forma podría alcanzar la eficiencia tractiva óptima que se acerca a 0.7 (Nb/Neje).

Es verdad que existen algunas dificultades de orden práctico que pueden aparecer con neumáticos de mucho tamaño, como el trabajo dentro del surco, ó la imposibilidad real de alcanzar los valores de ηT citados si se utilizan implementos de arrastre. La transferencia de peso de un implemento vinculado a través de la barra de tiro del tractor nunca supera el 25% del esfuerzo de tracción demandado. Por ello sería importante poder transferir mayor carga con la utilización de implementos semimontados ó montados.

CUBIERTAS AGRÍCOLAS

El tránsito sobre el campo se hace cada vez mas intenso y el tractor está hoy involucrado en una serie importante de actividades como pulverización, fertilización, siembra y cosecha.

Los neumáticos agrícolas deben cumplir una serie de funciones que interactúan y a veces son antagónicas entre si. En resumen, deben soportar un importante valor de carga normal (peso) que en relación a la superficie de contacto no debe sobrepasar la capacidad de soporte de los suelos, los cuales son siempre deformables. Es decir, poder auto transportarse sin hacer demasiada huella.

Por otro lado, deben ser capaces de entregar la fuerza tangencial demandada sin sobrepasar la resistencia al corte del suelo. Además deben brindar suspensión, lograr un adecuado despeje del tractor y transmitir las fuerzas de propulsión, frenado y conducción. Todas las funciones descritas deberán ser realizadas provocando un mínimo impacto sobre el suelo.

La interacción del neumático con el suelo es un fenómeno físico muy complejo en el cual intervienen variables relativas al tipo de construcción, dimensiones, presión de inflado, lastre, tipo de dibujo de la banda de rodamiento, así como las características de la gran variedad de suelos existentes y su estado en el momento de la labor agrícola.

Al margen de las características específicas con que trabajan los fabricantes de cubiertas, el productor tiene en su mano importantes variables que modificándolas le permitirá conseguir mejoras de rendimiento a campo. Las más importantes son el lastre, la presión de inflado y la reposición por desgaste.

Es evidente que la mejor forma de acercarse al problema es, teniendo en cuenta todos los elementos que intervienen y conjugar conocimientos básicos de mecánica de suelos, parámetros de prestación del vehículo y especialmente de neumáticos y los fenómenos que aparecen en la zona de contacto rueda-suelo.

Sistemas de medición

Para hablar de neumáticos lo primero que se debe saber interpretar es su nomenclatura y que quieren decir una serie de números y letras que identifican su tamaño, tipo de construcción y uso. Existen dos tipos de nomenclatura que conviven en el mercado mundial de neumáticos.

Nomenclatura convencional

Este es el método más común utilizado en la actualidad. Ejemplos serían 7.50-16 11L-15. 18.4-34 y 18.4R38. El primer número se refiere al ancho nominal expresado en

pulgadas esta seguido por un guión en las convencionales y una R en las radiales. El último número se refiere al diámetro en pulgadas de la llanta.

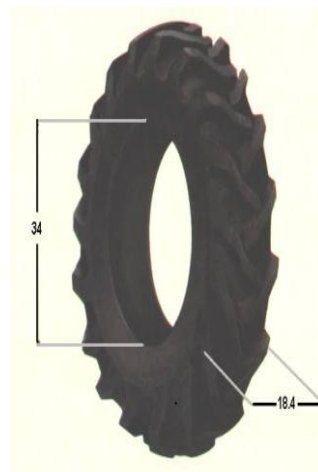


Figura XI.6: medidas principales

Nomenclatura métrica

Esta nueva nomenclatura cuenta con la aprobación de la Organización Internacional de Normalización ISO. Ejemplos 320/90D46 y 710/70R38. El primer número se refiere al ancho nominal expresado en milímetros. Después de "/" se indica la relación sección alto, la "R" indica radial y la "D" diagonal o convencional. El último número se refiere al igual que en la nomenclatura convencional al diámetro de llanta expresado en pulgadas.

La nomenclatura "número de telas" empleada por la mayoría de los fabricantes se ajusta al criterio adoptado por la Tire and Rim Association de los Estados Unidos de Norte América. Para todas las cubiertas agrícolas el término número de telas se refiere a la capacidad de carga a la presión recomendada cuando se la emplea en un uso determinado. Por lo tanto es un indicador de la resistencia de la cubierta y no implica que deba coincidir con el número real de telas de la misma.

Existen otras nomenclaturas que también conviven en el mercado que son, la marcación tipo estrella en convencionales y radiales o el índice de carga en las radiales métricas. Las

denominaciones pueden describir la fortaleza (número de telas), la capacidad a la presión nominal (marcación estrella) o la capacidad de carga a la presión estipulada (índice de carga).

Marcación estrella

Se emplea en las cubiertas radiales agrícolas normales. Esta marcación es un índice de la presión nominal: 1 ESTRELLA para condiciones de operación a 18 PSI, 2 ESTRELLAS para 24 PSI y 3 ESTRELLAS a 30 PSI. Las cargas variarán en función del tamaño de las cubiertas. Estos límites se dan en las tablas que proveen los fabricantes de neumáticos

Índice de carga

Se emplea en las cubiertas radiales métrica. El número indica la carga nominal, cada número índice se corresponde con determinado nivel de carga del neumático. Si dos cubiertas poseen el mismo índice soportarán la misma carga pero no necesariamente a la misma presión de inflado.

Existe un código adicional formado por letras y números normalizado por la T.R.A. que contempla las características generales de las cubiertas como diseño y profundidad de tacos,

este código universal fue creado para que el usuario pueda individualizar una cubierta por su tipo de uso en forma independiente del nombre comercial que cada una de las empresas utilice y sirve como orientador para el uso específico que se le quiere asignar. En la tabla siguiente se provee un cuadro que sirve a la selección de un neumático específico para determinado uso y su código.

Cubiertas sin cámara:

Las cubiertas sin cámara han sido utilizadas en tractores por muchos años en el mundo y recientemente las han incorporado las fábricas líderes de tractores. Operan a las mismas presiones de inflado y tienen la misma capacidad de carga que las cubiertas con cámara. Las cubiertas sin cámara son más confiables, su reparación es más simple y tienen menores costos de montaje. Cuando se las emplea con cloruro de calcio la corrosión no es un problema siempre y cuando se respeten las presiones de trabajo que aseguran el talón en su alojamiento. Esto evita la entrada de aire del exterior. Cuando se realiza el desmontaje en estos casos debe lavarse la llanta rápidamente con agua limpia para evitar la corrosión.

Tabla XI.2: código de los diferentes dibujos de cubiertas

CODIGO	TIPO DE USO NORMALIZADO	USO TÍPICO
F-1	Diseño de simple guía	Cultivo de arroz
F-2-M	Diseño de múltiple guía	Tareas generales
F-2	Diseño de múltiple guía	
F-3	Diseño multi guía de tipo industrial	Uso industrial leve
R-1	Cubierta de tracción diseño normal	Trabajos Agrícolas Generales
R-1W	Diseño para suelo húmedo	Suelos húmedos Y mojados
R-2	Diseño profundo para arroz y caña	Barro Caña de azúcar Cultivo de arroz
R-3	Cubierta de tracción taco de bajo perfil	Arena Ceniza

R-4	Diseño intermedio de tipo industrial	Frutales Parques Campos de golf Uso industrial leve Uso industrial leve Corte de pasto
HF-1	Diseño de tacos, alta flotación	Campos de golf
HF-2	Tacos intermedios alta flotación	Agricultura general
HF-3	Tacos profundos alta flotación	Cortadoras de pasto
HF-4	Tacos extraprofundos alta flotación	Barro
I-1	Diseño tipo guía	Ruedas libres
I-2	Tracción moderada	Conductoras y libres Rodaje general
I-3	Diseño de tracción	Ruedas conductoras
I-6	Diseño suave	

Para el uso convencional de campo en seco las cubiertas más aptas son las de tipo R 1. Para suelos húmedos y arcillosos con gran porcentaje de humedad el más adecuado será el R-1W. La cubierta R-1 W ofrece una profundidad de taco 25 % mayor brindando una mayor capacidad de tracción sin empacho. Se deberán utilizar los neumáticos R-2 para situaciones de suelos inundados como arrozales.

El R-2 tiene el doble de profundidad de dibujo que el R-1. La utilización de un determinado dibujo sobre una superficie para la cual no fue concebido determinará un rápido desgaste y una baja capacidad de tiro. Por ejemplo el empleo de un neumático R-2 sobre suelo duro y seco traerá aparejado un desgaste acelerado, menor capacidad de tiro y un aumento de las vibraciones al andar.

La capacidad de carga

Una cubierta deberá tener el suficiente tamaño o el número adecuado de telas para poder soportar la máxima carga a la cual se verá sometida durante su utilización normal. Para determinar la máxima carga se deberán incluir los lastres líquidos y metálicos, tolvas y equipos que transfieran peso.

El aire dentro de la cubierta soportará el peso por lo tanto para aumentar esta capacidad se puede emplear cubiertas más grandes o más resistentes "número de telas" a una presión de inflado mayor o una combinación de ambas.

Una cubierta con una capacidad de 10 telas que opere a una presión equivalente a una de seis telas soportará el peso de una cubierta de 6 telas.

Para obtener los mejores resultados las cubiertas deben siempre inflarse de acuerdo a la carga que deben soportar.

El Instituto de Ingeniería Rural del INTA y el laboratorio de dinámica de suelos del Depto de Agricultura de los Estados Unidos aconsejan el inflado de las cubiertas a la mínima presión dada por el fabricante para la carga estipulada. Esto minimiza la compactación del suelo e incrementa la capacidad de tracción.

Tipo de construcción de neumáticos:

Como lo muestran los esquemas la construcción de un neumático radial difiere substancialmente de la de uno convencional. Los paños de telas en un neumático convencional están dispuestas en forma diagonal de talón a talón. En un neumático radial la disposición es de 90 grados respecto a la dirección de avance uniendo talón con talón.

Las cubiertas radiales poseen bandas de refuerzo en el área de contacto con el suelo y de tacos. Dichos refuerzos regulan la deformación y estabilizan a los tacos cuando toman contacto con el suelo. Al disponer en los flancos de un menor número de telas de refuerzo los mismos son más elásticos y deformables.

Tanto en el mercado Europeo como Norteamericano desde hace años se han impuesto en los tractores de mediana y alta potencia, los neumáticos radiales. Este tipo de construcción brinda la posibilidad de obtener a igualdad de peso una huella más larga y por lo tanto una mayor superficie de contacto, esto trae aparejado una menor presión en la interfase rueda-suelo, posibilitando una menor compactación y un aumento de la adherencia.

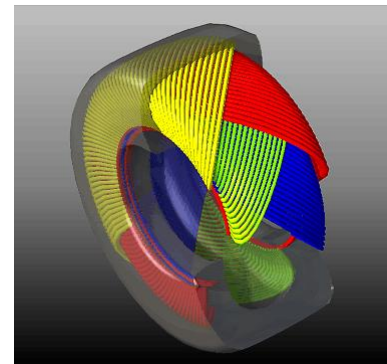


Figura XI.7: disposición de telas en un neumático diagonal

El principio de la técnica radial es hacer trabajar de forma independiente cada parte del neumático, de manera tal que las deformaciones no sean transmitidas a la banda de rodadura. De esta forma se logra

- reducción de las fricciones contra el suelo.
- mínimo desplazamiento entre las telas que conforman la carcasa.

- disminución de las deformaciones de la superficie en contacto con el suelo.

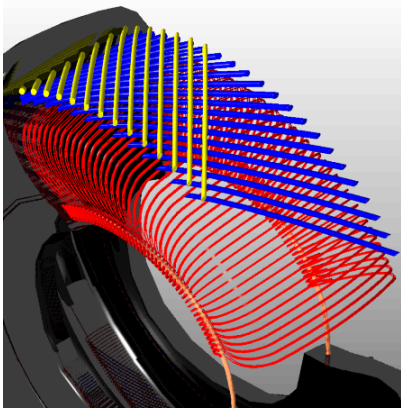


Figura XI.8: disposición de telas en un neumático radial

Los neumáticos tradicionales al disponer un conjunto homogéneo de telas dispuestas a lo largo de toda la carcasa en forma diagonal al sentido de avance, producen una transmisión de todas las deformaciones a la banda de rodamiento. Las consecuencias son

- mayor fricción contra el suelo
- deformación y variación mayor de la superficie de contacto.
- mayor desgaste y menor adherencia.

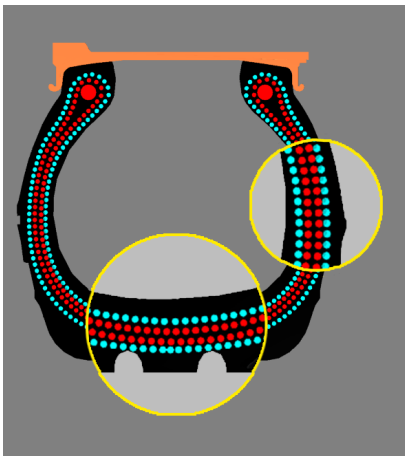


Figura XI.9: disposición de telas en un neumático diagonal al corte

Indudablemente que estas características traen aparejada una mejora en el comportamiento de la cubierta radial en el trabajo a campo. Estas mejoras se maximizan en condiciones de suelo firme como es el caso de los rastros en siembra

directa de la Argentina. En estas situaciones al deformarse más fácilmente los flancos que la superficie de apoyo, se incrementan las ventajas de implementar este tipo de tecnología.

La deformación del propio neumático, que es una pérdida de energía relevante en condiciones de suelo rígido, se minimiza en las cubiertas radiales. En condiciones de suelos sueltos, donde las mayores pérdidas aparecen por deformación del propio sustrato, las ventajas son menores.

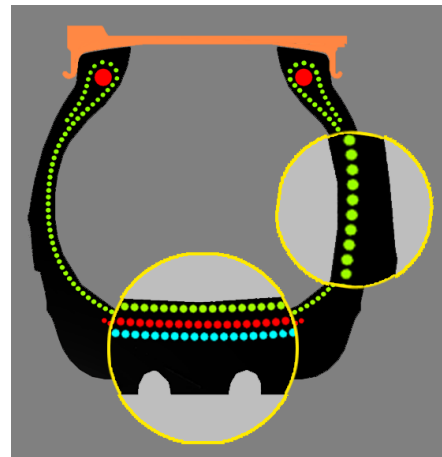


Figura XI.10: disposición de telas al corte en un neumático radial

Para la evaluación del rendimiento de neumáticos suelen emplearse tractores a campo acoplados a frenos, ó equipos especiales de laboratorio que montan una sola cubierta y la ensayan sobre canales edafométricos con suelos previamente preparados. En este segundo caso, las variables a ensayar y sus combinaciones pueden ser muchas más y los suelos perfectamente homogéneos. Como producto, suelen surgir modelos predictivos, netamente empíricos para estimar la prestación tractiva de la rueda.

En el caso de ensayar el tractor se lo dota de diferentes sensores que registran en cada segundo el esfuerzo de tracción a la barra de tiro, la velocidad real de avance, el nivel de patinamiento, régimen del motor y consumo de combustible.

La carga sobre el tractor se suministra arrastrando a un segundo tractor o freno especialmente acondicionado. Se procura seleccionar una marcha con la cual se produzca primero el patinamiento de las ruedas antes que la reducción

del régimen del motor por sobrecarga. Finalmente mediante un sistema de telemetría similar al empleado en las carreras de automóviles se va monitoreando permanente el comportamiento de las cubiertas radiales y diagonales con diferentes niveles de carga.



Figura XI.11: ensayo a campo de neumáticos de tractor

En forma paralela se realizan ensayos de resistencia a la penetración y determinaciones de densidad aparente del suelo que indican el comportamiento mecánico del suelo, y explican la incidencia de la circulación de las diferentes cubiertas sobre el suelo. La resistencia a la penetración se obtiene mediante la utilización de un equipo especial electrónico que mide la resistencia que ofrece el suelo a la penetración de un cono normalizado. Este valor se correlaciona con el grado de compactación que sufre el suelo a diferentes profundidades.



Figura XI.12: mediciones de resistencia a la penetración en ensayos de cubiertas a campo

Los resultados alcanzados indican importantes beneficios del uso de cubiertas radiales tanto en tractores de tracción simple como doble. Dichas diferencias en rastrojos de soja con demandas hasta 19,6 kN de esfuerzo indican que los neumáticos radiales poseen equivalentes prestaciones con menores niveles de lastre. Este hecho es marcadamente importante ya que el peso total de las máquinas es responsable de la compactación subsuperficial del suelo, elemento que en planteos de siembra directa continua deseamos preservar con el mínimo deterioro desde el punto de vista físico.

A equivalentes niveles de lastre, las cubiertas radiales logran alcanzar mayores capacidades de tracción, presentan menores niveles de patinamiento y consecuentemente las máquinas tienen una mayor capacidad de trabajo.

Extrapolando los resultados técnicos obtenidos a números que juegan en el balance económico de cualquier empresa, podemos decir que las diferencias de consumo en situaciones de alta exigencia sobre rastrojos de siembra directa superan el 9 % para tractores de tracción simple y en los doble tracción las diferencias superan el 4 %.

Las capacidades de trabajo son mayores y el desgaste de los neumáticos menor. Con respecto a

la compactación del suelo se ha detectado en determinadas experiencias una reducción de la compactación de los primeros centímetros del suelo producto de la mayor superficie de apoyo.

Un aspecto crucial en la correcta utilización de este tipo de cubiertas está dado por el respeto de las presiones de inflado recomendadas por los fabricantes para cada nivel de carga. Por lo explicado en lo que respecta a la conformación de estas cubiertas, a la vista de un experimentado tractorista las mismas aparecerán como desinfladas ya que justamente los flancos son muy flexibles.

La tendencia será el de inflarlas para que adquieran una forma parecida a la habitual en los neumáticos convencionales. Al producirse el sobre inflado muchas de las características diferenciales desaparecen.

Otras nuevas alternativas que presenta el mercado

Entre las alternativas hoy disponibles comercialmente se encuentran los neumáticos de serie ancha que presentan un mayor ancho de la banda de rodamiento conservando la altura original. Por este motivo también se los denomina siguiendo la terminología empleada en automóviles como de perfil bajo. La relación altura ancho del neumático común se encuentra en valores cercanos a 80 mientras que estas series se ubican en valores cercanos a los 60. Las ventajas que tienen es que pueden montarse sobre las mismas llantas brindando una mayor superficie de apoyo. Las presiones de inflado empleadas son menores y se logran reducciones de importancia en la compactación.

El uso de neumáticos duales

Una vieja opción que se presenta como alternativa para el productor es el empleo de los neumáticos duales. Tiene como ventaja que el tractor una vez culminadas las tareas de alta demanda de esfuerzo o alta sensibilidad a la compactación puede volver a tener la conformación angosta para encarar otro tipo de labores culturales.



Figura XI.13: disposición de neumáticos radiales traseros

Se debe tener muy en cuenta la adecuación de la presión de inflado en la formación dual de otro modo el aumento de superficie de contacto es muy bajo. Como regla orientativa los fabricantes proponen tomar la presión original dividida por 1,76. El distanciamiento entre cubiertas duales convencionales deberá ser de 4 centímetros más un 10 % del ancho de la cubierta. y de 6 centímetros mas un 10 % del ancho total en radiales.

Selección correcta del neumático agrícola

La incorrecta selección del neumático agrícola ocasiona que en algunos casos el tractor se encuentre subengomado. Esto debe tenerse en cuenta cuando se ofrecen versiones "económicas" de un tractor donde una de las diferencias es el tipo y tamaño del neumático empleado. Si no existe armonía entre la potencia del tractor y el tamaño del neumático aquel tendrá pérdidas que no se podrán corregir y por lo tanto el equipo tendrá un rendimiento similar a uno de menor tamaño. Las experiencias desarrolladas en el país por el INTA han demostrado que el solo hecho de dotar al mismo equipo con ruedas de mayor diámetro permite lograr incrementos del orden del 8 al 10 % en la potencia a la barra de tiro.

En este punto merece destacarse que sé esta evidenciando a nivel mundial, una tendencia sostenida al aumento del diámetro de los neumáticos así cómo la incorporación de los de tipo de construcción radial buscando minimizar las pérdidas en el contacto rueda suelo y la compactación del terreno.

El INTA junto las principales fábricas de neumáticos ensayan la influencia de diferentes diseños y tipos constructivos de cubiertas en las clases de suelos agrícolas del país.

En los gráficos siguientes se resumen los datos generales comparativos obtenidos que nos permiten analizar las diferentes alternativas de rodados para un modelo de tractor 2RM de 120 C.V. en el motor realizando idéntica tarea en un campo con buenas condiciones de piso

Potencia en la barra de tiro

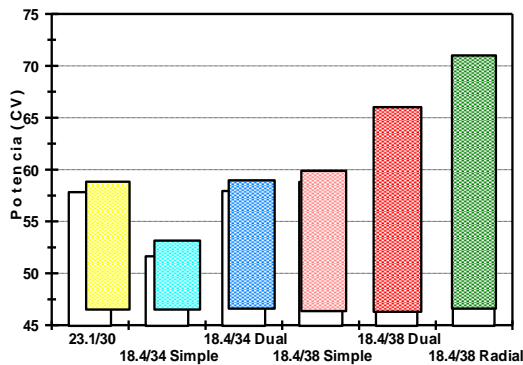


Figura XI.14: rendimiento con diferentes tamaños y tipos constructivos de cubiertas

A medida que mejoró la dotación de neumáticos del tractor, se obtuvo más velocidad de avance principalmente a causa de la disminución del patinamiento y mayor potencia en la barra de tiro.

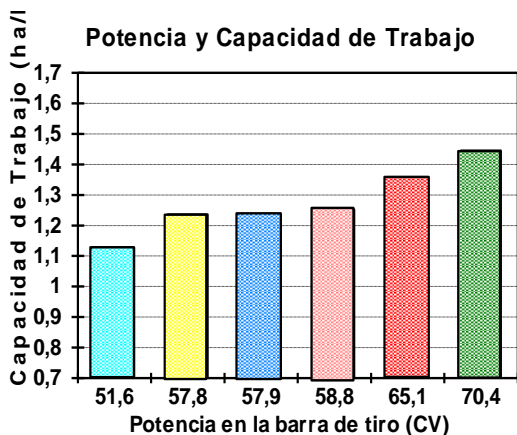


Figura XI.15: capacidad de trabajo final obtenida

La mayor potencia alcanzada en la barra de tiro representa mayor productividad de los equipos y consecuentemente más capacidad de trabajo. Al

mejorar el aprovechamiento del equipo, disminuye el costo medio de las labores. La mayor productividad reduce la incidencia de algunos importantes componentes del mismo tales como, el consumo de combustible por hectárea trabajada y la mano de obra.

El neumático agrícola radial presenta diversas ventajas que son fruto de la diferente deformación que sufren en el suelo debido a su estructura diferencial. Trabajan a menores presiones de inflado y poseen una mayor superficie de apoyo en los suelos duros lo cual trae ventajas desde el punto de vista del nivel de patinamiento a iguales niveles de demanda de esfuerzo a la barra de tiro

Las ventajas son máximas en suelos duros y ante elevadas demandas de esfuerzo de tracción. En condiciones de suelo blando las diferencias se reducen al igual que cuando no se respetan las presiones de inflado adecuadas según la carga que recibe el neumático.

En cuanto a diseños de la banda de rodamiento se observa una permanente evolución en la cual se busca conjugar las propiedades de auto limpieza con las de tracción manteniendo un bajo nivel de vibraciones en el tractor.



Figura XI.16: diseños con diferentes angulaciones de tacos en cubiertas traseras de tracción

Los tacos que presentan las mayores angulaciones se comportan óptimamente en suelos arcillosos y húmedos donde la prioridad es el desprenderse de la tierra antes que el taco vuelva a tocar el suelo. Los tacos de mínima angulación expresan todo su potencial sobre suelos secos y duros donde es

prioritaria una mayor zona de contacto enfrentada con la dirección de avance de la máquina.

USO DE LAS CUBIERTAS DEL TRACTOR

Sobrecarga o subinflado

La sobrecarga como el subinflado provocan el mismo fenómeno de sobre flexión de la cubierta. En estas condiciones la banda de rodadura se gastará en forma despareja con tendencia a un mayor deterioro en el hombro. En las cubiertas radiales pueden ocasionarse fisuras en la parte superior de las paredes laterales.

El subinflado de las cubiertas convencionales en condiciones de alta demanda de tracción ocasionará pliegues en las paredes laterales que pueden conducir a roturas de la carcasa. A pesar de que una cubierta inflada a menor presión que la recomendada puede arrastrar mejor en determinadas condiciones de piso esto no ocurre siempre y el peligro no compensa el beneficio.

Sobre inflado

El sobre inflado ocasiona una baja deflexión. La banda de rodadura se redondea concentrándose el desgaste en la parte central. La capacidad de tracción se ve reducida a altos torques debido a una disminución del ancho y largo de la superficie en contacto con el suelo.

La carcasa se torna rígida por la alta presión, reduce la flexibilidad y la eficiencia de operación de la banda de rodadura. En estas condiciones los daños climáticos y por impacto aumentan.

Ajustes de presión para operaciones a baja velocidad

Para trabajos discontinuos a bajas velocidades se permiten en las cubiertas mayores niveles de carga. Esto está expresado en las notas al pie de las tablas tanto para cubiertas delanteras como traseras que operen a velocidades inferiores a 8 km/h. Para llevar esas cargas a esta velocidad se deberá aumentar la presión de inflado como muestran las notas al pie de cada tabla para evitar deflexión excesiva y asegurar la vida útil del neumático.

Patinamiento sobre la llanta

En el intento de obtener la máxima capacidad de tracción muchas veces se provoca el corte de las válvulas de las cámaras por deslizamiento entre las cubiertas y las llantas. A pesar de que en las cubiertas sin cámara esto no se produce ocurre un acelerado deterioro abrasivo en la base del talón. El deslizamiento puede estar provocado por:

- baja presión de inflado para la carga
- mal ajuste de la cubierta y la llanta.
- utilización de jabones de solución gruesa o inadecuados lubricantes en montaje.
- inadecuado tamaño o resistencia de la cubierta empleada para las condiciones de torque presentes.
- inadecuado tamaño o falla geométrica de la llanta empleada.
- baja rusticidad de la zona de asentamiento del talón en la llanta.

Cuando la causa sea alguna de las tres primeras se deberá desmontar la cubierta y limpiar adecuadamente la zona de contacto. Se deberá remontar la cubierta con una presión de asentamiento de 35 libras. En las cubiertas con cámara la misma debe ser completamente desinflada y vuelve a inflar a la presión recomendada.

Si el problema fue causado por tamaño o capacidad de carga del neumático el mismo debe ser reemplazado.

Si los problemas se detectan en la llanta la misma deberá ser reemplazada.

Circulación en ruta

Las cubiertas agrícolas operan normalmente sobre condiciones de campo en las cuales el taco penetra en el suelo y donde todas las partes de la banda de rodadura toman contacto. Al operar en caminos de superficies rígidas con baja presión o sobrecarga los tacos se deforman y flexionan excesivamente al tomar y dejar contacto con el piso. En superficies abrasivas este fenómeno provoca desprendimientos de caucho y desgastes prematuros y desparejos de los tacos. Si se emplea la presión correcta el desgaste se distribuirá en

forma homogénea en toda la banda de rodamiento.



Figura XI.17: la circulación en ruta implica desgastes prematuros y desaparejos en las cubiertas

Las cubiertas de tractor están diseñadas para operar a bajas velocidades que no excedan las 40 km/h ó 50 para algunas radiales. Si los tractores o los implementos se arrastran a altas velocidades en ruta se generarán altas temperaturas en la parte inferior de los tacos debilitando la goma y telas. Puede no observarse daño visible. Mas adelante se producen fallas en la cubierta que fueron ocasionadas por ese sobrecalentamiento.

Almacenaje y cuidado

Tanto las cubiertas almacenadas como aquellas montadas en el tractor deben ser protegidas contra la acción del oxígeno y el ozono.

Debido a que las cubiertas absorben grasas, combustibles y otros solventes nunca deberán ser almacenadas sobre pisos con grasa o en ambientes con solventes volátiles. Estos agentes reducirán la protección de los compuestos y producirán debilitamientos y daños.

Las cubiertas solas o montadas deben estar lejos de motores, generadores y soldadores de arco ya que son fuentes de ozono. El ozono ataca la goma y se producen fallas perpendiculares a las cargas aplicadas. Estas fallas aumentan la superficie expuesta al ataque del ozono hasta que el deterioro progresivo causa la falla de la carcasa. Pequeñas fisuras inducidas por el ataque de ozono pueden ser puerta de entrada de elementos

que dañen la cubierta cuando se ponga nuevamente en uso.

Debido a que la luz como el calor son perjudiciales para las cubiertas se deberán almacenar en un lugar fresco y oscuro. Las cubiertas deben ser protegidas de la luz solar inclusive a la sombra mediante polietileno negro o tejido opaco.

Para almacenar cubiertas montadas en llantas pero no en equipos como las duales de tractores se recomienda reducir la presión de inflado a 10 PSI y almacenarlas en forma vertical sobre la totalidad de la banda de rodamiento. Las cubiertas sin llantas pueden ser apiladas sobre sus laterales teniendo especial cuidado de limitar la altura de forma tal que la cubierta que se encuentra en el fondo de la pila no se deforme.

Para proteger las cubiertas de una máquina por mas de seis meses es conveniente ponerla sobre tacos liberando a las cubiertas del peso. Con las cubiertas en el aire la presión puede reducirse a 10 PSI. Si no es posible elevar la máquina se recomienda elevar la presión de inflado en un 25 % para reducir la deformación lateral. La maquina deberá ser movida de forma tal de ir cambiando el sector bajo deflexión y en contacto con el suelo.

RECOMENDACIONES FINALES

- 1) Adecuar la relación peso/potencia según la velocidad de trabajo, para velocidades algo superiores a los 6 kmh^{-1} la relación debiera acercarse a los 100 kg/kW (74 kg/C.V. en el eje) ó como mínimo a 80 kg/kW (59 kg/C.V.)
- 2) Armonizar el esfuerzo de tracción demandado hasta aproximarse al 40% de peso adherente del eje motriz. Eso redundará en valores de patinamientos cercanos a los 15%.
- 3) Asegurarse que la presión de inflado de los neumáticos esté de acuerdo a la carga soportada, según las recomendaciones del fabricante y dentro de los valores mínimos recomendados.