

**Universidad Pública de Navarra**

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO*

**AHORRO ENERGÉTICO EN EL TRACTOR AGRICOLA. DETERMINACIÓN DEL  
LASTRADO Y PRESIÓN DE INFLADO ÓPTIMA PARA DIFERENTES LABORES  
AGRÍCOLAS**

Presentado por

**IÑIGO BERASAIN ORRADRE**

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS  
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA  
USTIAPENAK BEREZITASUNA**

*Junio, 2016/ 2016ko Ekaina*

## ÍNDICE:

<b>1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.</b> .....	<b>3</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.</b> .....	<b>5</b>
2.1 Sitio experimental. ....	5
2.2 Descripción de la explotación. ....	6
2.3 Descripción de la maquinaria empleada. ....	6
2.4 Descripción de los ensayos. ....	9
2.4.1 Estudio de compactación del terreno: .....	9
2.4.2 Análisis textura del suelo. ....	12
2.4.3 Laboreo del suelo y análisis del resbalamiento. ....	16
2.4.4 Balance energético. ....	23
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b> .....	<b>25</b>
3.1 ANÁLISIS DE COMPACTACIÓN DEL SUELO. ....	25
3.2 ANÁLISIS TEXTURAL DEL SUELO .....	27
3.3 ESTUDIO DE RESBALAMIENTO.....	28
3.4 CALCULO DEL BALANCE ENERGÉTICO. ....	30
<b>4 CONCLUSIONES:</b> .....	<b>37</b>
<b>5 BIBLIOGRAFIA.</b> .....	<b>40</b>
<b>6 ANEXOS</b> .....	<b>41</b>
ANEXO 1: Ensayo compactación parcela laboreo de vertedera.....	41
ANEXO 2 ENSAYO COMPACTACIÓN PARCELA CHISEL.....	42
ANEXO 3 TRIÁNGULO DE CLASIFICACIÓN TEXTURAL .....	43
ANEXO 4 CURVA DE MOTOR CARACTERÍSTICA.....	44

## ***1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.***

El consumo de combustible representa uno de los mayores insumos en la agricultura, como consecuencia del incremento de potencia de los tractores y maquinaria y de la mayor tecnificación de la labor agrícola, suponiendo importantes cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero. Desde el punto de vista económico, el incremento en los precios del gasoil ha hecho que el combustible sea un elemento fundamental en la cuenta de resultados de la explotación agrícola.

El neumático agrícola tiene el difícil dilema de ser capaz de transmitir el par en las ruedas al suelo para generar la mayor fuerza de tracción posible a la par que minimizar la compactación del suelo a la par que intentar reducir el consumo por pérdidas energéticas en el binomio suelo-neumático.

El resbalamiento es una fuente de pérdidas ya que, para recorrer una misma distancia, el número de vueltas de la rueda aumenta proporcionalmente. El resbalamiento comporta un aumento del consumo de carburante, un desgaste suplementario de los neumáticos y un deterioro del suelo.

El objetivo de este trabajo fin de carrera es estudiar los factores que influyen directamente en el patinaje en las labores que demandan una gran tracción como son el laboreo con arado de vertedera y chisel. El trabajo se va a realizar en una explotación cerealista y se va a determinar la forma de minimizar estas pérdidas de energía mediante la presión óptima de inflado de las ruedas y el lastrado adecuado.

Para realizar dicho estudio contamos con un tractor marca John Deere modelo 6800 de doble tracción y ruedas desiguales. El arado de vertedera es de cuatro surcos marca Castillon y el chisel es de dos filas de 4 y 5 rejas marca Agrator. En primer lugar se va a analizar el tipo de suelo en que vamos a trabajar, a continuación se medirá la compactación del terreno con la ayuda de un penetrometro y por último se harán diferentes ensayos de patinamiento relacionando todos los factores que lo condicionan. Se recogerán estos datos y se concluirá cuáles son los valores que minimizan dicho patinamiento y por consiguiente reducen el consumo de combustible.

La decisión que más condiciona el consumo de gasóleo en una explotación agrícola es la selección de los cultivos, así como el tipo y el número de operaciones agrícolas a desarrollar en cada uno de ellos. Pero una vez tomada esta decisión, la selección y adaptación de la maquinaria utilizada a los trabajos previstos, y la ejecución de los mismos, puede modificar notablemente dichos consumos.

Lo primero que se ha de hacer es determinar el número de tractores necesarios, la potencia de cada uno de ellos y el equipamiento básico que deben tener en función de su dedicación, dimensionando

correctamente el parque de maquinaria de cada explotación agrícola. A partir de la labor más exigente, que generalmente suele ser el laboreo primario del terreno, se ha de determinar la potencia del único tractor en explotaciones pequeñas o el del más potente en aquellas que necesitan varios.

El 65% del total del gasóleo, de la explotación media española, es consumido por el tractor.

El gasóleo consumido en agricultura es variable, dependiendo de la actividad que se desarrolla en cada explotación. No obstante, la maquina automotriz que más combustible consume es el tractor

Es necesario ahorrar combustible para disminuir los costes de producción, pero también para controlar y disminuir las contaminaciones que se producen con la actividad agraria. Controlar el consumo del tractor en las diferentes labores agrícolas y sus opciones posibles será el objetivo principal de una planificación de ahorro y uso eficiente del combustible en esta explotación agrícola. La estructura de la explotación (superficie cultivada, tamaño y concentración de las parcelas de cultivo), la sucesión de los cultivos, los trabajos a realizar en cada uno de ellos y los tipos de suelos son factores que influyen mucho en el consumo de combustible utilizado. Así se deben comparar opciones diferentes para lograr unas medidas reales de ahorro de combustible.

En estos momentos en que la viabilidad de muchas explotaciones agrícolas está muy limitada es necesario plantear su redimensionamiento como una alternativa de futuro que además trae consigo un ahorro y un uso más eficiente de la energía en la agricultura.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 2.1 Sitio experimental.

El estudio se llevó a cabo en dos parcelas de una explotación agrícola mayoritariamente cerealista situada en valle de Lizoain-Arriagoiti (Navarra). En una de ellas se realizaron los ensayos con el arado de vertedera y en otra con el chisel. Se escogieron estas dos parcelas buscando que fueran lo más homogéneas posible para que los resultados no se vieran afectados por posibles alteraciones del terreno o de la pendiente.



Figura 1. Parcelas de ensayo (parcela izquierda chisel y derecha arado de vertedera).

El valle de Lizoáin-Arriagoiti está situado en la parte central de la Comunidad Foral de Navarra, junto al río Erro. Su término municipal tiene una superficie de 65,53 km<sup>2</sup> y limita al norte con los municipios de Esteribar y Erro; al este con los de Arce y Lónguida; al sur con los de Izagaondoa y Aranguren; y al oeste con los de Valle de Egüés y Urroz-Villa. El clima de la zona es de tipo submediterráneo. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 8°y 13 °C, El índice de precipitación anual está entre los 1.000 y 1.400 mm, produciéndose entre 100 y 140 días lluviosos al año, la aridez estival dura entre 1 y 2 meses y el índice de evapotranspiración potencial está entre los 650 y 700 mm.

## ***2.2 Descripción de la explotación.***

Como ya hemos mencionado anteriormente se trata de una explotación cerealista en la que además se siembran cultivos de oleaginosas (girasol y colza) y leguminosas (habas, guisantes...) como alternativa. La totalidad de la superficie (100ha) está catalogada como secano fresco por lo que las producciones están condicionadas por la pluviometría. Podemos decir que los rendimientos medios rondan los 5000 – 6000 kg por hectárea.

En cuanto al tipo de labores que se realizan, se sigue trabajando con laboreo convencional, dentro del laboreo primario, el arado de vertedera es el más utilizado debido al tipo de suelo que necesita un buen drenaje y descompactación, y también como medida mecánica para controlar malas hierbas y enfermedades.

Una vez realizadas las labores primarias una grada rotativa o una rastra con rodillo (dependiendo de las condiciones) es utilizada para fragmentar los terrones y desmenuzar el terreno para conseguir un buen lecho de siembra en el que en este caso, con una sembradora a chorrillo, conseguiremos implantar el cultivo y conseguir una buena germinación. El aporte de abono se realiza con una abonadora suspendida de platos centrífugos y los tratamientos fitosanitarios con un pulverizador también suspendido de 18 metros de anchura.

## ***2.3 Descripción de la maquinaria empleada.***

### **Tractor:**

El tractor empleado para el estudio es un tractor marca John Deere modelo 6800 de doble tracción y ruedas desiguales con una potencia de 120 CV. Estas son sus características técnicas:

- Tipo de motor: 6068 TL001
- Potencia al régimen nominal: 88 kW (120CV)
- Par máximo a 1300 r/min: 536 Nm
- Numero de cilindros: 6
- Diámetro: 106,5mm
- Carrera 127mm
- Cilindrada: 6790 cm<sup>3</sup>
- Peso en vacío: 6800 Kg con 10 pastillas delanteras.
- Peso máximo admisible sobre el eje delantero 3300kg
- Peso máximo admisible sobre eje trasero: 6700Kg
- Ruedas delanteras: 420R28 radial tubeless.
- Ruedas traseras: 650R38 radial tubeless.



Figura 2. Tractor

### Arado de vertedera:

El arado marca Castellón modelo NST es un arado clásico diseñado para realizar una labor profunda y un volteo óptimo de la tierra. Este arado se adapta a todo tipo de suelos y terrenos realizando una labor eficaz incluso en condiciones de dificultad extrema.

- Arado reversible y suspendido.
- Peso aprox 4 cuerpos : 1360 kg
- Profundidad de labor: desde 15cm hasta 45cm.
- Ancho de labor en cm: 40 cm x por nº de cuerpos (4)= 160cm .
- Posibilidad de variar las presiones de trabajo.
- Inicio de la labor a baja presión: 20 bares.
- Cabezal: eje macizo de 100, 110, 130 o 150 mm
- Chasis: estructura de tubo de 120mm x 120mm x 10mm.
- Áncora de 35mm.
- Veedera: veedera de tiras tipo clara vía
- Ruedas: ruedas de control metálicas de 200mm de anchura.
- Número de cuerpos: 4 cuerpos.
- Corredera hidráulica.
- Desahogo entre cuerpos: 75cm.
- Desahogo de altura: 83cm.
- Seguridad Non-stop hidráulica de serie



Figura 3. Arado de vertedera

## Arado chisel:

Se trata de un apero de laboreo primario que trabaja en vertical formado por un conjunto de brazos o púas, a la vez resistentes y flexibles, que producen con su vibración un efecto de pulverización del suelo e incorporación superficial del rastrojo. Este en concreto es un chisel marca Agrator de dos filas de brazos de 4 y 5 púas respectivamente. En la parte trasera lleva un rulo de tubos que ayuda a desmenuzar el terreno también sirve para controlar la profundidad de labor y sellar el terreno para evitar pérdida de la humedad. Estas son sus características:

- Anchura de trabajo: 270cm.
- Numero de filas: 2 filas de brazos más rulo
- Numero de púas:  $4+5=9$
- Separación entre púas: 30cm
- Peso total: 1100 kg



Figura 4. Chisel



Figura 5. Detalle de la reja del chisel encargada de penetrar en el suelo y romper la estructura de forma vertical.

Los aperos escogidos son de laboreo primario es decir son los que se encargan de romper la estructura del suelo después de la recogida de cosecha, acondicionando el suelo a gran profundidad. Se han escogido estos debido a que son los que más tracción y potencia demandan y por consecuencia los que más condicionan el consumo de combustible y la rentabilidad de la explotación agrícola.

## 2.4 Descripción de los ensayos.

### 2.4.1 Estudio de compactación del terreno:

La degradación de la estructura del suelo, muchas veces llamada compactación del suelo, es considerada la forma más seria de degradación de la tierra causada por las prácticas de labranza convencional. Paradójicamente, de todos los tipos de degradación de tierras, la degradación de la estructura del suelo es reversible y su ocurrencia es previsible o al menos controlable.



Figura 6. Situación típica de compactación en un suelo agrícola como consecuencia de la rodadura.

El suelo constituye un recurso esencial para el desarrollo económico-social y es el sostén físico y químico de todos los ecosistemas terrestres. Su degradación es definida como la pérdida a largo plazo en la función y productividad de los ecosistemas, causada por alteraciones, a partir de las cuales el suelo no puede recuperarse sin ayuda (Bai et al., 2008; Oldeman y Hakkeling, 1991). Constituye un problema de alcance global que afecta el medio ambiente y el desarrollo. Se ha extendido desde un 15% de la superficie terrestre total en 1991 a un 24% en la actualidad, y dentro de este, más del 20% está referido a suelos destinados a producción agrícola (Bai et al., 2008). Las consecuencias de este fenómeno incluyen una disminución de la productividad agrícola, la migración, la inseguridad alimentara, los daños a recursos y ecosistemas básicos, y la pérdida de biodiversidad debido a cambios en los hábitat tanto a nivel de las especies como a nivel genético (Oldeman y Hakkeling, 1991). La degradación del suelo puede tener causas naturales y antropogénicas, siendo estas últimas las que mayores efectos negativos provocan. La Figura 1 muestra las áreas de suelo degradadas debido a la actividad humana en el mundo.

Entre los factores provocantes de degradación física del suelo se encuentra la compactación, la cual ha sido considerada como la principal causa de degradación del suelo (Pagliai, et al, 2003). El tráfico de la maquinaria agrícola es la principal causa de compactación del suelo, la cual tiene carácter acumulativo (Keller, 2004). Durante la aplicación de cargas las partículas del suelo son reorganizadas, decrece el espacio poroso y estas son llevadas a un contacto más cercano, incrementando la densidad de volumen; cambia la forma, tamaño y distribución de los poros, lo cual limita la capacidad de retención del suelo, el intercambio hídrico y gaseoso, y aumenta la impedancia mecánica (Berli, 2001; Gysi, et al., 2001).

En la planta disminuye el crecimiento de la raíz y las posibilidades de obtención de nutrientes, agua y aire. El suelo exhibe escorrentía superficial, endurecimiento y mala aireación; lo cual condiciona el empobrecimiento de sus cualidades físicas, reduce el tiempo disponible para la realización de operaciones agrícolas y disminuyen los rendimientos agrícolas (Gysi, et al., 2001)

A escala global se reporta un área de 68 millones de ha compactadas, sólo debido al tráfico vehicular. La afectación de la compactación al medio incluye la emisión de gases invernadero, los campos permanecen largo tiempo inundados después de intensas lluvias y la escorrentía superficial provoca la contaminación de las aguas superficiales y el arrastre del suelo, favoreciendo su erosión (Hamza y Anderson, 2005).

La compactación del suelo provoca disminución de los rendimientos agrícolas, mayores requerimientos energéticos en labranzas y labores culturales, necesidades de resiembras, mayores dosis de agroquímicos y número de pasadas de los equipos, necesidades crecientes de fertilizantes e ineficiencia en el uso de la maquinaria (Botta, 2002).

Antes de comenzar con la experimentación se midió, en varios puntos de estas parcelas, la compactación del suelo inalterado. El penetrómetro digital RIMIK CP 20 (Figura 2) fue el método elegido. Se trata de un aparato manual que se clava progresivamente en el suelo y determina la compactación de este dando resultados cada 15 mm y hasta una profundidad escogida de 450 mm para que la profundidad de laboreo quede reflejada. Los resultados obtenidos se guardan automáticamente en la memoria del penetrómetro que una vez finalizado el muestreo se descargaron a un archivo que aparece en el anexo nº1. Para que el muestreo fuera representativo, antes de empezar se cuadrícularon cada una de las parcelas en 24 partes y se tomaron 24 muestras.

Este tipo de evaluación, se debe realizar en un mismo estado de humedad del suelo, para poder comparar diferentes situaciones de manejo. La humedad es la principal variable de que depende la resistencia a la penetración en un suelo determinado. Es por ello que tanto el análisis de compactación del suelo como el análisis de textura y resbalamiento que explicaremos a continuación se realizaron el mismo día para que los resultados obtenidos no se vieran condicionados por las posibles alteraciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

Estos datos obtenidos están medidos en la unidad de kilopascal (kPa) que equivale a  $10^3$  Pascales. El pascal (símbolo Pa) es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define

como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.

$$Pa=N/m^2$$

En las imágenes que aparecen a continuación se describe gráficamente el proceso:



FIGURA 7. Detalle penetrometro Rimik.



FIGURA 8. Pantalla en la que se observa la profundidad a la que está trabajando, la presión en ese punto y la velocidad de penetración.



Figura 9. Introducción de la varilla con punta cónica en el suelo a velocidad constante.



Figura 10. Final de recorrido y guardado de datos en la memoria.

## 2.4.2 Análisis textura del suelo.

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.

El suelo es un sistema abierto, dinámico, constituido por tres fases. La parte sólida está formada por los componentes orgánicos e inorgánicos, que no conforman una fase continua ni homogénea sino que dejan huecos. Las plantas están en contacto con una enorme variedad de tamaños y formas de partículas, generalmente asociadas formando agregados, conformando la estructura del suelo. Sólo en algunos casos las plantas se hallan en contacto con partículas individuales o primarias, esto puede ocurrir en caso de suelos jóvenes (Entisol), o suelos muy pobres en materia orgánica, o en suelos extremadamente laboreados y débilmente estructurados.

La textura define la relación porcentual de cada uno de los grupos de partículas primarias menores de 2 milímetros de diámetro. Estas se denominan según su tamaño en arena, limo y arcilla.

La textura es una de las propiedades permanentes del suelo, no obstante puede sufrir cambios por laboreo (mezcla de horizontes), erosión eólica (suelos más gruesos por pérdida de material), erosión hídrica (deposición de materiales más finos). Es el elemento que mejor caracteriza al suelo desde el punto de vista físico. La permeabilidad, la consistencia, la capacidad de intercambio de iones, la retención hídrica, distribución de poros, infiltración y estructura, son algunas de las características del suelo que en gran medida dependen de la textura.

Como aplicaciones directas de la textura se pueden citar:

- En la descripción y reconocimiento de suelos, como una de las características fundamentales en morfología de perfil (diferenciación de horizontes, discontinuidades litológicas).
- En la taxonomía de suelos, como uno de los criterios para diferenciar familias de suelos.
- En hidrología para definir constantes hídricas, tasa de infiltración conductividad hidráulica.
- **En manejo de suelos para definir riesgos de erosión, problemas de drenaje, tipo de labranzas, capacidad de admitir aguas residuales contaminadas.**

Fracciones granulométricas:

Para separar las distintas fracciones granulométricas, arcilla, limo y arena se hace necesario establecer los límites entre cada una de ellas:

- Arena gruesa (2-0,2mm)
- Arena media (0,2-0,1mm)
- Arena fina (0,1-0,05mm)
- Limos gruesos (0,05-0,02mm)
- Limos finos (0,02-0,002mm)
- Arcillas (<0,002mm)

En los suelos estas fracciones se hallan íntimamente relacionadas entre sí con los otros componentes del suelo, sin embargo cada fracción confiere propiedades particulares.

**ARENA:** Conforman la fracción esquelética del suelo, con partículas que dejan macro poros entre sí, los que aumentan la permeabilidad y por lo tanto son pobres almacenadores de agua. Debido a su baja superficie específica y falta de cargas le confieren baja fertilidad a los suelos. Por su baja capacidad para formar estructura es una fracción susceptible a la erosión. Su consistencia en mojado es: no es plástico ni adhesivo. Impresiona al tacto como abrasivo, al poder apreciar grano por grano con sus espacios intermedios.

**LIMO:** Es una fracción derivada de la anterior por alteración física. Su tamaño de partícula es inferior, dejando poros también más pequeños, donde almacena agua. En general de baja actividad superficial por lo que es baja la fertilidad química. Los suelos con predominio de limo favorecen el encostramiento superficial. Por su tamaño es capaz de rellenar los poros grandes dejados por la fracción arena, limitando a veces la permeabilidad e infiltración, problema serio en zonas de riego. Su tamaño es pequeño, inferior al poder de resolución sensorial; impresiona al tacto suavemente, similar al talco. Su consistencia en mojado es plástico, al poder deformarse, pero no adhesivo o a lo sumo algo adhesivo, al no poseer actividad superficial.

**ARCILLA:** La fracción de suelo más fina. Por su pequeño tamaño de partícula, tiene valores muy elevados de superficie específica activa, por lo que incide fundamentalmente en la fertilidad de los suelos, almacenamiento de agua, etc.

Desde el punto de vista físico-mecánico su rol más importante es generar estructura, al tener carga, posibilita ligar las partículas de limo y arena. Forma cuerpos de elevadas porosidad, con predominio de micro poros. Suelos con predominio de textura arcillosa poseen permeabilidad e infiltración baja. Su consistencia en mojado: se comporta como muy plástico y adhesivo. La arcilla es un material que al intentar amasarlo, inicialmente es difícil de integrarlo con el agua y que luego resulta muy plástico y adhesivo. Esto se debe a que el agua penetra muy lentamente en los poros pequeños y aún en los espacios interlaminares. Cuando esto se produce con el sucesivo amasado se orientan las láminas de arcillas deslizándose unas sobre otras adquiriendo su máxima plasticidad.

Como ya hemos dicho antes la textura de un suelo es una propiedad física permanente, que se refiere a la expresión porcentual de las fracciones granulométricas arena, limo y arcilla. La combinación de estas 3 fracciones nos determina la clase textural.

Las clases texturales son agrupamientos donde las propiedades dependientes de la textura presentan un comportamiento homogéneo (propiedades agronómicas homogéneas). Normalmente nos indica al grupo de partículas preponderantes. Las clases texturales dentro del sistema del USDA son 12 y se disponen en un triángulo de textura, como se observa en el *anexo 3*.

Al triángulo se entra con los porcentajes de las fracciones granulométricas aportados por el análisis mecánico o análisis de textura.

#### Determinación de la textura en laboratorio:

La textura del suelo se determinó por método de la pipeta de Robinson y tamizado propuesto inicialmente por Kilmer et al, 1949. El protocolo empleado para el análisis granulométrico ha sido descrito como Método Internacional por Guitián y Carballas, 1976 y está basado en los principios físicos de la sedimentación para la fracción limo y arcilla y el tamizado para las fracciones de arena.

Se pesó 20 g de suelo tamizado por 2 mm, al que se le añadió  $H_2O_2$  al 6% para la eliminación de la materia orgánica, dejando el suelo en contacto con el  $H_2O_2$  hasta observar espuma, lo que puede suceder a las 48 horas, dependiendo de la cantidad de materia orgánica.

Una vez destruida la materia orgánica, se agregan 50 ml de HCl 1 N para disolver los compuestos de hierro y aluminio que contribuyen a la agregación. Se esperan 20 minutos agitando de vez en cuando, luego se filtra y se lava con agua destilada hasta que el filtrado no dé positivo a Cl (test de  $NO_3$  Ag).

A continuación se trasvasa el contenido de los filtros a botellas de agitado de 1 litro, procurando no pasar de 0,5 l de suspensión durante el proceso, posteriormente se agregan 20 ml de Hexametáfosfato de Na con carbonato de Na (Calgon) como agente dispersante haciendo que las partículas de arcilla no floculen. Se agita 2 horas. Una vez dispersada, se tamiza la muestra en húmedo con malla de 50 micras, para separar las arenas del resto de las fracciones, procurando no utilizar más de 1 l de agua.

Las arenas se secan en cápsulas para su posterior separación en arena gruesa, AG, y arena fina, AF, usando un tamiz de 200 micras. El resto del material se lleva a probetas de 1 litro, se agita para homogeneizar la suspensión y se toman alícuotas a diferentes tiempos, desde que se deja de agitar, con pipeta Robinson. Los tiempos de muestreo son:  $t=0$  (Limo Grueso + Limo Fino + Arcilla)  $t=4'48''$  (Limo Fino + Arcilla)  $t= 8$  hs (Arcilla) Estas alícuotas se colocan en crisoles y se secan en estufa a  $110^\circ C$  hasta peso constante. Los resultados son representados en porcentajes y para determinar la clase textural se utilizan los porcentajes de contenido de arena total, limo total y de la arcilla, con lo que se entra al diagrama textural USDA, 1996.

Para analizar tipo de suelo, se tomaron muestras de la tierra para hacer un análisis físico de la misma ya que es uno de los factores que más condiciona el resbalamiento. La técnica de muestreo fue la siguiente: previo al muestreo se definió un recorrido por la parcela y cada 25 metros se cogió una muestra con la herramienta que a continuación se describe.



Figura 11. Herramienta utilizada para la recogida de muestras del suelo. Esta herramienta se introduce en el suelo se gira 180° ya al sacarla del suelo (figura12) obtenemos un cilindro de tierra de unos 30cm que cogemos para analizar en laboratorio (figura 13)



Figura 12.



Figura 13.

### 2.4.3 Laboreo del suelo y análisis del resbalamiento.

El laboreo es toda alteración mecánica del suelo, mediante el uso de un apero, con el objetivo de conseguir un ambiente adecuado para que la planta se desarrolle en las mejores condiciones y contribuir, con ello, a la mejora de la cosecha y el rendimiento del cultivo.

En general la producción de los cultivos está ligada a la porosidad del suelo, pues las plantas son particularmente sensibles a la aireación de su sistema radicular. Es por lo que el laboreo debe ir dirigido, entre otras cosas, a conseguir una densidad óptima.

Si la densidad del suelo es demasiado alta, la falta de porosidad reduce la actividad y el crecimiento de las raíces, llegando en ocasiones a provocar su asfixia. Se produce, normalmente, por compactación.

La circulación de vehículos realiza una gran compactación del suelo. Cuando son de ruedas llega a alcanzar profundidades hasta de 70 cm., mientras que cuando son de cadenas su efecto es mucho menos grave. Es por lo que, en el terreno, la circulación de vehículos debe limitarse y se hace aconsejable el empleo de ruedas de gran balón, de tractores de cadenas y la utilización de aperos múltiples.

Si la densidad del suelo es demasiado baja, los pelos absorbentes de las raíces pueden no tener suficiente contacto con las partículas de tierra por lo que no habría una buena absorción de agua y nutrientes. La penetración de las raíces en el subsuelo depende de su estructura, su textura, su humedad y su nivel de aireación. En general es preciso un subsuelo suelto y suficientemente profundo, y en él, tanto la sequedad como la humedad excesivas, impiden el desarrollo de las raíces.

Es preciso tener en cuenta que las plantas son muy tolerantes y, con sólo una parte de las raíces en condiciones adecuadas, pueden compensar los defectos del suelo. Además de actuar sobre la porosidad, con el laboreo se busca controlar el agua y la temperatura, luchar contra parásitos vegetales, enterrar restos vegetales, estiércoles y abonos, aplicar productos fitosanitarios y realizar enmiendas.

El estudio del suelo y el de los principios de funcionamiento de las máquinas es necesario, teniendo en cuenta que, para escoger el apero a aplicar y poder obtener los resultados deseados, es necesario conocer las relaciones suelo-máquina.

En este sentido es conveniente saber que las fuerzas que se oponen al trabajo de los aperos en el suelo son **cohesión** o resistencia que ofrecen las partículas a su separación, la cual se debe a la atracción entre ellas, sabiendo que, a medida que las partículas se humedecen, el agua en forma de película tiende a separarlas, reduciendo su valor, y **adherencia** o resistencia que oponen las partículas a deslizar, la cual se da por fenómenos de tensión superficial, sabiendo que, hasta cierto nivel de humedad el suelo se adhiere más a los útiles de trabajo, aumentando su resistencia al

laboreo, y que, si ésta crece por encima de ciertos valores, el suelo deja de ser un medio sólido. **La suma de las fuerza de cohesión y de adherencia es la resistencia que opone un suelo para su labranza y tiene que ser vencida por los aperos de laboreo.**

En la transmisión de la potencia de la rueda al suelo es donde se producen las mayores pérdidas de energía. Los neumáticos son los elementos que soportan al tractor sobre el suelo y además se encargan de impulsarlo sobre él. La superficie de contacto de los neumáticos con el suelo es muy importante y su perfecto estado asegura una mejor adherencia.

El deslizamiento se define como la pérdida de velocidad de avance que se produce en el tractor al aplicarle una carga.

$$\delta = \frac{V_t - V_r}{V_t}$$

Vr velocidad real de avance, m/s

Vt velocidad teórica a la que debería avanzar.

$$\delta_{DT} = \left(1 - \frac{L_{rDT}}{L_t}\right) * 100$$

Lt: Longitud medida tras 10 vueltas de rueda trasera sobre suelo duro, liso y llano.

LrDT: Longitud medida tras 10 vueltas de rueda trasera sobre terreno de labor, con el apero bajado.

En definitiva el deslizamiento se resume en un perjuicio ya que aumenta el consumo de energía y disminuye la capacidad de trabajo, pero es que además incrementa el desgaste de los neumáticos y causa daños a la estructura del terreno. Por ello en este trabajo vamos a hacer diferentes ensayos relacionando dos factores que condicionan el resbalamiento como son el lastrado y la presión de inflado de las ruedas.

El lastrado es un peso “extra” que se añade al bastidor y/o las ruedas del tractor para aumentar el peso total y para modificar la distribución del peso entre los ejes delantero y trasero, es decir, el equilibrio estático adelante/atrás del tractor.

La distribución estática de peso entre ambos ejes se expresa normalmente como porcentaje del peso total del tractor que soporta cada eje. Así por ejemplo decir una distribución delante/detrás del

45/55 significa que el eje delantero aguanta el 45% del peso estático total del tractor y el trasero el 55 %.

El lastre comúnmente usado es el contrapeso de hierro fundido. Para el eje delantero se coloca en el soporte de contrapesos. (figura 14)

En el eje trasero los contrapesos de fundición se colocan anclados al disco de la rueda. (figura 15) Lo normal es colocarlos exteriores aunque también se puede optar por hacerlo de forma interior. En este caso al estar sobre el eje la cantidad de lastre añadido es igual a la carga que es la suma de la masa de cada contrapeso.



Figura 14. Soporte y lastrado delantero.



Figura 15. Lastrado fijo trasero.

La ventaja de este tipo de lastres es que son fáciles de poner y quitar (en el eje delantero se puede hacer de forma manual pues los contrapesos suelen ser de tipo “maletín” aunque en el trasero necesitamos de la ayuda de un cabestrante o grúa). Para este estudio disponemos de 12 pastillas delanteras de 50 kg cada una.

Para un tractor que efectivamente hace “tracción” se deben elegir neumáticos radiales y anchos pues son los que mejor capacidad de tracción tienen.

La ecuación es simple: Menor presión = menor compactación = mayor respeto al suelo = más productividad. La tecnología de la baja presión y la máxima superficie de contacto significan

innovación en el campo de la tracción agrícola pues permite que los neumáticos sean más respetuosos con el suelo por ejercer una menor presión sobre el mismo.

Otro tipo de lastre, controvertido pero muy usado, es la adicción de agua en el interior de los neumáticos. Los fabricantes, sobre todo de neumáticos, recomiendan que el agricultor intente pasar del lastre líquido pero hay ocasiones que para hacer una labor de tiro exigente no hay otro remedio. En este caso no vamos a utilizar este tipo de lastre debido a que el agua ocasiona un efecto de rigidización en los flancos del neumático, además las ruedas pierden su equilibrio y la conducción en carretera se hace incómoda.

El otro factor que vamos a relacionar junto con el lastrado es la variación de la presión de inflado de las ruedas. Con la variación de la presión de las ruedas conseguimos aumentar o disminuir la superficie de contacto del neumático sobre el suelo y en consecuencia su adherencia.

Para llevar a cabo el análisis del resbalamiento estas fueron los materiales empleados y condiciones utilizadas:

- Cinta métrica.
- Varillas para determinar el comienzo y el final de las vueltas de rueda.
- Cinta para marcar la referencia de la rueda.
- 12 pastillas de lastrado delanteras intercambiables de 50Kg cada una.
- Lastrado sobre el eje trasero. Dos lastres fijos de 150Kg en cada rueda.
- Manómetro y compresor de aire para inflar el neumático a las diferentes presiones utilizadas.
- Velocidad constante 4 km/h.
- Régimen del motor constante 1800 rev/min
- Utilización bloqueo del diferencial.
- Libreta de recogida de datos.

El tractor utilizado es un tractor de doble tracción con ruedas desiguales. Las presiones escogidas para el ensayo son tres: la máxima (1.8 bares) y mínima (0,8 bares) indicada por el fabricante, y luego una intermedia (1.3 bares). El lastrado se analizó mediante la variación de las pastillas delanteras. Se establecieron tres lastrados diferentes 300kg, 450 kg y 600 kg. Se correlaciona las diferentes presiones con los diferentes pesos y los resultados se muestran en la siguiente parte del trabajo.

Las ruedas son sin cámara y radiales, este tipo de ruedas radiales permiten una mayor flexibilidad de los flancos del neumático, trabajar a bajas presiones y aguantar mejor los esfuerzos de tracción, comparándolas con unas convencionales.

La variación de la presiones de inflado de las ruedas se hizo con la ayuda de un compresor y un manómetro (figura 16).



Figura 16. Manómetro.

Para determinar el resbalamiento se dejaron 2 vueltas de ruedas sin contabilizar para dar tiempo a que el apero cogiera la profundidad adecuada en este caso unos 35 cm aproximadamente (figura 17) en las dos parcelas y una velocidad constante de 4km/h para que los datos recogidos sean lo más fiables posible .



Figura 17. Profundidad de labor 35 cm.

Las revoluciones del motor también se mantuvieron a un régimen constante en torno a 1800 revoluciones por minuto con pequeñas variaciones de +/- 100 r/min.

Además se trabajó con el bloqueo del diferencial de esta forma el número de vueltas de cada rueda son las mismas. El bloqueo del diferencial es un mecanismo por el cual se unen los palieres de ambas ruedas con lo cual cuando una de las ruedas traseras izquierda o derecha esta patinando al activar esta función obliga a la que se queda estática a moverse y así minimizar el resbalamiento. Hay que tener en cuenta que para trabajar con el bloqueo del diferencial, tenemos que trabajar con rectas porque al ir a girar en una curva como están las dos ruedas de un mismo eje unidas las ruedas darían el mismo número de vueltas y no podrían tomar la curva con lo que forzaríamos los palieres

y podríamos provocar una avería importante. Es por ello que cuando llegamos al cabecero de la parcela y queremos hacer un cambio de sentido tenemos que desconectar dicho mecanismo.



Figura 18. Ensayo con arado de vertedera



Figura 19. Ensayo con arado chisel

Para tomar las mediciones del resbalamiento se midió previamente la distancia recorrida del tractor con el apero levantado y con las diferentes presiones de inflado sobre un suelo firme como es la carretera asfaltada dando 10 vueltas de rueda. Para calcular el número de vueltas se marcó la rueda y se clavó una varilla al empezar y al acabar el número de vueltas, cuando la marca estaba en el punto más bajo como se observa en las siguientes imágenes:



Figura 20. Marcaje de la rueda



Figura 21. Varilla de señalización.

La distancia recorrida en las 10 vueltas se midió con una cinta métrica. A continuación se realizó el mismo procedimiento dentro de cada parcela. En la parcela del arado de vertedera solo se pudieron contabilizar 7 vueltas porque por las características de longitud de la parcela no permitía incrementar el número de vueltas. Los resultados obtenidos se compararon con los anteriores sobre suelo firme y se determinó el porcentaje de resbalamiento. De cada tipo de labor se realizaron dos repeticiones para que los resultados fuesen más representativos. Estos resultados los analizaremos luego en la siguiente parte del trabajo titulada resultados y discusión.



Figura 22. Detalle del ensayo de resbalamiento en el que se aprecian las varillas para marcar el comienzo y fin del número de vueltas, para su posterior medición con la cinta métrica. Los resultados obtenidos los analizaremos en la parte de resultados y discusión.

## 2.4. 4 Balance energético.

Las prestaciones de los tractores agrícolas, como máquinas productoras de energía, quedan definidas, principalmente por la potencia que pueden desarrollar.

Pero esta potencia en el tractor se utiliza de formas muy diferentes: para accionar una máquina mediante una transmisión mecánica, proporcionando un caudal de aceite que moverá un motor hidráulico o accionara un cilindro, pero sobre todo, convertida, a través de los elementos de propulsión que son las ruedas, en forma de tracción. La potencia de tracción es la de mayor importancia para el usuario de los tractores agrícolas. En este caso al tratarse de dos aperos (arado de vertedera y chisel) que requieren un trabajo de tiro o tracción vamos analizar cómo se transforma la potencia desde que sale del motor hasta llegar a la barra de tiro.

Habitualmente el tractor se utiliza para arrastrar un apero, una máquina o un remolque, y para ello necesita una fuerza de tiro suficiente, capaz de vencer las resistencias que el equipo remolcado ofrece. Esta fuerza, además, tiene que producirse a una cierta velocidad, la adecuada para la labor agrícola que se desea efectuar.

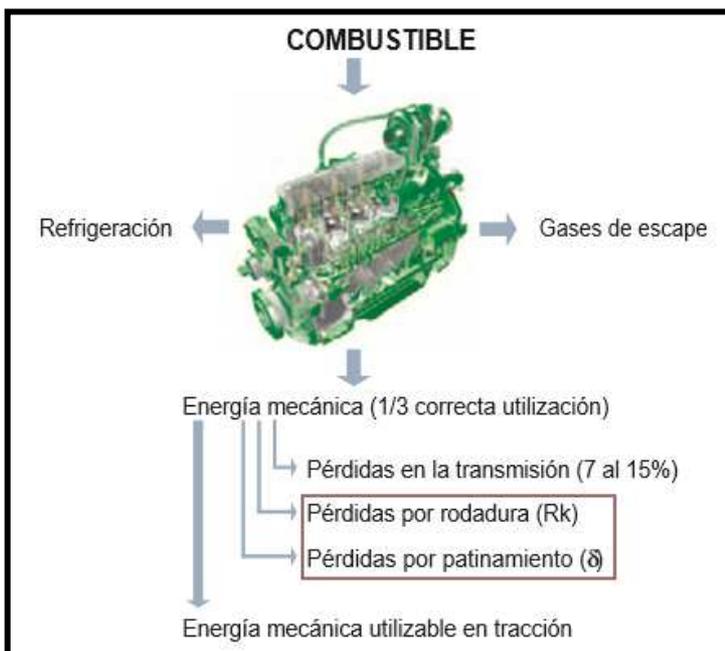


Figura 23. Como se puede ver en la imagen, de la energía que se desprende en la combustión, tan solo un tercio es transformada en energía mecánica. El resto se transforma en energía calorífica y en forma de gases desprendidos de la reacción de combustión.

Considerando la potencia como producto de la fuerza por la velocidad, se define la potencia a la barra, también llamada de tracción o de tiro, como el producto de la fuerza necesaria para arrastrar el apero por la velocidad real a la que avanza el conjunto:

$$N_b (W) = F(N) * v (m/s)$$

$$N_m = N_b + N_{tdf} + N_h + N_{rod} + N_{res} + N_t \pm N_a \pm N_c$$

- **N<sub>m</sub>**: potencia suministrada por el motor
- **N<sub>b</sub>** : potencia a la barra o de tiro
- **N<sub>tdf</sub>** : potencia consumida por la toma de fuerza
- **N<sub>h</sub>** : potencia consumida por el sistema hidráulico
- **N<sub>rod</sub>**: potencia perdida en la rodadura
- **N<sub>res</sub>**: potencia perdida en el resbalamiento
- **N<sub>t</sub>** : potencia perdida en la transmisión
- **N<sub>a</sub>** : potencia consumida en la aceleración
- **N<sub>c</sub>**: potencia empleada en pendientes

El par motor producido por el volante de este, para las diferentes condiciones de funcionamiento, sigue el camino de la transmisión (caja de cambios, diferencial, reducciones finales) hasta llegar a las ruedas del tractor. En este camino aparecen unas pérdidas de potencia llamadas de transmisión que son consecuencia del roce interno de todos los elementos de transmisión.

Este gran par en las ruedas necesita encontrar un punto de apoyo para impulsar el tractor, y este punto de apoyo lo tiene que proporcionar el suelo. Cuando el suelo no es capaz de aguantar esta fuerza, se rompe dando lugar a las pérdidas de potencia conocidas como perdidas de potencia por el resbalamiento.

El suelo ofrece también una resistencia al deslizamiento de las ruedas lo que genera unas pérdidas de potencia llamadas perdidas de potencia por rodadura.

Para el estudio, las potencias consumidas por la toma de fuerza, el sistema hidráulico, la aceleración y las pérdidas en pendientes no se tendrán en cuenta debido a que no se usan y las parcelas son llanas.

Esta transformación de la potencia queda reflejada en la siguiente figura:

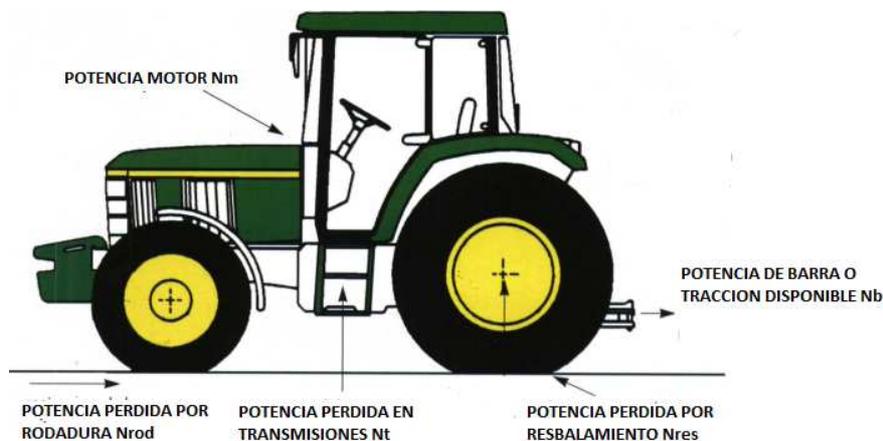


Figura 24. Pérdidas de potencia en el tractor.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1 ANÁLISIS DE COMPACTACIÓN DEL SUELO.

Se realizaron 48 muestreos (24 en cada parcela) de la compactación mediante el método del penetrómetro. Los resultados obtenidos están reflejados en los *anexos 1 y 2*. La unidad de medida es el kilopascal. El análisis de la compactación del suelo ha servido para comprobar la uniformidad de presión del suelo dentro de cada parcela y de esta manera asegurar la homogeneidad. También se van a utilizar esos datos para calcular el balance energético.

Estos son los datos medios según la profundidad de cada parcela y el valor promedio.

#### PARCELA ARADO DE VERTEDERA:

PROFUNDIDAD cm	PRESION kPa	PROFUNDIDAD cm	PRESION kPa
15	549	225	1642
30	956	240	1694
45	1260	255	1930
60	1394	270	2109
75	1393	285	2005
90	1420	300	2033
105	1421	315	2094
120	1382	330	2168
135	1381	345	2230
150	1370	360	2290
165	1456	375	2319
180	1512	390	2413
195	1581	405	2585
210	1609	Valor promedio	1711

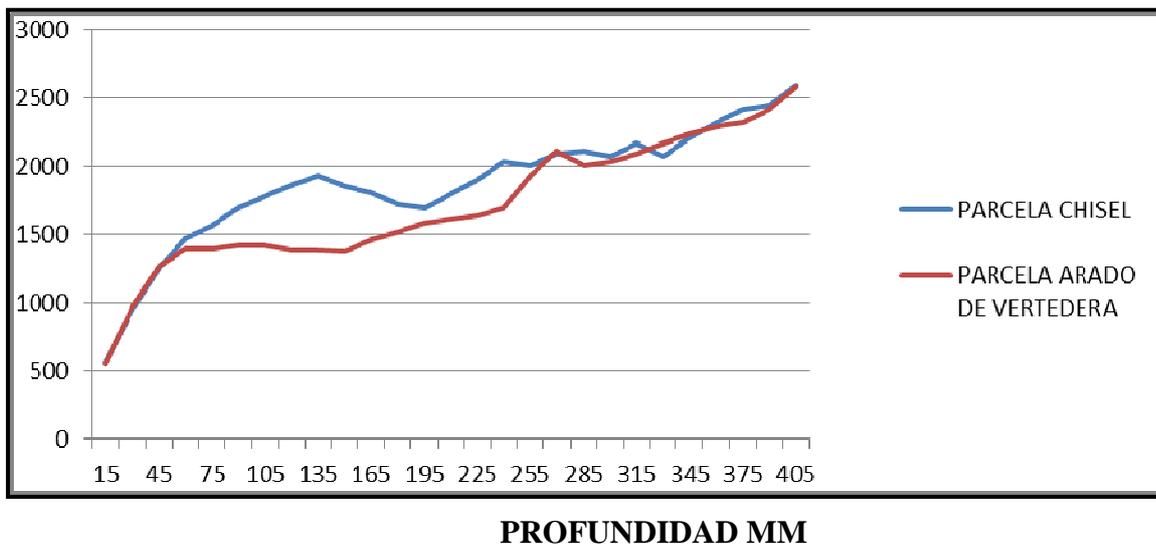
Se observa que a medida que aumenta la profundidad aumenta también la presión desde un valor mínimo de 549 kPa hasta un valor máximo de 2585kPa.

**PARCELA CHISEL:**

PROFUNDIDAD cm	PRESION kPa	PROFUNDIDAD cm	PRESION kPa
15	563	225	1904
30	938	240	2030
45	1254	255	2010
60	1466	270	2093
75	1562	285	2112
90	1695	300	2072
105	1782	315	2163
120	1863	330	2071
135	1934	345	2202
150	1858	360	2313
165	1810	375	2411
180	1720	390	2441
195	1695	405	2595
210	1801	<b>Valor promedio</b>	<b>1865</b>

En esta parcela ocurre lo mismo que en la anterior a medida que aumenta la profundidad aumenta también la presión. El valor máximo es 2595kPa y el mínimo 563kPa. Los valores son muy parecidos en ambas parcelas lo cual queda reflejado en el siguiente gráfico:

**PRESION KPA**



Los valores del intervalo a la profundidad de labor desde 255 hasta 405mm son muy semejantes por lo que podemos afirmar que no existe diferencia significativa entre las dos parcelas de la resistencia del suelo al laboreo.

### 3.2 ANÁLISIS TEXTURAL DEL SUELO

Los resultados del análisis de laboratorio para determinar los porcentajes de cada elemento (arcilla arena y limo) y clasificar el suelo según la textura son los siguientes:

	Parcela arado de vertedera	Parcela arado chisel
<b>Arena gruesa (2-0,2mm)</b>	4,70%	4,35%
<b>Arena media (0,2-0,1mm)</b>	1,17%	1,24%
<b>Arena fina (0,1-0,05mm)</b>	2,56%	1,97%
<b>Limos gruesos (0,05-0,02)</b>	10,92%	10,03%
<b>Limos finos (0,02-0,002mm)</b>	46,09%	46,23%
<b>Arcillas (&lt;0,002mm)</b>	34,55%	36,18%
<b>Humedad de campo</b>	16,14% MS	15,64% MS

Con estos datos analizados en laboratorio por el método de la pipeta o de Robinson, podemos determinar la clase textural. Para ello utilizaremos el método del triángulo de textura que aparece en el *anexo 3*. Para entrar en el triángulo cogemos los porcentajes de cada elemento (arena, limo y arcillas) y lo introducimos en el lado del triángulo correspondiente. La clase textural es la zona donde se juntan las líneas de porcentaje de cada elemento. Los datos de ambas parcelas son muy similares por lo que determinamos, utilizando el triángulo de clase textural que se tratan de suelos de **textura franco arcillo limoso**.

En este tipo de suelos que contienen un porcentaje alto de limo 56% hay que tener mucho cuidado con el problema de encostramiento superficial durante la germinación del cultivo. El contenido en

arcillas también es alto 34% por lo que se trata de un suelo fértil apto para producción agrícola. El contenido en arena es bajo 7%.

Otro factor analizado es la humedad de campo representada como porcentaje sobre materia seca. Es uno de los factores que tiene mayor incidencia en las labores de preparación de suelo. En las dos parcelas es también muy semejante en torno al 15-16%. Es un contenido de humedad elevado lo que ha potenciado las pérdidas por resbalamiento y el esfuerzo de tiro.

La humedad hace que el suelo presente mayor o menor resistencia a la penetración de los implementos, también le confiere características de plasticidad que le permiten adherirse a los implementos de labranza, dificultando su acción.

En suelos muy húmedos se afecta la tracción al aumentar el resbalamiento y aumentar los requerimientos de potencia, debido a la gran resistencia que ofrece al desplazamiento del arado. Un suelo con poco contenido de humedad es duro. A medida que la humedad aumenta, éste se ablanda y se disgrega con facilidad. La consistencia friable representa la condición óptima de humedad para realizar la labranza del mismo. Esta condición se reconoce en la práctica al tomar suelo en la mano y conseguir que éste se disgregue fácilmente al ser presionado, sin dejar restos adheridos a ella. Un suelo muy húmedo, forma una pelota al «ser amasado» y ensucia la mano con la arcilla húmeda que se pega. Un suelo demasiado seco, forma terrones durísimos que son muy difíciles de disgregar.

### 3.3 ESTUDIO DE RESBALAMIENTO

Con arado de vertedera:

	Presión máxima 1,8 bar	Presión media 1,3 bar	Presión baja 0,8 bar
<b>Testigo</b>	37,2	36,9	36,1
<b>T%</b>	0%	0%	0%
<b>L 300</b>	24,47-24,12	24,1-24,6	26,7-26,08
<b>L % 300</b>	<b>34,7%</b>	34%	26,9%
<b>L 450</b>	24,96-24,52	24,7-25,2	26,94-26,3
<b>L 450%</b>	33%	32%	26,3%
<b>L 600</b>	25,81-25,36	26,92-26	27,2-27,4
<b>L600</b>	31%	28,3%	<b>24,4%</b>

L 300,450,600 = longitud en metros, recorrida con 300,450,600 kg de lastrado

L% 300,450,600 = porcentaje de resbalamiento de cada caso sobre el testigo (suelo firme)

Numero de vueltas de rueda completas: 7

Numero de repeticiones de cada ensayo: 2

Como se puede apreciar en la tabla, a medida que aumentamos el lastrado y disminuimos la presión de inflado el resbalamiento va disminuyendo. El mínimo resbalamiento se consigue pues, con el lastrado máximo y la mínima presión de inflado. Pese a todo resulta un valor muy alto 24%. Comparándolo con el peor de los casos se ha reducido un 10%. También se aprecia que la presión de inflado tiene una influencia mayor sobre el resbalamiento que el lastrado ya que, la proporción con la que disminuye el resbalamiento, es mayor en función de la presión de inflado que con la variación del lastrado. De esa diferencia de 10% comparando el mejor de los casos con el peor, un 7% aprox. correspondería a la variación de la presión y un 3% aprox. al aumento del lastrado.

### Con arado chisel:

Numero de vueltas de rueda completa: 10

	Presión máxima 1,8 bar	Presión media 1,3 bar	Presión baja 0,8 bar
<b>Testigo</b>	53,1	52,7	51,5
<b>T%</b>	0	0	0
<b>L 300</b>	36,87-37,47	38,56-38,12	39,82-39,47
<b>L % 300</b>	<b>30%</b>	27,3%	23,1%
<b>L 450</b>	38,31-39,04	40,55-39,67	41,71-42,33
<b>L 450%</b>	27,1%	23,8%	19%
<b>L 600</b>	39,13-39,25	41,52-41,63	44,79-43,96
<b>L600</b>	26,2%	21,1%	<b>13,8%</b>

L 300,450,600 = longitud en metros, recorrida con 300,450,600 kg de lastrado

L% 300,450,600 = porcentaje de resbalamiento de cada caso sobre el testigo (suelo firme)

Numero de vueltas de rueda completas: 10

Numero de repeticiones de cada ensayo: 2

Como se puede apreciar en la tabla del chisel, al igual que en el caso anterior, a medida que aumentamos el lastrado y disminuimos la presión de inflado el resbalamiento va disminuyendo. El

mínimo resbalamiento se consigue pues, con el lastrado máximo y la mínima presión de inflado. Ese valor, que es un 13,8% está dentro de los límites normales de resbalamiento. Comparándolo con el peor de los casos se ha reducido un 16%. En esta tabla no se aprecia que factor tiene más influencia sobre el resbalamiento. Esto puede deberse a que trabajando con el chisel las cuatro ruedas apoyan en suelo firme, mientras que en el trabajo con arado de vertedera las ruedas de un lado van dentro del surco por terreno blando y por eso la presión (al aumentar la superficie de contacto con el suelo) tiene más influencia que el lastrado.

### **3.4 CALCULO DEL BALANCE ENERGÉTICO.**

Para el cálculo del balance energético se van a estudiar cuatro casos de resbalamiento: el más y menos favorable correspondientes al arado de vertedera, y por otro lado el más y menos favorable del arado chisel. El primer caso que es el del arado de vertedera en la situación más favorable va a servir de ejemplo para los otros tres restantes.

Aplicamos las fórmulas correspondientes para calcular cada una de las potencias.

#### **Caso 1 arado de vertedera presión 0,8 bar y lastrado 600kg**

##### **Potencia producida por el motor $N_m$**

Par motor a 1800 rev/min 450 Nm

Potencia motor  $N_m = 87\text{kW} = 118\text{ CV}$

Estos datos de potencia de motor resultan de la curva característica del motor que aparece en el *anexo 4*.

##### **Potencia perdida en la transmisión $N_t$** (caja de cambios, grupos diferenciales y reducciones finales)

La potencia proveniente del motor que llega a las ruedas es la potencia producida por el motor menos un porcentaje que varía entre 5 y 12% dependiendo de la transmisión del tractor. Para este caso concreto en el que el tipo de transmisión es mecánica de accionamiento hidráulico un porcentaje del 10%. Esta pérdida de potencia es la llamada pérdida de potencia por transmisión.

$N_t = N_m \times \text{coeficiente pérdida transmisión}$

Coef pérdida por transmisión = 0.1 (10% de pérdida de potencia)

$$N_t = 87 \text{ kW} * 0.1 = 8,7 \text{ kW}$$

### Potencia perdida por resbalamiento $N_{res}$

$$N_{res} = \% \text{ resbalamiento} * (N_m - N_t)$$

$$N_{res} = 0,24 * (87 - 8,7) = 18,79 \text{ kW}$$

$$\text{Porcentaje resbalamiento} = 24\%$$

### Potencia perdida por rodadura $N_{rod}$

$$N_{rod} = V \text{ ( m/ seg )} * P \text{ ( N )} * \text{coef rodadura}$$

$$V = \text{velocidad tractor } 4 \text{ km/h} = 1,1 \text{ m/s}$$

$$P = \text{peso tractor} = 69000 \text{ N}$$

$$\text{Coeficiente de rodadura} = 0.07$$

El coeficiente de rodadura lo obtenemos de la siguiente tabla utilizando el índice de cono que resulta del ensayo de compactación. El índice de cono, IC, a una determinada profundidad del suelo es el valor medio de la resistencia a la penetración encontrada hasta dicha profundidad. Índice de cono parcela arado de vertedera: 1700 kPa.

Naturaleza y Estado del suelo	Índice de cono (CI) [kPa]	Coeficiente de resistencia a la rodadura (2)
Carretera en buen estado	-	0.02 a 0.04
Camino de tierra afirmado	-	0.03 a 0.05
Camino de tierra	-	0.04 a 0.06
Suelo baldío	1800	0.06 a 0.10
Rastrojo seco	1200	0.08 a 0.10
Tierra labrada	900	0.10 a 0.20
Arena y suelo muy suelto	450 - 250	0.15 a 0.30

(1) El índice de cono (CI) permite evaluar la consistencia de cada tipo de suelo de manera cuantitativa.

$$N_{rod} = 1,1 \text{ m/seg} * 69000 \text{ N} * 0.07 = 5313 \text{ W} = 5,31 \text{ kW}$$

### Potencia en barra o de tiro disponible para el apero

$$N_b = N_m - N_t - N_{tdf} - N_h - N_{res} - N_{rod} - N_a - N_c$$

Debido a que no se trabaja con la toma de fuerza, ni el sistema hidráulico, tampoco aceleración y no existe pendiente en las parcelas  $N_{tdf} + N_h + N_a + N_c = 0 \text{ kW}$

$$N_b = 87 \text{ kW} - 8,7 \text{ kW} - 0 - 0 - 18,79 \text{ kW} - 5,31 \text{ kW} - 0 - 0 = \mathbf{54,2 \text{ kW} = 73,71 \text{ CV}}$$

### Potencia en barra o de tiro demandada por el apero

$$F(N) = \mu \text{ (N/cm}^2\text{)} * S \text{ (cm}^2\text{)} * \text{Coeficiente de minoración} = 5,184 \text{ N/cm}^2 * 160 \text{ cm} * 35 \text{ cm} * 1 = 29030 \text{ N}$$

El coeficiente de minoración lo obtenemos de la tabla correspondiente según el tipo de arado

Apero - máquina arrastrada	Coef.
Arado vertedera/disco	1,0
Chisel	0,5
Subsolador	0,5
Rotocultivador	1,0
Grada de discos	0,5
Cultivador	0,2
Grada accionada	0,7
Vibrocultivador	0,2
Rodillo	0,5
Sembradora chorrillo	0,5
Sembradora chorrillo - SD	0,8
Sembradora monograno	0,5
Sembradora hortícolas	0,5
Plantadora patatas	0,5

$$\mu \text{ (N/cm}^2\text{)} = \mu_0 + \lambda * v^2 \text{ (km/h)} = 4,8 + 0,024 * 4^2 = 5,184$$

Para calcular estas constantes  $\mu_0 + \lambda$  utilizamos el análisis de la textura del suelo que nos clasifica el suelo como franco arcilloso limoso. Cogemos de la siguiente tabla las constantes correspondientes y sustituimos en la ecuación.

Arcillo limoso	$\mu = 7 + 0,049 \cdot v^2$
Franco-arcillosos	$\mu = 6 + 0,049 \cdot v^2$
Franco-arcillo-limoso	$\mu = 4,8 + 0,024 \cdot v^2$
Franco	$\mu = 3 + 0,020 \cdot v^2$
Limo-arenoso	$\mu = 3 + 0,032 \cdot v^2$
Franco-arenoso	$\mu = 2,8 + 0,013 \cdot v^2$
Arenoso	$\mu = 2 + 0,013 \cdot v^2$

$$N_b (W) = F(N) \cdot v \text{ (m/s)} = 29030 \times 1,1 = 31933 \text{ W} = \mathbf{31,93 \text{ kW} = 43,42 \text{ CV}}$$

## Caso 2 arado de vertedera presión 1,8 bar y lastrado 300kg

### Potencia producida por el motor $N_m$

Par motor a 1800 rev/min 450 Nm

Potencia motor  $N_m = 87 \text{ kW} = 118 \text{ CV}$

**Potencia perdida en la transmisión  $N_t$**  (caja de cambios, grupos diferenciales y reducciones finales)

$N_t = N_m \times \text{coeficiente perdida transmisión}$

Coef perdida por transmisión = 0.1 (10% de perdida de potencia)

$$N_t = 87 \text{ kW} \cdot 0.1 = 8,7 \text{ kW}$$

### Potencia perdida por resbalamiento $N_{res}$

$N_{res} = \% \text{ resbalamiento} \cdot (N_m - N_t)$

$$N_{res} = 0,347 \cdot (87 - 8,7) = 27,17 \text{ kW}$$

Porcentaje resbalamiento = 34,7 %

### Potencia perdida por rodadura $N_{rod}$

$N_{rod} = V \text{ (m/seg)} \cdot P \text{ (N)} \cdot \text{coef rodadura}$

V=velocidad tractor 4 km/h= 1,1m/s

P= peso tractor= 69000N-3000 N (lastrado con 300kg)=66000

Coefficiente de rodadura=0.07

Índice de cono parcela arado de vertedera: 1700 kPa.

$N_{rod} = 1,1\text{m/seg} * 66000\text{N} * 0.07 = 5082\text{W} = 5,08\text{kW}$

### **Potencia en barra o de tiro disponible para el apero**

$N_b = N_m - N_t - N_{tdf} - N_h - N_{res} - N_{rod} - N_a - N_c$

$N_b = 87\text{kW} - 8,7\text{kW} - 0 - 0 - 27,17\text{kW} - 5,08\text{kW} - 0 - 0 = \mathbf{46\text{kW} = 62,56\text{CV}}$

### **Potencia en barra o de tiro demandada por el apero**

$F(N) = \mu \text{ (N/cm}^2\text{)} * S \text{ (cm}^2\text{)} * \text{Coeficiente de minoración} = 5,184 \text{ N/cm}^2 * 160\text{cm} * 35\text{cm} * 1 = 29030\text{N}$

$\mu \text{ (N/cm}^2\text{)} = \mu_0 + \lambda * v^2 \text{ (km/h)} = 4,8 + 0,024 * 4^2 = 5,184$

$.N_b \text{ (W)} = F(N) * v \text{ (m/s)} = 29030 * 1,1 = 31933 \text{ W} = \mathbf{31,93 \text{ kW} = 43,42\text{CV}}$

Comparando estos dos casos de arado de vertedera podemos decir que se pierden por un incorrecto lastrado y presión inadecuada de inflado de las ruedas:

Potencia que llega a la barra de tiro desde el motor caso 1: 73,71CV

Potencia que llega a la barra de tiro desde el motor caso 2: 62,56CV

**PERDIDAS DE POTENCIA**=73,71-62,56=**11,15CV** que no se aprovechan en el caso 2

Cabe también señalar que en el caso que más potencia está disponible (caso 1) hay mucha diferencia entre la potencia demandada por el arado de vertedera y la disponible por el motor por lo que la eficiencia de uso de la energía es muy baja.

## **Caso 3 chisel presión 0,8 bar y lastrado 600kg**

### **Potencia producida por el motor Nm**

Par motor a 1800 rev/min 450 Nm

Potencia motor Nm= 87kW=118 CV

**Potencia perdida en la transmisión  $N_t$**  (caja de cambios, grupos diferenciales y reducciones finales)

$N_t = N_m \times \text{coeficiente perdida transmisión}$

Coef perdida por transmisión= 0.1 (10% de perdida de potencia)

$N_t = 87\text{kW} \times 0.1 = 8,7\text{kW}$

**Potencia perdida por resbalamiento  $N_{res}$**

$N_{res} = \% \text{resbalamiento} \times (N_m - N_t)$

$N_{res} = 0,138 * (87 - 8,7) = 10,8 \text{ kW}$

Porcentaje resbalamiento=13,8 %

**Potencia perdida por rodadura  $N_{rod}$**

$N_{rod} = V (\text{ m/ seg}) * P (N) * \text{coef rodadura}$

$V = \text{velocidad tractor } 4 \text{ km/h} = 1,1 \text{ m/s}$

$P = \text{peso tractor} = 69000 \text{ N}$  (lastrado con 600kg)

Coeficiente de rodadura=0.06

Índice de cono parcela chisel: 1865 kPa.

$N_{rod} = 1,1 \text{ m/seg} * 69000 \text{ N} * 0.06 = 4554 \text{ W} = 4,55 \text{ kW}$

**Potencia en barra o de tiro disponible para el apero**

$N_b = N_m - N_t - N_{tdf} - N_h - N_{res} - N_{rod} - N_a - N_c$

$N_b = 87\text{kW} - 8,7\text{kW} - 0 - 0 - 10,8\text{kW} - 4,55\text{kW} - 0 - 0 = \mathbf{62,95\text{kW} = 85,61\text{CV}}$

**Potencia en barra o de tiro demandada por el apero**

$F(N) = \mu (N/\text{cm}^2) * S (\text{cm}^2) * \text{Coeficiente de minoración} = 5,184 \text{ N/cm}^2 \times 270\text{cm} \times 35\text{cm} \times 0,5 = 24494 \text{ N}$

$\mu (\text{N/cm}^2) = \mu_0 + \lambda * v^2 (\text{km/h}) = 4,8 + 0,024 \times 4^2 = 5,184$

$$.N_b (W) = F(N) * v (m/s) = 24494 \times 1,1 = 26943W = \mathbf{26,934Kw=36,62CV}$$

## **Caso 4 chisel presión 1,8 bar y lastrado 300kg**

### **Potencia producida por el motor $N_m$**

Par motor a 1800 rev/min 450 Nm

Potencia motor  $N_m = 87kW = 118 CV$

**Potencia perdida en la transmisión  $N_t$**  (caja de cambios, grupos diferenciales y reducciones finales)

$N_t = N_m \times \text{coeficiente perdida transmisión}$

Coef perdida por transmisión = 0.1 (10% de perdida de potencia)

$$N_t = 87kW * 0.1 = 8,7kW$$

### **Potencia perdida por resbalamiento $N_{res}$**

$N_{res} = \% \text{resbalamiento} * (N_m - N_t)$

$$N_{res} = 0,3 * (87 - 8,7) = 23,49 kW$$

Porcentaje resbalamiento = 30 %

### **Potencia perdida por rodadura $N_{rod}$**

$N_{rod} = V (m/seg) * P(N) * \text{coef rodadura}$

$V = \text{velocidad tractor } 4 \text{ km/h} = 1,1 \text{ m/s}$

$P = \text{peso tractor} = 69000N - 3000N \text{ (lastrado con } 300\text{kg)} = 66000$

Coeficiente de rodadura = 0.06

Índice de cono parcela chisel: 1865 kPa.

$$N_{rod} = 1,1 \text{ m/seg} * 66000N * 0.06 = 4356W = 4,36kW$$

### **Potencia en barra o de tiro disponible para el apero**

$N_b = N_m - N_t - N_{tdf} - N_h - N_{res} - N_{rod} - N_a - N_c$

$$N_b = 87kW - 8,7kW - 0 - 0 - 23,49kW - 4,36kW - 0 - 0 = \mathbf{50,45kW = 68,61CV}$$

### Potencia en barra o de tiro demandada por el apero

$$F(N) = \mu \text{ (N/cm}^2\text{)} * S \text{ (cm}^2\text{)} * \text{Coeficiente de minoración} = 5,184 \text{ N/cm}^2 * 270\text{cm} * 35\text{cm} * 0,5 = 24494\text{N}$$

$$\mu \text{ (N/cm}^2\text{)} = \mu_0 + \lambda * v^2 \text{ (km/h)} = 4,8 + 0,024 * 4^2 = 5,184$$

$$.Nb \text{ (W)} = F(N) * v \text{ (m/s)} = 24494 * 1,1 = 26943\text{W} = \mathbf{26,934 \text{ kW} = 36.63\text{CV}}$$

Comparando estos dos casos de arado de chisel, podemos decir que se pierden por un incorrecto lastrado y presión inadecuada de inflado de las ruedas:

Potencia que llega a la barra de tiro desde el motor caso 3: 85,61CV

Potencia que llega a la barra de tiro desde el motor caso 4: 68,61CV

**DIFERENCIA DE POTENCIA=85,61-68,61=17 CV** que no se aprovechan en el caso 4.

En el caso que más potencia está disponible (caso 3) hay mucha diferencia entre la potencia demandada por el chisel y la disponible por el motor por lo que la eficiencia de uso de la energía es muy baja.

## 4 CONCLUSIONES:

Mediante los diferentes ensayos y análisis a lo largo de este trabajo podemos concluir que:

- Las pérdidas que más condicionan el consumo de combustible de estos trabajos de tracción son las pérdidas de resbalamiento. Las pérdidas por rodadura suponen un porcentaje pequeño en comparación con el resbalamiento. Las pérdidas de transmisión suponen el 10% sobre la potencia que sale del motor. Estas pérdidas de la transmisión son fijas y no pueden reducirse, pero un mantenimiento adecuado de los elementos de transmisión nos asegurará que dichas pérdidas no aumenten.
- Estudiando las tablas de resbalamiento los mejores resultados se obtienen reduciendo la presión a 0,8 bar que es la mínima que recomienda el fabricante. Al disminuir la presión de inflado de las ruedas conseguimos aumentar la superficie de contacto del neumático con el suelo con lo que aumentamos la tracción y por tanto reducimos el resbalamiento. También a medida que lastramos el tractor reducimos el resbalamiento debido a que la presión ejercida contra el suelo es mayor.
- Las pérdidas por resbalamiento en el caso de chisel en las condiciones óptimas son 13,8% estando dentro de los valores normales para un tractor de doble tracción y ruedas desiguales que establecen dichos valores entre el 5 y 15%. En el caso del arado de vertedera este valor se encuentra por encima de estos valores siendo un 24% el resbalamiento en las mejores condiciones analizadas.
- La diferencia de resbalamiento entre el apero chisel (13,8%) y el arado de vertedera (24%) se justifica por la diferencia de potencia demandada siendo aproximadamente 36 CV necesitados por el arado chisel y 43 CV por el arado de vertedera. Siendo las condiciones de trabajo de ambas parcelas muy similares (compactación de suelo, tipo de suelo, humedad..) esta diferencia de potencia demandada se debe a la forma de trabajar del arado de vertedera. Aunque trabaja menos anchura (1,60 metros frente a 2,70 de anchura de trabajo del chisel) corta la sección de trabajo en su totalidad de forma horizontal y además voltea la tierra.
- Analizando la tabla de resbalamiento del arado de vertedera con un resbalamiento de 24%, se podría minimizar, utilizando más lastres o disminuyendo la profundidad de labor hasta llegar a valores normales. En el estudio no se ha podido aumentar el lastre porque no se disponía de más pastillas de lastrado delanteras, pero viendo la tabla podemos afirmar que con más lastres disminuiríamos dicho porcentaje, teniendo en cuenta de no sobrepasar los valores de peso máximo autorizado en el eje delantero.
- Al reducir el resbalamiento, no solo se reduce el consumo de combustible sino que también se prolonga la vida útil de las ruedas. Un adecuado mantenimiento de las ruedas, un uso apropiado y cambiarlas sin un desgaste excesivo es muy importante para mantener bajos niveles de resbalamiento.

- En el análisis del balance energético, un dato interesante es la diferencia entre la potencia que está disponible por el motor en la barra de tiro (una vez descontadas las pérdidas de potencia en transmisión, rodadura y resbalamiento) y la demandada por el apero siendo aproximadamente un 50% la aprovechada por los aperos. En el caso del arado de vertedera es un 58.9% y en el caso del chisel sería un 42,8% la potencia aprovechada.
- Estos valores tan bajos de aprovechamiento de potencia se pueden aumentar de dos formas. Una forma es aumentando la anchura para aumentar la sección de trabajo y adaptarla a la potencia disponible. La otra forma es aumentando la velocidad de trabajo que en estos casos se ha establecido en 4 km/h. Esta velocidad es relativamente baja ya que a efectos de hacer las mediciones se decidió trabajar con esta velocidad para facilitar la recogida de datos. La anchura de trabajo de los aperos es fija por lo que para cambiar la anchura de trabajo habría que cambiar la maquinaria por otra de mayor anchura de trabajo con el consecuente gasto económico.
- Por lo tanto la recomendación para adaptar la potencia demandada por los aperos a la disponible de tiro sería el trabajar a una velocidad mayor. En el caso del chisel sería en torno al doble, unos 8 km/h. para el arado de vertedera sería aumentar en torno a 6-6,5 km/h. Además al aumentar la velocidad los aperos impactan con mayor fuerza sobre la tierra y la fragmentación y desmenuzamiento es mayor. Otra ventaja de aumentar la velocidad es que el rendimiento de trabajo es mayor con lo que disminuimos la mano de obra y el tiempo empleado en las labores.
- Un factor muy importante a tener en cuenta es la humedad del suelo a la hora de realizar las labores sobre todo en este tipo de suelos como es el caso, al tratarse de un suelo franco arcillo limoso en los que al aumentar la humedad aumenta también la cohesión de las partículas del suelo, la adherencia de dichas partículas y en consecuencia la resistencia al trabajo de los aperos. En el análisis del suelo la humedad de campo al realizar los ensayos de laboreo y resbalamiento resultó de 15-16% sobre la materia seca. Las condiciones de humedad fueron elevadas por lo que los resbalamientos elevados se deben en parte a las condiciones no óptimas del terreno. Se debe trabajar siempre en las mejores condiciones del suelo aunque esto siempre no es posible, ya que se depende de un factor que no podemos controlar como es la climatología.
- Por todo lo mencionado, concluimos que es necesario y de vital importancia para la rentabilidad de una explotación agraria analizar cómo se aprovecha y se transforma la energía para adaptar la maquinaria a las diferentes labores buscando siempre las condiciones óptimas del terreno, con el objetivo de conseguir una producción lo más rentable, eficiente y respetuosa con el medio ambiente posible.

## 5 BIBLIOGRAFIA.

- Trabajos de tracción: Influencia de la rodadura y el patinamiento. Autor: Juan Antonio Boto Fidalgo
- Maquinaria agrícola. Escola d'agricultura de Barcelona. Autor: Emilio Gil
- Ploughins and tillage problems. 2000. Autor: Brammer,H
- Ahorro de combustible en el tractor agrícola. 2005 Autor: IDEA
- Mecanización Agraria. Universidad pública de Navarra
- Unión technique de l'automobile du motocycle et du cycle. 1993 page nº 10
- Potencia de tracción. Agrotecnia 1999. Autor: Luis Márquez

## 6 ANEXOS.

### ANEXO 1: Ensayo compactación parcela laboreo de vertedera.

*Profundidad (mm)*

Nº de ensay	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210
1	664	1627	2256	2385	2211	2840	3113	1930	1718	1483	1309	1483	1627	1756
2	346	710	967	1074	1028	846	914	1066	1202	1066	748	649	679	778
3	205	225	672	914	1096	1271	1202	1293	1468	1513	1460	1248	1005	1142
4	118	346	854	861	952	983	990	1043	1187	1498	1771	1703	1748	1559
5	2203	1976	2483	2264	2423	2355	2233	1915	1619	1710	1725	1763	1544	1885
6	1680	1839	1824	1877	1801	1794	1763	1748	1779	1847	1559	1384	1127	1286
7	118	475	967	1293	1369	1498	1612	1877	2021	1756	1597	1346	1354	1407
8	1058	2461	2483	2529	2590	2825	2749	2317	2400	2211	1938	1892	2211	2385
9	118	535	1589	2059	2067	1877	1718	1574	1172	1369	2059	2082	2241	2597
10	149	967	1536	1642	1824	1695	1900	1824	1566	1369	1650	1710	1786	1945
11	156	407	497	657	664	1043	1142	975	1081	1225	1604	1536	1756	2112
12	316	664	786	930	717	672	846	839	983	786	786	1180	1331	1384
13	225	581	823	1043	1142	1149	1263	1536	1771	2142	2635	3332	3689	2529
14	983	1400	1165	1255	1255	1278	1377	1612	1627	1437	1483	1718	1771	1968
15	81	346	573	1240	1218	1119	998	899	672	763	1081	1263	1255	967
16	861	1316	1407	1498	1293	1172	1028	1104	1036	930	967	1255	1225	1483
17	839	1028	1005	1013	1119	1058	952	983	1043	1346	1415	1346	1240	1119
18	528	702	657	664	755	892	899	778	672	543	634	1028	1422	1415
19	437	801	869	876	786	801	839	770	573	482	444	467	497	596
20	384	1225	1604	1589	1468	1240	1119	1165	1187	1165	1149	1157	1119	990
21	43	452	1589	2180	2264	2264	1771	1604	1703	1551	1771	1627	1983	1847
22	520	1081	1536	1407	1165	1089	1119	1240	1225	1172	1225	1278	1369	1430
23	293	892	1278	1445	1407	1468	1680	1998	2051	1832	1930	1786	2013	2112
24	861	876	808	763	808	854	876	1089	1384	1680	2006	2059	1960	1915

*Profundidad (mm)*

Nº de ensay	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	390	405
1	1710	2165	2309	2703	2355	2681	2165	1923	1938	1900	1877	1824	1976
2	839	1255	2332	2362	2302	2241	2370	2658	2916	2893	2931	3135	3401
3	952	937	907	892	1149	1271	1218	1111	1058	1407	1619	1968	2324
4	1627	1938	2574	2734	2029	1877	2173	2211	2590	2923	2355	3196	3166
5	2355	2946	3848	4704	2029	2135	2304	2370	2460	2420	2120	2482	2260
6	1369	1650	1907	2127	2294	2370	2370	2499	2499	2552	2802	3006	3355
7	1248	967	1331	1346	1589	1710	1657	1718	1581	1574	1657	1604	1483
8	2180	2241	2059	2392	2355	2506	2476	2574	2688	2771	3150	3264	3075
9	2453	2537	3241	3090	3226	3272	2658	2446	2286	2339	2074	2036	2347
10	2044	1794	2074	2248	2271	2461	2597	2370	2112	2362	2339	2317	2423
11	1832	1733	2317	2355	2211	1900	1839	2029	1991	2059	2173	2226	2074
12	1680	1839	2021	2279	2430	2574	2953	3113	2802	3006	2908	3097	3984
13	2264	2332	2612	2173	2756	2241	2211	2264	2514	2529	2696	2537	2286
14	2089	1718	1544	2446	1741	1915	2468	2480	2496	2529	2696	2537	2286
15	1544	1627	2006	2491	2681	2362	2423	2460	2514	2529	2696	2537	2286
16	1604	1475	1551	1748	1839	1672	1703	1695	1786	1869	1923	2180	2665
17	1202	1119	1278	1255	1255	1324	1377	1392	1498	1869	1923	2180	2665
18	1066	975	945	930	748	695	710	846	912	1142	1526	1818	1976
19	710	695	778	990	1286	1498	1612	2150	2590	2635	2400	2711	2696
20	839	854	1005	1346	1619	1513	1771	2013	2120	2271	2218	1953	1930
21	1998	2059	2135	2256	2218	2120	1938	2059	2385	2423	2385	2097	3605
22	1513	1619	1528	1657	1703	2044	2552	2711	2855	2211	2036	1938	1945
23	2438	2241	1983	2112	2059	2264	2499	2574	2468	2438	2514	2658	3006
24	1862	1945	2044	1968	1983	2135	2211	2370	2468	2302	2643	2620	2825

## ANEXO 2 Ensayo compactación parcela chisel

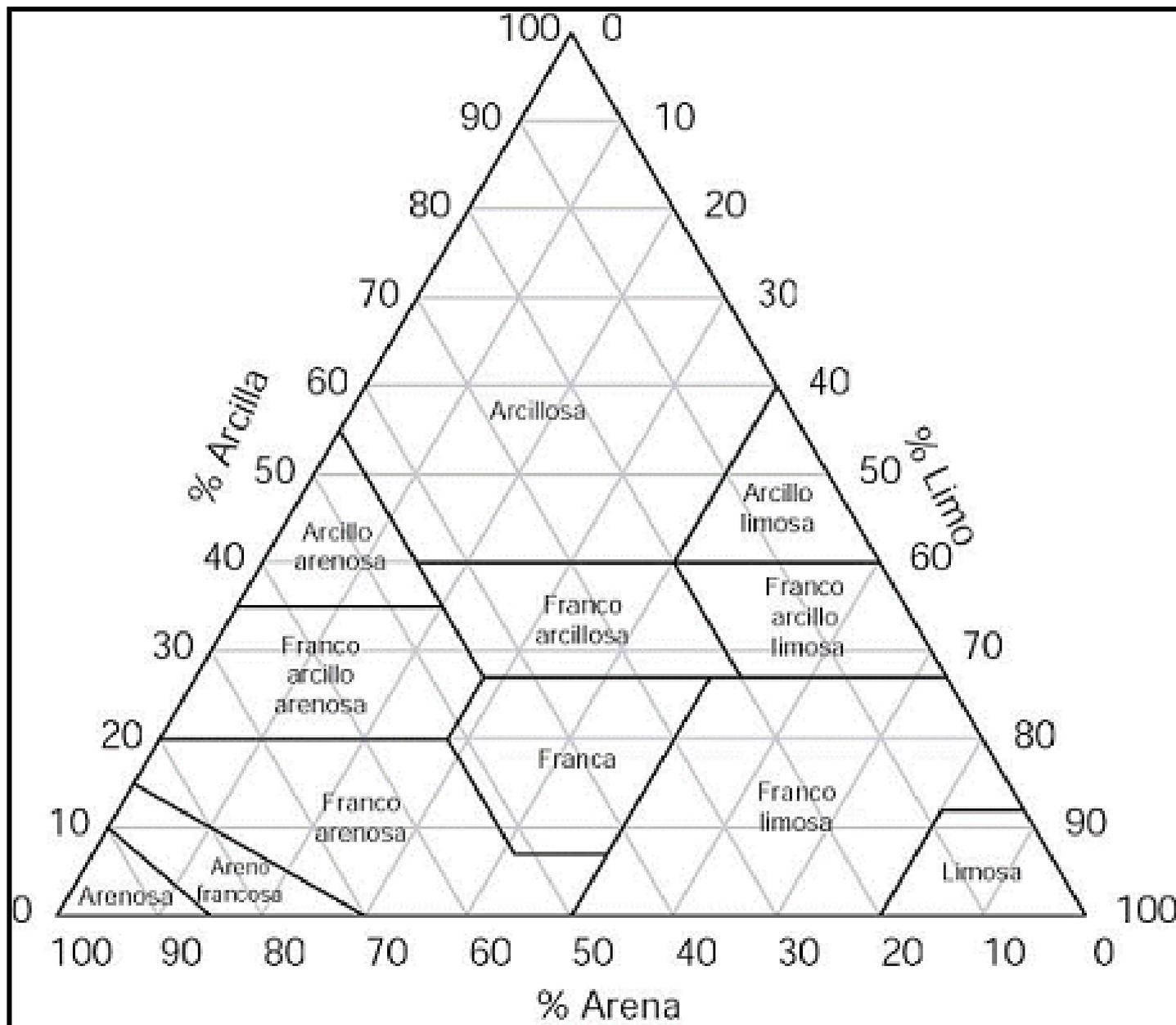
### Profundidad (mm)

Ensayo	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210
25	1733	1862	1968	2158	2256	2188	2339	2620	2916	3097	3082	3060	3211	3272
26	247	604	717	808	755	846	717	732	755	861	922	899	861	778
27	1271	1521	2294	2415	2302	2203	2112	1953	1741	1612	1566	1574	1506	1574
28	179	884	1938	2006	1733	1885	2036	2756	3893	2878	2718	3082	2916	3143
29	1271	2446	2741	2643	2893	3643	3461	3378	4204	3992	4666	3211	3113	3287
30	497	930	1415	2120	2574	2809	3332	3173	3158	3408	3431	3240	3090	3267
31	437	1445	2150	2771	2900	2878	3029	3287	3552	2931	2120	2635	2650	2931
32	240	475	1187	1771	1733	1771	1907	1953	2074	2074	2150	1938	1695	1437
33	528	1255	1058	1536	2036	2423	2392	2559	2377	2461	2218	2044	2089	2112
34	2211	2574	2779	2878	2658	2802	3249	3295	3158	3060	1763	1779	1809	2264
35	316	793	861	998	1081	1089	1043	1119	1187	1286	1430	1475	1407	1240
36	35	58	823	1066	1089	1218	1354	1794	1293	1331	1612	1468	1536	1665
37	346	475	513	604	551	626	626	664	717	869	1043	1028	914	1392
38	50	187	331	497	588	748	869	967	846	808	930	1134	1240	1536
39	619	1021	1187	1346	1483	1733	1877	1733	1854	1938	1968	1597	1650	1756
40	50	263	717	937	1089	1210	1309	1665	1892	1286	1278	1248	1043	732
41	551	975	1149	1218	1369	1604	1559	1392	1210	1036	960	937	823	1028
42	118	225	460	801	1058	1202	1248	1248	1453	1854	1536	1544	1551	1748
43	1748	1392	1339	1415	1437	1475	1612	1498	1369	1005	990	1233	1354	1468
44	35	194	391	505	657	937	1210	990	823	892	861	998	1036	1165
45	202	642	778	960	1271	1324	1301	1263	967	778	679	551	786	823
46	247	960	1392	1498	1490	1589	1589	1544	1528	1627	1748	1430	1392	1369
47	535	1149	1180	1202	1362	1445	1483	1566	1498	1415	1566	1490	1407	1642
48	45	187	717	1021	1111	1021	1104	1574	1953	2082	2211	1695	1597	1604

### Profundidad (mm)

Ensayo	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	375	390	405
25	3204	3332	3310	3446	3787	3992	3764	3423	3325	3522	3567	3446	3317
26	808	899	983	876	755	967	1271	1210	983	1028	1157	1309	1437
27	1619	1657	1483	1445	1809	1756	2385	2476	2015	2110	2350	2478	3425
28	2931	2969	2544	2862	3097	3029	2665	2423	2135	2112	2150	2476	3461
29	3507	3416	3499	3605	3446	3295	3158	2991	2771	2362	2521	2597	2650
30	3496	3405	3476	3560	3664	3251	3126	2881	2663	2256	2420	2456	2720
31	3044	3181	3355	2756	2453	1695	2461	2400	3188	3408	3461	3075	2236
32	1422	1968	2044	2521	2446	2302	2029	1786	1718	1854	1832	2226	2916
33	2195	2317	2476	2317	2135	2188	2802	2734	2635	2567	3060	3075	3279
34	2438	3226	3279	3878	3567	3272	2946	2802	2605	2370	2483	2544	2802
35	831	1028	1096	1233	1316	1202	1392	1809	1998	2006	2112	2241	2317
36	1816	1839	1771	1900	2051	2135	2173	1991	2173	2347	2483	2643	3484
37	2362	2991	2506	2438	2355	2302	2506	2446	2347	2370	2438	2392	2499
38	1437	755	861	930	1165	1536	1703	1339	1263	1407	1665	2044	2749
39	1998	2188	2158	2423	2233	2097	2074	2006	3234	4060	4136	3636	2961
40	558	619	528	983	1301	1794	2074	2006	3234	4060	4136	3636	2961
41	1862	2408	2491	1892	1801	1771	1779	2074	2438	2620	2499	2552	2779
42	1794	1786	1665	1991	2029	2112	2021	1195	1263	1597	1506	1642	1839
43	1331	1240	1149	1187	846	710	869	1096	1445	1657	1763	1945	1923
44	1331	1437	1339	1240	1422	1324	1293	1384	1513	1748	2021	2029	2104
45	892	914	1149	1324	1445	1498	1574	1710	1960	2112	2150	2112	1968
46	1263	1392	1369	1278	1316	1354	1445	1506	1551	1619	1657	1733	2029
47	1847	2029	2165	2271	2392	2218	2355	1771	2173	2135	2074	2173	2408
48	1718	1725	1536	1877	1862	1938	2051	2233	2211	2188	2226	2120	2013

### ANEXO 3 Triángulo de clasificación textural



## ANEXO 4 Curva de motor característica

TYPE DU MOTEUR : 6068TL001  
 REFERENCE DE L'ESSAI : DIRECTIVE/REGLEMENT

