

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA**



*CONSUMO DE COMBUSTIBLE, FUERZA Y PATINAJE
A TRES PROFUNDIDADES DE LABRANZA*

POR:

CARLOS JAVIER LINARES CERDA

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Noviembre de 2016

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

**CONSUMO DE COMBUSTIBLE, FUERZA Y PATINAJE A TRES PROFUNDIDADES DE
LABRANZA**

POR:

CARLOS JAVIER LINARES CERDA

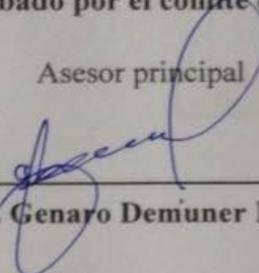
TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como
requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

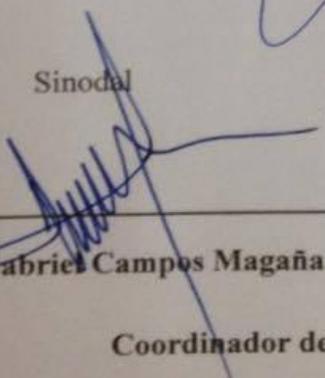
Aprobado por el comité de tesis

Asesor principal



M.C. Genaro Demuner Molina

Sinodal



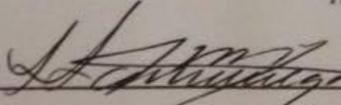
Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Sinodal



Ing. Héctor Emilio González Ramírez

Coordinador de la División de Ingeniería Agraria
Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Dr. Luis Samaniego Moreno



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México **Noviembre 2016**
Coordinación de
Ingeniería

*“Aprende como si fueras a vivir toda la vida y vive
como si fueras a morir mañana”*

Charles Chaplin.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

A mi padre dios gracias por darme vida, y la oportunidad de llegar a una meta importante en mi vida, gracias por darme la perseverancia y ánimos para seguir adelante.

A mi Alma Terra Mater

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro,

Por permitirme dar este paso importante en mi vida y por forjarme como estudiante para poder enfrentar los retos que la vida nos pone en el camino, por las noches de desvelo, por la preocupación y felicidad, gracias a mi Alma Mater por los momentos inolvidables que pase con mis compañeros, puedo decir que soy orgullosamente *Buitre de la Narro.*

Al **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña**, por integrarme a este proyecto y apoyarme desde el inicio hasta culmino este.

Al **M.C. Genaro Demuner Molina** por su amistad y observaciones que me hizo durante este proyecto.

Al **Ing. Gilbert Fresh López** y al **Ing. Diego Cruz Hernández** por brindarme confianza y por el apoyo y tiempo que me dieron durante este proyecto.

A mis maestros del **Departamento de Maquinaria Agrícola** al **M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández**, al **M.C. Héctor Uriel Serna Fernández**, al **Dr. Santos Gabriel Campos Magaña**, al **Dr. Martín Cadena Zapata**, al **M.C. Tomas Gaytán Muñiz**, al **Ing. Rosendo Gonzales Garza**, a la **M.C. Elizabeth de la Peña Casas**, **Ing. Juan Arredondo Valdez** y a los demás profesores de diferentes departamentos, gracias por brindarme sus conocimientos durante mi estancia en la universidad y estimular en nosotros ser mejores personas y competitivas.

A todos mis compañeros de generación:

Pedro Adalberto Laguna Gonzales, Jarry Enciso Begines, Armino Abenamar Mazariegos Escobedo, Amado, Irving, Nicolás, Damián, Humberto, Edgar, Lázaro, Jesús, Iván, Ronald, Magdalena, Carlos, Magdaleno, Darwin, Rafael, Bibiano, Eduardo, Raymundo.

gracias por brindarme su amistad durante mis estudios y gracias por esos momentos inolvidables que pase con ustedes.

DEDICATORIAS

Este proyecto se lo dedico a aquellas personas que sin ellas no hubiese podido terminar mi carrera y no podría ser quien soy:

A mis padres:

Ing. Martin Linares Lugo

Sra. Francisca Cerda Colunga

Gracias padres primeramente por darme la vida, gracias por esos regaños y los consejos que me dieron a lo largo de mi desarrollo que me sirvan como persona y en mi vida profesional, gracias por guiarme a un camino de oportunidades, es por eso que les dedico estas sencillas palabras como muestra de amor y cariño que les tengo.

A mis Abuelos:

Sr. Antonio Cerda Leyva (q.e.p.d)

Sr. Monico Linares Ramirez

Sra. Vicenta Colunga Martinez

Sra. Maria Rosa Lugo Mejia (q.e.p.d)

Gracias por ser ejemplos a seguir.

A mi Esposa:

Maria Guadalupe Berlanga Mendez:

Gracias amor por estar a mi lado y por tu apoyo incondicional de siempre. por apoyarme en mis proyectos y estar en las buenas y en las malas, gracias por dejarme formar parte de tu vida, por comprensión y amor brindado hasta la fecha.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes y descripción del problema	3
II OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo general.....	5
2.2 Objetivos específicos	5
III HIPÓTESIS	5
IV REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1 Pruebas y evaluación de maquinaria agrícola.....	6
4.2 Prueba de toma de fuerza e instrumentos utilizados.....	7
4.2.1 Instrumentos.....	7
4.3 Prueba de potencia en la barra de tiro e instrumentos utilizados.....	8
4.4 Potencia en el sistema hidráulico e instrumentos utilizados.....	9
4.4.1 Instrumentos.....	10
4.4.2 Potencia bruta	11
4.4.3 Potencia útil	11
4.4.4 Potencia neta	12
4.5 Consumo de combustible en la agricultura.....	13
4.6 Métodos de medición de consumo de combustible	14
4.6.1 Procedimiento de medición manual.....	14
4.6.2 Procedimiento de medición electrónica.....	15
4.7 La labranza.....	17
4.7.1 Sistemas de labranza.....	18
4.7.1.1 Labranza cero.....	18
4.7.1.2 Labranza vertical.....	19
4.7.1.3 Labranza convencional	20
4.8 Consumo de energía en la labranza	21
4.8.1 Calculo de energía en la labranza	25
4.9 Costos de preparación de laboreos en la agricultura.....	26
4.10 Factores que influyen en el rendimiento del tractor	27
4.10.1 Resistencia a la rodadura	27
4.10.2 Patinaje.....	28
4.10.3 Compactación de suelo	30
4.10.4 Humedad del suelo.....	31
4.10.5 Propiedades del suelo.....	32
V.-MATERIALES Y METODOS.....	35
5.1-Materiales	35
5.1.1 Log View 2.7.3	35
5.1.2 Tractor John Deere 6403.....	35
5.1.3 LogBook 360	35
5.1.4 Medidor de flujo de combustible	36
5.1.5 Sensor encoder.....	36
5.1.6 Chasis patinaje	36
5.1.7 Carro porta-sensores	36
5.1.8 Ubicación de campo experimental.....	36

5.2-Metodología.....	38
5.2.2 Armado de conexiones.....	39
5.2.3 Conexiones de encoder	40
5.2.3 Calibración de sensor de combustible	41
5.3 Evaluación en campo	42
5.3.1 Procedimiento	42
VI.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
6.2 Resultados de arreglo 1	43
6.2.1 Consumo de combustible.....	43
6.2.2 Porcentaje de patinaje	44
6.3 Resultados de arreglo 2.....	47
6.3.1 Consumo de combustible.....	47
6.3.2 Porcentaje de patinaje	48
6.3.3 Análisis espectral de fuerzas	48
6.4 Resultados arreglo 3.....	50
6.4.1 Consumo de combustible.....	50
6.4.2 Porcentaje de patinaje	51
VII.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
7.1 Conclusiones.....	52
7.2 Recomendaciones	52
VIII.BIBLIOGRAFÍA CITADA	53
8.1PAGINAS WEB CONSULTADAS	56
IX Anexos	59
Anexo 9.1 Hoja del puerto 3 loog book 360.....	59
Anexo 9.2 Hoja manual de conexion de encoder e6b2-cwz6c. (ENCODER DE 500Pulsos/giro)	60
Anexo 9.3 Hoja manual de conexion de encoder e6b2-cwz6c. (ENCODER DE 500Pulsos/giro).	61
Anexo 9.4 Tarjeta para pruebas de laboratorio Consumo de Combustible y patinaje (simulación)	62
Anexo 9.5 Método de Calibración de sensores de combustible.	62
Anexo 9.6 Calibracion de patinaje.....	63
Anexo 9.7 Análisis para determinar el consumo de combustible.....	65
Anexo 9.8 Procedimiento para determinar análisis espectral.	66
Anexo 9.9 Programa en MATLAB análisis2.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Instalación de dinamómetro	8
Figura 4.2 Barra de tiro.....	8
Figura 4.3 Prueba de barra de tiro.....	9
Figura 4.4 Prueba de levante de hidráulico.....	10
Figura 4.5 Medición de potencia bruta	11
Figura 4.6 Medición de potencial útil.....	12
Figura 4.7 Medición de potencia en el volante	12
Figura 4.8 Consumo de combustible l Ha ⁻¹	14
Figura 4.9 Medidores de combustible de pulsos.....	16
Figura 4.10 Labranza cero	19
Figura 4.11 Labranza vertical	20
Figura 4.12 Labranza convencional.....	20
Figura 4.13 Laboreo con subsuelo en terreno sin humedad	24
Figura 4.14 Resistencia a la rodadura.....	28
Figura 4.15 Patinaje en los tractores	29
Figura 4.16 Compactación de suelo agrícola.....	30
Figura 4.17 Límites de Atterberg.....	32
Figura 4.18 Esfuerzos de penetración con respecto a la humedad	33
Figura 5.1 Localización del lugar de pruebas	37
Figura 5.2 Metodología.....	38
Figura 5.3 Rediseño de bastidor	39
Figura 5.4 Harness P3.....	39
Figura 5.5 Encoder 500 pulsos/revolución	40
Figura 5.6 Conexiones	40
Figura 5.7 Panel de conexiones	41
Figura 5.8 Calibración de sensores de Combustible.....	41
Figura 6.1 Cinceles de primer arreglo	43
Figura 6.2 Pulsos acumulados de consumo de combustible.....	43
Figura 6.3 Pulsos Acumulados de patinaje, para arreglo de 3 cinceles.	44
Figura 6.4 Graficas de fuerzas	45
Figura 6.5 Graficas de fuerzas	46
Figura 6.6 Pulsos acumulados de consumo de combustible de arreglo 2.....	47
Figura 6.7 Pulsos acumulados de patinaje de arreglo 2.....	48
Figura 6.8 Grafica de fuerzas.....	48
Figura 6.9 Grafica de fuerzas.....	49
Figura 6.10 Pulsos acumulados de consumo de combustible de arreglo 3.....	50
Figura 6.11 Pulsos acumulados de patinaje de arreglo 3	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1 Necesidades de combustible en diferentes laboreos agrícolas.....	13
Cuadro 4.2 Consumo de combustible de un subsolador a diferentes profundidades.	13
Cuadro 4.3 Desempeño de tractor con diferentes laboreos.	22
Cuadro 4.4 Rendimiento relativo.....	23
Cuadro 4.5 Amortización en función de la utilización de maquinaria	27
Cuadro 5.1 Características del tractor utilizado.....	35
Cuadro 5.2. Conexiones al puerto del Log Book360.....	39
Cuadro 5.3 Colores de conexiones del encoder al harness.	40
Cuadro 5.4 Colores de conexiones (harness).....	40
Cuadro 6.1 Consumo de combustible del arreglo 1.....	44
Cuadro 6.2 Porcentaje de patinaje de arreglo 1	44
Cuadro 6.3 Constantes de calibración, Cruz (2014).	45
Cuadro 6.4 Análisis espectral de recorrido 1	45
Cuadro 6.5 Análisis espectral recorrido 2.....	46
Cuadro 6.6 Resultados del arreglo 1	46
Cuadro 6.7 Consumo de combustible de arreglo 2.....	47
Cuadro 6.8 Porcentaje de patinaje de arreglo2	48
Cuadro 6.9 Análisis espectral	49
Cuadro 6.10Análisis espectral	49
Cuadro 6.11 Resultados	50
Cuadro 6.12 Consumo de combustible de arreglo 3	50
Cuadro 6.13 Porcentaje de patinaje arreglo 3	51
Cuadro 6.14 Resultados arreglo 3.....	51

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se realizó en el Departamento de Maquinaria Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, el objetivo principal fue determinar la cantidad de combustible, patinaje y fuerza requerida para tres profundidades de labranza de un carro porta-sensores utilizando tres arreglos de cinceles (.20, .30 y .40 m), por lo cual se inició rediseñando el bastidor del patinaje para un mejor acople del sensor; realizando las diferentes conexiones para tener señal entre los sensores de patinaje y los sensores de combustible. El carro porta-sensores contiene dos transductores de 350Ω uno para el cincel medio (.30 m) y el otro para el cincel trasero (.40 m). Para la obtención y registro de los datos en campo se utilizó el LogBook 360, para la obtención de datos de patinaje se utilizaron dos sensores de tipo encoder uno de 64 pulsos/revolución el cuál se instaló en el bastidor rediseñado para registrar las vueltas reales que se darán en el tractor y otro de 500 pulsos/revolución que fue instalado en la llanta de tracción de tractor. Se obtuvieron las constantes de calibración para los sensores de combustible y para los de patinaje, obteniendo para los de combustible $3.09 \text{ pulsos ml}^{-1}$ y para el patinaje se obtuvo una constante de $0.81040 \text{ pulsos de rueda motriz-pulsos de rueda bastidor}^{-1}$ para emplearla en la ecuación donde se determinará el porcentaje de patinaje. Para la obtención de los datos de combustible se utilizaron dos sensores magnéticos uno instalado en la línea de entrada y el otro en la línea de retorno. Los resultados obtenidos en dos recorridos de 40 m del arreglo de tres cinceles en consumo de combustible fueron de 3.72 ml m^{-1} , para patinaje 19.59% y para fuerza 5.175 kN, para el arreglo de cincel delantero y cincel medio fueron de consumo de combustible 4.33 ml m^{-1} , de patinaje 22.7% y en fuerza 4.35 kN y para el arreglo de cincel delantero el consumo de combustible fue de 4.72 ml m^{-1} y el patinaje de 15.7%.

Palabras clave: *Patinaje, consumo de combustible, fuerzas, profundidad de laboreo*

I INTRODUCCIÓN

Los tractores se han vuelto una gran dependencia para muchos productores al igual que sus implementos, la importancia de estos ha crecido debido a que cada vez las producciones se deben expandir, duplicar y precisar más, para la utilización de estos equipos requiere de grandes cantidades de combustibles, el rompimiento o penetración de los suelos, genera demandas de potencia en el tractor lo cual a su vez demanda más consumo de combustible. La preparación de los terrenos de producción es de gran importancia ya que este será un gran factor para el desarrollo del cultivo (Weidema, 2000).

La intensificación de la producción agraria ha podido hacerse gracias a lo que se conoce como medios de producción: semillas, abonos, fitosanitarios, equipos mecánicos de todo tipo, que se pueden resumir en un solo concepto: energía de apoyo complementaria del aporte solar. Hay una correlación directa entre la producción final y el consumo energético por unidad de superficie. La historia de la humanidad ha sido la del dominio de la energía, al disponer de fuentes de energía diferentes de la muscular se ha podido multiplicar la producción de alimentos que, en el comienzo, dependía, tanto en la producción como en el transporte y en la elaboración, de la energía que proporcionaban los hombres y los animales domesticados (Márquez, 2005).

Actualmente, la maquinaria agrícola incluyendo las fuentes de potencia son un instrumento indispensable, sin el cual no se podrían trabajar las grandes extensiones de terreno cultivadas. Por lo cual Portillo (2006), dice que los tractores son cada vez más eficaces y especializados, encontrando una solución específica para cada necesidad del agricultor.

Para un sistema de producción agrícola tecnificado, el tractor es la máquina básica en la fase de producción primaria. Arnal (2001), menciona que es importante que el agricultor conozca bien sus características a la hora de comprarlo para poder adaptarlo a su explotación. De esta forma reducirá los costos de producción, contribuirá al ahorro energético y disminuirá la emisión de elementos contaminantes, nocivos para el medio ambiente.

De acuerdo con la FAO (2006), la determinación del consumo de combustible para diferentes labores es posible, desarrollando sistemas que nos ayuden a calcular cuál es el gasto

de un combustible con diferentes implementos en los diferentes suelos de nuestro país, se han desarrollado métodos, sistemas y experimentos que han servido para tener un mayor control con el consumo de combustible, midiendo diferentes parámetros y sacando diferencias del gasto que se ha realizado en ciertas áreas más compactas, con el objetivo de que estos sistemas hagan de una manera más eficiente el consumo de combustible, a la hora de realizar las labores agrícolas.

En estudios realizados por Cañavate (1990), menciona que el consumo de combustible correspondiente a la agricultura alcanza del 30-45% del total de combustible en el mundo. No obstante, los avances técnicos logrados con el fin de mejorar la eficiencia de la maquinaria agrícola, sus elevadas demandas energéticas hacen necesario planificar, organizar y gestionar su empleo con precisión.

Aplicar este criterio al uso del tractor, contribuye a mejorar sensiblemente la eficiencia en el consumo de energía en el sector agrícola. Que los tractores sean "ahorrativos" o de bajo consumo no es una consecuencia exclusiva del diseño, el resultado también dependerá de la forma en que sea utilizado. Márquez (1990), menciona que en general un mismo tractor es empleado para cumplir con labores tan diversas como una labranza, una labor secundaria o de transporte. Cada una presenta demandas diferentes de par motor y/o velocidad de avance que, a su vez implica consumos de combustible distintos; es posible optimizar el consumo con un adecuado empleo de la caja de velocidades y selección del régimen de funcionamiento del motor.

Algunas de las experiencias de campo en las que se midieron entre otras variables, los consumos de combustible de labores agrícolas mecanizadas son expuestas a continuación. Dichas experiencias se agrupan en función de los objetivos que perseguían, demostrar la buena o mala utilización del tractor, en cuanto a regulación y adaptación de aperos así como el modo o manera de conducirlo, conocer los requerimientos energéticos de las operaciones mecanizadas en distintos tipos de cultivo, comparando o no diferentes sistemas de laboreo, comprobar el funcionamiento fiable de equipos de toma de datos a bordo del tractor, demostrar sobre el terreno las ventajas de las innovaciones incorporadas a los nuevos modelos de tractores, innovaciones que inciden sustancialmente sobre tres parámetros fundamentales:

prestaciones, confort y fiabilidad; Resultados de estudios similares realizados en otros países (IDAE, 2005).

1.1 Antecedentes y descripción del problema

Actualmente en el mundo, se realizan las pruebas y evaluaciones de la maquinaria agrícola con diferentes implementos, con la finalidad de obtener información que pueda contribuir en el futuro a realizar las labores en los sistemas de producción con la máxima eficacia y la mejor calidad (Gaytán, Cadena y De la Peña, 2004).

Desde 1990, apenas cualquier investigación fue hecha del consumo de energía agrícola, pero hoy existe un interés cada vez mayor en el tema. La parte principal de los datos disponibles fue recuperada por medio del uso de un tractor con un equipo de medición montado en él. Además de éste, algunos cálculos indirectos fueron hechos con base en la demanda de trabajo, la energía de tractor, el consumo de combustible específico y la carga del motor. Arnal (2001), menciona que el consumo de combustible está influenciado por muchos factores, como: el tipo y la estructura del suelo, las condiciones atmosféricas, la humedad de la tierra, el paisaje, las cosechas, el tipo del tractor, el tamaño del tractor, la relación entre el tractor y el implemento, la técnica de manejo, el conductor del tractor, etc.

El suelo agrícola es un factor importante en la fuente de alimentación para los cultivos, para tener un mejor desarrollo se acude a la maquinaria agrícola y equipos para preparar el suelo. Se tiene la necesidad de conocer las propiedades mecánicas de los suelos que afectan el desempeño de la maquinaria agrícola. Se ha detectado que el terreno y equipos mecánicos tiene una deficiencia en el crecimiento y desarrollo del cultivo, consumo de energía y facilidad de erosión, todo esto es afectado por la humedad, estado de consistencia, esfuerzo al corte y resistencia al deslizamiento metal-suelo que está presente en todas las actividades donde se está aplicando tractor y maquinaria agrícola (Mickibbem, 1940).

Existe gran variedad de métodos para medir el consumo de combustible en una determinada operación agrícola mecanizada, en condiciones reales de campo. Todos ellos poseen un fundamento volumétrico o gravimétrico y se pueden incluir en cualquiera de estos dos grupos: Métodos de medida directa “medición manual” y métodos de medición a través de

instrumentación electrónica “medición electrónica”. Los métodos de “medida directa” se basan en conocer la cantidad de combustible consumido por el motor del tractor durante un cierto periodo de tiempo, bien por diferencia de volúmenes (con probeta aforada) o de pesos (con balanza de precisión), respectivamente (IDAE, 2005).

El CENEMA cuenta con un laboratorio diseñado especialmente para la realización de pruebas y evaluaciones para maquinaria e implementos agrícolas conforme a las disposiciones de las Normas Mexicanas (NMX) con la finalidad de verificar que las especificaciones técnicas que señala el fabricante sean las que corresponden al producto que obtiene el consumidor final (INIFAP, 2005).

Por lo cual por medio de este proyecto se pretende determinar el consumo de combustible, la energía utilizada y el porcentaje de patinaje en laboreos de labranza a tres profundidades de laboreo.

II OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar un sistema que nos permite determinar el consumo de combustible, patinaje y magnitud de fuerza en las labores de preparación de suelos utilizando tres profundidades diferentes de laboreo.

2.2 Objetivos específicos

- Acondicionar el tractor con el medidor de flujo de combustible, encoder para el patinaje, carro porta sensores y el equipo de adquisición de datos para la realización de las pruebas en campo.
- Recabar y analizar la información adquirida en las pruebas para evaluar el comportamiento, confiabilidad y el desempeño tanto del medidor de flujo como los sensores de patinaje y la fuerza aplicada en la roturación del suelo a 0.30 y 0.40 metros de profundidad.

III HIPÓTESIS

- Es posible la evaluación de un sistema que nos permita determinar cuál es el consumo de combustible, patinaje y fuerza aplicada con el tractor cuando se realizan labores de labranza a diferentes profundidades.

IV REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Pruebas y evaluación de maquinaria agrícola

Desde los inicios de la utilización de los tractores agrícolas se vio la necesidad de medir la potencia en las mismas condiciones para poder compararlas y así elegir el más adecuado a cada explotación. Las primeras normas de ensayo para los tractores se dictan en 1919 en el estado de Nebraska y es el Departamento de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Lincoln el encargado de realizar los ensayos. Desde entonces se han elaborado muchas normas de ensayo, algunas de ámbito nacional y otra internacional, algunas de ellas que afectan no solo a los tractores sino a todo tipo de motores (Arnal,2001).

En México se estableció un centro de investigación de sistema de prueba y evaluaciones, llamado CENEMA (Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola) con la finalidad de suministrar máquinas adecuadas, seguras y de excelente calidad a los productores pequeños y medianos y difundir su uso entre ellos. Este Centro de Experimentación del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), se encuentra localizado en Texcoco, Estado de México según Takao (1998).

La mayoría de las pruebas de tractores realizadas para esos fines en otras latitudes se ha considerado al suelo como un cuerpo inerte caracterizado solamente desde el punto de vista mecánico (índice de cono y otras propiedades mecánicas), reportándose el comportamiento de distintos coeficientes de tracción que revelan que la capacidad de ejercer tiro de un tractor se incrementa con la dureza del suelo, en relación directa con el índice de cono y a porcentajes de deslizamiento de la rueda entre 5-15% (Linares, 1996).

Arnal (2005), menciona que hay que tener en cuenta que el tractor es la máquina básica en la agricultura actual. Por ello, es importante que el agricultor conozca bien sus características a la hora de comprarlo para poder adaptarlo a su explotación. De esta forma reducirá los costes de producción, contribuirá al ahorro energético y disminuirá la emisión de elementos contaminantes, nocivos para el medio ambiente.

El CENEMA realiza las pruebas a la maquinaria y equipo agrícola y el responsable de certificarlos es el Organismo de Certificación de Implementos y Maquinaria Agrícola (OCIMA). Unas de las pruebas realizadas a los tractores agrícolas son:

- NMX-O-169-SCFI-2002. Determinar la potencia a la toma de fuerza desarrollada por los tractores agrícolas.
- NMX-203-SCFI-2004. Determinar la potencia y fuerza a la barra de tiro.
- NMX-207-SCFI-2004. Determinar la potencia y fuerza de levante hidráulico al enganche de tres puntos (INIFAP, 2013).

4.2 Prueba de toma de fuerza e instrumentos utilizados

La toma de fuerza es un eje generalmente localizado en la parte trasera del tractor, que gira a revoluciones por minuto (rpm) y entrega una potencia, también variable, dentro de ciertos rangos específicos para cada tractor. En las pruebas de tractores, normalmente estas potencias aparecen catalogadas así:

- Máxima velocidad de prueba del motor, en HP o kW y rpm de la toma de fuerza.
- Máxima velocidad estándar de la toma de fuerza, en HP o kW y rpm del motor (Álvarez, 2004).

4.2.1 Instrumentos

Dinamómetro con una capacidad de absorción de 300 kW. y 1400 Nm para tractores menores a 90 HP, dinamómetro Figura (4.1) con una capacidad de absorción de 2260 Nm y para tractores desde 50 HP hasta 250 HP, equipo para la medición del consumo volumétrico de combustible de precisión, equipo de laboratorio para la medición de la densidad y viscosidad de combustible, extractor de humo del escape, sistema de adquisición para la visualización y almacenamiento de datos, plataforma de levante para ajuste de altura del dinamómetro, sistema para el monitoreo de las condiciones ambientales (CENEMA,2003).



Figura 4.1 Instalación de dinamómetro

De acuerdo con la revista Agronegocios (2003), la potencia de la toma de fuerza es considerada como la principal de las potencias, dado que es la manera correcta de indicar la potencia del motor de los tractores. Es el actuador que más alto valor de potencia puede entregar al usuario. La potencia que el tractor puede transmitir en la toma de fuerza es aproximadamente el 96% de la potencia del motor.

4.3 Prueba de potencia en la barra de tiro e instrumentos utilizados

Es la potencia que se desarrolla a través de las ruedas motrices o carriles y el suelo, según el tipo de tractor; se utiliza para mover el tractor y los implementos acoplados a él. La potencia en la barra de tiro es la potencia más variable que genera el tractor, pues su valor depende de múltiples factores como: Tipo de suelo: textura, estructura, humedad y cobertura; tipo de tractor, de tracción doble o tracción de orugas, velocidad de desplazamiento, tipo de implemento acoplado al tractor y otros más (Álvarez, 2004).

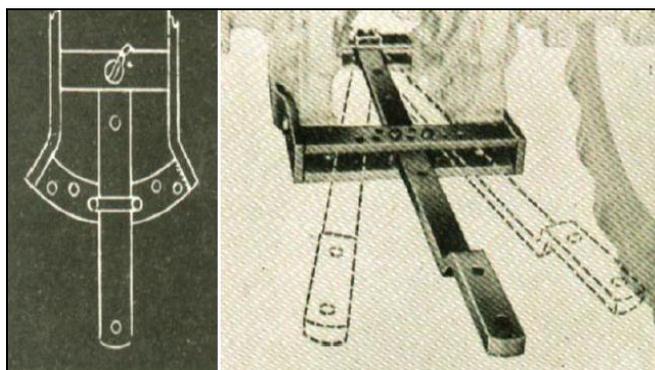


Figura 4.2 Barra de tiro

4.3.1 Instrumentos

Pista de pruebas Figura (4.3), carro dinamométrico equipado con celda de carga para medir la fuerza de tracción de 3 kN a 150 kN, con capacidad de absorción de potencia de tracción desde 10 kW hasta 186.5 kW, un sistema para el ajuste de altura de enganche al tractor de 200 mm a 1000 mm del nivel del suelo, un medidor de consumo de combustible, medidor de desplazamiento, sistema para la determinación de patinaje durante la prueba y equipo para monitoreo de las condiciones ambientales (CENEMA, 2003).



Figura 4.3 Prueba de barra de tiro

4.4 Potencia en el sistema hidráulico e instrumentos utilizados

Céspedes *et al.*, (2004), lo definen como la potencia del fluido hidráulico que requieren los implementos acoplados en forma integral o semi-integral al sistema hidráulico del tractor.

En la prueba obligatoria es necesario tomar en cuenta las siguientes variables: máxima velocidad, velocidad del motor debe ser continua, máxima presión hidráulica. En estas pruebas se obtendrán como resultados: la máxima presión hidráulica, su flujo y su potencia; y la potencia máxima alcanzada. Otro factor importante dentro de esta prueba, es la fuerza de levantamiento, disponible y correspondiente a la presión del fluido hidráulico, la cual podrá ser determinada como mínimo con 6 pintos aproximadamente (OCDE, 2007).

4.4.1 Instrumentos

Sistema de medición de la fuerza de levante hidráulico Figura (4.4), con capacidad de 22,000 kgf, equipo para la medición de presión y flujo del sistema hidráulico, regulador de temperatura de aceite hidráulico a 65 ± 5 °C, sistema de adquisición para la visualización y almacenamiento de datos (INIFAP, 2003).



Figura 4.4 Prueba de levante de hidráulico

Uno de los datos más indispensables es el consumo del combustible dado que en los códigos estandarizados de prueba de tractores especifican las mediciones de potencia y consumo de combustible a la velocidad nominal del motor, velocidad estándar de la toma de fuerza (540 o 1000 rpm) y en las condiciones de velocidad y carga del motor para producir la potencia máxima a la toma de fuerza (Morelos, 2005).

En un tractor se pueden medir muchas potencias, entre las que destacan la potencia del motor, la potencia a la barra de tiro y la potencia del sistema hidráulico. La primera es la que los agricultores comparan a la hora de adquirir un tractor, y la que los fabricantes anuncian en las características del tractor que figuran en los catálogos y otras publicaciones técnicas. Las distintas normas y códigos de ensayo para medir esta potencia de motor, los podemos separar en tres grupos según el tipo de potencia que miden (Arnal, 2005).

4.4.2 Potencia bruta

En este caso, la potencia se mide en el volante de inercia del motor. De acuerdo con las normas de ensayo, al motor se le quitan una serie de elementos que consumen potencia en su funcionamiento como son: el filtro de aire, el silenciador del escape, el generador de corriente, la bomba de alimentación de combustible, el ventilador, etc. Con ello se consigue obtener toda la potencia que puede suministrar el motor (Arnal, 2001).

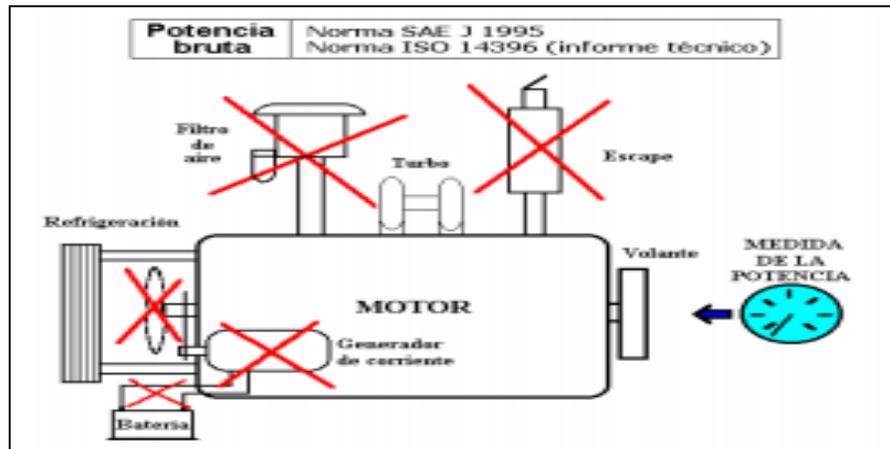


Figura 4.5 Medición de potencia bruta

4.4.3 Potencia útil

Aquí, la potencia se mide en el eje de la toma de fuerza del tractor. El motor no se saca del tractor, y mantiene todos los elementos que el fabricante ha previsto en su diseño y construcción. Según Arnal (2001), el agricultor podrá obtener la potencia resultante en el ensayo siempre que utilice la toma de fuerza como elemento motriz de una máquina acoplada a ella.

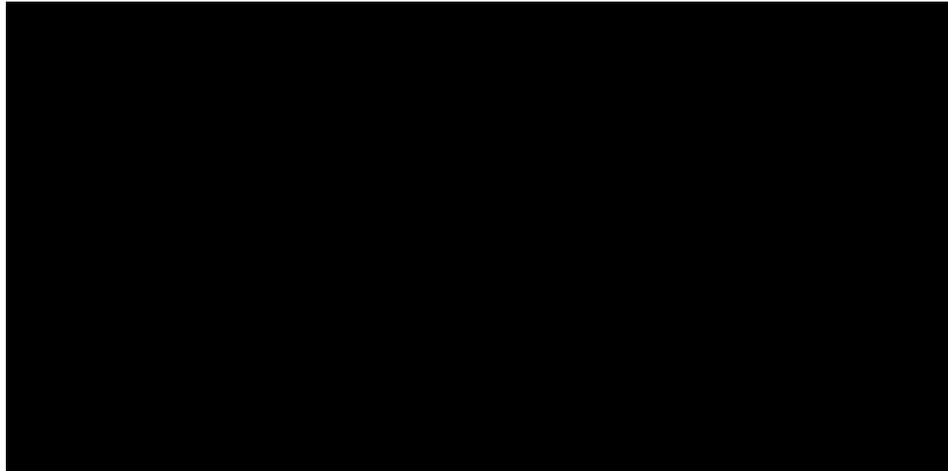


Figura 4.6 Medición de potencial útil

4.4.4 Potencia neta

También en este caso la potencia se mide en el volante Figura (4.7) de inercia del motor. Sin embargo, las normas de ensayo indican que el motor tiene que llevar el mismo equipamiento que cuando está montado en el vehículo, en nuestro caso, en el tractor.

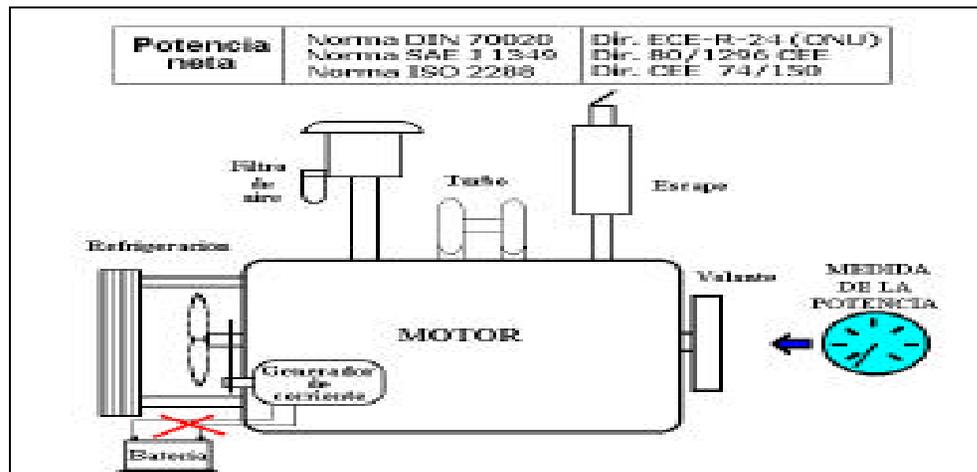


Figura 4.7 Medición de potencia en el volante

Entre los valores de las tres potencias citadas existen diferencias para un mismo motor. La potencia bruta siempre es mayor que la potencia neta ya que los sistemas y mecanismos que lleva el motor en el segundo caso necesitan potencia para su funcionamiento. De igual manera, la potencia neta es mayor que la potencia útil, ya que, en este último caso, el movimiento del motor tiene que pasar por un embrague y por una serie de engranajes en donde, aunque pocas, se producen pérdida (Arnal, 2001).

4.5 Consumo de combustible en la agricultura

El consumo de combustible no sigue siendo una figura constante a partir de una medida a la otra, pero los resultados son satisfactorios, considerando las variaciones que pueden ocurrir como resultado de los factores mencionados, pueden ser obtenidos por medio del uso de instrumentos durante un número de años (Weidema, 2000).

Cuadro 4.1 Necesidades de combustible en diferentes labores agrícolas

Operación agrícola	Consumo (l/ha)
Laboreo primario	24
Laboreo secundario	14
Fertilización	1
Laboreo complementario	7
Siembra	6
Fertilización	1
Tratamiento fitosanitario	1
Recolección	13
Transporte	2

El consumo de combustible es muy diferente según las diversas máquinas. En estudios realizados en España, que comparan diferentes aperos con el rendimiento de trabajo y el consumo por hectárea, resultan diferencias entre labores primarias de más de 20 l Ha⁻¹ y en labores secundarias de 20 a 30 l Ha⁻¹ (IDEA, 2005).

Cuadro 4.2 Consumo de combustible de un subsolador a diferentes profundidades.

Suelo	profundidad (cm)	Consumo horario (L/h)	Capacidad de trabajo (ha/h)	Consumo superficial (L/ha)
Ligero	18	14,9	1,92	7,8
Ligero	22	18,2	1,92	9,5
Fuerte	18	24,8	1,92	12,9
Fuerte	22	30,4	1,92	15,8

El consumo de combustible por unidad de tiempo o de superficie depende de múltiples factores, entre los que cabría destacar: tipo de labor, profundidad y anchura del trabajo, clase

de máquina, tamaño de la parcela, estado del cultivo, etc. sin olvidar el motor del tractor que genera la potencia demandada y la forma de manejarlo (Márquez, 2004).

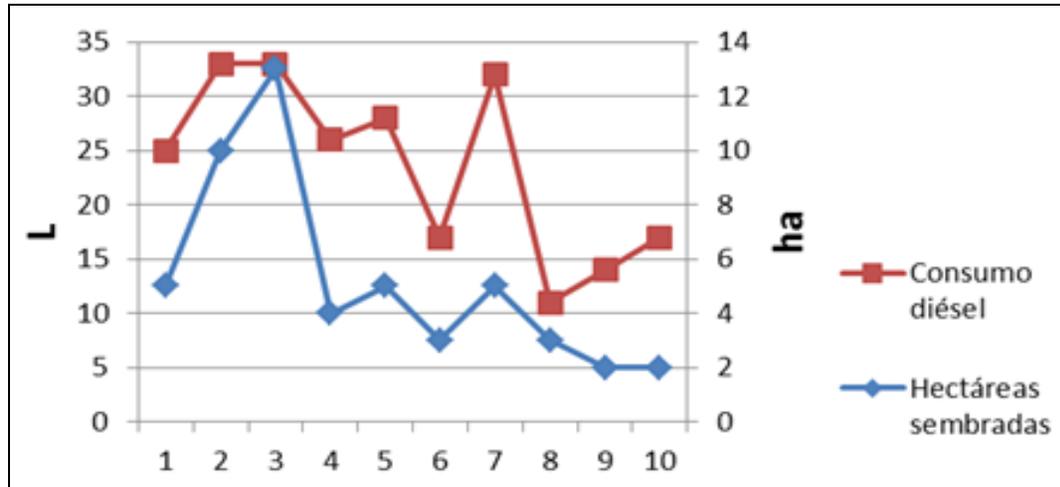


Figura 4.8 Consumo de combustible l Ha⁻¹

4.6 Métodos de medición de consumo de combustible

De acuerdo a la bibliografía existen varios métodos para medir el combustible en una determinada labor agrícola, en condiciones reales de campo, las más utilizadas son las de medición manual “medición directa” y la medición por medio de instrumentos electrónicos “medición electrónica” (IDAE, 2005).

Los métodos de medida directa se basan en conocer la cantidad de combustible consumida por el motor del tractor durante un cierto periodo de tiempo o bien por la diferencia de volúmenes con una probeta aforada o con pesos en una balanza de precisión existen los métodos gravimétricos pero tienen la desventaja de ser insensibles a las variaciones de temperatura de combustible, que influye en la densidad del mismo y existe una dificultad para aplicarlos en los tractores en movimiento (IDAE, 2005).

4.6.1 Procedimiento de medición manual

Según Márquez (2005), se coloca el tractor en una posición determinada, que es marcada, y se llena el depósito de combustible hasta un nivel fijado en la boca del depósito con la ayuda de una jarra graduada y un embudo. Al final del trabajo en la parcela, el tractor se

lleva a la posición marcada y se rellena de nuevo, hasta el mismo nivel, utilizando en la carga la probeta de 250 cm³.

Durante la operación, se realizan las siguientes tareas:

- Grabar con la cámara de vídeo digital, tres ciclos completos de trabajo en la parcela.
- Medir con la cinta métrica, la longitud de las líneas de trabajo y la anchura de la parcela.
- Tomar muestras de suelo (al menos 3 por parcela).
- Medir con la cinta métrica rígida, la profundidad de trabajo en las operaciones de laboreo del suelo (al menos en 6 puntos).
- Anotar las características de las máquinas y de la operación, como, tipo de máquina, marca y modelo, elementos característicos, etc., de igual forma se refleja, anchura de trabajo o separación entre pasadas, dosis o volumen de aplicación de producto, etc.
- Anotar las características de funcionamiento del tractor, régimen del motor (rpm), régimen de la toma de fuerza cuando se utiliza (medido con el tacómetro), marcha y grupo del tractor seleccionado, radio efectivo de las ruedas (m).
- Anotar los tiempos (min) durante la operación; totales, tiempos de parada para hacer regulaciones y tiempos en los que se para el motor (si esto se produce).
- Hacer 4 medidas de velocidad real de avance de la máquina durante el trabajo.
- Recoger información complementaria, como nivel de piedras, pendiente, cultivo precedente, restos de cosecha, labor anterior y estado del suelo antes de la operación.
- Hacer valoraciones sobre la labor realizada, por ejemplo, calidad de volteo en las labores de vertedera, homogeneidad de reparto de productos aplicados, estado de la superficie tras la labor, etc.

4.6.2 Procedimiento de medición electrónica

El método de medición electrónica del consumo de combustible del tractor está basado en el empleo de sensores, estos dispositivos envían una señal de salida en función del

combustible medido, estos dan una señal de frecuencia o una tensión proporcional al consumo (INIFAP, 2005).

La medición electrónica del consumo de combustible se realiza empleando los siguientes equipos:

- Consola, permite visualizar toda la información obtenida por el equipo. Se instala en el interior de la cabina del tractor sobre un soporte, construido al efecto, en una zona próxima al conductor y operador del sistema, para asegurar una buena visibilidad y manejo de la misma.
- Radar, proporciona información sobre la velocidad real de avance. Para su ubicación y montaje se fabrica un soporte metálico unido mediante tornillos al bastidor del tractor en su parte delantera, de forma que se permite que su campo de emisión quede libre de cualquier interferencia y no sea perturbado por proyecciones de polvo o de tierra, al mismo tiempo que sus vibraciones son mínimas. El radar se monta formando un ángulo de 35° de inclinación con la horizontal.
- Medidor de flujo de combustible como muestra la figura (4.9), colocado sobre una escuadra metálica robusta permite la horizontalidad del equipo, no sobrepasando su altura de instalación los márgenes marcados por el fabricante (altura no superior a un metro sobre el nivel inferior del depósito de combustible), permitiendo asimismo la mínima longitud de tuberías y una buena accesibilidad para comprobar la estanqueidad de las uniones y la no presencia de aire en el circuito, perjudicial para las medidas.



Figura 4.9 Medidores de combustible de pulsos

- Sistema de Adquisición de datos AD32, es un conjunto de equipos electrónicos, informáticos y accesorios, destinado a la captación, almacenamiento, y visualización e

impresión gráfica, de un máximo de 32 señales analógicas, procedentes de acondicionadores de instrumentación. Una vez que el AD32 ha sido instalado correctamente y las señales de entrada conectadas, todo el funcionamiento del sistema se controla desde un ordenador tipo PC o compatible, mediante un paquete de programas basados en menús de opciones que facilitan al usuario el acceso a las diversas tareas.

- Composición general del Sistema de Adquisición de Datos AD32 está dividido en un ordenador, un interfaz S90MF1 compuesto de una tarjeta que se enchufa directamente en una ranura libre del ordenador y varios accesorios de conexión instalados en una pequeña caja auxiliar y el programa de aplicación AD32V30.
- Montaje, una vez realizadas todas las conexiones de los elementos sobre la caja auxiliar, ésta se instala en el interior de la cabina del tractor en su parte derecha, para facilitar su manejo por el operario. Para ello es necesaria la fabricación de un soporte a base de perfil metálico unido mediante tornillos al tractor.
- Ensayos, la duración de los ensayos es de 30 segundos y la frecuencia de muestreo de 900 Hz, obteniéndose así un total de 27,000 datos por canal (tres canales activos: consumo, velocidad real y teórica). Los datos obtenidos de la medición anterior son expresados en un cuadro como el siguiente para la obtención de los resultados de los consumos en las condiciones habituales de trabajo y posterior tratamiento estadístico (IDEA, 2003).

4.7 La labranza

La labranza o preparación del suelo es una de las actividades rutinaria y obligatoria en la mayoría de los sistemas agrícolas. Con frecuencia, la preparación de la tierra inicia con la quema de la vegetación del barbecho o de residuos de los cultivos anteriores de modo de limpiar la tierra y espantar animales salvajes o serpientes. Las principales funciones de la labranza del suelo son la preparación de la cama de semillas, manejar los residuos de los cultivos, incorporar fertilizantes y agroquímicos, controlar las malezas, romper las capas compactadas, aumentar la infiltración de agua, dar forma a la superficie: nivelar, surcar, entre otros (FAO, 2014).

Según Guerra (2006) el propósito de la labranza es preparar el suelo para el cultivo, Que a su vez esta preparación se realiza empleando un arado, que penetra en el suelo y voltea la tierra, arrancando o eliminando las malas hierbas que crecen en el terreno, removiendo y aflojando las capas superficiales del suelo y dejando un lecho con la humedad suficiente para que germinen las semillas sembradas.

4.7.1 Sistemas de labranza

Son todas las labores destinadas a perturbar el suelo con la finalidad de recibir la semilla, garantizar una buena y rápida germinación, facilitar el buen sostén de la planta y producir buenas cosechas, mejorando las condiciones óptimas y necesarias para llevar a cabo la siembra (MINEP, 2005).

Según Bravo (2004), menciona que existen tres diferentes tipos de labranza que se clasifican de acuerdo a como se trabaje el suelo, El primero es la labranza cero y se refiere a sembrar el cultivo sin remover el suelo. El segundo es la labranza vertical que consiste en utilizar el arado de cinceles, el cual no daña en gran manera el suelo. El último sistema de labranza es la convencional, el cual trata sobre el uso del arado de discos seguidamente por la rastra.

4.7.1.1 Labranza cero

La labranza cero es un conjunto de técnicas utilizadas en la agricultura de conservación, con el fin de mejorar y hacer sostenible la producción agrícola mediante la conservación y mejora de los suelos, el agua y los recursos biológicos. Básicamente consiste en mantener una cubierta orgánica permanente o semipermanente del suelo (por ejemplo, un cultivo en crecimiento o una capa de rastrojo) para protegerlo del sol, la lluvia y el viento, y permitir que los microorganismos y la fauna del suelo se ocupen de "arar" y mantengan el equilibrio de los elementos nutritivos, procesos naturales que el arado mecánico perjudica. Aparte de la labranza cero, otros elementos importantes de la agricultura de conservación son la siembra directa, así como una rotación de cultivos diversos para evitar enfermedades y plagas (FAO, 2001).

Las ventajas de la cero labranza son el ahorro de combustible que puede reducirse hasta un 80%, el ahorro de tiempo que se utiliza en la preparación del suelo, ahorro de mano de obra, existe más flexibilidad de tiempo para tomar decisiones más tardías con respecto a los cultivos a ser realizados en un campo o estación de datos, incremento de la materia orgánica que es causado al dejar los residuos de los cultivos anteriores sobre la superficie del suelo, incremento del nitrógeno del suelo, preservación de la estructura del suelo, preservación de las lombrices de tierra y otra fauna del suelo, mejor aireación, mejor infiltración de agua, prevención de la erosión del suelo, conservación de la humedad del suelo, disminución de la necesidad de riegos, reducción de la germinación de malezas, mejoramiento del drenaje interno, reducción de la contaminación de las corrientes de agua, incremento de los rendimientos del cultivo y expectativa de mejoramientos futuros (Baker *et al*, 2009).



Figura 4.10 Labranza cero

4.7.1.2 Labranza vertical

La labranza vertical también puede ser llamada como labranza mínima o conservacionista, el deterioro del estado físico del suelo puede disminuir mediante este sistema de labranza. El tratamiento de cincelado reduce la densidad aparente y la resistencia mecánica a la penetración, evidenciando una mejora en la condición del suelo y la intensidad de su efecto varía en función del grado de compactación del suelo, este tipo de labranza aumenta el rendimiento en la producción del cultivo (Paredes, 2004).



Figura 4.11 Labranza vertical

4.7.1.3 Labranza convencional

Durante muchos años la labranza convencional ha sido y es muy utilizada en la producción de cultivos. Este método consiste en dejar la superficie del suelo completamente descubierta, con tamaños de partícula de suelo muy pequeños y con pocos o ningún residuo de plantas; frecuentemente se usa al arado, seguido de varios pases de rastra o cultivadoras para remover el suelo. Este sistema de labranza es un método usado frecuentemente en varios sistemas de producción, sin embargo, tienen efectos negativos como aumento en la erosión, disminución del contenido de materia orgánica y alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Paredes, 2004).



Figura 4.12 Labranza convencional

La labranza de conservación, es un sistema de laboreo que realiza la siembra sobre una superficie del suelo cubierta con residuos del cultivo anterior, con lo cual se conserva la

humedad y se reduce la pérdida de suelo causada por la lluvia y el viento en los suelos agrícolas con riesgo de erosión, se aumentan los rendimientos y se reducen los costos de producción, este sistema mantiene un 30% de la superficie del suelo cubierta con residuos de cultivos anteriores (SAGARPA 2006).

4.8 Consumo de energía en la labranza

El uso directo de energía en agricultura incluye la utilizada en las operaciones de campo que forman parte de los factores del balance de energía utilizada directa e indirectamente para la producción de cultivos. De los consumos directos e indirectos de energía, las operaciones de mecanización representan un 31.8% del total del sistema, solo por debajo del uso de fertilizantes. De la energía gastada por la maquinaria, el 92.7% se debe al consumo de combustible, de este el 54,3% se gasta en las operaciones para el establecimiento del cultivo como son labranza y siembra (Alluvione, 2011).

Edmundo (1987), menciona que la determinación para la demanda energética de una operación de labranza exige conocer el valor de la fuerza por unidad de ancho necesaria para arrastrar el equipo en el campo. Este valor de la fuerza y la velocidad de trabajo permiten obtener la potencia necesaria para accionar, un equipo de un tamaño determinado.

La decisión que más condiciona el consumo de combustible en el laboreo del suelo 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. Se recomienda primero determinar el número de tractores necesarios, la potencia de cada uno de ellos y el equipamiento básico que deben tener en función de su uso, dimensionando correctamente el parque de maquinaria de cada explotación agrícola. Aproximadamente el 65% del total de combustible del laboreo de suelos es consumido por el tractor (IDAE, 2005).

Según Ambienta (2009), la eficiencia energética de un tractor se mide mediante su consumo específico (g kWh^{-1}): que es la cantidad de combustible consumido para realizar una unidad de trabajo (kW h^{-1}). Más completa es la medida de l Ha^{-1} , que es el consumo de

combustible, en litros, por cada hectárea de terreno trabajado; pero como es función de un gran número de variables difíciles de normalizar (tipo de terreno, de cultivo, condición meteorológica) es menos utilizada.

Según Cadena *et al.*, (2004), estudiaron el desempeño de implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo, el experimento se realizó en un suelo arcilloso, teniendo como resultado significativo que el arado de discos es el que demanda mayor consumo de combustible sobre los otros implementos utilizados cuadro 3. Los implementos de labranza vertical, desde el punto de vista tecnológico, y del ahorro de consumo de energía, representan una opción de menor costo para la preparación de suelos.

Cuadro 4.3 Desempeño de tractor con diferentes laboreos.

Implemento	Ancho de trabajo (m)	Profundidad de trabajo (m)	Velocidad (km h ⁻¹)	Patinaje (%)	Capacidad teórica (ha h ⁻¹)	Consumo de Comb. (L ha ⁻¹)	Fuerza de tiro (kN)	Potencia (kW)
Arado de discos	0.68 (E)	0.152 (A)	4.45 (BC)	1.28 (D)	0.31(C)	20.00 (A)	14.86 (B)	23.32 (B)
Multiarado	1.65 (D)	0.149(A)	4.10 (C)	8.17 (AB)	0.67 (B)	12.41 (B)	23.03 (A)	30.80 (A)
Vibro con rodillo	2.28 (AB)	0.118(A)	5.51 (A)	3.56 (CD)	1.34 (A)	8.59 (CD)	3.95 (D)	12.26 (C)
Vibro sin rodillo	2.39 (A)	0.14 (A)	5.34 (AB)	1.93 (CD)	1.27 (A)	11.29 (BC)	4.41 (D)	12.47 (C)
Rastra desp. arado	1.97 (C)	0.13 (A)	5.24 (AB)	9.51 (A)	1.03 (A)	8.00 (D)	7.11 (C)	16.51 (C)
Rastra	2.09 (BC)	0.10 (A)	5.32 (AB)	5.18 (BC)	1.11 (A)	10.21 (BCD)	5.74 (CD)	14.38 (C)

El rendimiento de los motores diesel alcanza valores medios del 35%, lo que significa que solo transforman en energía el 35% de la energía que consumen. Este valor corresponde a una utilización óptima y puede ser mucho menor si el motor está mal utilizado (Bernat y Gil 1993).

En el tractor hay diversos medios por los cuales se puede obtener o saber su eficiencia durante la labor, uno de ellos es el gasto del combustible que se puede considerar que es confiable ya que se puede determinar de manera directa o indirecta verificando cuanto se consumió en cierto tiempo, en cierta labor y que está dentro del rango según el fabricante, de otra manera concluiríamos que el motor está dañado o tiene deficiencias en ciertos puntos el

tractor. El consumo de combustible es un criterio importante que puede ser utilizado para indicar la eficiencia del tractor (Liljedahl, 1991).

El cuadro muestra el rendimiento relativo de un tractor como es el DEUTZ AX 4.120 TS con distintas dotaciones de neumáticos dadas como opcionales por el fabricante. Datos publicados por (INTA 2001)

Cuadro 4.4 Rendimiento relativo.

NEUMATICO	ESFUERZO DE TRACCION (kg)	VELOCIDAD DE AVANCE (km/h)	CAPACIDAD DE TRABAJO (ha/h)	CONSUMO RELATIVO DE GASOIL (%)
23.1-30	2673	5,8	1,24	98
18.4-34	2612	5,3	1,13	100
18.4-34 DUAL	2673	5,9	1,24	97
18.4-38	2683	5,9	1,25	98
18.4-38 DUAL	2735	6,4	1,36	88
18.4 R38	2786	6,8	1,45	89

CENEMA (2005), menciona que el motor perfecto que transforma toda la energía que consume en trabajo no existe. El funcionamiento de un motor térmico se traduce inevitablemente por una serie de pérdidas térmicas directas, pérdidas térmicas indirectas y pérdidas mecánicas:

- Las pérdidas térmicas directas son las que resultan del calor intercambiado en los sistemas de refrigeración y de escape.
- Las pérdidas térmicas indirectas son esencialmente producidas por el rozamiento interno del motor que se transforman también en calor.
- Las pérdidas mecánicas son las que se desprenden del accionamiento de los órganos indispensables del motor.

El rendimiento de una máquina debe medirse en última instancia en costo por unidad de material trabajado, una medida que incluye tanto producción como costo. Influyen directamente en la productividad factores tales como la relación de peso a potencia, la capacidad, el tipo de transmisión, las velocidades y los costos de operación. Hay otros factores menos directos que influyen en el funcionamiento y productividad de las máquinas, pero no es

posible mostrarlos en tablas ni gráficas. Son ejemplos de esto la facilidad de servicio, la disponibilidad de piezas de repuesto y las conveniencias para el operador (Caterpillar, 2009).

Para los trabajos de tracción es necesario un tractor pesado o bien lastrado, con el fin de aprovechar al máximo la potencia del mismo. Como es habitual, este tractor no estará siempre realizando laboreos profundos como lo muestra la figura (4.13), y deberá realizar otro tipo de labores por lo que se ha de estudiar la compra de un tractor con un peso menor, que se pueda lastrar con placas metálicas o introduciendo agua en las cubiertas (IDAE, 2005).



Figura 4.13 Laboreo con subsuelo en terreno sin humedad

La utilización de maquinaria agrícola para la producción de cultivos se ha ido extendiendo a lo largo de los años. No en todos los campos, suelos o cultivos, se utilizan los mismos tipos de tractores, ya que donde la textura del suelo no tiene demasiada compactación el tractor demandara menos potencia a diferencia de laborar en suelos demasiados compactos Brodier (2005), afirma que este es un problema para algunos agricultores, en cuanto a la decisión de adquirir un tractor, si este es demasiado grande para las labores que se llevaran a cabo, el mantenimiento será relativamente elevando, que este a su vez será reflejado en los ingresos que se hayan obtenido por la producción.

Para reducir los costos de producción es posible implementar un sistema de preparación de suelos que utilice menos energía y, a la vez se debe de considerar la poca precipitación que exista en la región, para que se permita captar y almacenar humedad en el perfil de suelo, tal y como ocurre con la labranza vertical (Hoogmoed, 1994).

El tractor como fuente de potencia está presente en la mayor parte de las explotaciones agrícolas, siendo una de las inversiones más importantes que realizan los agricultores, y posteriormente la máquina que generara más costos en su sistema de producción. La elección del tractor adecuado para el trabajo que debe realizar es el elemento clave tanto para optimizar el ahorro de combustible como para conseguir la mayor eficiencia global del tractor. Dentro de los costos variables de un sistema de producción agrícola mecanizado, el más importante es el consumo de combustible, y es el que más depende del usuario, ya que se supone más de la mitad del total de los costos variables (IDAE, 2005).

De acuerdo a Siemens (1999), dependiendo de factores como el tipo de tractor, las actividades a realizar y el tipo de combustible es el costo de la inversión de la maquina; los costos de lubricantes y del combustible, al menos representan un 16% a un 45% en el costo total de la maquinaria, el ahorro de dos a tres litros por hora se refleja de una manera representativa al finalizar el mes.

4.8.1 Calculo de energía en la labranza

Es importante conocer diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo, dado que la producción agrícola depende en gran medida del consumo de energía, específicamente en las labores agrícolas como es el caso de la preparación de suelo dentro de ella, su proceso fundamental: la aradura o rotura que representa un consumo cerca del 30 al 35% de los costos de producción y aproximadamente el 40% de los gastos energéticos de los trabajos agrícolas, por lo que la aradura debe realizarse con la máxima calidad, con un estricto cumplimiento de las exigencias agro-técnicas y con el propósito de optimizar los gastos económicos y energéticos, debido a su gran influencia en los rendimientos y los costos de producción (González,2009).

El consumo de energía para la producción de trabajo mecánico representa un elemento de la máxima importancia en todas las operaciones agrícolas que requieran el uso de algún tipo de motor, en cuanto que constituye uno de los factores de producción. Refiriéndonos al motor térmico de combustión interna, se define como consumo unitario de combustible o consumo específico la cantidad de combustible requerida por el motor por cada unidad de trabajo realizado en determinadas condiciones. En general, el consumo específico se expresa

en gramos por kilo Watt hora (g kW h^{-1}). Por lo tanto, este parámetro puede considerarse como un indicador del rendimiento del motor ya que relaciona la cantidad de energía consumida para obtener una unidad de energía (IDAE, 2005).

Mojica (2000) describe que un transductor es un dispositivo que ha sido diseñado para reaccionar ante un estímulo físico y proporcionar una salida que puede ser un desplazamiento o por lo regular un voltaje, que posteriormente puede ser comparado o analizado dependiendo de los requerimientos del sistema donde se utiliza.

Pacheco (2012), desarrolló y evaluó un transductor integral para la medición de la fuerza de tiro en un prototipo de labranza vertical con arreglos de hasta seis cinceles con y sin alas expansoras basado en la propuesta de Hinojosa (2003), el cual está constituido por tres transductores octagonales de anillo extendido denominados (OV), Octagonal Verde, Octagonal Amarillo (OA) y Octagonal Rojo (OR) cada uno con capacidad de 40 KN con un factor de correlación por encima del 99%.

4.9 Costos de preparación de laboreos en la agricultura

Según Velasco (2003), el uso de maquinaria agrícola y equipos de agroindustria genera costos operacionales de importancia, pues el creciente nivel tecnológico asociado a estos equipos genera mayor incidencia en la eficiencia física de las labores en los costos de producción y, por tanto, en el incremento de productividad y rentabilidad. La primera decisión a la que se ve enfrentado el productor, referido a la planificación de uso de maquinaria agrícola, es a utilizar equipos propios y las decisiones relacionadas con inversión, crédito, tipo de maquinaria, costo mantenimiento, etc., o el arrendamiento de equipos y las decisiones respecto qué maquinaria arrendar, a quién solicitar el servicio y a qué precio. La disyuntiva anterior podría no tener mucha relevancia si no fuera por el hecho que, según antecedentes de los autores, la incidencia del costo operacional de maquinaria agrícola es del orden del 30% del costo de producción de maíz grano y trigo, 32% en frijol, y 40% en maíz silo.

El coste horario de un tractor se compone de los costes fijos como la amortización, intereses, alojamiento y seguros, más los costes variables como el consumo de combustible, aceites, lubricantes, neumáticos, mantenimiento y reparaciones, que se producen cuando el

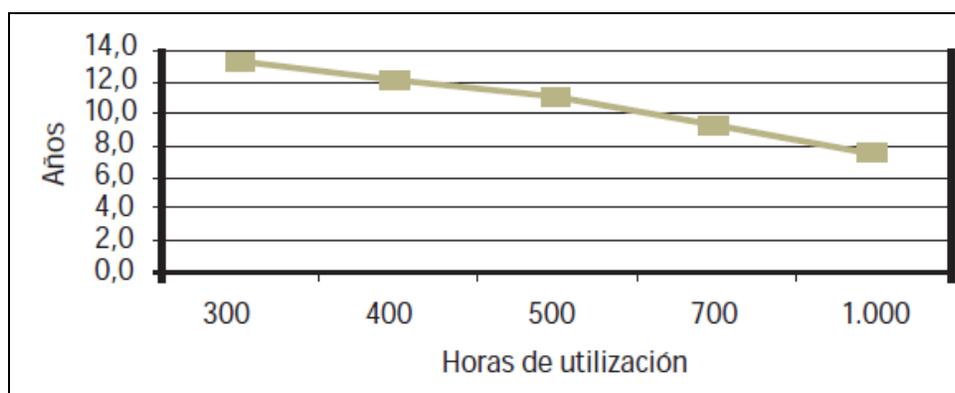
tractor funciona, y varían según el tipo de labor y el precio del combustible. Los primeros se llaman fijos por que se producen aún sin utilizar el tractor. Tienen una gran importancia en el coste total, principalmente cuando el tractor se utiliza pocas horas, debido a que los costes fijos anuales se dividen por el número de horas trabajadas anualmente (IDEA, 2005).

Desde los inicios de la utilización de los tractores agrícolas se tuvo la necesidad de medir la potencia en las mismas condiciones para poder compararlas y así elegir el más adecuado para cada explotación. Las primeras normas de ensayo para los tractores se dictan en 1919 en el estado de Nebraska y es el Departamento de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Lincoln el encargado de realizar los ensayos (Arnal, 2001).

El coste variable más importante es el del carburante, y es el que más depende del usuario, ya que supone más de la mitad del total. Por lo tanto, en el momento de la elección del tractor, se tendrá muy en cuenta su eficiencia energética ($\text{g}^{-1} \text{ kW h}$), como primera pieza para el ahorro y uso eficiente del combustible en la explotación agrícola (IDEA, 2005).

En la cuadro (4.5) expuest0 se puede comprobar como cuantas más horas anuales se utiliza el tractor menor será el número de años para amortizar la inversión de la compra del tractor.

Cuadro 4.5 Amortización en función de la utilización de maquinaria



4.10 Factores que influyen en el rendimiento del tractor

4.10.1 Resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura es la fuerza horizontal que se debe ejercer para asegurar el desplazamiento del propio tractor. Está ligada a la energía consumida debida a la deformación

de las ruedas y a su penetración en el suelo. La resistencia a la rodadura es tanto más elevada cuanto más pesado es el vehículo como lo muestra la figura (4.14), cuanto mayor es la deformación de los neumáticos y cuanto más suelto está el terreno (Gil, 2005).

Las mayores pérdidas de energía se producen en la transmisión de la potencia en el contacto rueda-suelo. Estas pérdidas pueden ser clasificadas en pérdidas por rodadura y patinaje. La energía demandada por la rodadura se debe a la resistencia que opone el suelo al desplazamiento del tractor y que variará en función del tipo y tamaño del neumático, el peso del tractor y la condición del suelo. Esta pérdida se traduce en una menor capacidad de tiro a la barra ya que esos "kilos" de esfuerzo adicional que se emplean en el traslado y la compactación del suelo se deben restar a los "kilos" potenciales de tiro en la barra (Agroparlamento, 2015).



Figura 4.14 Resistencia a la rodadura

4.10.2 Patinaje

Las pérdidas por patinaje se producen por el giro en falso de la rueda motriz sobre el suelo tal como lo muestra la figura (4.15). Una deformación del suelo hace que las ruedas corten horizontalmente el suelo en contacto y lo desplacen. Para disminuir el patinaje existen dos alternativas: una es aumentar el peso sobre las ruedas de tracción mediante el empleo de lastre (estático y/o dinámico) y otra es aumentar la superficie de apoyo a través de un neumático más grande o del empleo de duales (Deere, 2015).

El patinaje depende de la fuerza que desarrollen las ruedas y del tipo de suelo donde se trabaja. Además, depende del peso que soportan las ruedas y la superficie de contacto (con sus formaciones) entre ruedas y el suelo. La fuerza que desarrollan las ruedas depende de la potencia suministrada por el motor (régimen y par), la marcha elegida y el diámetro efectivo de las ruedas (IDAE, 2005).

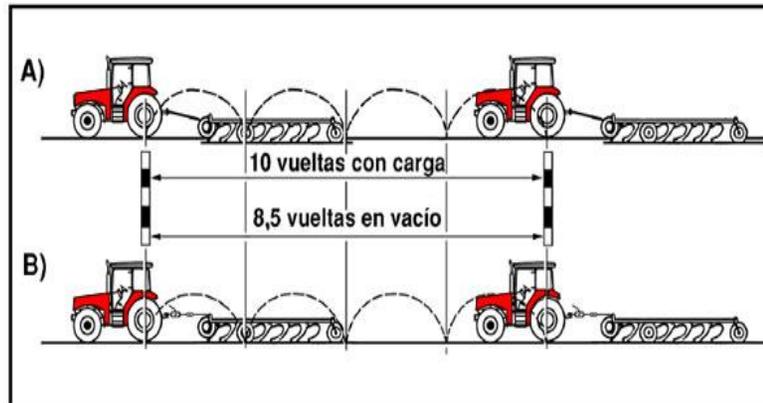


Figura 4.15 Patinaje en los tractores

Según Gil (2006), los estudios más avanzados que relacionan el peso total del tractor con la fuerza de tiro recomiendan que el peso total sea casi el doble de la fuerza de tiro para que el rendimiento de tracción sea óptimo. En todo caso, al tractor habrá que añadirle o quitarle peso, según el trabajo que realice y las condiciones en que se desarrolle. Los factores que determinen la cuantía de lastre son: superficie del suelo, o tipo de tractor, simple o doble tracción, los datos necesarios para saber la cantidad de peso adecuado la dirá el tractorista, para que este haga un buen esfuerzo de tiro sin excesivo patinaje.

La energía demandada por la rodadura se debe a la resistencia que opone el suelo al desplazamiento del tractor, y varía en función del tipo y tamaño de los neumáticos, el peso del tractor y la condición del suelo, la deformación vertical que se produce hace que las ruedas del tractor formen su propia pendiente a vencer, por llano que sea el terreno, también afecta la tierra que el tractor empuja inmediatamente delante de sus ruedas, esa “bufanda” que se forma cuando el suelo está muy suelto y que se denomina efecto “bulldozing”. Las pérdidas por patinaje se producen por el giro en falso de la rueda motriz sobre el suelo. Una deformación del suelo preponderantemente horizontal hace que las ruedas corten horizontalmente el suelo en contacto y lo desplacen (Deere, 2016).

4.10.3 Compactación de suelo

La compactación del suelo mencionado en InfoAgro (2003), corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él. Estas fuerzas externas en la actividad agrícola, tienen su origen principalmente en:

- Implementos de labranza del suelo.
- Cargas producidas por los neumáticos de tractores e implementos.
- Pisoteo de animales.
- Tipo de neumáticos.

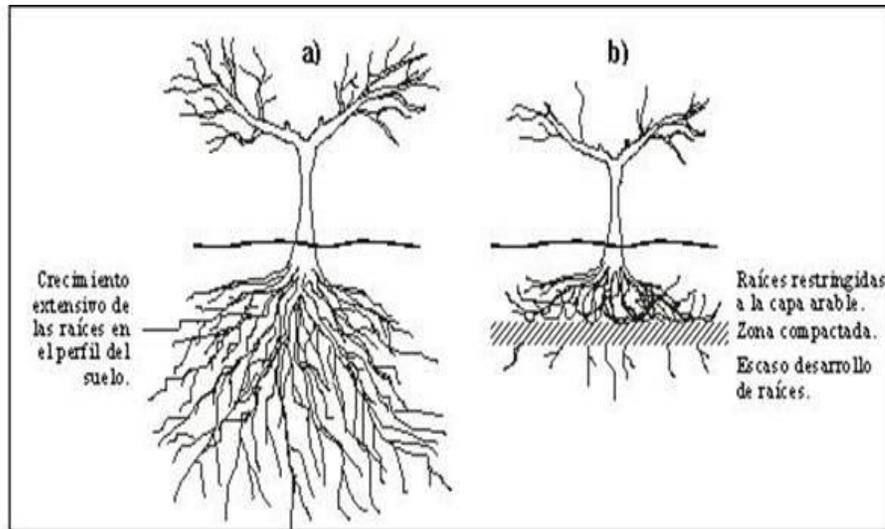


Figura 4.16 Compactación de suelo agrícola

Las necesidades de energía en la agricultura han crecido rápidamente en todo el mundo en los últimos 15 años. Cruz (1992), dice que se necesita más energía en general y en determinadas épocas del año, en particular por ello es necesario aplicar la mecanización agrícola, la cual no debe confundirse con tractorización, pues esta última es el empleo de tracción mecánica y sólo es un componente más de la mecanización agrícola.

El tráfico de la maquinaria agrícola es la principal causa de compactación del suelo esto provoca los cambios drásticos en las propiedades del mismo, la cual tiende a ser de carácter acumulativo (Keller, 2004).

4.10.4 Humedad del suelo

La humedad del suelo es un factor que incide directamente en la fuerza de tracción y requerimiento de potencia en la preparación del suelo. Suelos secos presentan agregados con alta cohesión, siendo más alta en suelos arcillosos, requiriendo mayor fuerza de tracción para ser disturbados. La cohesión disminuye a medida que el contenido de agua aumenta en el suelo, aumentando entonces la adhesión de las partículas del suelo sobre la superficie de la herramienta y afectando la fuerza de tracción. Arvidsson *et al.*, 2004, encontraron que el contenido de agua adecuado para las labores de labranza es cercano al límite plástico del suelo; también concluyeron que la profundidad de trabajo aumenta a mayor contenido de humedad del suelo, disminuyendo la resistencia específica. Por otra parte, la labor en un suelo seco favorece la formación de terrones grandes y suelos con contenido de agua superior al límite plástico son fácilmente deformados y compactados.

El método usado para medir estos límites se conoce como método de Atterberg y los contenidos de agua o humedad con los cuales se producen los cambios de estados, se denominan límites de Atterberg. Ellos marcan una separación arbitraria, pero suficiente en la práctica, entre los cuatro estados mencionados anteriormente. La Norma chilena 1517/I Of. 1979 define los límites: Límite líquido (LL); humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados líquido y plástico, expresado en porcentaje, Límite plástico (LP); humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados plástico y semi-sólido, expresado en porcentaje y Límite de contracción (LC); humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no causa una variación del volumen del suelo, expresado en porcentaje.

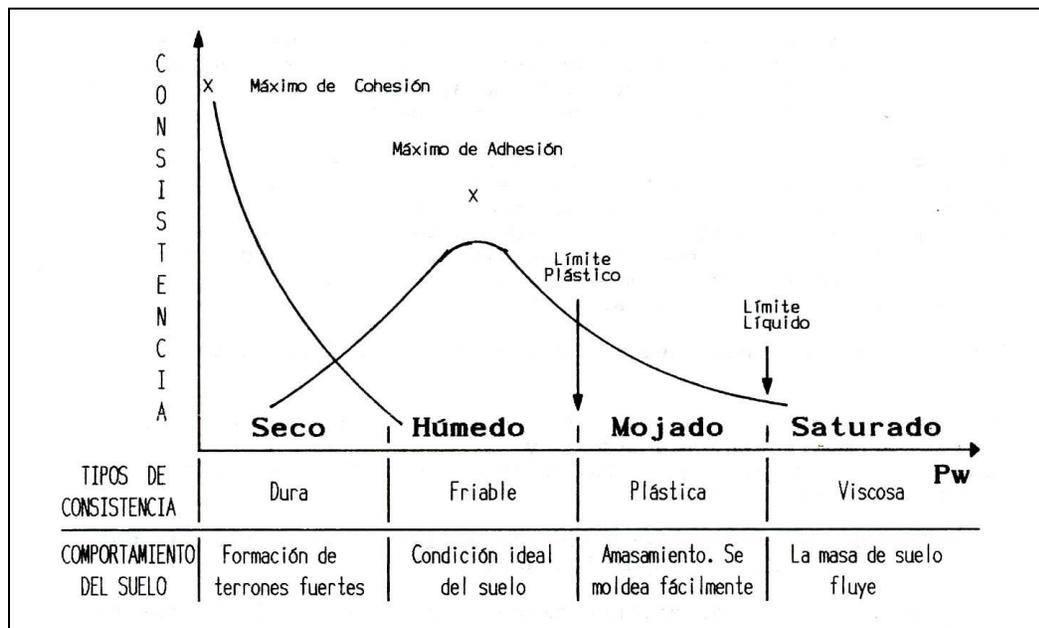


Figura 4.17 Límites de Atterberg

Al realizar un análisis del perjuicio que significa ejecutar labores agrícolas en un rango de humedad no adecuado, se debe tener en cuenta lo siguiente; la forma de consistencia friable es la condición que debe poseer el suelo para la labranza; cuando se sobrepasa ese contenido óptimo de humedad, el suelo pierde sus condiciones naturales y puede adquirir una consistencia plástica o de amasamiento (Guerrero 2001).

4.10.5 Propiedades del suelo

Con el análisis de las propiedades físicas del suelo indican que la estructura del suelo se deteriora con los cultivos, se recupera con las pasturas, si estas son productivas, y puede tener incidencia en la producción de los cultivos. Las rotaciones de cultivos y pasturas reducen la erosión; comparadas con el cultivo permanente, el beneficio aumenta con la duración y productividad de las pasturas. Se debe evitar tener el suelo descubierto, especialmente en invierno. La reducción del laboreo reduce la erosión y merece estudiarse con más intensidad. La productividad de los cultivos en la rotación aporta al nivel de conservación de suelos (FAO, 1992).

Según Ponce de León (2004), las propiedades de las partículas gruesas y finas del suelo difieren considerablemente, pero no hay una división natural marcada de ninguna clase de tamaño de partícula. Sin embargo, para propósitos prácticos se han establecido algunos

límites. Comúnmente en los suelos se separan por lo menos tres clases por tamaño usualmente denominados arena, limo y arcilla. El procedimiento usado para medir la composición granulométrica es el análisis granulométrico o mecánico. Los numerosos métodos de análisis están basados en el hecho de que la velocidad de caída de las partículas del suelo a través del agua aumenta con el diámetro de las mismas, o en una combinación de esta propiedad con el uso de tamices para separar las partículas gruesas. Se han propuesto varias y diferentes clasificaciones de las fracciones.

La figura (4.18) muestra la gráfica de resistencia de un suelo a la penetración de un instrumento de sondeo, es un índice integrado de la compactación de suelo, contenido de humedad, textura y tipo de arcilla. Es un índice de resistencia del suelo. Es una determinación que implica a la consistencia y estructura del suelo. El instrumento usado para determinarla se denomina penetrómetro y mide la fuerza necesaria para penetrar el suelo con una sonda.

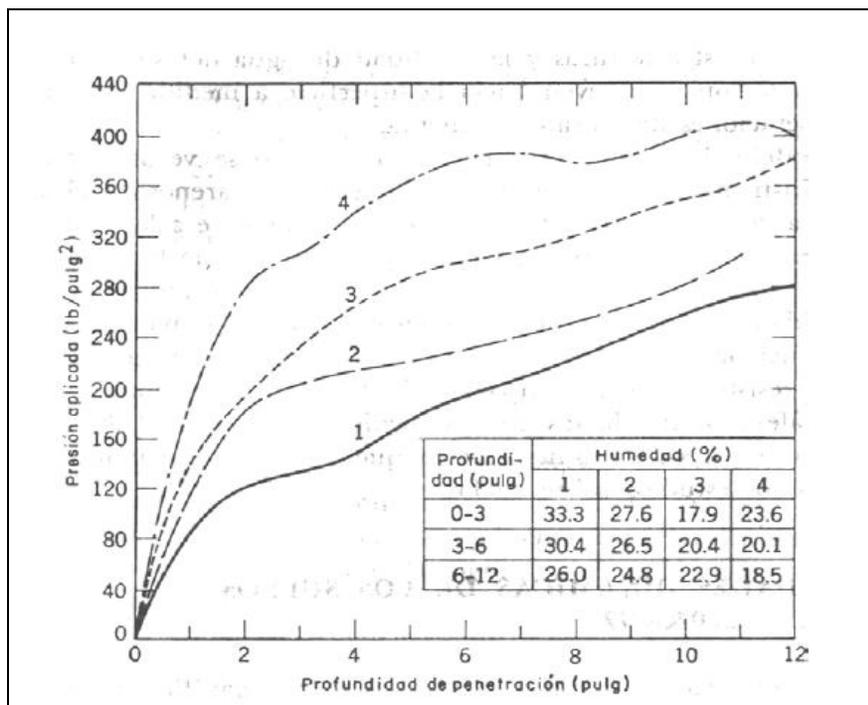


Figura 4.18 Esfuerzos de penetración con respecto a la humedad y propiedades físicas del suelo

La resistencia del suelo a la cortadura es la resistencia interna máxima del suelo al movimiento de sus partículas (o sea la resistencia al deslizamiento del suelo sobre el suelo). La

resistencia a la cortadura (S) de un suelo es expresada en términos de cohesión (C) y de fricción por la ecuación de (Coulomb):

$$S = (C + \tan\phi)p$$

donde:

S: es la resistencia a la cortadura

C: es la cohesión

P: la presión efectiva normal al plano de corte

$\tan\phi$: es el coeficiente de fricción interna del suelo

V.-MATERIALES Y METODOS

5.1-Materiales

5.1.1 Log View 2.7.3

El programa de registro y conteo de datos Log View se utiliza para registrar, observar e imprimir los valores medidos. En los eventos resultantes de los dispositivos de control y aviso de ADOS que apoyan al programa ADOS Log View siguen un protocolo para la recolección de datos congruentes.

5.1.2 Tractor John Deere 6403

El tractor fue equipado con corrientes adecuadas para los equipos a utilizar con los instrumentos necesarios para hacer las pruebas, así como el levantamiento de la posición en donde se realizó las evaluaciones.

Cuadro 5.1 Características del tractor utilizado

MOTOR	TRANSMISIÓN
Potencia a las rpm nominales-Hp (kW) 106 (78)	Estándar Sincronizada de 9 velocidades de avance/3 reversa
Velocidad nominal del motor-rpm 2100	TOMA DE FUERZA
Par máximo-N.m 359 @ 2100 rpm	Potencia máxima a la TDF-HP 95.7
4 Cilindros, Aspiración turbo	Velocidad-rpm 540/1000
Cilindrada-L (in ³) 4.5 (276)	

5.1.3 LogBook 360

Es un sistema de adquisición de datos basados en PC, el cual combina la inteligencia a bordo con una PC-Card extraíble que almacena el archivo de configuración y los datos recogidos. En la carpeta de Bitácoras tienen muchas opciones, la mayoría de los cuales son detallados en el capítulo LBK, y en las tarjetas opcionales DBK y documentos Módulos. Tener en cuenta que la conexión PC puede ser por puerto serie o paralelo.

5.1.4 Medidor de flujo de combustible

Sensores de combustible magnéticos S-004 BAICO, instalado uno en la salida del tanque que va hacia la bomba cebadora y el otro instalado en retorno que va hacia el tanque, la pantalla muestra los datos en ($l\ h^{-1}$) y el número de pulsos acumulados durante la labor además muestra los datos de entrada, salida y uso de combustible en determinado tiempo.

5.1.5 Sensor encoder

Es un transductor rotativo, mediante una señal eléctrica nos indica el ángulo girado. Permite medir un pulso o una señal senoidal, también nos mide distancias lineales, para este trabajo se utilizaron dos encoder uno para la llanta de tracción e6b2-cwz6c. de 500 pulsos/ revolución y el otros para la llanta de bastidor de 64 pulsos/ revolución

5.1.6 Chasis patinaje

Es un bastidor que se ensambla en la parte lateral del tractor en donde esta acoplado el encoder con el cual se contaron las vueltas reales con las que se hará la diferencia con la llanta de tracción para determinar su patinaje.

5.1.7 Carro porta-sensores

Se utilizó un carro porta-sensores que contiene 2 transductores octagonales con los cuales se midieron las fuerzas requeridas para el trabajo que se realizó, se usaron solo las fuerzas en X de cada transductor octagonal de 40 kN de capacidad ya que se pueden determinar también los momentos y las fuerzas en Y.

5.1.8 Ubicación de campo experimental

La presente investigación se realizó dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro que está localizada al sur del municipio de Saltillo, Coahuila, México, cuyas coordenadas corresponden a una latitud de $25^{\circ}20'59.96''N$ y una longitud de $101^{\circ}1'58.93''O$



Figura 5.1 Localización del lugar de pruebas

5.2-Metodología

Las pruebas que se realizaron en el presente proyecto se hicieron bajo condiciones de laboratorio y en campo en el siguiente diagrama de flujo muestra el orden de las actividades que se realizaron en la investigación.

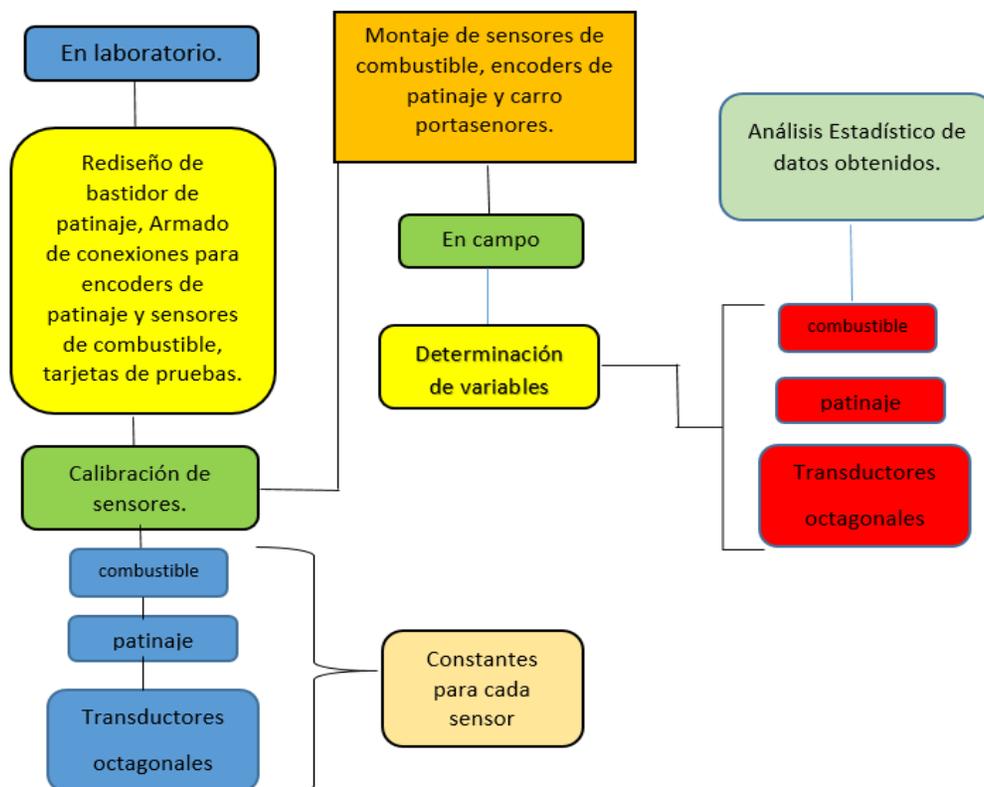


Figura 5.2 Metodología

5.2.1 Rediseño de bastidor

Se modificaron algunos detalles al bastidor usado anteriormente para pruebas de patinaje en tesis anteriores, Pérez (2014), principalmente se modificaron los brazos que van hacia la llanta acoplando diferentes elementos para agregarle catarinas y una cadena acoplando el encoder para que tenga menos movimiento en relación al suelo.



Figura 5.3 Rediseño de bastidor

5.2.2 Armado de conexiones

Por consiguiente, se hicieron las conexiones para poder tener las señales entre el LogBook 360 y los cuatro contadores que van a ser dos de combustible que sería uno de entrada y el otro de retorno y dos de patinaje uno de la llanta motriz y el otro de la rueda del bastidor modificado, así como la modificación del arnés del puerto tres que va de las señales de los sensores hacia el LogBook 360.

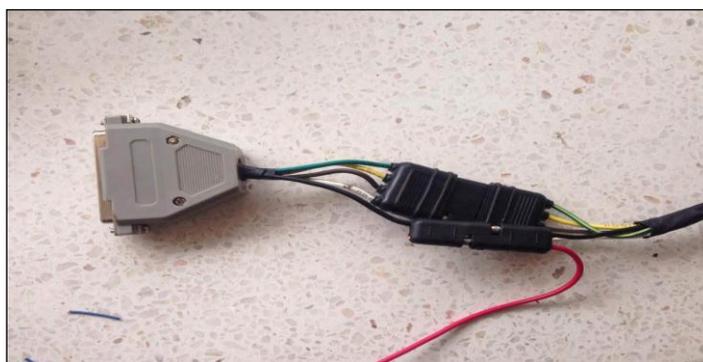


Figura 5.4 Harness P3

En el cuadro 5.2 se muestra el conector de puerto tres del LogBook 360 que va hacia los contadores, en la siguiente tabla se muestran los colores conforme se realizaron las conexiones especificando cada una de sus salidas.

Cuadro 5.2. Conexiones al puerto del Log Book360.

COLORES	CONTADORES	NUMERO DE CANAL
NEGRO	TIERRA	11 TIERRA
BLANCO	PATINAJE	35 COUNTER
VERDE	PATINAJE	36 COUNTER
CAFÉ	COMBUSTIBLE	17 COUNTER
AMARILLO	COMBUSTIBLE	18 COUNTER

5.2.3 Conexiones de encoder

En el cuadro (5.5) se muestran los colores que determinan sus salidas específicas del encoder de 64 pulsos/revolución.



Figura 5.5 Encoder 500 pulsos/revolución

Cuadro 5.3 Colores de conexiones del encoder al harness.

Color	arnes	Encoder
ROJO	VOLTAJE	Voltaje
AZUL	SEÑAL	Rosa
NEGRO	TIERRA	tierra

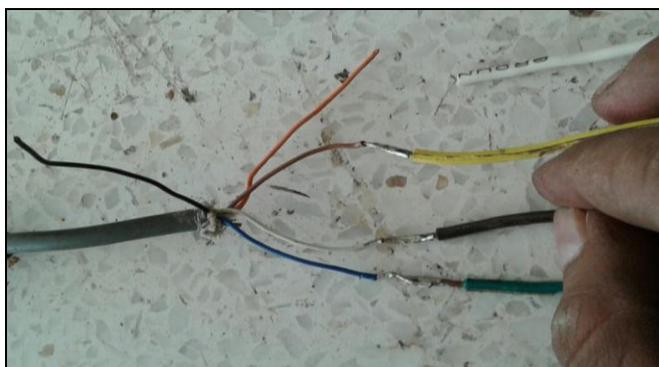


Figura 5.6 Conexiones

Cuadro 5.4 Colores de conexiones (harness)

CAFÉ	VOLTAJE
AZUL	TIERRA
BLANCO	SEÑAL

Los encoder funcionan con corriente de 5 volts que esta proviene de un convertidor de voltaje instalado en el tractor como lo muestra la figura (5.7) se tiene que tener cuidado con las

conexiones ya que si le llega otro voltaje se dañara el encoder. En los anexos (9.2) y (9.3) se encuentran las tablas de especificaciones del encoder.

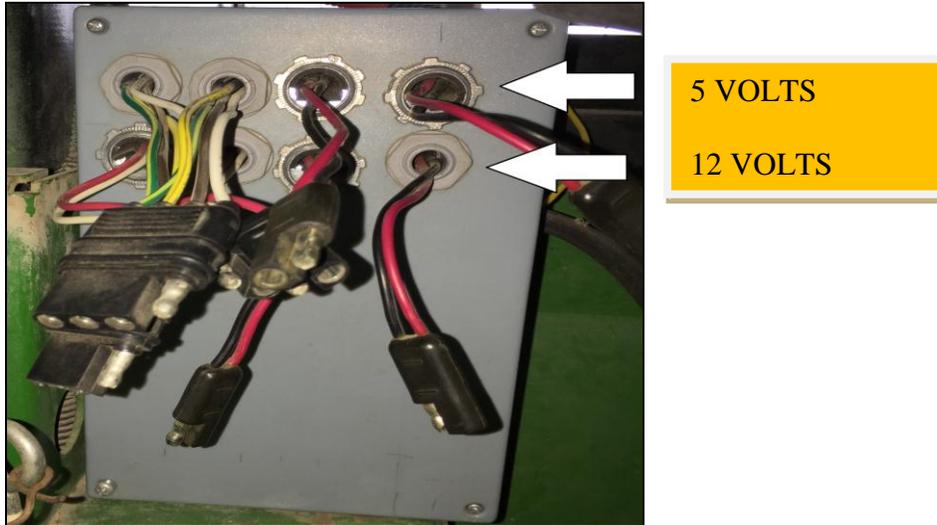


Figura 5.7 Panel de conexiones

5.2.3 Calibración de sensor de combustible

Se realizó la calibración de los sensores de combustible para poder formular la constante de calibración para la conversión a mililitros de los datos obtenidos en las pruebas que se realizaron. Se procedió por desconectar la manguera del retorno de combustible para poder capturar los pulsos en la placa de prueba y en la pantalla de los sensores para correlacionarla con 500 mililitros que se captaran en una probeta como lo muestra la figura (5.8).



Figura 5.8 Calibración de sensores de Combustible

5.3 Evaluación en campo

5.3.1 Procedimiento

Después de tener ensamblados los encoder, los medidores de combustible con sus respectivas conexiones se procedieron a realizar las pruebas de la siguiente manera:

- Se realizaron las calibraciones de 0% de patinaje como lo muestra el **Anexo 9.6** para tenerla de referencia y así poder determinar los diferentes porcentajes de patinaje en los arreglos empleados.

Arreglo 1

- Se realizaron 2 recorridos en 40 metros con las diferentes profundidades de los cinceles usados que son de .20, .30 y .40 metros respectivamente.

Arreglo 2

- Se realizaron 2 recorridos en 40 metros a profundidades de .20 y .30 metros con sus respectivos cinceles. Los cinceles que se usaron fueron el delantero y el cincel medio.

Arreglo 3

- Se realizaron 2 recorridos en 40 metros a una profundidad de .20 metros solo se usó el cincel delantero con alas de 30 cm de ancho de trabajo.

Los diferentes arreglos tienen como finalidad diferenciar cuanto consumo de combustible, patinaje y fuerza se necesitan en cada uno de ellos.

VI.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.2 Resultados de arreglo 1

La Figura (6.1) muestra los tres cinceles diferentes usados en los primeros dos recorridos.



Figura 6.1 Cinceles de primer arreglo

6.2.1 Consumo de combustible

En la figura (6.2) se muestran las gráficas de los pulsos acumulados del sensor de entrada y el de retorno de los dos recorridos de 40 metros. Estos resultados fueron determinados en base al procedimiento mostrado en el Anexo 9.7 y utilizando la constante determinada en el Anexo 9.5.

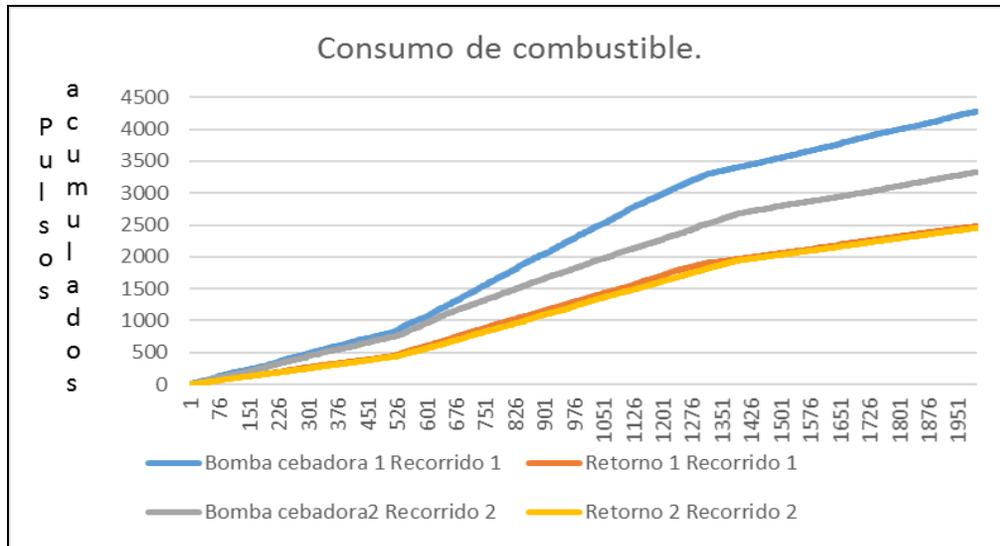


Figura 6.2 Pulsos acumulados de consumo de combustible

Cuadro 6.1 Consumo de combustible del arreglo 1.

Réplicas	Consumo en recorrido ml (40 m)	consumo ml metro ⁻¹
Consumo de recorrido 1	584	14.6
Consumo de recorrido 2	284.4	7.11

6.2.2 Porcentaje de patinaje

Se determinó el porcentaje de patinaje de cada recorrido mostrado en la tabla (6.3), basándonos en el procedimiento especificado en el Anexo 9.9 y usando la constante determinada en el Anexo 9.6

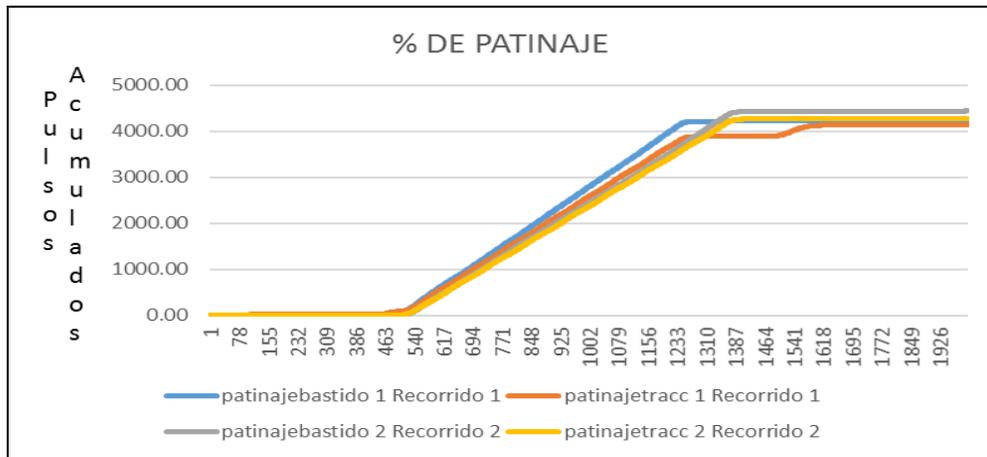


Figura 6.3 Pulsos Acumulados de patinaje, para arreglo de 3 cinceles.

Cuadro 6.2 Porcentaje de patinaje de arreglo 1

% de patinaje recorrido 1	% de patinaje recorrido 2
20.62%	18.56%

Se realizaron los análisis correspondientes para determinar los esfuerzos de cada uno de los cinceles, utilizando el software MATLAB 2012 para realizar el análisis espectral. Haciendo los cálculos correspondientes nos dieron los resultados mostrados en los cuadros (6.4), (6.5) y (6.6), Cruz (2014) determinó las constantes de calibración de los diferentes transductores con los que se trabaja, en este caso usaremos las constantes del transductor (VA) verde-azul y (RA) rojo-amarillo.

Cuadro 6.3 Constantes de calibración, Cruz (2014).

Sensores	Canal	Input Gain	Scaling Gain	Galgas	Voltaje de excitación	Constante NmV ⁻¹
1 Axial	6	4.71	4.60	350 Ω	9.48	15.55
2 OC-Rojo	0	4.46	4.47	120 Ω	5.50	20.85
3 OC-Verde	4	4.52	4.54	350 Ω	9.60	15.86
4 OC-Amarillo	5	4.43	4.45	350 Ω	9.62	15.85
5 OC-Ve_Az	3	4.40	4.40	350 Ω	9.47	15.53
6 OC-Ro_Am	2	4.50	4.50	350 Ω	9.50	15.58

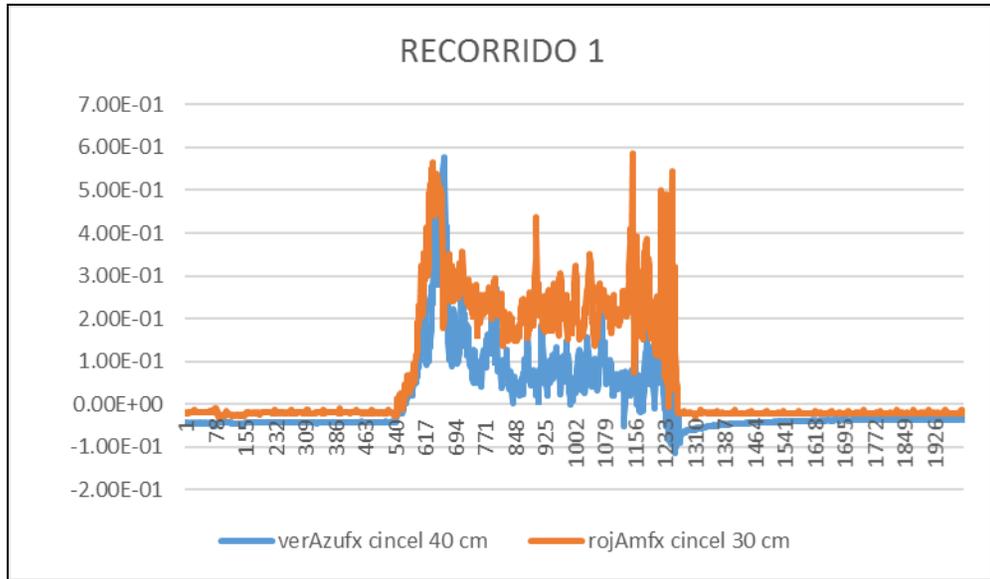


Figura 6.4 Graficas de fuerzas

Cuadro 6.4 Análisis espectral de recorrido 1

ARREGLO 1	RECORRIDO 1	ARREGLO 1	RECORRIDO 1
VALOR DE MEDIA	VALOR ESPECTRO	VALOR DE MEDIA	VALOR DE ESPECTRO
0.2722	0.0588	0.1714	0.0837
MEDIA+ESPECTRO		MEDIA+ESPECTRO	
0.331		0.2551	
5.15 kN		3.96 kN	
CINCEL 30 CM		CINCEL DE 40 CM	

El cuadro (6.4) muestra que en el primer recorrido de 40 metros el cincel de .30 metros se sometió a una fuerza de 5.15 kN y el de .40 metros a una fuerza de 3.96 kN.

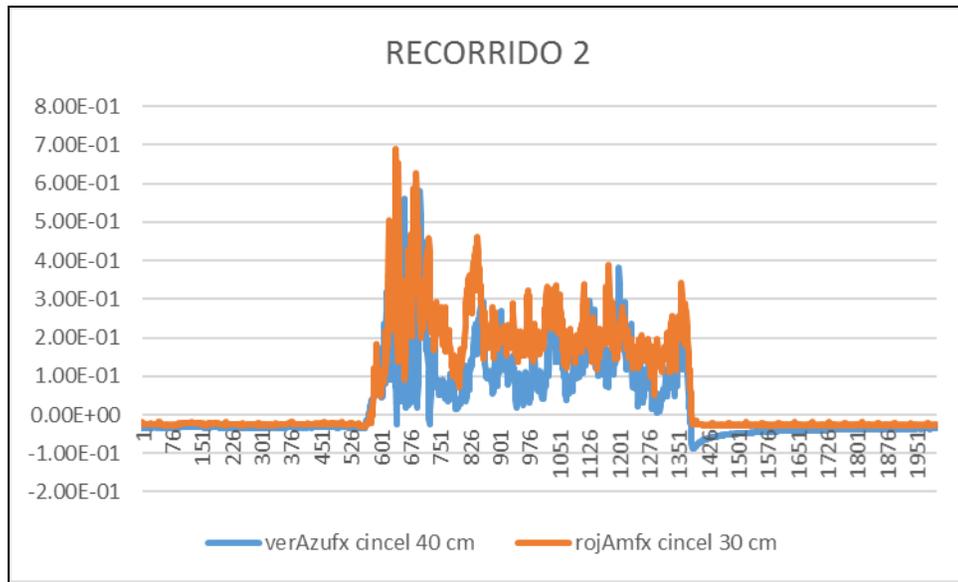


Figura 6.5 Graficas de fuerzas

Cuadro 6.5 Análisis espectral recorrido 2

ARREGLO 1	RECORRIDO 2	ARREGLO 1	RECORRIDO 2
VALOR DE MEDIA	VALOR ESPECTRO	VALOR DE MEDIA	VALOR DE ESPECTRO
0.2697	0.0644	0.168	0.0521
MEDIA+ESPECTRO		MEDIA+ESPECTRO	
0.3341		0.2201	
5.20 kN		3.48 kN	
CINCEL 30 CM		CINCEL DE 40 CM	

En el segundo recorrido se muestran que los cinceles se sometieron a diferentes esfuerzos que no tiene mucha variación con el primer recorrido.

Cuadro 6.6 Resultados del arreglo 1

Arreglo 1				
Réplicas	% de patinaje	Fuerza kN cincel 30 cm	Fuerza kN cincel 40 cm	Consumo de combustible (ml)
Recorrido 1	20.62	5.15	3.96	584
Recorrido 2	18.56	5.20	3.48	284.4
Promedio	19.59	5.175	3.72	434.2

6.3 Resultados de arreglo 2

6.3.1 Consumo de combustible

La figura (6.6) muestra los pulsos acumulados de los sensores de entrada y retorno de combustible del arreglo 2 donde se trabaja a profundidades de 20 y 30 centímetros solamente.

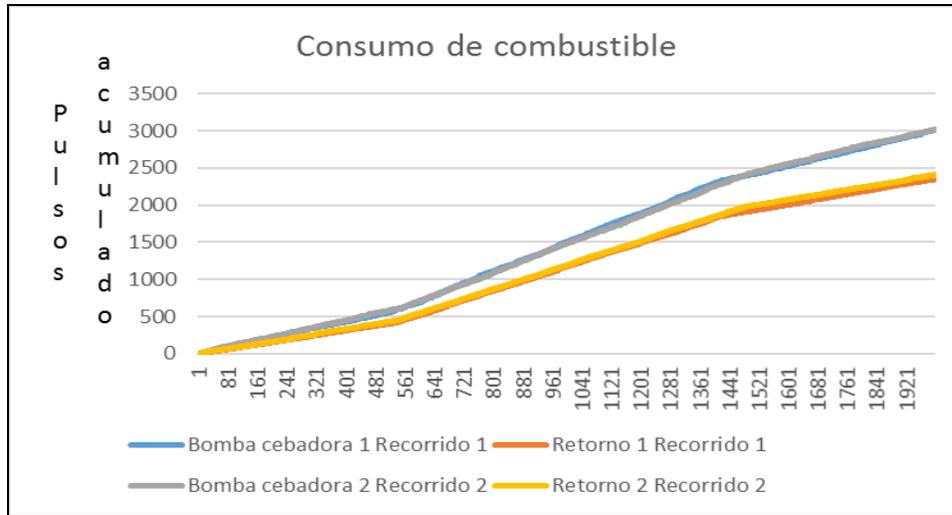


Figura 6.6 Pulsos acumulados de consumo de combustible de arreglo 2

Realizando el análisis necesario se determinaron los consumos del segundo arreglo propuesto.

Cuadro 6.7 Consumo de combustible de arreglo 2

Réplicas	Consumo en recorrido ml (40 m)	consumo ml m ⁻¹
Consumo de recorrido 1	214.4	5.36
Consumo de recorrido 2	196.8	4.92

6.3.2 Porcentaje de patinaje

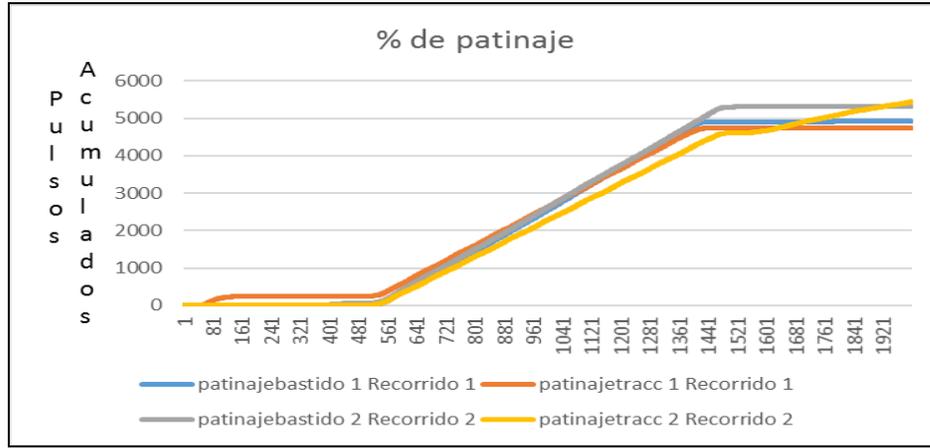


Figura 6.7 Pulsos acumulados de patinaje de arreglo 2

Cuadro 6.8 Porcentaje de patinaje de arreglo 2

% de patinaje recorrido 1	% de patinaje recorrido 2
18.56 %	18.94 %

6.3.3 Análisis espectral de fuerzas

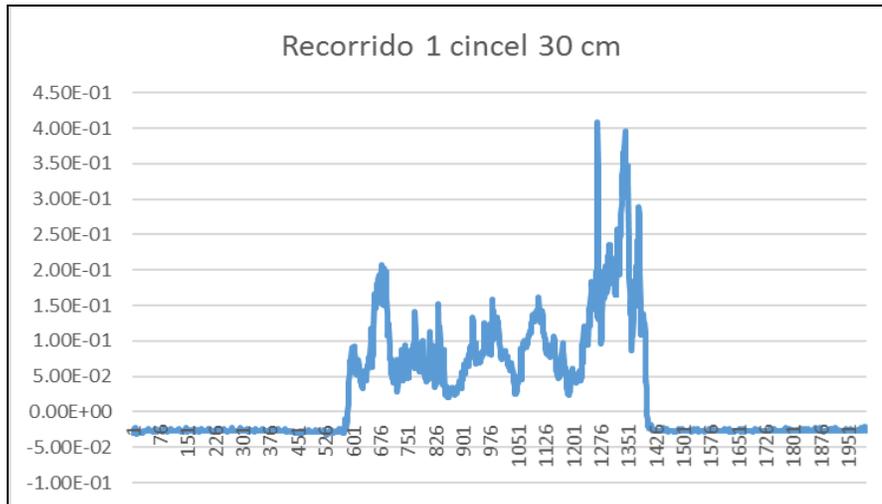


Figura 6.8 Grafica de fuerzas

Los datos del análisis espectral del segundo arreglo se muestran en el cuadro (6.9)

Cuadro 6.9 Análisis espectral

ARREGLO 2	RECORRIDO 1
VALOR DE MEDIA	VALOR DE ESPECTRO
0.1112	0.0239
MEDIA+ESPECTRO	
0.1351	
2.10 KN	
CINCEL DE 30 CM	

En este arreglo solo se utilizó el cincel delantero de .20 m y el cincel de .30 m, pero solo se hizo el análisis espectral del cincel medio ya que el cincel delantero no conlleva transductor para determinar los esfuerzos.

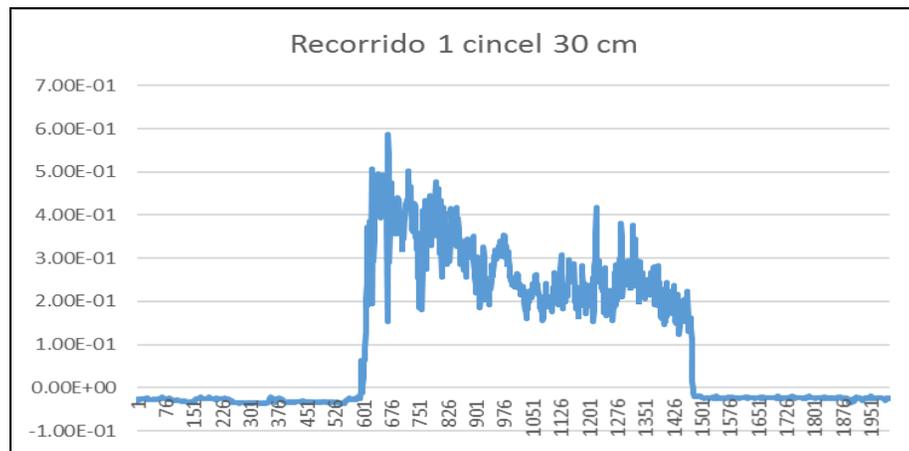


Figura 6.9 Grafica de fuerzas

Cuadro 6.10 Análisis espectral

ARREGLO 2	RECORRIDO 2
VALOR DE MEDIA	VALOR DE ESPECTRO
0.3399	0.0823
MEDIA + ESPECTRO	
0.4222	
6.57 KN	
CINCEL DE 30 cm	

Resultados arreglo 2

Cuadro 6.11 Resultados

Arreglo 2			
Réplicas	% de patinaje	fuerza kN cincel 30 cm	Consumo de combustible total
Recorrido 1	18.94	2.10	214.4 ml
Recorrido 2	26.6	6.57	196.8 ml
Promedio	22.77	4.335	205.6

6.4 Resultados arreglo 3

6.4.1 Consumo de combustible

En el último arreglo se obtuvieron los siguientes datos de consumo de combustible. No contiene análisis espectral ya que el cincel frontal no conlleva transductor por eso solo se determinaron los patinajes y los consumos de combustible de cada corrida.

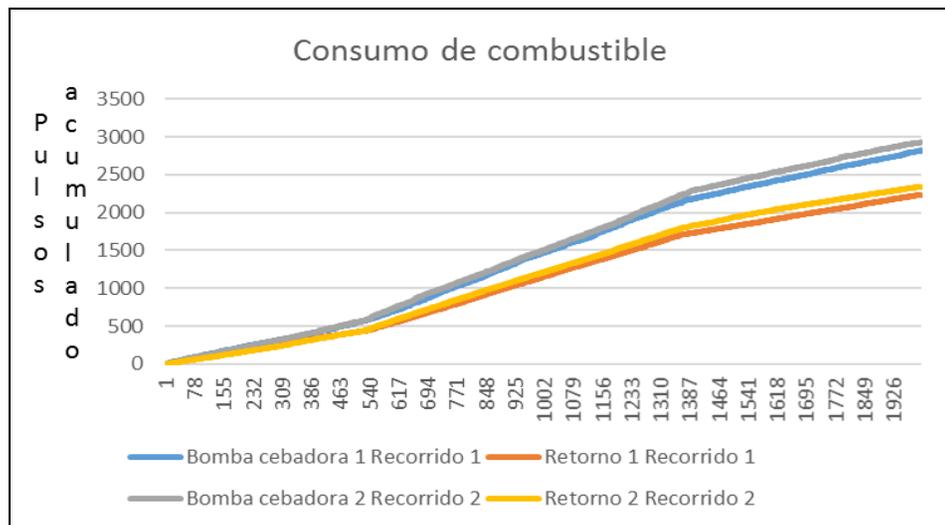


Figura 6.10 Pulsos acumulados de consumo de combustible de arreglo 3

Cuadro 6.12 Consumo de combustible de arreglo 3

Réplicas	Consumo en recorrido ml/40 m	Consumo ml m ⁻¹
Consumo de recorrido 1	188.35	4.71
Consumo de recorrido 2	189.32	4.73

6.4.2 Porcentaje de patinaje

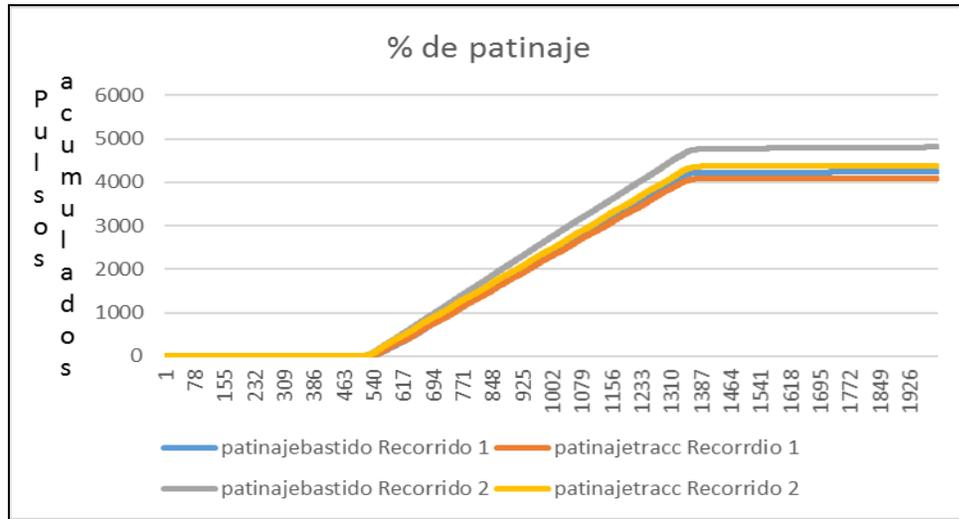


Figura 6.11 Pulsos acumulados de patinaje de arreglo 3

Cuadro 6.13 Porcentaje de patinaje arreglo 3

% de patinaje recorrido 1	% de patinaje recorrido 2
19%	12.4%

En este arreglo no se calcularon los análisis espectrales ya que el cincel delantero no contiene transductor para determinar la fuerza, y solamente se calcularon los porcentajes de patinaje y consumos de combustible de cada uno.

Resultado de prueba 3

Cuadro 6.14 Resultados arreglo 3

Arreglo 3		
Réplicas	% de patinaje	Consumo de combustible total
Recorrido 1	19	188.35 ml
Recorrido 2	12.4	189.67 ml
Promedio	15.7	189.01 ml

VII.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Los tres arreglos evaluados junto con los cinceles de .20, .30 y .40 m presentaron diferentes porcentajes de patinaje, fuerza y consumo de combustible, Sin embargo entre cada recorrido realizado de cada arreglo hay un poco de variación en consumo de combustible y patinaje.

Se necesita seguir realizando pruebas entre los tres parámetros evaluados en este proyecto, todo esto para llevarlos a cabo en la elaboración de mapas de prescripción.

7.2 Recomendaciones

Se requiere seguir realizando modificaciones al bastidor de patinaje y agregarle un mecanismo que facilite su levantamiento en las vueltas.

Calcular la constante de calibración de los sensores de combustible, una vez realizando el arreglo de los imanes de los sensores, ya que solo mandan un pulso y se necesitan dos pulsos por cada sensor, se necesitará voltear un imán a su polaridad correspondiente.

VIII.BIBLIOGRAFÍA CITADA

Ambienta. (2009) Optimización del consumo energético en la agricultura, España vol. 1, pp. 2-4.

Arnal A. P. (2001). Potencia de los Tractores Agrícolas: Resumen de los datos de los ensayos OCDE realizados en los años 1997, 1998, 1999 y 2000. Boletín Extraordinario de Junio del 2001. Asociación Empresarial Agropecuaria. ASAJA, Huesca.

Arvidsson, J., T. Keller, AND K. Gustafsson. (2004) Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. Soil Tillage

Alluvione, F., B. Moretti, D. Sacco & D C. Grignani:(energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture Energy vol 36.

Baver, Gardner, W.H y Gardner, W. R. Física de suelos. México, CRAT, 1973. 52p p.

Bernat, J.C. (1980) Maquinaria. Agricultura. Jardinería.

Bravo, N,A. (2004) Labranza de Conservacion, Labranzas. 1-4 pp.

Cenema (Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola). (1990). Manual del Medidor de Combustible I-burett. L.P. Tractores

Cadena, Z.M. y T. Gaytán. (2004). Desempeño de implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo. Revista Agraria Nueva Época, México.

Cespedes, P.R,Soca Cabrera (2004). Determinación de la fuerza de tracción y potencia a la barra de tiro del tractor New Holland 6610s.

Chudakov, D.A. (1987) Fundamentos de la teoría y el cálculo de tractores y automóviles, Editorial MIR, Moscú.

Deere J. (1979). Fundamento de Servicio (Motores). FMO. Impreso en México.

De Erbiti E, P. Paneque. (1999) Indicadores energéticos de dos conjuntos agrícolas utilizados en la siembra y cosecha de la papa en Cuba, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, pp.1-7.

Gil, J. (1992). Ensayo en campo de tractores y operaciones mecanizadas. *Revista Máquinas y Tractores* 6: pp 35-40.

Grisso, R,D AND Kocher,F, (2004) Predicting Tractor Fuel Consumption. University of Nebraska.

Gonzales, C, A, (2008) Diseño y construcción de un medidor electrónico de consumo combustible en tractores agrícolas. Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México, pp. 4-38.

Hernandez, E. P. (1980) Metodología para la obtención de los índices de consumo en por ciento sobre el combustible consumido en los tractores. *La Habana Cuba*.

Hoogmoed, W. (1994), Soil Tillage. Agronomics applications in tropical regions, Wageningen Agricultural University. The Netherlands pp. 150-170.

Idae (2005) (Instituto para la diversificación y ahorro en la energía). Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola. Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura 1. Madrid, España, pp. 5-28.

Inifap (2005) (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). Ahorro de combustible en el tractor agrícola. pp. 7-9.

Inta (1998) ingeniería rural y mecanización agrícola en el ámbito latinoamericano. 1998. ed. editorial UNLP., p. 612, Argentina.

Linares, P (1996). Teoría de la tracción de tractores agrícolas. E.T.S. Ingenieros Agrónomos de Madrid., pp. 157.

Lostri, A. y Onorato, A. (1986). “Que tractor elegir”, FAO. Chile: pp. 37.

Liljedahl B. J., Carleton M. W., Turnquist K. P., Smith W. D. (1991). Tractores y sus unidades de potencia. 1ª Reimpresión en español en México. Limusa, S.A. de C.V., pp. 363-389.

Marquez, L. (2004). Cuadernos de Agronomía y Tecnología. Maquinaria Agrícola. Ed. Blake y Helsey España pp. 78.

Márquez Delgado, Luis. (2004) “Ahorrar combustible con la utilización racional de los tractores”. Samatec.

Mojica, L. E. D. (2000). Evaluación de discos cortadores de residuos y abre-surco para labranza de conservación, empleando equipo multiusos de tracción animal, tesis, Licenciatura, Instituto Tecnológico de Veracruz, Ver.; México.

Morelos M. A., Pliego G. J., Marín O. L., Galicia G. D. (2005). Predicción del Consumo de Combustible del Tractor en la Prueba de potencia máxima a la toma de fuerza. Memorias de XV Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, México.

Marquez, L. (2005). Los tractores en la agricultura española. Costes de utilización. Madrid España, pp. 68-72.

Mickibbem, E. G., Y Davidson, J. B. (1940). Effort of inflation pressure.

Oecd (2007) (Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico). Standard Code for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractor Performance.

Ortiz-Cañavate, J. (1990) Requerimientos energéticos de la agricultura. Máquinas y Tractores N° 0. Ed. Edagrícola. España.

Ortiz-Cañavate, J. Y J.L. Hernans. (1989). Técnica de la Mecanización Agraria. Ediciones MundiPrensa. Madrid.

Pacheco, L. J. L. (2012). Requerimientos de energía en la labranza vertical basado en el principio de profundidad crítica. Tesis de maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

Paredes, F.A. (2004). Sistemas de labranza y rotación de cultivos en un argiudol hipermétrico.

Soto M.S. (1998). Introducción al Estudio de Maquinaria Agrícola 4^{ta} Reimpresión. Editorial Trillas pp. 23-35.

Salas, O. S. (1986) Investigación sobre la variación de los consumos usando los nuevos lubricantes. IIMA. La Habana.

Siemens, J. C., AND W. W. Bowers. (1999). Machinery management: How to select machinery to fit the real needs of farm managers. Farm Business Management (FMB) series. East Moline, Ill.: John Deere Publishing.

Takao H. (1998). Proyecto de Pruebas y Evaluación de Maquinaria Agrícola. Agencia de Cooperación Internacional del Japón, Texcoco, Estado de México, México.

Velasco.H.R (2014). Costo de operación o uso de maquinaria agrícola. pp 23

Weidema B.P,Meeusen M.J.G. (2000) Agricultural data for Life Cycle Assessments. Agricultural Economics Research Institute (LEI), The Hague. Vol. 1, pp. 51-69.

8.1PAGINAS WEB CONSULTADAS

Agronegocios. [en línea] [fecha de consulta: abril 2016]:

http://www.agronegocios.com.py/rural/agroindustria/agroindustria_potenciador.html

Ciencia [en línea] [fecha de consulta: abril 2016]:

www.ciencia-hoy.retina.ar/ln/hoy68/formasdelabranza.htm14

Fao [en línea] [fecha de consulta: septiembre 2016]:

http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/c8.htm#ini.

Inifap [en línea][fecha de consulta: septiembre 2016]:

http://www.inifap.gob.mx/SitePages/productos_servicios/cenema.aspx

Cat [en línea][fecha de consulta septiembre 2016]

:http://www.cat.com/es_MX/support/operations/technology/tier-4technology/fuelsystems.html

Inifap [en línea] [fecha de consulta: septiembre 2016]

http://www.inifap.gob.mx/SitePages/productos_servicios/cenema.aspx

Cash [en línea][fecha de consulta: septiembrel 2016]

<http://www.cashmanequipment.com/UserFiles/PDF/CaterpillarPerfomanceHandbook40Espanol.pdf>

Fao [en línea] [fecha de consulta: septiembre 2016]

<http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5193/Lubricantes.pdf>

Agroparlamento [en línea] [fecha de consulta: octubre 2016]

<http://www.agroparlamento.com/agroparlamento/notas.asp?n=0344>

Idae [en línea] [fecha de consulta: octubre 2016]

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10255_Consumos_energeticos_operaciones_agricolas_Espana_05_d94c1676.pdf

Oecd [en línea] [fecha de consulta: octubre 2016]

http://www.oecd.org/topic/0,3373,en_2649_33905_1_1_1_1_37401,00.html

John Deere [en línea] [fecha de consulta: octubre 2016]

https://www.deere.com.mx/es_LA/services_and_support/tips/tractors/four_wheel_drive_tractor/four_wheel_drive_tractor.page

Agrotecnia [en línea] [fecha de consulta: octubre 16]

http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/limites.pdf

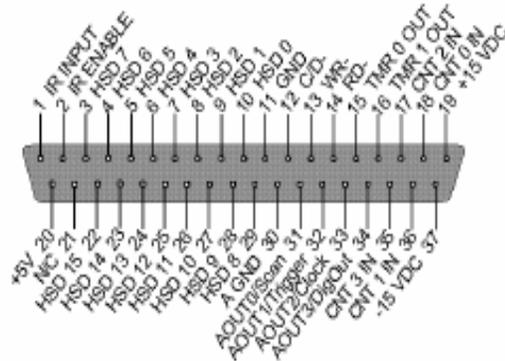
Inta [en línea] [fecha de consulta: octubre 2016]

http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_el-tractor-en-cultivos-intensivos.pdf.

IX Anexos

Anexo 9.1 Hoja del puerto 3 loog book 360

P3 - Pulse Frequency/High-Speed Digital I/O



Pin	Signal Name	Description for P3 Pin Use
1	IR INPUT	Interrupt line Input
2	IR ENABLE	Interrupt line enable
3	HSD 7	High-speed digital I/O bit 7 (low byte)
4	HSD 6	High-speed digital I/O bit 6 (low byte)
5	HSD 5	High-speed digital I/O bit 5 (low byte)
6	HSD 4	High-speed digital I/O bit 4 (low byte)
7	HSD 3	High-speed digital I/O bit 3 (low byte)
8	HSD 2	High-speed digital I/O bit 2 (low byte)
9	HSD 1	High-speed digital I/O bit 1 (low byte)
10	HSD 0	High-speed digital I/O bit 0 (low byte)
11	GND	Digital ground
12	C/D-	
13	WR-	
14	RD-	
15	TMR 0 OUT	Timer 0 output
16	TMR 1 OUT	Timer 1 output
17	CNT 2 IN	Counter 2 Input
18	CNT 0 IN	Counter 0 Input
19	+15 VDC	+15 V supply @ 0.050 A
20	+5 V	+5 V supply @ 0.100 A
21	N/C	Pin not connected/not used
22	HSD 15	High-speed digital I/O bit 15 (high byte)
23	HSD 14	High-speed digital I/O bit 14 (high byte)
24	HSD 13	High-speed digital I/O bit 13 (high byte)
25	HSD 12	High-speed digital I/O bit 12 (high byte)
26	HSD 11	High-speed digital I/O bit 11 (high byte)
27	HSD 10	High-speed digital I/O bit 10 (high byte)
28	HSD 9	High-speed digital I/O bit 9 (high byte)
29	HSD 8	High-speed digital I/O bit 8 (high byte)
30	AGND	Analog ground
31	AOUT0 / Scan	Analog output 0, optional LBK2: 16-bit, 100 kHz, ± 10 VDC DAC
32	AOUT1 / Trigger	Analog output 1, optional LBK2: 16-bit, 100 kHz, ± 10 VDC DAC
33	AOUT2 / Clock	Analog output 2, optional LBK2: 16-bit, 100 kHz, ± 10 VDC DAC
34	AOUT3 / DigOut	Analog output 3, optional LBK2: 16-bit, 100 kHz, ± 10 VDC DAC
35	CNT 3 IN	Counter 3 Input
36	CNT 1 IN	Counter 1 Input
37	-15 VDC	-15 V supply @ 0.050 A

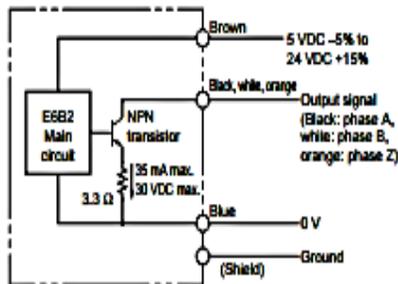
Anexo 9.2 Hoja manual de conexion de encoder e6b2-cwz6c. (ENCODER DE 500Pulsos/giro)

OMRON

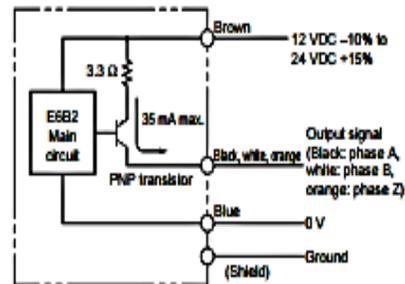
Operation

Output Circuits

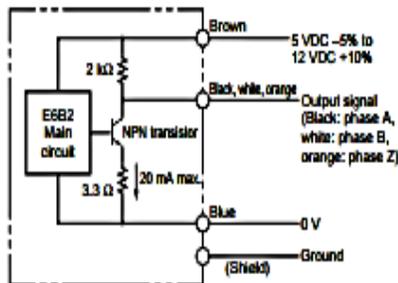
E6B2-CWZ6C



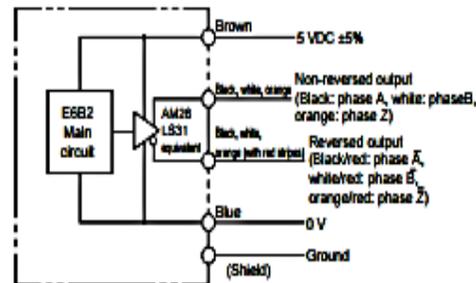
E6B2-CWZ5B



E6B2-CWZ3E



E6B2-CWZ1X



Connection

Be sure to connect the external terminals correctly or the E6B2-C Rotary Encoder may be damaged.

E6B2-CWZ6C/-CWZ5B/-CWZ3E

Color	Terminal
Brown	Power supply (+V _{CC})
Black	Output phase A
White	Output phase B
Orange	Output phase Z
Blue	0 V (common)

E6B2-CWZ1X

Color	Terminal
Brown	Power supply (+V _{CC})
Black	Output phase A
White	Output phase B
Orange	Output phase Z
Black/red stripes	Output phase \bar{A}
White/red stripes	Output phase \bar{B}
Orange/red stripes	Output phase \bar{Z}
Blue	0 V (common)

Note: Receiver: AM26LS32 equivalent

- Note 1. The shielded cable outer core is not connected to the inner area or the case.
 Note 2. The phase-A, phase-B, and phase-Z circuits are all identical.
 Note 3. Normally, connect GND to 0 V or to an external ground.

Anexo 9.3 Hoja manual de conexion de encoder e6b2-cwz6c. (ENCODER DE 500Pulsos/giro).

OMRON

Specifications

■ Ratings/Characteristics

Item	E6B2-CWZ6C	E6B2-CWZ5B	E6B2-CWZ3E	E6B2-CWZ1X
Power supply voltage	5 VDC -5% to 24 VDC +15%, Ripple (p-p): 5% max.	12 VDC -10% to 24 VDC +15%, Ripple (p-p): 5% max.	5 VDC -5% to 12 VDC +10%, Ripple (p-p): 5% max.	5 VDC ±5%, Ripple (p-p): 5% max.
Current consumption (See note 1.)	70 mA max.	80 mA max.		130 mA max.
Resolution (pulses/rotation)	10/20/30/40/50/60/100/200/300/ 360/400/500/600/720/800/1,000/ 1,024/1,200/1,500/1,800/2,000 P/R	100/200/360/500/600/ 1,000/2,000 P/R	10/20/30/40/50/60/100/200/300/ 360/400/500/600/1,000/1,200/ 1,500/1,800/2,000 P/R	10/20/30/40/50/60/100/200/ 300/360/400/500/600/1,000/ 1,024/1,200/1,500/1,800/ 2,000 P/R
Output phases	A, B, and Z			A, \bar{A} , B, \bar{B} , Z, \bar{Z}
Output configuration	NPN open-collector output	PNP open-collector output	Voltage output (NPN output)	Line driver output (See note 2.)
Output capacity	Applied voltage: 30 VDC max. Sink current: 35 mA max. Residual voltage: 0.4 V max. (at sink current of 35 mA)	Applied voltage: 30 VDC max. Source current: 35 mA max. Residual voltage: 0.4 V max. (at source current of 35 mA)	Output resistance: 2 k Ω Sink current: 20 mA max. Residual voltage: 0.4 V max. (at sink current of 20 mA)	AM26LS31 equivalent Output current: High level - I_{OH} = -20 mA Low level - I_{OL} = 20 mA Output voltage: High level - V_{OH} = 2.5 V min. Low level - V_{OL} = 0.5 V max.
Max. response speed (See note 3.)	100 kHz	50 kHz	100 kHz	
Phase difference on output	90°±45° between A and B (1/4T±1/8T)			
Rise and fall times of output	1 μ s max. (Control output voltage: 5 V; load resistance: 1 k Ω ; cable length: 2 m)	1 μ s max. (Cable length: 2 m; source current: 10 mA max.)	1 μ s max. (Cable length: 2 m; sink current: 10 mA max.)	0.1 μ s max. (Cable length: 2 m; I_{OH} : -20 mA; I_{OL} : 20 mA)
Starting torque	0.98 m N·m max.			
Moment of inertia	1 x 10 ⁻⁶ kg·m ² max.; 3 x 10 ⁻⁷ kg·m ² max. at 600 P/R max.			
Shaft loading	Radial	30 N		
	Thrust	20 N		
Max. permissible speed	6,000 r/min.			
Protection circuits	Power supply reverse polarity protection, Output load short-circuit protection			—
Ambient temperature	Operating: -10°C to 70°C (with no icing) Storage: -25°C to 85°C (with no icing)			
Ambient humidity	Operating/storage: 35% to 85% (with no condensation)			
Insulation resistance	20 M Ω min. (at 500 VDC) between current-carrying parts and case			
Dielectric strength	500 VAC, 50/60 Hz for 1 min between current-carrying parts and case			
Vibration resistance	10 to 500 Hz, 150 m/s ² or 2-mm double amplitude for 11 min 3 times each in X, Y, and Z directions			
Shock resistance	1,000 m/s ² 3 times each in X, Y, and Z directions			
Degree of protection	IEC 60529: IP50			
Connection method	Pre-wired Models (standard length: 0.5 m)			
Weight (packed state)	Approx. 100 g			
Accessories	Coupling, Hexagonal Wrench, Instruction Manual			

Note 1. An inrush current of approximately 9 A will flow for approximately 0.3 ms when the power is turned ON.

2. The line driver output is a data transmission circuit compatible with RS-422A and long-distance transmission is possible with a twisted-pair cable.

3. The maximum electrical response speed is determined by the resolution and maximum response speed as follows:

Maximum electrical response speed (rpm) = Maximum response speed/resolution x 60

This means that the E6B2-C Rotary Encoder will not operate electrically if its speed exceeds the maximum electrical response speed.

Anexo 9.4 Tarjeta para pruebas de laboratorio Consumo de Combustible y patinaje (simulación)



En el arnés mostrado en la se adaptó con conectores hembra y macho y con los canales especificados de los contadores digitales de combustible y patinaje seleccionados en base al manual del loog book 360.Anexo 9.1

Anexo 9.5 Método de Calibración de sensores de combustible.

La siguiente tabla muestra los pulsos obtenidos de la placa de simulación de pulsos y la pantalla de los sensores de combustible, de los cuales se tomaron hasta que la probeta alcanzara los 500 mll.

Pulsos tarjeta	Pulsos pantalla de sensores	tiempo min
1564	1504	01:13
1585	1551	01:09
1553	1526	01:09
1562	1548	01:09
1565	1550	01:09
1644	1593	01:09
1603	1591	01:07
1554	1528	01:04
1608	1552	01:07
1571	1545	01:05

Por consiguinete se determinaron las estadísticas decriptivas de la columna de tarjeta, de la columna de la pantalla de senores y de las dos columnas juntas, seleccionando la constante de 3.0976 pulsos-ml⁻¹ como lo muestra el cuadro sig:

Estadísticos descriptivos: TARJETA

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
TARJETA	3.1418	0.0427	0.0018	1.36

Estadísticos descriptivos: PANTALLA

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
PANTALLA	3.0976	0.0547	0.0030	1.77

Estadísticos descriptivos: TARJ+PANT

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
TAEJ+PANT	3.1197	0.0528	0.0028	1.69

Anexo 9.6 Calibracion de patinaje

La calibración de patinaje se realizó haciendo cuatro recorridos en pavimento para tener “0 patinaje” y tener una referencia de los pulsos que marcan la llanta del bastidor y la llanta de tracción para poder determinar la constante en la cual nos basaremos para obtener el porcentaje de patinaje.

- Primeramente, se tomó la medida de la llanta motriz cuando da una vuelta junto con la medida de la llanta del bastidor (motriz).
- Posteriormente se realizaron cuatro recorridos, en los cuales se tomaron de referencia cinco vueltas de la llanta motriz.
- Finalmente se verificaron los datos obtenidos en el loog book, de cada corrida de tomaron los valores más altos del encoder del bastidor y de la llanta motriz, para después formular la constante.



Los valores obtenidos se analizaron para determinar su promedio y obtener la constante de 0 patinaje.

1 er recorrido	2 do recorrido	3 er recorrido	4 to recorrido	
2643	2627	2600	2597	datos de bastidor
3221	3253	3246	3234	datos de motriz
cocientes				
0.8206	0.8076	0.8010	0.8030	
Promedio	0.81040			
	constante.			

La fórmula utilizada para determinar el porcentaje de patinaje es:

$$\frac{\frac{m}{b} - k}{k}$$

Donde:

m= dato mayor de pulsos de recorrido.

k= constante de calibración.

b=dato mayor de pulsos de llanta motriz de recorrido.

k= 0.81040.

Anexo 9.7 Análisis para determinar el consumo de combustible.

Después de determinar la constante de calibración se puede proseguir al análisis siguiente para determinar el consumo de combustible.

- Teniendo los datos de los sensores de entrada y retorno de cada replica, se hace una diferencia entre la columna de los pulsos de entrada menos la columna de los pulsos de retorno, para obtener los pulsos reales que se consumieron de combustible.

combustible2	combustible	Dif
Entrada	Retorno	Entrada - Retorno
0	0	=M3-N3
2	1	1.00
3	2	1.00
3	3	0.00
4	3	1.00
10	4	6.00
13	5	8.00
14	6	8.00
14	7	7.00
20	7	13.00
22	8	14.00
25	9	16.00
25	10	15.00
29	11	18.00
30	12	18.00
31	12	19.00
31	13	18.00
33	15	18.00
36	16	20.00
38	16	22.00
38	17	21.00
40	18	22.00
41	19	22.00
44	20	24.00
44	20	24.00
46	21	25.00
48	22	26.00

- Posteriormente se toma el valor más alto de la diferencia entre las columnas antes mencionadas, y se divide entre la constante de calibración determinada en el Anexo 9.5

2482	Valor mas alto
=Q3/3.09	

- El valor que nos arroja la división entre estos dos nos dará en mililitros.

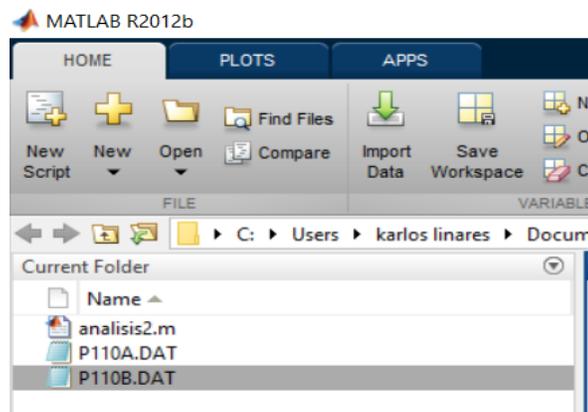
2482	Valor mas alto
803.24	mll
=Q4/40	

- Y por último se divide entre la distancia en metros de la recorrida, dándonos el resultado en mll/ metro.

2482	Valor mas alto
803.24	mll
20.08	mll/metro

Anexo 9.8 Procedimiento para determinar análisis espectral.

- Primeramente, los archivos que tenemos en Excel se deben guardar en texto delimitado por tabulaciones y con extensión **.DAT**
- Después de arrastran a la carpeta del programa MATLAB junto con el programa o algoritmo diseñado.



- Posteriormente se llama el programa, por ejemplo, **analisis2**



- Y se siguen los pasos que va marcando el programa.

Anexo 9.9 Programa en MATLAB análisis2

El algoritmo mostrado fue usado para determinar los analisis espectrales de dos columnas, que son los transductores que utilizamos, no sin antes acondicionar los archivos de excel a **.DAT** para que sea reconocido por el programa MATLAB, posteriormente analizarlos.

```
p=path;
incpath=([...
'c:\edml\data\dcon',...
'c:\edml\data\ddob',...
'c:\edml\data\dgot',...
'c:\edml\data\dlgd',...
'c:\edml\data\dlich',...
'c:\edml\data\dlig',...
'c:\edml\data\dmdd',...
'c:\edml\data\dmue',...
'c:\edml\data\dond',...
'c:\edml\data\cincel',...
]);

path(p,incpath);

clear
clc
file=input('Nombre de archivo de datos sin extension : ','s');
filename=[file '.dat'];
eval(['load ' filename]);
disp('Listo, archivo cargado')
x=eval(file);
v=x(:,1);
h=x(:,2);
pas=input('Numero de corrida (1/2) : ','s');
disco=input('Titulo para las graficas : ','s');
cv=[' Comp. Vert.' pas];
ch=[' Comp. Horiz.' pas];

disp('Trabajando con la componente vertical...')
titulo=[disco cv ];
plot(v,'-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
dv=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero : ');
```

```

v=v-dv;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
v=v*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una tecla...')
pause
plot(v,'-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
ini=input('Posición inicial para el análisis :');
fin=input('Posición final para el análisis :');
v=v(ini:fin);
media=mean(v);
disp('La media del segmento de datos es: ');disp(media)
disp('Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero')
disp('Pulsa una tecla...')
pause
v=v-media;
plot(v,'-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Ahora se obtendrán las magnitudes y frecuencias correspondientes.')
disp('Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...')
pause
Pn=(abs(fft(v))*2)/length(v);
f=(272/length(v))*(0:length(v)/2);
plot(f,Pn(1:length(f)),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia (Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el siguiente valor : ');disp(length(f))
resp=input('¿ Definir nuevo rango (s/n) ? ','s');
if resp=='s'
ok=1;
while ok==1
a=input('Valor inicial : ');
b=input('Valor final : ');
plot(f(a:b),Pn(a:b),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia (Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
resp=input('¿ Definir un nuevo rango (s/n)? ','s');
ok=strcmp('s',resp);
end
end
maxpn=max(Pn);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn)
disp('A continuación, se analizará la componente horizontal. Pulsa una tecla...')
pause

disp('Trabajando con la componente horizontal...')
titulo=[disco ch];
plot(h,'-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
dh=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero : ');
h=h-dh;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
h=h*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una tecla...')
pause
plot(h,'-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
ini=input('Posición inicial para el análisis :');
fin=input('Posición final para el análisis :');
h=h(ini:fin);
media=mean(h);
disp('La media del segmento de datos es: ');disp(media)

```

```

disp('Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero')
disp('Pulsa una tecla...')
pause
h=h-media;
plot(h,'-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Ahora se obtendran las magnitudes y frecuencias correspondientes.')
disp('Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...')
pause
Pn=(abs(fft(h))*2)/length(h);
f=(272/length(h))*(0:length(h)/2);
plot(f,Pn(1:length(f)),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia (Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el siguiente valor : ');disp(length(f))
resp=input('¿ Definir nuevo rango (s/n) ? ','s');
if resp=='s'
ok=1;
while ok==1
a=input('valor inicial : ');
b=input('valor final : ');
plot(f(a:b),Pn(a:b),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia (Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
resp=input('¿ Definir un nuevo rango (s/n)? ','s');
ok=strcmp('s',resp);
end
end
maxpn=max(Pn);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn)
disp('Análisis terminado')

```